Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(3), 362-375, 2018

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Hafif çelik yapı tasarımında yaklaşımlar, mevcut kontrol şartları ve olası bir hafif çelik yapı yönetmeliğinde vurgulanması önerilen konular

Approaches for design of lightweight steel structures, current controlling conditions, and the issues recommended to be emphasized in a prospective lightweight steel building code

Selma Ayşegül GÜNEŞ[1], *Seyit ÇERİBAŞI*[2*]

[1,2]Yapı ve Deprem Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
selmagunes@gmail.com, seyitceribasi@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 19.09.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 25.04.2017 doi: 10.5505/pajes.2017.00821
* Yazışılan yazar/Corresponding author Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Türkiye'de hafif çelik yapılarla ilgili kapsamlı bir yönetmelik olmamasından dolayı, inşa edilen soğuk büküm hafif çelik yapılarda genel kabullerin haricinde kesit, kapasite, tasarım, üretim ve montaj kontrolleri tam olarak yapılamamaktadır. Pazar talebinin özellikle fazla olduğu dönemlerde standart olarak kabul edilen, piyasa şartlarına uygun ekonomik yapılar üretilip, inşa edilmektedir. Mevcut tasarım ve üretim kabulleri her firma için farklılık gösterse de deneyime dayalı kabuller ile tasarım, üretim ve montaj yapılmaktadır. Kesinlikle kontrol talep edilen büyük ölçekli ve çoğunlukla devlet destekli projelerde ise üretim yapan çoğu firma farklı yurtiçi ve yurtdışı yönetmeliklerinden yararlanarak soğuk büküm hafif çelik yapıları incelemektedirler. Bu makale kapsamında hafif çelik yapılarla ilgi kısa bir tanıtım, günümüzdeki kullanım şekilleri, Türkiye'de genel olarak kullanılan tasarım ve üretim şekilleri hakkında bilgi verilmiş ve örnek bir hafif çelik yerinde kaplama yapının tasarımı yapılmıştır. Tasarımda kullanılan kabuller ve eleman özellikleri dünyada kullanılan iki genel yönetmeliğe göre incelenmiş ve kontrolleri yapılarak Türkiye'deki mevcut yönetmeliklerden de yararlanılarak SAP 2000'de oluşturulan model ile yapının analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, soğuk büküm profillerden oluşan bir hafif çelik yapının tasarım ve kontrolü için genel bir yol oluşturulmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hafif çelik, Analiz, Tasarım, Yönetmelik

Abstract

Because of the absence of a comprehensive code for cold-formed steel constructions in Turkey sections, capacity, design, production and assembly of cold-formed lightweight steel buildings cannot be fully controlled. Especially during periods of high market demand, economic structures which are considered as standard in accordance with the market conditions are produced and built. Even though current design and manufacturing assumptions might differ for each company the design and manufacturing are done by experience-based assumptions. For the projects for which strict controls are requested, and which are mostly supported by the state, all examining of cold-formed lightweight steel buildings is done with various national and international regulations. In the scope of this article a brief introduction of lightweight steel structures, current usage patterns and common design and manufacturing details in Turkey are presented and an example of in-situ lightweight steel structure is designed. Design assumptions and element properties are investigated according to two widely-used international codes, and additionally including the current Turkish regulations, the controls are performed, and the model and analysis of the structure are achieved by using SAP2000. As a result of the study, a general way of overall inspection and control of cold formed lightweight structures has been tried to be reached according to national and international regulations.

Keywords: Lightweight steel, Analysis, Design, Code

1 Giriş

Bu çalışma kapsamında hafif çelik yapılar ham madde olan çeliğin kullanımından başlayarak, çelik bina elemanları ve son ürün olan hafif çelik yapıların kullanım ve gelişimini kapsayacak şekilde ele alınmıştır.

Hafif Çelik yapı sistemleri ön üretimli sandviç panel, karkaslı panel sistem ve yerinde kaplama sistem olarak genel anlamda 3 gruba ayrılmaktadır. Konu ile ilgili standartlaşmış bir terminoloji olmamasından dolayı sistemler ülkemizdeki üretici firmaların yaygın olarak kullandığı gruplandırmaya göre isimlendirilmiş ve sistemlerin detayları Türkiye'ye ve Ortadoğu'ya yaygın olarak satış ve ihracat yapan üretici firmaların oluşturduğu kataloglar kapsamında değerlendirilmiştir.

Sıcak büküm çeliğin tasarım kriterleri 1930'larda Amerika Birleşik Devletleri'nde standartlaştırılmakla birlikte, ince kesitli soğuk haddelenmiş elemanlar için 1946 yılına kadar kontrol veya tasarım kriterleri belirlenmemiştir [1]-[2]. Türkiye'de ise bu konudaki boşluk büyük oranda devam etmektedir ve sağlıklı bir tasarım için aşağıda anılan birçok doküman arasında tasarım mühendisinin kanaat kullanarak seçim yapması gerekmektedir; çünkü bu dokumanlar ya birçok durumda yetersiz kalmakta ya da birbirlerinden farklı önerilerde bulunmaktadırlar.

Bu kapsamda örnek bir yerinde kaplama hafif çelik projesi AISI S100 Amerikan Demir ve Çelik Enstitü yönetmeliği [3], EN 1993-1-1 [4], EN 1993-1-3 [5], EN 1993-1-5 [6] çelik yapıların dizayn yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Yapının yönetmeliklerde belirtilen şartlar ve hesap yöntemleri çerçevesinde değerlendirmesi yapılarak, model ve analizi Sap2000 [7] programı ile yapılmıştır.

Uluslararası yönetmeliklere ek olarak TS 11372-1994: Çelik Yapılar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları [8], TS 648-1980: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları [9], TS 498-1997: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri [10], TS 6793-1989: Konutlar ve Kamu Binalarında Kullanım ve

Yerleşim Yükleri [11], TS ENV-1998: Depreme Dayanıklı Yapıların Projelendirilmesi Tedbirleri [12] ve DBYBHY-2007-Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik [13]'de hafif çelik ile bağlantılı olan veya referans olarak gösterilebilecek koşul ve yöntemler de göz önünde bulundurulmuştur.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında örnek bir ön üretimli hafif çelik yapının yurtdışı yönetmelikleri ve ülkemizde kullanılan mevcut yönetmelikler kapsamında yapılan incelemeleri karşılaştırılarak oluşturulacak olası bir hafif çelik yönetmeliğinde vurgulanması önerilen noktalar belirlenmiştir.

19. yy'da Henry Bessemer tarafından Bessemer prosesi adı verilen ilk pahalı olmayan endüstriyel prosesin bulunmasının ardından verimli ve ucuz çelik üretimine başlanmış, çeliğin dayanımının ve sünekliliğinin yüksek olması nedeniyle 19. yy sonlarından itibaren Amerika'da, 20. yy başlarından itibaren ise Britanya'da inşaat sektöründe kullanılmaya başlanmıştır [2].

Çelik karkasın sahaya montaja hazır şekilde sevk edilmesi ve işlenme kolaylığı nedeniyle işçilik ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi nedeniyle konut amaçlı "pre-fab" (ön üretimli) hafif çelik yapıların inşası artmıştır. 2. Dünya Savaşının sonunda ise Avrupa ülkelerinde hızlı ve ekonomik olarak üretilip montajı yapılabilen ön üretimli hafif çelik yapıların kullanımı yaygınlaşmıştır.

Çeliğin dayanımının aynı hacimdeki betonarme veya ahşap elemandan yüksek olması, elektrik ve sıhhi tesisat montajının kolay olması ve sistemin uygun izolasyon malzemesi ile yangına karşı dayanıklılığı nedeniyle tercih edilmeye başlanmıştır. Sıcak büküm çeliğin tasarım kriterleri 1930'larda Amerika'da standartlaştırılmıştır. Ön üretimli hafif çelik yapıların hızlı ve ekonomik olarak üretilip kullanımı ise 2. Dünya savaşının sonunda Avrupa ülkelerinde yaygınlaşmıştır. Ancak, 1946 yılına kadar ince kesitli, farklı şekillerde üretilebilen soğuk büküm için herhangi bir kontrol veya tasarım kriteri belirlenmemiştir.

1946'da AISI (American Iron and Steel Insitute)' ne bağlı olarak Cornell Üniversitesi'nde gerçekleştirilen ilk dayanım-tasarım araştırmalarının sonucunda ilk yönetmelikler oluşturulmuş ve devam eden yıllarda da gelişmelere bağlı sürekli olarak revize edilmiştir. 1991 yılında yük ve dayanım faktör tasarımının esasları yayınlanmıştır. 1996 yılında iki çalışma birleştirilerek genişletilmiş ve günümüzde kullanılan asıl yönetmelikler oluşturulmuştur [14]-[16].

Yakın zamanlarda soğuk haddelenmiş çelik üzerine deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Tasarım yönetmeliklerine katkı amaçlı yapılan çalışmalardan biri Zeynalian ve diğ. [17] tarafından yürütülmüştür. Yazarlar soğuk haddelenmiş kafes bağlantıları üzerine onsekiz adet tam ölçekli deney gerçekleştirdiler. Numunelerin maksimum yük kapasitesi ile yük-şekildeğiştirme davranışına yoğunlaştılar ve tasarım yönetmelikleri ile deneysel sonuçlar arasındaki farkları inceleyip yönetmelikler için önerilerde bulundular. Wang ve diğ. [18] soğuk haddelenmiş tek-yön-simetrik profiller için genetik algoritmaları kullanarak bir optimizasyon prosedürü oluşturdular. Bu metotla bağlantı elemanlarının pozisyonu ve kesit şekillerini optimize ettiler. Yu ve Yu [19] soğuk haddelenmiş çelik perdeler üzerinde deneysel çalışmalar yaptılar. Üzerinde dairesel delikler bulunan kıvrımlı çelik perdelerin sismik performansını incelediler ve bu tür deliklerin performansı çok düşürdüğünü gözlemlediler. Chung [20] soğuk haddelenmiş çelik yapıların bulonlu bağlantıları üzerine çalışmıştır. Yazar Z aşıkların yapısal performansını deneysel ve teorik olarak araştırmıştır. Kim ve Kuwamura [21] ince cidarlı çelik plakların bulonlu bağlantılarının statik kesme kuvveti altındaki davranışını sonlu eleman modeli ile çalışmışlardır, bağlantı plaklarının düzlem dışı deformasyonunu incelemişlerdir.

2 Türkiye'de hafif çelik yapılar

Sektörde iç piyasa ve dış piyasaya satış yapan firmaların kuruluş ve büyüme tarihlerine bakıldığında ülkemizde hafif çelik yapıların üretiminin 40 seneyi aşmadığı görülmektedir. Endüstrinin gelişmesi, komşu ülkelerdeki savaşlar ve ülkemizde yaşanan depremler sektörün gelişmesini sağlayacak ihtiyacı oluşturmuştur.

Hafif çelik sektöründe adı geçen orta ve büyük çaplı firmaların kapasitelerini arttırıp büyümeleri özellikle 1999 depreminden sonra olmuştur. İç piyasaya üretim ve satış yapan firmalar sonraki yıllarda komşu ülkelerdeki politik yıpranmalar ve savaşlar nedeniyle oluşan pazarda konum, üretim ve montaj işçiliği avantajından yararlanarak büyümüş ve dış pazara açılmışlardır.

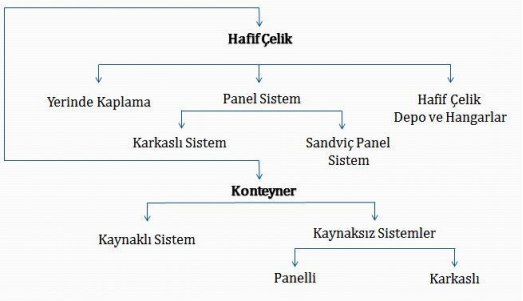
İç piyasaya üretilen hafif çelik yapılar şahıs alımlarında konut amaçlı, firma alımlarında ise şantiye binası olarak kullanılmaktadır. Ağırlıklı olarak maden ve inşaat sektöründe talep edilen hafif çelik yapılar üretim ve montaj maliyeti düşük olan ön üretimli (prefabrik) panel sistem yapılardır.

Dış piyasaya üretilen hafif çelik yapılar ise genellikle savaş bölgelerinde askeri veya sivil kamp alanları oluşturmak, savaş ve afet sonrası acil konut ve idari bina ihtiyacını sağlamak, yeniden yapılanan bölgelerde yüksek bütçeli santral, petrol rafinerisi gibi yüksek bütçeli inşaat projelerinde mobilizasyonu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. İç piyasanın aksine ihraç edilen yapıların talep edilen özellikleri ülkemizdeki üretim sistemlerinin gelişmesini ve yurtdışında kullanılan mevcut standartlara ulaşmasını sağlamıştır.

Hafif çelik üretimi yapan firmaların bir kısmı 2000'li yılların ortasından itibaren kar marjlarını ve dışa bağımlılığı azaltmak için kaplama malzemesi gibi ek yapı elemanlarını kendi üretmeye başlamıştır. Sektördeki bu genişleme hafif çelik sektörünün de inşaat sektörüyle ile birlikte gelişmesine neden olmuştur.

2.1 Hafif çelik yapılar genel sınıflandırma

Modüler sistemler kendi içinde hafif çelik yapılar ve konteynerler olmak üzere ikiye ayrılır. İki sistem de kullanılan malzeme açısında aynı olup, üretim ve montajda farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında hafif çelik yapılar incelenmiştir. Hafif çelik yapı sistemleri yerinde kaplama sistem, panel sistem ve hafif çelik depo ve hangarlar olmak üzere genel anlamda 3 gruba ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Modüler sistemlere ait ürün ve sistem gruplandırması.

Sistemlerin üretim ve montajında kullanılan malzemeler ortak ancak üretim ve montaj sistemleri farklıdır. Hafif çelik depo ve hangarlara ait iskelet kolon kiriş imalatları hariç en fazla 2 mm sacdan oluşmaktadır. Sac rulo olarak temin edilir, üretim sahasında rollform makinalarda çekilmektedir.

2.1.1 Hafif çelik depo ve hangarlar

Hafif çelik depo ve hangarlarda koridor genişliği tek açıklıkta en fazla 10 m, yüksekliği ise en fazla 5 m olacak şekilde üretim yapılmaktadır. Yükseklik veya eni daha fazla olan depo ve hangar binaları ağır çelik sistemde üretilmektedir. Ağır çelik sistemden ekonomik olması nedeniyle hafif çelik depo ve hangarlar kullanıcının talebine hizmet ettiği durumlarda tercih edilmektedir.

Talebe göre birden fazla koridor kullanılarak depo eni genişletilebilir, ancak makasları taşıması açısından 10 m bir depoya dik olarak atılan 2.5 m aralıklı kolonlar sistemi bölmektedir.

Hafif çelik depo ve hangarlar kullanılacakları konum ve iklime göre yalıtımlı, yalıtımsız olarak ikiye ayrılır. Yalıtımsız depolarda dış kaplama natürel galvaniz sac, boyalı galvaniz sac gibi dış etkenlere dayanıklı malzemeler ile kaplanmaktadır. Kaplama montajının kolay olması için depo karkasına ek profiller koyulmakta bu ek profillerin taşıyıcı özelliği bulunmamaktadır.

Hafif çelik depo ve hangarlarda çatı tüm hafif çelik yapılardaki gibi makas, aşık, ve çaprazlardan oluşmaktadır. Makaslar üretici firmaların sistemlerine göre değişse de genellikle her proje için ayrı tasarlanmaktadır. Örnek çelik depo için makas dizaynı Şekil 2'de verilmiştir. Hafif çelik yapılarda makas dizaynı bazı farklılıklar göstermektedir.



Şekil 2: Örnek makas dizaynı üç boyutlu gösterimi.

Çatı kaplaması da hafif çelik depo binalarında kullanıcının talebine göre yalıtımlı veya yalıtımsız olarak ikiye ayrılır. Kaplamalar yalıtımsız yapılarda cephe kaplaması ile aynıdır, ancak yalıtımlı yapılarda kullanılan paneller malzeme olarak aynı olsa da dizayn açısından farklılık göstermektedir.

Panellerin yalıtım malzemesi çatı ve duvar panellerinde aynıdır. Yalıtım malzemesinin yoğunluğu panelin mukavemeti açısından önem taşıdığından ülkemizde üretilen paneller eps, taşyünü ve poliüretan yalıtımlıdır. Yurtdışında bunlara ek olarak yüksek yoğunluklu camyünü de kullanılmaktadır, ancak bu yalıtım malzemesinin ülkemizde üretimi olmadığı için panel üretimlerinde kullanılmamaktadır. Panellerin iç ve dış kaplaması, farklı kalınlıklarda boyalı galvaniz sac, cephe panellerinde ise boyalı galvaniz sac, betopan, fibercement olarak değişmektedir.

Hafif çelik depoların kapıları kısa cephede olduğundan dolayı bina özelliklerinden hariç bir sınırlamaya sahip değildir. Ancak Roll-up kapı denilen motorlu kepenklerin kullanımı durumunda üretici firmaya motor ve aksesuarların karkas tarafından taşınabilmesi ve statik hesapların buna göre yapılabilmesi için bilgi kullanıcı tarafından verilmelidir.

Hafif çelik depo yapılarının statik hesapları her projeye göre farklılık göstermektedir. Betonarme yapılardaki gibi kar yükü, rüzgâr yükü, deprem bölgesi dizaynı etkileyen ana faktörlerdir.

2.1.2 Ön üretimli panel sistem yapılar

Ön üretimli hafif çelik yapılar kendi içinde *karkas panel sistem* ve *sandviç panel sistem* olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. İki sistem üretim malzemesi açısında benzerlik gösterse de tasarım ve üretim yönünden ciddi farklılıklar göstermektedir.

Çatı sistemi ön üretimli hafif çelik panel yapılarda aynıdır. Her projede özel olarak çatı makas tasarımı yapılmakta, kaplama malzemesi iklim ve kullanıcıya göre değişmektedir. Depo yapılarında tasarlanan makastan farkı makasların panelleri dik kestiği yerlerde ek dikme profiller kullanılmasıdır. Makas tasarımına eklenen bu dikey profiller çatıdaki yükü direk olarak aşağıdaki taşıyıcı sisteme aktarmaktadır. Burada önemli olan bir başka nokta ise hafif çelik depolar ve ön üretimli panel sistem yapılarda makasların tasarım akslarına uygun olacak şekilde monte edilmesidir.

Kısaca açıklamak gerekirse, hafif çelik yapılarda aks sistemi betonarme yapıların aks sisteminden tamamen farklıdır. Akslar en dış hatlarda iskeletin dış sınırında, iç hatlarda ise panel birleşimleri veya kolon merkezlerinden geçmektedir. Akslar patikte 1200 mm olup, üretici firmalara göre tolerans değerleri değişmektedir. 1200 mm aks ölçüsü hafif çelik yapılar için üretilen panel ölçülerinden gelmektedir.

Makaslar yatay aks hatlarında yapıya yerleştirilmekte, her makasın iskelet ile birleştiği noktalar kesinlikle kolon merkezine veya panel birleşimine denk gelmektedir. Bunun ana nedeni makastan aktarılan yükü sisteme dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktır. Eğer makaslar panelleri ortalayacak şekilde yerleştirilirse, karkaslı yapılarda üst profilin eğilmesine yol açar, sandviç panel yapılarda ise sandviç panelin taşıyıcılığı olmadığı için çatı çökmektedir.

Bu noktada ön üretimli sistemlerin ilk ana farkı ortaya çıkmaktadır. İki sistemi birbirinden ayıran panellerin üretim şeklidir. Sandviç panellerde iç, dış kaplama ve yalıtım malzemesinden oluştuğu için panelin kendi içerisinde taşıyıcılığı yoktur. Panel iç kaplaması ön üretimli yapılarda boyalı galvaniz sac, betopan, alçı levha ve fibercement olarak değişmektedir.

Düşük alanlı hafif çelik panel sistem yapılarda genellikle kullanıcı memnuniyeti ve mimari endişeler nedeniyle kolon kesitleri panel enini geçmeyecek şekilde tasarım yapılmaktadır. Kolonlar yapıya etkiyen yüke bağlı tasarlanıp üretilmektedir.

Hafif çelik panel sistem yapılarda yerinde kaplama yapılarda beton temel tasarımı aynıdır. Ülkemizde firmalar genellikle 20cm kalınlıkta beton temel üzerine yapıları kurdurtmaktadır. Özel kullanım amaçlı projeler hariç temel kalınlığı ve tasarımı farklılık göstermemektedir. Tretuvar payı olarak genellikle bina dış sınırından başlayacak şekilde 20 cm pay ile çalışılmakta, alanı yüksek ve çok katlı yapılarda bu pay arttırılmaktadır.

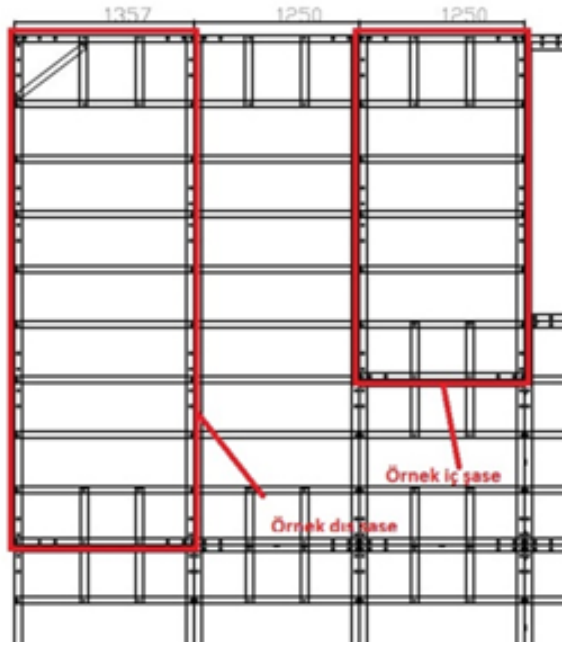
İki sistemi birbirinden montajda ve üretimde ayıran panel tipleri haricideki en önemli fark panel "H"larıdır. Sandviç panel yapılarda "H" profiller panelin sahip olmadığı taşıyıcılığı

yapıya kazandırmak ve makasa denk gelen noktalarda makastan gelen yükü temele aktarmak için 2 mm kalınlıkta üretilmektedir. Karkas panel sistem hafif çelik yapılarda ise panel kendi içerisinde taşıyıcılığa sahip olduğundan "H" profiller ısı köprüsünü engellemek için ince plastikten üretilmekte, "H" ların hiçbir taşıyıcılığı bulunmamaktadır.

Paneller zemine direk olarak bağlanmamaktadır. Karkaslı yapılarda panel karkasının alt kısmı U profilden oluşmaktadır. İki panelin birleştiği yerde, ısı köprüsü oluşturmak için kullanılan H profil plastiktir. Paneller birleşim yerlerinde çelik U altlıklara oturtulup daha sonra zemine ek L aparat ile dış ortamda bağlanmaktadır.

Sandviç panel sistem yapılarda paneller birbirine tutturulmaz ve "u" tabanların üzerine oturtulup "H" profillerin arasında kalacak şekilde oturtularak monte edilir. Karkas panellerde ise paneller firmalara bağlı değişiklik göstermekle birlikte clinch adı verilen çift taraflı cıvata vs., gibi eklerle birleştirilip sistemin birbirine bağlı çalışması sağlanmaktadır.

Çok katlı yapılarda, katlar arasına şase yerleştirilmektedir. Şase yanak kalınlıkları şasenin taşıyacağı yüke göre 100 mm ile 350 mm arasında değişmekte, tüm şase profilleri roll-form hatlarında üretilmektedir. Örnek bir şase tasarımı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: Örnek şase (döşeme modülü).

Köşeye denk gelen şase ucundan çapraz profil ile güçlendirilir. Panel sırasına denk gelen veya şase blok bitimine denk gelen yerlerde dik profiller üst kat panel montajı sırasında montaj elemanlarına kolaylık sağlamak amacıyla eklenir. Şase bloklarının birbirlerine bağlantıları cıvatalar ile olmaktadır.

Şekil 3'de örnek gösterilen şase modülleri şase planına göre birleştirilerek kat döşemesi oluşturulur. Şaselerde elektrik ve sıhhi tesisat için boşluklar bırakılmakta, bu tasarım üretim dizaynını yapan mühendisler tarafından en ekonomik ve kolay montaj yapabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

Şase uzunluğunun sınırını nakliyede kullanılan araç boyu ve montaj esnasında şasenin taşıma eksenine dik olarak eğilmeden dolayı oluşabilecek deformasyonu belirlemektedir. Şase uç noktalarında çapraz profiller mukavemeti arttırmak için kullanılmaktır. Üst kat panellerinin geldiği yerlerde montaj kolaylığı sağlamak amacıyla şase yönüne paralel profiller atılmaktadır. Şekil 4 ve 5'te örnek bir ön üretimli hafif çelik yapıya ait kesit ve birleşim detayları verilmiştir.

2.1.3 Hafif çelik yerinde kaplama yapılar

Hafif çelik yerinde kaplama sistem yapıları karkas panel sistem hafif çelik yapılardan ayıran en önemli özellik yapının panellere ayrılmadan cephelere ayrılarak tasarlanması ve üretilmesidir. Her ne kadar kullanılan malzemeler benzerlik gösterse de sistem tasarım, üretim ve montaj açısından ciddi farklılıklar gösterir. Yerinde kaplama yapılarda dikey profiller panel sistemden daha sık atılmakta, pencere ve kapıların olduğu bölgelere ek çaprazlar tüm yükseklik boyunca eklenmektedir. Standart panel tasarımı yerine tüm yapı tasarlandıktan sonra yapılan statik hesaplara göre gerekli görülen yerlere ek çaprazlar, çaprazlı bölümler veya kolonlar eklenmektedir. Cepheler taşıma ve montajda kolaylık sağlayacak şekilde bölümlendirilmekte ve sabit ölçülere sahip olmamaktadır. Bu sistem hafif çelik yapılar içerisinde en karmaşık ve detaylı olandır. Tasarım aşaması, statiği, üretim ve montajı diğerlerine göre çok daha uzun sürmektedir.

Yapılan tasarıma göre standart şase sistemi yerine özel tasarım şase sistemi kullanılmaktadır. Şaselerde diğer sistemlerde olduğu gibi nakliye ve montaj sınırları dikkate alınarak ölçülendirme yapılmaktadır. Hafif çelik yerinde kaplama sistem yapılarda üretim aşamasında karkasta tesisat için kullanılacak olan boşluklar ve bağlantı noktaları karkas panel sistem yapılardaki gibi otomatik olarak oluşturulur.

İki sistem arasındaki bir diğer ana farklılık, ön üretimli yapılarda paneller kaplama ve izolasyon malzemeleri fabrikada monte edilerek gönderilir ancak yerinde kaplama sistem yapılarda üretim tesislerinde bu işlem yapılmaz.

Tüm sistemlerde çatı sistemi, makaslı ve şase olarak ikiye ayrılmaktadır. İki çatı tipinde de roll-form hattında teknik ofis tarafından tasarlanmış projeye uygun profiller üretilerek şase veya makaslar oluşturulur.

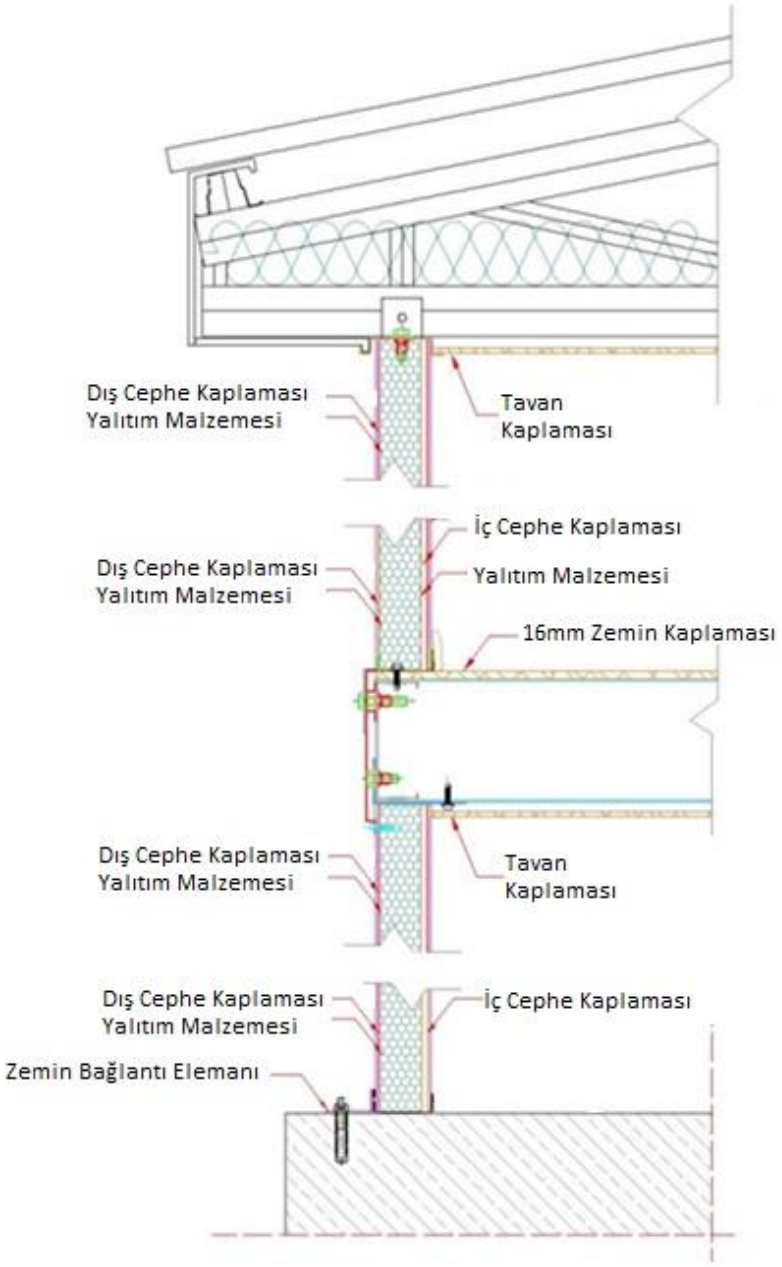
3 Örnek bir hafif çelik yapı için örnek elemanların incelenmesi

Yönetmeliklerin karşılaştırılması ve hesaplamalar için örnek bir yapı tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan örnek yapıya ait genel özellikler Tablo 1'de belirtilmiştir. Ön tasarım için cephe karkas kalınlığı 150 mm alınmıştır. Cephe kaplaması 12 mm çimento yonga levha, iç kaplaması ise 10 mm çimento levhadır. Cephe için kullanılacak yalıtım malzemesi toplamda 15 cm kalınlıkta olacak şekilde 2 kat olarak uygulanacak taşyünü cephe levhasıdır. Çatı yalıtımı tek kat 12 cm kalınlıkta taşyünü şilte ile yapılacağı kabul edilmiştir. Yapı köşelerinde konulan kolonların sürekli (iki kat boyunca) olacağı kabul edilmiştir.

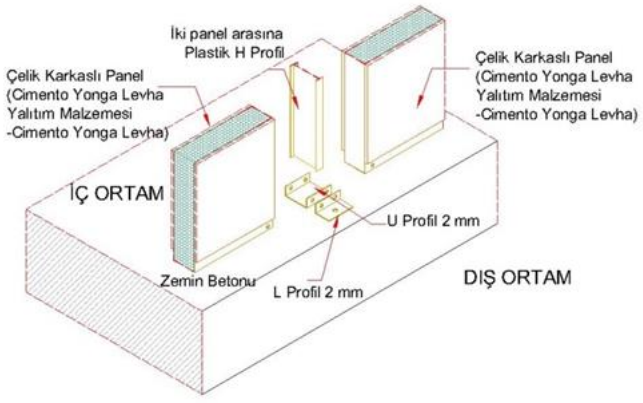
Tablo 1: Yapıya ait genel özellikler.

Özellik	
Bina Oturum Alanı	292.4 m²
Bina Toplam Alanı	584.8 m²
Kat Sayısı	2
Kat Yüksekliği	3.0 m
Çatı Tipi	Şase

Ön tasarım için kabul edilen ara kat şase kalınlığı ise 300 mm'dir. İki şasede de ara kayıtlar statik öncesi tasarımda 400 mm'de, dikey kayıtlar ise 900-1200 mm'de bir alınmıştır.

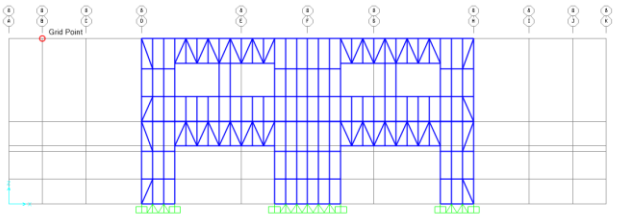


Şekil 4: Ön üretim hafif çelik yapı örnek kesiti.

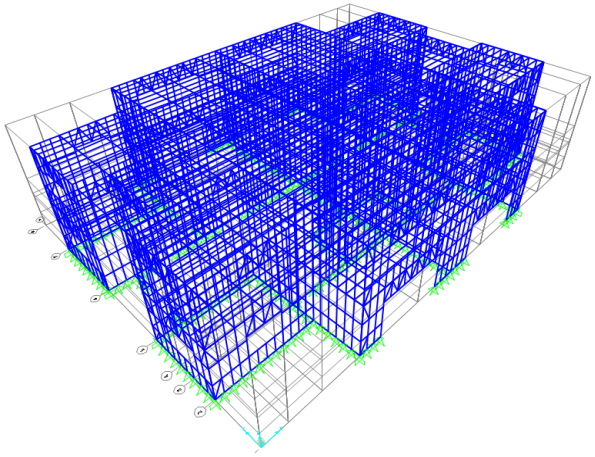


Şekil 5: Ön üretimli hafif çelik karkaslı yapılarda kullanılan örnek birleşim detayı.

Kabullere göre SAP2000'de modeli oluşturulan yapının (Şekil 6, 7) çatısı düz teras çatı olarak tasarlanmıştır. Bina dış köşelerinde 150 mm x 150 mm x 4 mm boyutlarında ve iki kat boyunca sürekli kolonlar olacağı, tüm köşe panellerinde birinci ve ikinci dikey arasında çapraz profiller ile cephelerin destekleneceği, tüm kapı ve pencere açıklıklarının üstünde çaprazlar bulunacağı ve 1 m'den fazla olan pencere ve kapı açıklıkları için başlangıç ve bitiş noktalarında tek kat boyunca 150 mm x 150 mm x 4 mm kutu profillerden oluşan kolonlar ile sistemin destekleneceği kabul edilmiştir.



Şekil 6: Yapının Sap 2000'de oluşturulan cephe görünüşü.



Şekil 7: Yapının Sap2000 modeli (deforme olmamış hali).

3.1 Yönetmeliklere göre profil kesit kontrolleri

Yapının tasarımına başlanırken öncelikle kullanılacak duvar ve şase elemanlarının kesit ve kalınlıkları belirlenmiştir. İlk aşamada duvar panelleri için C 150x70x20x2 ve U 150x70x2 profiller, şaseler içinse C 300x70x20x2 ve U 300x70x2 profiller kullanılacağı kabul edilmiştir. Yapılan kabulün uygunluğu ise soğuk büküm hafif çelik yapı elemanlarının dizaynı ile ilgili yayınlanan AISI S100-2007 (North American Specisification for The Design of Cold Formed Steel Structural Members -2007) [3] ve EN 1993-1-1 [4] , EN 1993-1-3 [5], EN 1993-1-5 [6] yönetmeliklerine göre kontrol edilmiştir.

Tasarımda esas alınacak yük değerleri TS 498'e uygun, Kar yükü TS EN 1991-1-3'e uygun, rüzgar yükü TS EN 1991-1-4'e uygun olacak şekilde seçilmiştir. Deprem etki hesaplamaları ise DBYBHY'e göre yapılmıştır.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY) kapsamında soğuk büküm profillerden oluşan hafif çelik yapılar olmadığından yönetmelikte bulunan ağır çelik yapılar için kabul edilen esaslar baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. DBYBHY'ye göre elastik deprem yüklerinin tanımlanmasında yönetmeliğe uygun Tablo 2'de gösterilen tanımlamalar yapılmıştır. Etkin yer ivmesi katsayısı, 1. deprem bölgesinde yapılacağı kabul edilen yapı için 0.40 olarak seçilmiştir.

Tablo 2: Genel yükleme şartları ve ilgili yönetmelikler.

Genel Şartlar		Yönetmelik
Kar Yükü	80kg/m²	TS498 Çizelge 4 (Kar yükü bölgesi II)
Rüzgar Yükü	1.28 kN/m² (128 kg/m²)	TS498 Çizelge 6
Hareketli Yük	2 kN/m² (200 kg/m²)	TS498 Çizelge 7 2- Konut, Zaman zaman kullanılan çatılar
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	0.4	DBYBHY-2007 Tablo 2.2-1. Deprem Böl.
Bina Önem Katsayısı	1.0	DBYBHY-2007 Tablo 2.3 – Konutlar

Bina önem katsayısı DBYBHY'ye göre konut yapısı olarak inşa edilmesi planlanan yapı için 1.0 olarak seçilmiştir. Taşıyıcı sistem katsayısı ise tasarımı yapılan yapı deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar sınıfına girdiği için süneklilik düzeyi yüksek sistemler için 8.0 olarak alınmıştır.

Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik'te [22] belirtilen yük kombinasyonları;

1. G
2. G + Q
3. G + S
4. G + 0.75Q+0.75(Q_r veya S veya R)
5. G + W

   G + 0.7 E
6. G + 0.75Q + 0.75 S + 0.75 W

   G + 0.75Q + 0.75 S +0.75 (0.7E)
7. 0.6G + W
8. 0.6G + 0.7E
9. 0.9G + 1.0E

G: Sabit Yük

Q: Hareketli Yük

Q_r: Çatı Hareketli Yükü

S: Kar Yükü

R: Yağmur Yükü

W: Rüzgar Yükü

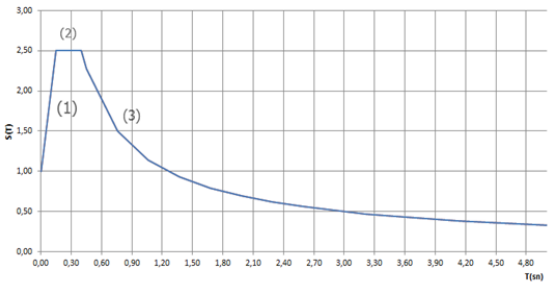
E: Deprem Etkisi

Yerel zemin sınıfı ise Z2 olarak seçilmiştir, buna göre spektrum karakteristik periyotları 0.15 ve 0.40 olduğu kabul edilmiştir. Spektrum katsayısı, binanın doğal periyoduna bağlı olarak DBYBHY 2007'ye göre denklem 2.2'ye göre hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 8'de gösterilen grafik oluşturulmuştur.

$$S(T) = 1 + 1.5\ x\ \frac{T}{T_A} \quad (0 \le T \le T_A)$$
$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \le T \le T_B) \qquad (1)$$
$$S(T) = 2.5\ x\ \left[\frac{T_B}{T}\right]^{0,8} \quad (T_B \le T)$$

T : Periyot

$T_{A,B}$: Karakteristik periyotlar



Şekil 8: DBYBHY 2007, sf: 11, Denklem 2.2 ile oluşturulan elastik tasarım ivme spektrumu.

$A(T) = A_0 I\, S(T)$ (DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.1)

A_0 : etkin yer ivmesi katsayısı = 0.4

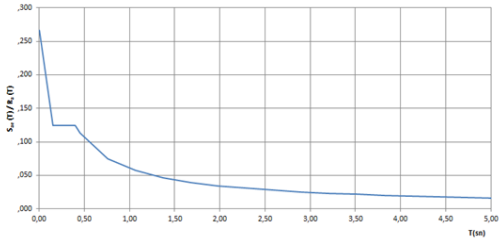
I : Bina önem katsayısı = 1.0

$S_{ae}(T) = A(T) x\, g$ (DBYBHY 2007, sf:11, Denklem 2.1)

g: Yer ivmesi

Kabul edilen değerler neticesince oluşturulan ivme spektrumu her bölge için ($T<T_A$, $T_A<T<T_B$ ve $T_B<T$ için) ayrı ayrı A(T) değerleri hesaplanmıştır. Hafif çelik yapılar ile ilgili Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) standardı olmadığı için deprem yüklerinin tamamen çerçeveler ile taşındığı yüksek süneklik düzeyindeki ağır çelik yapılar ile ilgili yönetmeliğe göre alınmıştır. R'nin dikkate alınması ile oluşturulan ivme spektrumu Şekil 9'da verilmiştir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5)\, x\, \frac{T}{T_A} \quad (0 \le T \le T_A)$$
$$R_a(T) = R \quad (T_A \le T) \qquad (2)$$



Şekil 9: DBYBHY 2007, Denklem 2.1, 2.2 ve 2.3 kullanılarak oluşturulan ivme spektrumu.

Bölüm 3.1.1 ve 3.1.2'de tasarım kontrolleri yapılan profiller kullanılarak Sap2000 programında yapı modellenmiştir. Yük kombinasyonları için Türkiye'de 4 mm altındaki çelik elemanlardan oluşan yapılar ile ilgili yönetmelik olmamasından dolayı Sap2000 analizi için 4 mm üzeri elemanlardan oluşan çelik yapılar için hazırlanan Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik'te verilen Güvelik Katsayıları ile Tasarım yük kombinasyonları kullanılmıştır [22].

Yapılan modal analiz için yönetmeliğe göre Mod Birleştirme yöntemi ile incelenen yapı için kütle katılımının %90'dan fazla olacağı şekilde 6 mod ile analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda bulunan her moda ait periyot, kütle katılım oranı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Modal analize göre Sap2000'den alınan periyot, frekans değerleri ve kütle katılım oranları (6 Mod için).

Analiz	Mod	Periyot (sn)	Frekans (Hz)	Kütle Katılım (X)	Kütle Katılım (Y)
Modal	1	0.22695	4.4063	1.2×10^{-6}	0.81
Modal	2	0.159328	6.2764	3.9×10^{-4}	0.81
Modal	3	0.158028	6.328	0.9	0.81
Modal	4	0.118836	8.415	0.9	0.82
Modal	5	0.11815	8.4638	0.9	0.82
Modal	6	0.1151	8.6881	0.9	0.96

3.1.1 Duvar paneli C (150x70x20x2) profilinin incelenmesi

Duvar paneline ait C profili basınç elemanıdır. Profil ilk olarak AISI S100 yönetmeliğine daha sonra EU 1993-1 yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre yapılan kontroller sonucunda tasarım aşamasına seçilen profil boyutlarının kendi içerisinde uygunluğu teyit edilmiştir. Kapasite hesaplamalarında kullanılacak yönetmeliğe karar verildikten sonra, profil için maksimum moment kapasitesi hesaplanmıştır. Bulunan sonuç en son olarak SAP2000'de yapılan analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle profilin yönetmeliklere göre hem tasarım açısından kendi içinde uygunluğu, hem de yapı içerisinde çalışması kontrol edilmiştir.

3.1.1.1 Profil uygunluğunun AISI S100'e göre incelenmesi

C profil kısmi rijitleştirilmiş basınç elamanıdır. Profil tasarımda basit dudak (lip) ile rijitleştirildiği için profil eni ve kalınlık oranının aşağıda verilen değerden düşük olması gerekmektedir [3].

$$W_{etkili}/_t \le 60 \qquad (3)$$

W_{etkili} : Etkili profil gövde(en) genişliği

t: Profil kalınlığı

Profil etkili eninin kalınlığa bağlı olarak belirlenmesine yardımcı olan denklem 3'te verilen oran, analize geçilmeden önce ön tasarım aşamasında yol gösterici olacağından olası oluşturulacak bir hafif çelik yönetmeliği kapsamında olması önerilmektedir.

$$W_{etkili} = W - 2\, x\, (t + R)$$
$$W_{etkili} = 70 - 2\, x\, (2 + 2) = 62mm$$
$$W_{etkili}/_t = 62/_2 = 31{,}0$$

$31{,}0 \le 60$ Gövde boyutu yönetmeliğe uygundur.

Başlık etkili boyutu (h) aşağıda verilen oranların altında olmalıdır.

$(h/t)_{maks} = 200$ (Rijitleştirilmemiş elemanlar için) (4)

$(h/t)_{maks} = 260$ (Kısmi rijitleştirilmiş elemanlar için) (5)

$$h = f - 2\, x\, t \qquad (6)$$

h: Profil başlık ölçüsü

Tasarımı yapılan yapı elemanının kullanılan malzeme kalınlığına göre moment kapasitesini direk olarak etkileyecek efektif başlık genişliğinin ön tasarımda belirlenmesi ve sınırlayıcı olması nedeniyle denklem 4.5 ve 6'nın oluşturulacak olası bir hafif çelik yönetmeliği kapsamında bulunması önerilmektedir. Başlık ölçüsünün kriterlere bağlı

olarak belirlenmesi olası tasarım hatalarını ortadan kaldıracaktır.

$$h = 150 - 2\,x\,2 = 146\,mm$$

$h/t = 146/2 = 73 < 260$ Yönetmeliğe göre başlık boyutu uygundur.

AISI S100 yönetmeliğine göre kısmi rijitleştirilmiş (dudak (lip) eklenerek) elemanların boyut kontörlü aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$S = 1.28\sqrt{E/F_y} \quad (7)$$

E: Elastisite modülü (S350 çelik için 210 GPa kabul edilmiştir.)

F_y : Akma gerilmesi

$$S = 1.28\sqrt{210000/350} = 31.3535$$

$$0.328\,S = 0.328\,x\,31.3535 = 10.284$$

$w/t = 31.0$ olarak bulunmuştu, buna göre ;

$w/t > 0{,}328\,S$ olduğu için yönetmeliğe göre aşağıdaki formüller kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$I_a = 399t^4\left[\frac{w/t}{S} - 0.328\right]^3 \le t^4\left[115\,\frac{w/t}{S} + 5\right] \quad (8)$$

I_a: rijitleştirici elemanın atalet momenti

$$\mathrm{I_a} = 399\mathrm{x}\,2^4\left[\frac{62/2}{31.3535} - 0.328\right]^3 \le 2^4\left[115\,\frac{62/2}{31.3535} + 5\right]$$

$I_a = 1841.43 \le 1899.25$

Güçlendirme elemanının atalet momenti yönetmeliğe uygundur. Tüm komponentler rijitleştirilmiş eleman gibi davranacaktır.

$$I_s = (d^3 t\,sin^2\theta)/12 \quad (9)$$

$\mathrm{I_s}$: rijitleştirici elemanın atalet momenti, elemanın yuvarlatılmış köşeleri hesaba katılmadığı varsayılarak

$$\mathrm{I_s} = ((16)^3 2\mathrm{x}\,1\,)/12 = 682.66\ \mathrm{mm}^4$$

$$R_I = I_s/I_a \le 1 \quad (10)$$

$\mathrm{R_I}$: rijitleştirici elemanın atalet momentlerinin oranları

$R_I = 682.66/1841.43 = 0.37 \le 1$ Yönetmeliğe uygundur.

b: efektif tasarım boyutu ise;

$$b_1 = (b/2)R_1 \quad (11)$$

$b_1 = (62/2)x0.37 = 11.49$m'dir

$$b_2 = b - b_1 \quad (12)$$

$b_2 = 62 - 11.49 = 49.51$ mm'dir

$$d_s = d_s'\,(R_1) \quad (13)$$

$d_s = 16\,x\,0.37 = 5.92\,mm$'dir

$\mathrm{d_s}$; Güçlendirici (rijitleştirici) elemanın etkili genişliği

$$n = \left(0.582 - \frac{w/t}{4S}\right) \ge \frac{1}{3} \quad (14)$$

$n = \left(0.582 - \frac{62/2}{4x31.3535}\right) = 0.334 \ge \frac{1}{3}$ yönetmeliğe uygundur.

$D/w = 16/62 = 0.25 < 0.25$ olduğu için aşağıdaki formül kullanılarak son boyut kontrolü yapılmıştır.

$$k = 3.57\,(R_I)^n + 0.43 \le 4 \quad (15)$$

k: Plaka bükülme katsayısı

$3.57\,(0.37)^{0.348} + 0.43 = 2.926 \le 4$ Yönetmeliğe uygundur.

En yaygın kullanılan basınç elemanları dudak eklenerek rijitleştirilmiş C profillerdir. Bu profillerin rijitleştirilmesi için eklenen dudak elemanın burkulma ve bükülme davranışı ile direk olarak etkilidir. Eklenen rijitleştirme elemanının en efektif boyutunu belirlemek profil tasarımı açısından önem arz etmektedir. Oluşturulacak bir hafif çelik yönetmeliğinde rijitleştirme elemanının boyutlarını belirlemek, tüm komponentlerin rijitleştirilmiş eleman gibi davranma kontrolünü yapmak ve son boyut kontrolü olan eleman bükülmesi davranışını incelemek için AISI100'de bulunan ve denklem 7'den denklem 15'e kadar tüm sınırlama ve hesaplamaların yönetmeliğe eklenmesi önerilmektedir.

3.1.1.2 Profil uygunluğunun EN yönetmelikleri'ne göre incelenmesi

Profil boyutları EN 1993-1-1 (2005) [4], EN 1993-1-3 (2006) [5] ve EN 1993-1-5 (2006) [6] göre kontrol edilmiştir. EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kullanılacağı kabul edilen S350, belirtilen yönetmelik incelemesinde S355 olarak değiştirilmiştir. Sac kalınlığı ise incelenen duvar paneli C profili için EN 1993-1-1(2005) [4]'de verilen sac sınıfına uygundur. İncelenen profil EN 1993-1-1 (2005) [4]'e göre tek açıklık kesitli profil sınıfına girmektedir. EN 10025-2'ye göre S355 sınıfı çelik için temel akma gerilmesi 355 N/mm², kopma gerilmesi ise 470 N/mm² olarak kabul edilmiştir. Tasarım kalınlığı 2 mm olarak kabul edilmiştir. EN 1993-1-3 (2006) [5] 'e göre;

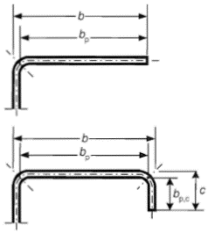
$$0.45\,mm \le t_{cor} \le 15mm \quad (16)$$

t_{cor}: S355 sac ruloya ait asıl kalınlık olmalıdır.

EN 1993-1-3(2006)[5]'de belirtilen kullanılacak malzemenin kalınlık aralığının olası bir hafif çelik yönetmeliğinde bulunması, temel malzeme özelliğinin belirlenmesi açısından uygun olacaktır. Ancak, malzeme kalınlık üst sınırının hafif çelik elemanlarının üretim koşulları göz önünde bulundurularak
4 mm ile sınırlandırılması önerilmektedir. Tasarım aşamasında seçilen kalınlık yönetmeliğe uygundur. Malzeme toleransının %5 olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak kalınlık, tolerans %5 olduğu için aynen kullanılmıştır.

$$t = t_{cor} \qquad tolerans \le \%5 \quad (17)$$

Kısmi rijitleştirilmiş C profiller için (Şekil 10);



Şekil 10: Soğuk büküm U ve C profillere ait ölçülendirmeler [5].

$$b/t \leq 60 \quad ve \quad c/t \leq 50 \tag{18}$$

b: Gövde boyutu

t: Profil kalınlığı

c: Dudak boyutu

$$\frac{b}{t} = 70/2 = 35 \leq 60$$

Gövde boyutu ve kalınlık oranı yönetmelik şartlarını sağlamaktadır.

$$\frac{c}{t} = 20/2 = 10 \leq 50$$

$$0.2 \leq c/b \leq 0.6 \tag{19}$$

$$\frac{c}{b} = 20/70 = 0.285 \leq 0.6$$

Dudak ve gövde boyutlarının oranı yönetmelik sınırları içerisindedir. Tasarım için kabul edilen boyutlar yönetmeliğe uygundur.

Basınç elemanları için profil efektif boyutların hesaplamaları EN 1993-1-5(2006) [6]'e göre hesaplanmıştır. Gövde'ye uygulanan gerilmelerin düzgün yayılı ve eşit olduğu kabul edilmiş, buna göre efektif boyutlar hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \tag{20}$$

ε: F_y'ye bağlı faktör

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.814$$

Basınç elemanları için burkulma katsayısı, EN 1993-1-3 (2006) [3]'e göre net dudak boyutunun net gövde boyutuna oranına bağlıdır:

$$\begin{cases} \frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0.35 \text{ ise, } k_\sigma = 0.5 \\ 0.35 \leq \frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0.6 \text{ ise, } k_\sigma = 0.5 + 0.83\sqrt[3]{\left(b_{p.c}/b_p - 0.35\right)^2} \end{cases} \tag{21}$$

b_{pc}: Rijitleştirici eleman (dudak) etkili boyutu

b_p: Gövde etkili boyutu

k_σ : Bükülme faktörü

$\frac{18}{66} = 0.273$ olduğundan,

$k_\sigma = 0.5$'dir.

Rijitleştime elemanının efektif boyutu EN 1993-1-3 (2006) [5] yönetmeliğine göre azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır. Kısmi rijitleştirilmiş (sondan tek parça ile) elemanlar için azaltma faktörü EN 1993-1-3 Bölüm 5.5.3.2. (4)'e göre rijitleştirilmemiş elemanlar ile aynı şekilde hesaplanmaktadır. Azaltma faktörü ve efektif gövde boyutları plaka elemanlar için EN1993-1-5 (2006) [6]'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\sigma_{cr.s} = \frac{\pi^2 E I_s}{A_s . a^2} \tag{22}$$

$\sigma_{cr.s}$: Kritik elastik plaka bükülme gerilmesi

$$\sigma_{cr.s} = \frac{3.14^2 x 210000. x(2.20^3/12)}{2.20 x 18^2} = 67839.5\ N/mm^2$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \tag{23}$$

λ_p: Plaka narinliği

$$\lambda_p = \frac{355}{67839.5} = 0.0052$$

$$\rho = 1.0 \quad \lambda_p \leq 0.748 \tag{24}$$

$$\rho = \frac{\lambda_p - 0.188}{\lambda_p^2} \leq 1.0 \quad \lambda_p > 0.748 \tag{25}$$

$$\psi = 1$$

ρ: Plaka bükülme azaltma faktörü

ψ: stres oranı

$$b_{eff} = \rho . b_p \tag{26}$$

b_{eff} : efektif gövde boyutu

$$b_{eff} = 1 . 66 = 66mm$$

$$b_{e1} = 0.5\, x b_{eff} \tag{27}$$

b_{e1}: efektif gövde kısmi boyutu

$$b_{e1} = 0.5x\ 66 = 33mm$$

$$b_{e2} = 0.5 x b_{eff} \tag{28}$$

b_{e2}: efektif gövde kısmi boyutu

$$b_{e2} = 0.5\ x66 = 33\ mm$$

Hesaplanan azaltma faktörü, efektif dudak boyutu hesaplamalarında kullanılmıştır [5].

$$c_{eff} = \rho x b_{pc} \tag{29}$$

c_{eff}: efektif rijitleştirici eleman (dudak) boyutu

$$c_{eff} = 1 . 18 = 18\ mm$$

Bölüm 3.1.1.1'de verilen rijitleştirici eleman(dudak) tasarım hesap ve sınırlandırmasına ek olarak, rijitleştirici elemana (dudak) üst sınır belirtmesinden ve elemanın narinliğe bağlı olarak bükülmesini daha kapsamlı kontrol etmesi nedeniyle formül 21'den formül 29'a kadar olan sınırlandırma ve hesaplamaların oluşturulacak hafif çelik yönetmeliği kapsamında olması önerilmektedir.

3.1.1.3 Sonuçların karşılaştırılması ve emniyet gerilmesi yöntemine göre basınç elemanı kontrolü

Moment kapasitesinin hesaplanması için ilk aşamada ağırlık merkezi ve profilin iki yönde atalet momentleri hesaplanmıştır. Elle yapılan hesaplamalar Sap2000'de modelleme aşamasında kullanılmak üzere oluşturulan kesitler ile karşılaştırılarak model ve kağıt üzerinde yapılan hesaplamaların paralel olarak devam etmesi sağlanmıştır.

Bulunan atalet momenti ve tarafsız eksen konumu kullanılarak profilin kesit modülü hesaplanmış, yönetmeliğe göre kabul edilen akma gerilmesi de kullanılarak profilin taşıyabileceği maksimum moment hesaplanmıştır.

Profilin ağırlık merkezi bulunarak, I_x ve I_y atalet momentleri sırasıyla hesaplanmıştır.

$$Y_x = 48.300/644 = 75\ mm$$

$$Y_y = 15.060/644 = 23.39\ mm$$

Atalet momentleri;

$$I_x = 1271317\ mm^4$$

$$I_y = 212328.69\ mm^4$$

Basınç elemanı olan C profili için kapasite hesaplamaları AISI S100 yönetmeliğinde bulunan basınç elemanları bölümüne göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma_{ex} = \frac{\pi^2.E}{(K_x.L_x/r_x)^2} \quad (30)$$

K_x: Efektif uzunluk katsayısı (AISI S100'e göre 1 kabul edilmiştir)

L_x: Burkulma elemanının x eksenine uzaklığı

r_x: Kesitin aksa uzaklığı

$$\sigma_{ex} = \frac{3.14^2 x2\ x\ 10^{11}}{(1x0.075/0.075)^2} = 19.72x10^{11}\ N/m^2$$

$$r_0 = \sqrt{{\sigma_x}^2 + {\sigma_y}^2 + {X_0}^2} \quad (31)$$

r_0: Kesme merkezine göre kesitin polar yarı çapı

$\sigma_{x,y}$: Aks merkezlerine göre polar yarı çap

X_0: x ekseninden kesme merkezine olan uzaklık

$$r_0 = \frac{\sqrt{58.7^2 + 27.8^2 + 23.3^2}}{10^3} = 0.069\ m$$

$$\sigma_t = \frac{1}{Ax\ r_0}\left[GxJ + \frac{\pi^2 xExC_w}{(K_t xL_t)^2}\right] \quad (32)$$

A: tüm kesit alanı

G:Çeliğin kesme modülü($7.93\ x\ 10^9$ N/m^2)

J: Kesitin Saint Venant katsayısı

($J = \sum \frac{b't^3}{3}$ formülü ile hesaplanmıştır)

E: Çeliğin elastisite modülü($210\ x\ 10^9$N/m^2)

C_w: Torsyonel katlanma katsayısı

K_t: Efektif uzunluk faktörü (2 ucundan sabitlenmiş elemanlar için 0.65 kabul edilmiştir)

L_t: Burkulacak elemanın net uzunluğu

$$\sigma_t = \frac{1}{644x10^{-6}x\ 0.069}\left[7.93x10^9 x624x10^{-12} + \frac{3.14^2 x2x10^{11}x1}{(0.65x150x10^3)^2}\right]$$

$$\sigma_t = 46.6739x10^6 N/m^2$$

$$F_{cre} = \frac{\sigma_t x\sigma_{ex}}{\sigma_t + \sigma_{ex}} \quad (33)$$

F_{cre}: Uygulanabilir en düşük elastik burkulma stresi

$$F_{cre} = \frac{46.6739x10^6 x19.72x10^{11}}{46.6739x10^6 + 19.72x10^{11}} = 46.673x10^6$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}} \quad (34)$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{350x10^6}{46.673x10^6}} = 2.738$$

$$\lambda_c \geq 1.5\ ;$$

$$F_n = \left(\frac{0.877}{{\lambda_c}^2}\right)xF_y \quad (35)$$

$$F_n = \left(\frac{0.877}{2.738^2}\right)x350x10^6 = 40.944x10^6 N/m^2$$

$$P_{ne} = A_g x F_n \quad (36)$$

A_g: Kesit alanı

$$P_{ne} = 644x10^{-6}\ x\ 40.944x10^6 = 26367.94\ N$$

$$P \leq P_{ne}/\Omega_c \quad (37)$$

P_{ne}.: Eksenel Kuvvet

Ω_c : Tepki katsayısı

P: Analiz sonucu bulunan eksenel kuvvet

$$P_{maks} \leq \frac{26367.94}{1.8} = 14.648kN$$

Son olarak en yüksek yük taşıyan örnek C profilinin SAP2000'de yapılan analize göre taşıdığı yük P_{maks}=2.7 kN'dur. Bu değerle karşılaştırıldığında yapının tasarımı için seçilen C profilinin uygun olduğu görülmüştür.

Yapılan analiz sonucunda elemana etkiyen en yüksek yüke göre tasarımı yapılan elemanın yeterlilik kontrolü oluşturulacak hafif çelik yönetmeliğinin kapsamında bulunması gerektiğinden AISI100 kapsamında bulunan eleman kapasite hesaplamalarının yönetmelik dahilinde olması önerilmektedir. Bölüm 3.1.1.3'te verilen formüller ve hesaplamalar dudak eklenerek rijitleştirilmiş elemanlar içindir. Yönetmelik kapsamında farklı rijitleştirme yöntemlerine göre kapasite hesaplamaları yine AISI100'den eklenmesi önerilmektedir.

3.1.2 Şase (döşeme) C (300x70x20x2) profilinin incelenmesi

Profil ilk olarak AISI S100 yönetmeliğine daha sonra EU 1993-1 yönetmeliklerine göre incelenmiştir. Her iki yönetmeliğe göre yapılan kontroller sonucunda tasarım aşamasına seçilen profil boyutlarının kendi içerisinde uygunluğu teyit edilmiştir. Kapasite hesaplamalarında kullanılacak yönetmeliğe karar verildikten sonra, profil için maksimum moment kapasitesi hesaplanmıştır. Bulunan sonuç en son olarak SAP2000'de yapılan analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle profilin yönetmeliklere göre hem tasarım açısından kendi içinde uygunluğu, hem de yapı içerisinde çalışması kontrol edilmiştir.

3.1.2.1 Profil uygunluğunun AISI S100'e göre incelenmesi

C profil kısmi rijitleştirilmiş basınç ve çekme elemanıdır. Profil tasarımda basit dudak (lip) ile rijitleştirildiği için profil eni ve kalınlık oranının aşağıda verilen değerden düşük olması gerekmektedir [1].

$$W_{etkili}/_{t} \leq 60 \quad (38)$$

W_{etkili} : Etkili profil gövde(en) genişliği

t: Profil kalınlığı

$$W_{etkili} = W - 2\ x\ (t + R)$$

$$W_{etkili} = 70 - 2\ x\ (2 + 2) = 62\ mm$$

$$W_{etkili}/_{t} = 62/_{2} = 31$$

$31 \leq 60$ gövde boyutu yönetmeliğe uygundur.

Başlık etkili boyutu (h) aşağıda verilen oranların altında olmalıdır.

$(h/t)_{maks} = 260$ (Kısmi rijitleştirilmiş elemanlar için) (AISI S100, sf 17, B1.2b1)

$$h = f - 2\ x\ t \quad (39)$$

h: profil başlık ölçüsü

$$h = 300 - 2\ x\ 2 = 296\ mm$$

$h/t = 296/2 = 148 < 260$ Yönetmeliğe göre başlık boyutu uygundur.

AISI S100 yönetmeliğine göre kısmi rijitleştirilmiş (dudak (lip) eklenerek) elemanların boyut kontörlü aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$S = 1.28\sqrt{E/F_y} \quad (40)$$

E: Elastisite modülü (S350 çelik için 210GPa kabul edilmiştir.)

F_y: Akma gerilmesi

$$S = 1.28\sqrt{210000/350} = 31.3535$$

$$0.328\ S = 0.328\ x\ 31.3535 = 10.284$$

$w/t = 31$ olarak bulunmuştu, buna göre;

$w/t > 0.328\ S$ olduğu için yönetmeliğe göre aşağıdaki formüller kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

$$I_a = 399t^4\left[\frac{w/t}{S} - 0.328\right]^3 \leq t^4\left[115\ \frac{w/t}{S} + 5\right] \quad (41)$$

I_a: Rijitleştirici elemanın atalet momenti

$$I_a = 399x\ 2^4\left[\frac{62/2}{31.3535} - 0{,}328\right]^3 \leq 2^4\left[115\ \frac{62/2}{31.3535} + 5\right]$$

$$I_a = 1841.43 \leq 1899.25$$

Güçlendirme elemanının yeterli atalet momenti yönetmeliğe uygundur. Tüm komponentler güçlendirilmiş eleman gibi davranacaktır.

$$I_s = (d^3 t\ sin^2\theta)/12 \quad (42)$$

I_s: Tüm rijitleştirme elemanlarının rijitleştireceği elemana paralel aksa göre atalet momenti

$$I_s = (20^3 2x\ 1)/12 = 1333.33\ mm^4$$

$$R_I = I_s/I_a \leq 1 \quad (43)$$

$R_I = 1333.33/1841.43 = 0 \leq 1$ Yönetmeliğe uygundur.

b : Efektif tasarım boyutu ise;

$$b_1 = (b/2)R_1$$

$$b_1 = (62/2)x0.724 = 22.45\ mm\text{'dir}$$

$$b_2 = b - b_1$$

$$b_2 = 62 - 22.45 = 39.55\ mm\text{'dir}$$

$$d_s = d_s'\ (R_1)$$

$$d_s = 20\ x\ 0.724 = 14.48\ mm\text{'dir}$$

d_s: Güçlendirici (rijitleştirici) elemanın etkili genişliği

$$n = \left(0.582 - \frac{w/t}{4S}\right) \geq \frac{1}{3} \quad (44)$$

$n = \left(0.582 - \frac{62/2}{4x31.3535}\right) = 0.3348 \geq \frac{1}{3}$ yönetmeliğe uygundur.

$D/w = 10/62 = 0.1613 < 0.25$ olduğu için aşağıdaki formül kullanılarak son boyut kontrolü yapılmıştır.

$$k = 3.57\ (R_I)^n + 0.43 \leq 4 \quad (45)$$

k: Plaka bükülme katsayısı

$3.57\ (0.724)^{0.348} + 0.43 = 3.62 \leq 4$ yönetmeliğe uygundur.

3.1.2.2 Profil uygunluğunun EN Yönetmelikleri'ne göre incelenmesi

Profil boyutları EN 1993-1-1 (2005) [2], EN 1993-1-3 (2006) [3] ve EN 1993-1-5 (2006) [4] göre kontrol edilmiştir. EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kullanılacağı kabul edilen S350, belirtilen yönetmelik incelemesinde S355 olarak değiştirilmiştir. Sac kalınlığı ise incelenen duvar paneli C profili için EN 1993-1-1(2005) [2]'de verilen sac sınıfına uygundur. İncelenen profil EN 1993-1-1 (2005) [2]'e göre tek açıklık kesitli profil sınıfına girmektedir.

EN 10025-2'ye göre S355 sınıfı çelik için temel akma gerilmesi 355N/mm², kopma gerilmesi ise 470 N/mm² olarak kabul edilmiştir. Tasarım kalınlığı 2 mm olarak kabul edilmiştir. EN 1993-1-3 (2006) [3]'e göre;

$$0.45\ mm \leq t_{cor} \leq 15\ mm \quad (46)$$

Olmalıdır. Tasarım aşamasında seçilen kalınlık yönetmeliğe uygundur. Malzeme toleransının %5 olduğu kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak kalınlık, tolerans %5 olduğu için aynen kullanılmıştır.

$$t = t_{cor} \qquad tolerans \leq \%5 \quad (47)$$

EN 1993-1-3(2006) [3]'e göre tasarlanan kısmi rijitleştirilmiş C profiller için;

$$b/t \leq 60 \quad ve \quad c/t \leq 50$$

b: Gövde boyutu
t: Profil kalınlığı
c: Dudak boyutu

$$70/2 = 35 \leq 60$$

Gövde boyutu ve kalınlık oranı yönetmelik şartlarını sağlamaktadır.

$$20/2 = 10 \leq 50$$

$$0.2 \leq c/b \leq 0.6 \quad (48)$$

$$20/70 = 0.285 \leq 0.6$$

Dudak ve gövde boyutlarının oranı yönetmelik sınırları içerisindedir. Tasarım için kabul edilen boyutlar yönetmeliğe uygundur. Basınç elemanları için profil efektif boyutların hesaplamaları EN 1993-1-5(2006) [4]'e göre hesaplanmıştır. Gövdeye uygulanan gerilmelerin düzgün yayılı ve eşit olduğu

kabul edilmiş, buna göre efektif boyutlar aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (49)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.814$$

ε: F_y'ye bağlı faktör

Basınç elemanları için bükülme katsayısı (buckling factor), EN 1993-1-3 (2006) [3]'e göre net dudak boyutunun net gövde boyutuna oranına bağlıdır.

$$\frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0.35\ ise,\ \ k_\sigma = 0.5 \quad (50)$$

b_{pc}: Rijitleştirici eleman (dudak) etkili boyutu

b_p: Gövde etkili boyutu

k_σ : Bükülme faktörü

$$0{,}35 \leq \frac{b_{p.c}}{b_p} \leq 0{,}6\ ise,$$

$$k_\sigma = 0{,}5 + 0{,}83\sqrt[3]{(b_{p.c}/b_p - 0{,}35)^2}$$

$\frac{18}{66} = 0{,}273$ olduğundan, $k_\sigma = 0.5$'dir.

Rijitleştime elemanının efektif boyutu EN 1993-1-3 (2006) [3] yönetmeliğine göre azaltma faktörü ile hesaplanmaktadır. Kısmi rijitleştirilmiş (sondan tek parça ile) elemanlar için azaltma faktörü EN 1993-1-3 [3] Bölüm 5.5.3.2. (4)'e göre rijitleştirilmemiş elemanlar ile aynı şekilde hesaplanmaktadır. Azaltma faktörü ve efektif gövde boyutları plaka elemanlar için EN1993-1-5 (2006) [4]'e göre aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\sigma_{cr.s} = \frac{\pi^2 E I_s}{A_s . a^2} \quad (51)$$

$\sigma_{cr.s}$: Kritik elastik plaka bükülme gerilmesi

$$\sigma_{cr.s} = \frac{3.14^2 x\ 210000 x\ (2x20^3/12)}{2x20x18^2} = 213016.05\ N/mm^2$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \quad (52)$$

λ_p: Plaka narinliği

$$\lambda_p = \frac{355}{213016.05} = 0.0016$$

$$\rho = 1.0 \qquad \lambda_p \leq 0.748$$

ρ: Plaka bükülme azaltma faktörü

ψ: Stres oranı

$$\psi = 1$$

$$b_{eff} = \rho\ x\ b_p \quad (53)$$

b_{eff}: Efektif gövde boyutu

$$b_{eff} = 1x66 = 66\ mm$$

$$b_{e1} = 0.5\ x\ b_{eff} \quad (54)$$

b_{e1}: Efektif gövde kısmi boyutu

$$b_{e1} = 0.5x\ 66 = 33\ mm$$

$$b_{e2} = 0.5x\ b_{eff} \quad (55)$$

b_{e2}: Efektif gövde kısmi boyutu

$$b_{e2} = 0.5x\ 66 = 33\ mm$$

Hesaplanan azaltma faktörü, efektif dudak boyutu hesaplamalarında kullanılmıştır [3].

$$c_{eff} = \rho\ x\ b_{pc} \quad (56)$$

c_{eff}: Efektif rijitleştirici eleman (dudak) boyutu

$$c_{eff} = 1x\ 18 = 18\ mm$$

Profil elemanlarının aynı olması nedeniyle, oluşturulacak hafif çelik yönetmeliğine eğilme elemanı olan C profili için önerilen tasarım sınırlandırma ve hesaplamaları Bölüm 3.1.1.1 ile aynıdır. Tasarım şartlarında farklılık olmadığı, elemanın kullanım alanına göre basınç elemanı için maksimum yük, eğilme elemanı için maksimum moment hesaplanacağından kontrol aşamasında farklılıklar vardır.

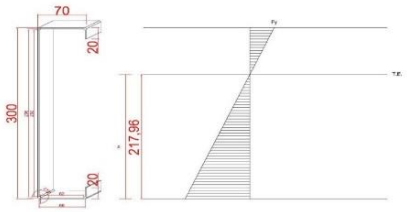
3.1.2.3 Tarafsız eksenin AISI100 ve EN yönetmeliklerine göre bulunması

İki yönetmeliğe göre hesaplanan efektif boyutlar kullanılarak tarafsız eksenin konumu Tablo 4 ve 5'e göre hesaplanmış, gerilme diyagramları (Şekil 11 ve 12) oluşturulmuştur.

Tablo 4: AISI 100'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen.

	Uzunluk	**T.E'ye uzaklık**	
w_{etkili}	62 mm	(x-1)	62x - 62
r	2 mm	(x-1)	2x -2
f_{etkili}	296 mm	(150-x)	-296x + 44400
r	2 mm	(300-1-x)	-2x + 598
b	(39.55+22.45)mm	(300-1-x)	-62x +18538
d	14.48mm	(290-x)	-14.48x + 4199.2

$$x = \frac{67671{,}2}{310{,}48} = 217.96\ mm$$

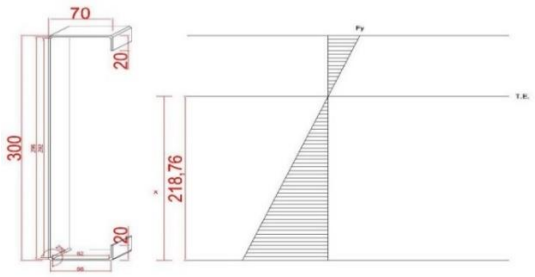


Şekil 11: Gerilme diyagramı (AISI 100 yönetmeliğine göre hesaplanan etkili boyutlara göre).

Tablo 5: EN 1993-1'e göre hesaplanan etkili boyutlara göre tarafsız eksen.

	Uzunluk	**T.E'ye uzaklık**	
w_{etkili}	62 mm	(x-1)	62x - 62
r	2 mm	(x-1)	2x -2
f_{etkili}	296 mm	(150-x)	-296x + 44400
r	2 mm	(300-1-x)	-2x + 598
b	(33+33)mm	(300-1-x)	-62x +18538
C_{eff}	18mm	(290-x)	-18x + 5.220

$$x = \frac{68.692}{314} = 218.76\ mm$$



Şekil 12: Gerilme diyagramı (EN 1993-1 yönetmeliklerine göre hesaplanan etkili boyutlara göre).

Yapılan hesaplamalar sonucunda güvenli bölgede kalmak adına eğilme elemanı için daha düşük moment kapasite sahip olacağından AISI yönetmeliğine göre hesaplanan değerler moment dayanım hesaplarında ve mevcut yapının kritik kesit kontrollerinde kullanılmasına karar verilmiştir.

3.1.2.4 Emniyet gerilmesi yöntemi'ne göre eğilme elemanı kontrolü

Bulunan atalet momenti ve tarafsız eksen konumu kullanılarak profilin kesit modülü hesaplanmış, yönetmeliğe göre kabul edilen akma gerilmesi de kullanılarak profilin taşıyabileceği maksimum moment hesaplanmıştır.

Profilin ağırlık merkezi bulunarak, I_x ve I_y atalet momentleri sırasıyla hesaplanmıştır.

C300x70x20x2 profilin ağırlık merkezi;

$$Y_x = 159600/1064 = 150\ mm$$

$$Y_y = 23640/1064 = 22.22\ mm$$

Atalet momentleri;

$$I_x = 13527818.7\ mm^4$$

$$Y_I = 847251.22\ mm^4$$

$$W_x = \frac{I_x}{Y_{max}}\ \text{(kesit modülü)} \qquad (57)$$

W_x : Kesit modülü

I_x : X eksenine göre atalet momenti (kuvvetli eksen)

Y_{max} : Tarafsız eksene uzaklık

$$W_x = \frac{13527818.7}{(218.76)} = 61833.6\ mm^3$$

$$M_x = W_x\ x\ F_y\ \text{(moment kapasitesi)} \qquad (58)$$

M_x : Moment kapasitesi

W_x : Kesit modülü

F_y : Akma gerilmesi

$$M_x = 61833.6x\ 350x0.6 = 12986123\ Nmm$$

$$M_x = 12986\ kNmm$$

En yüksek moment taşıyan örnek C profilinin SAP2000'de yapılan analize göre taşıdığı moment;

M=2908.16 kNmm

SAP2000'de oluşturulan modelden en yüksek moment taşıyan eleman değeri ile profilin taşıyabileceği en yüksek moment değeri karşılaştırılmış, profil boyutlarının uygunluğu kontrol edilmiştir. Yapının tasarımı için seçilen C profilinin uygun olduğu görüşmüştür.

Basınç elemanı için yapılan yük kontrolünün yanı sıra cephe karkası yatay elemanı ve şase(döşeme) elemanlarının moment kapasitelerinin hesaplanması ve yapılan bilgisayar analizi ile karşılaştırılması için eğilme elemanı kontrolünün de oluşturulabilecek hafif çelik yönetmeliğine eklenmesi önerilmektedir.

4 Sonuçlar

Soğuk büküm profiller için Türkiye'de kullanılan kapsamlı bir yönetmelik olmamasından dolayı, ilk başta kullanılacak sacın malzeme özellikleri EN 10025-2 ve EN 10025-5 çelik sınıflarına ait yönetmeliklere göre kabul edilmiştir. Kullanılacağı kabul edilen sac için AISI ve EN yönetmeliklerine göre akma değerleri değiştiğinden, kapasite hesaplamalarında en düşük değer esas alınmıştır. Kalınlığı 4 mm'den yüksek sıcak hadde profiller ve kalınlığı 4 mm'nin altında olan soğuk büküm profillerin plaka davranışları farklılık göstermektedir. Gerekli ve gerçekçi boyut hesaplarının yapılabilmesi için AISI ve EN yönetmeliklerine göre tasarım kontrolleri yapılmıştır.

İki yönetmelikle yapılan hesaplamalar karşılaştırıldığında rijitleştirici eleman (dudak)'nın boyut sınırlamasının net olarak EU 1993-1'de tarif edilmesi ile birlikte, AISI'ya göre ise atalet momenti sınırlamasına göre hesaplamaların sonunda incelenmektedir. Başlık boyut kontrolü için ise AISI'da net boyut kontrolü yapılmasına karşın EU 1993-1 yönetmeliklerinde rijitleştirilmemiş başlık boyut kontrolü yapılamamıştır. AISI'da profil boyut kontrolünün aynı yönetmelik içerisinde birbirini takip eden bölümlerde olması kontrollerde kolaylık sağlamıştır. Ancak, EU 1993-1 yönetmeliklerine göre tasarım incelendiğinde her boyut kontrolünde birden fazla yönetmeliğe başvurulması gerekmiştir. Örneğin, hesaplamalarda da görüldüğü gibi kalınlık ilk aşamada EN 1993-1-1'e göre kontrol edilmiş, daha sonra kalınlık ve temel boyut oranı kontrolleri EN 1993-1-3'e göre yapılmıştır. Efektif boyutların ilk aşaması EN 1993-1-5'e göre, rijitleştirici eleman efektif boyutu son kontrolü ise EN 1993-1-3'e göre yapılmıştır. Yapılan tüm kontroller sonucunda hesaplamalarda kullanılmasına karar verilen efektif boyutlar seçilerek taşıma kapasitesi hesaplarına geçilmiştir.

Yapıların tasarımında çok önemli faktörlerden biri de yük kombinasyonlarının oluşturulmasıdır. Deprem yüklerinin göz önünde bulundurulması için yerel, bölgenin depremselliğini göz önünde bulunduran kaynaklardan faydalanılmalıdır. Bu sorunu göz önünde bulunduran bir hafif çelik yönetmeliği olmadığından, yük kombinasyonları Resmi Gazetede yayınlanan (kalınlığı 4 mm üzerinde olan çelik elemanlar ile oluşturulan yapıları kapsayan) Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik'ten [17] alınmıştır. Deprem ivme değerleri için ise DBYBHY 'den betonarme ve ağır çelik yapılar için kullanılan koşullar kabul edilip, ivme spektrumu oluşturulmuştur [13].

İncelenen yayınlarda karşılaşılan önemli bir eksiklik; bağlantı aralıkları, bağlantı elemanı, tesisat boşlukları nedeniyle oluşan zayıflıkları kontrol altına alan bir yönetmelik bulunmamasıdır. Bu yüzden birçok detay kontrol edilmemektedir. Mevcut projelerde statik hesaplamaların yapılması ve yapının yönetmeliklere göre incelenmesi istendiğinde yapı profillere ayrılarak incelenmektedir. Dolayısıyla bu incelemeler sonucunda verilen raporların yapıyı tamamen kapsadığını söylemek mümkün olmamaktadır.

Oluşturulabilecek bir Hafif Çelik yönetmeliğinde; tasarım için bu makale çalışmasında kullanılan AISI S100 yönetmeliğinden yararlanarak gövde ve başlık boyut kontrolleri, EN 1993-1-3'den yararlanılarak rijitleştirici uç eleman boyut kontrolü eklenebilir. Ek olarak analiz için kullanılacak yük kombinasyonları için Resmi Gazete'de yayınlanan Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik'te bulunan kombinasyonlar için yönetmelikte atıfta bulunulabilinir. Basınç elemanı için yapılacak olan eksenel kuvvet kontrolü için AISI S100 yönetmeliği altında bulunan tek yönde ve çift yönde simetrik elemanlar için kapasite kontrolü eklenebilir. Bu çalışma kapsamındaki hesaplamalarda esas alınan yönetmelik ve standartlar Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6: Hesaplamalarda esas alınan yönetmelikler.

	AISI 100	EU	TS
Başlık Boyut Kontrolü Rijitleştirilmemiş	AISI 100	-	
Rijitleştirici Uç Eleman Boyut Sınırlandırılması	-	EU 1993-1-3	
Kalınlık kontrolü	AISI 100	EU 1993-1-1 ve EU 1993-1-3	
Efektif Eleman Boyutları	AISI 100	EU 1993-1-3 Ve EU 1993-1-5	
Hesaplamaya Esas Yükler			TS 498
Analize esas Yük Kombinasyonları			Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına dair Yönetmelik (4 mm üstü elemanlar için)
Modal Analiz'e Esas Spektrum Hesaplamaları			DBYBHY 2007

Türkiye içerisinde inşa edilen konut ve mobilizasyon yapılarının yanı sıra Ortadoğu, Afrika gibi hızlı mobilizasyon desteği arayan bölgelere ağırlıklı hizmet Türkiye'den yapılmaktadır. Büyük bir pazara sahip olan büyük, orta ve küçük ölçekli üreticiler için, oluşturulacak bir yönetmelikte, dünyada yaygın olarak kullanılan yönetmeliklerden de yararlanılarak, sadece kesit kontrol ve kapasite hesaplamalarını kapsamayan; aynı zamanda bağlantı detayları, profil zayıflıkları, limit deformasyonları da kapsayan uzun süreli yapısal güvenilirlik ve performans değerlendirmelerini göz önünde bulunduran ek kontrollerin de bulunması üretici ve denetleyici kurumların detaylı hesap ve kontrolleri yapmasına olanak sağlayacaktır.

5 Kaynaklar

[1] Güneş SA. Hafif Çelik Yapıların Farklı Yönetmeliklere Göre İncelenmesi, Mevcut Kontrol Şartları ve Oluşturulabilecek Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde Vurgulanması Önerilen Konular. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.

[2] Jackson AA. *The Development of Steel Framed Buildings in Britain1880-1905, Construction History*. UK, Leeds,1998.

[3] AISI S100. "North American Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members". 2007 Edition, USA, AISI, 2007.

[4] Boissonnade N. Greiner R, Jaspart JP, Lindner J. EN 1993-1-1. "Eurocode 3: Design of Steel Structures Part1-1: General Rules for Buildings". EU, ECCS, 2005.

[5] European Committee for Standardization, EN 1993-1-3. "Eurocode 3: Design of Steel Structures Part1-3: General Rules, Supplementary Rules for Cold Formed Members and Sheetings". EU, CEN, 2006.

[6] European Committee for Standardization, EN 1993-1-5. "Eurocode 3: Design of Steel Structures Part1-5: General Rules, Plates Structural Elements". EU, CEN, 2006

[7] SAP2000. "Structural Analysis Program-İntegrated Finite Element Analysis and Design of Structures. Analysis Reference". Berkeley, California, 2012.

[8] Türk Standardları Enstitüsü. "Çelik Yaplar-Hafif-Soğukta Şekil Verilmiş Profillerle Oluşturulan-Hesap Kuralları". Ankara, Türkiye, 11372, 1994.

[9] Türk Standardları Enstitüsü. "Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları". Ankara, Türkiye, 648, 1980.

[10] Türk Standardları Enstitüsü. "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri". Ankara, Türkiye, 498, 1997.

[11] Türk Standardları Enstitüsü. "Konutlar ve Kamu Binalarında Kullanım ve Yerleşim Yükleri". Ankara, Türkiye, 6793, 1989.

[12] Türk Standardları Enstitüsü. "Depreme Dayanıklı Yapıların Projelendirilmesi Tedbirleri". Ankara, Türkiye, TSE ENV, 1998.

[13] DBYBHY-2007. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Ankara, Türkiye, 2007.

[14] Errera SJ, Popowich DW, Winter G. "Bolted and welded stainless steel connections". *Journal of the Structural Division, ASCE Proceedings,* 100(6), 1279-1296, 1974.

[15] Rang TN, Galambos TV, Yu WW. "Load and Resistance Factor Design of Cold-Formed Steel: Statistical Analysis of Mechanical Properties and Thickness of Materials Combined with Calibrations of the AISI Design Provisions on Unstiffened Compression Elements and Connections". University of Missouri-Rolla, Second Progress Report, January, USA, 1979.

[16] Yu WW. *Cold-Formed Steel Design*. New York, USA, Wiley-Interscience, 1985.

[17] Zeynalian M, Shelley A, Ronagh HR. "An experimental study into the capacity of cold-formed steel truss connections". *Journal of Constructional Steel Research*, 127, 176-186, 2016.

[18] Wang B, Gibert BP, Guan H, Teh LH. "Shape optimisation of manufacturable and usable cold-formed steel singly-symmetric and open columns". *Thin-Walled Structures*, 109, 271-284, 2016.

[19] Yu C, Yu GW. "Experimental investigation of cold-formed steel framed shear wall using corrugated steel sheathing with circular holes". *Journal of Structural Engineering*, 142(12), 04016126-1-9, 2016.

[20] Chung KF. "Structural performance of cold-formed steel structures with bolted connections". *Advances in Structural Engineering*, 8(3), 231-245, 2005.

[21] Kim TS, Kuwamura H. "Finite element modeling of bolted connections in thin-walled stainless steel plates under static shear". *Thin-Walled Structures*, 45(4), 407-421, 2007.

[22] Resmi Gazete. "Çelik Yapıların Tasarımı Hesap ve Yapım Esaslarına Dair.