

DEPREM BÖLGELERİNDE HAFİF ÇELİK YAPIM SİSTEMLERİYLE ÜRETİLEN KONUTLARIN UYGULANABİLİRLİĞİ

Savaş EKİNCİ¹, Özlem EŞSİZ¹
essiz@msu.edu.tr

Öz:Hafif çelik elemanların sınırlı açıklık geçebilme yetenekleri göz önüne alındığında konut gibi büyük açıklık gerektirmeyen yapılar için uygun olduğu görülür. Yüklerinin özellikle de yatay yüklerin karşılanması strüktürel zorlamalar getireceğinden hafif çelik yapım sistemi, az katlı yapılarda tercih edilmelidir. Üretim, nakliye, montaj kolaylıkları, yapım süresinin kısa oluşu küçük yapılar için tercih edilmesinde önemli rol oynar. Yapı ölü yükünün, diğer yapım sistemlerine göre daha az olması, deprem yükleri karşısında sistemi avantajlı kılar. Bu doğrultuda deprem bölgelerinde hafif çelik yapım sistemleriyle üretilen konutların uygulanabilirliği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif Çelik, Bükme Saç Profil, Konut

Giriş

Deprem yükleri göz önüne alındığında, yapıların strüktürel etkinlikleri ön plana çıkmaktadır. Strüktürün yükler karşısındaki performansı ile yapı ağırlığı karşılaştırıldığında çelik yapılar, deprem bölgelerinde uygulanabilecek etkin strüktürlerden biridir. Geleneksel çelik elemanlar ile büyük açıklıklı ve yüksek yapılar yapmak mümkündür. Strüktürel etkinliği göz önüne alındığında, geleneksel çelik elemanların geçebileceğinden daha az açıklıklarda ve yüksekliklerde kullanılması, ekonomik olmayacaktır. Geleneksel çelik sistemlerin daha karmaşık organizasyon, kalifiye ve ağır işçilik gerektiren inşası büyük yapılar için daha uygundur. Bu amaçla deprem bölgelerinde, konut gibi küçük yapılarda hafiflik, hızlı ve prefabrike üretim, ekonomi gibi kriterlere göre hafif çelik sistemler bir alternatif olarak görülmektedir.

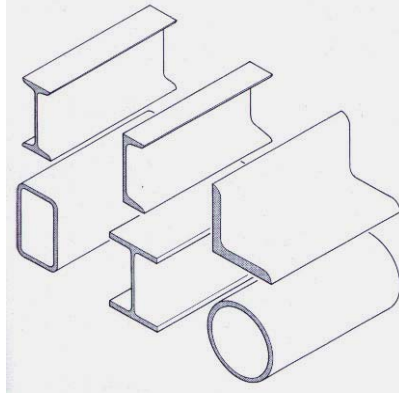
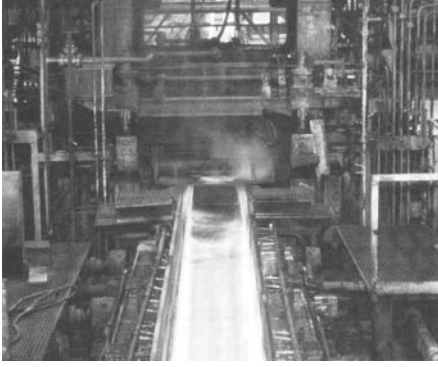
İngiltere’de 1779 yılında, Severn nehri üzerine inşa edilen 31m açıklıklı dökme demir köprü ve Joseph Poxton tarafından 1851 yılında yapılan Crystal Palace, gibi ilk örneklerin ardından özellikle II. Dünya Savaşının sonra geniş açıklıklı yapılar ve yüksek yapılar başta olmak üzere bir çok yapıda çelik yaygın olarak kullanılan bir malzeme olmuştur. Soğuk şekillendirilmiş hafif çelik malzemeler ise ilk 1950’lerden sonra konvansiyonel çelik yapıların döşeme, bölücü duvar ve cephe sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Hafif çelik profillerin strüktür kurgusunu oluşturduğu ve “light gauge steel systems” olarak nitelenen yapılar, 1970 sonrasında Kuzey Amerika’da konut üretimine yönelik olarak ortaya çıkmıştır. Bugün Amerika başta olmak üzere Almanya, İngiltere ve kuzey Avrupa ülkelerinde, az katlı ve küçük yapılarda kullanılmaktadır.

Sistemde Kullanılan Elemanlar

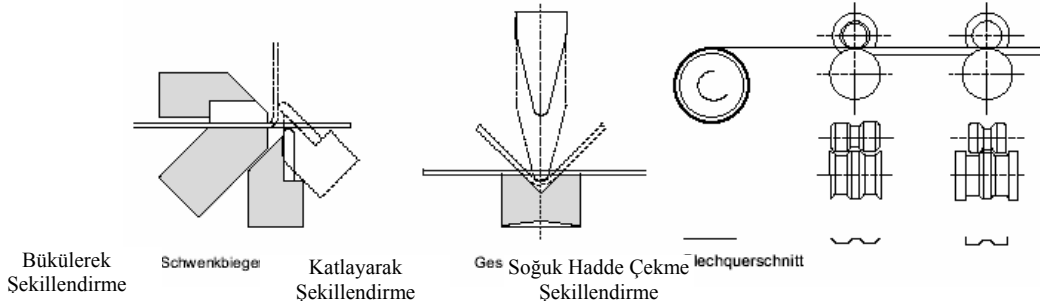
Çelik malzemenin, sıcak hadde mamulü profiller şeklinde, yapılarda kullanımı yaygındır. Sıcak hadde mamulü profiller, ergitilmiş çeliğin tavlanarak haddeden çekilmesiyle (resim 1a) elde edilirler. I profiller, U profiller, köşebent, lama, dolu kesitli çubuklar, kutu ve boru kesitli profiller şeklinde üretilirler. (resim 1b) Sıcak hadde mamulü elemanlar genellikle kolon ve kirişler şeklinde bir çerçeve sistemi oluşturmaya uygundur. Taşıyıcı strüktürü oluşturan profillerin cidar kalınlıkları 5 mm ile 40 mm arasında değişir. Bu sistemi konvansiyonel çelik yapım sistemi olarak nitelemek, hafif çelik sistem kavramının aydınlatılmasında, karışıklığı önleyici olacaktır.

Konvansiyonel çelik sistemler, dünyada uzun zamandır kullanılmasına karşın, hafif çelik sistemlerin yapı üretiminde kullanılması dünyada son 30 yılı kapsamaktadır. Türkiye’de ise bu sistem oldukça yenidir. Hafif çelik yapım sistemini oluşturan Hafif çelik profiller ise, kalınlığı 0.5 mm ile 2 mm arasındaki sacların soğuk hadde, presleme veya bükülmesi suretiyle elde edilen malzeme ve profillerdir. U profiller, C profiller, Σ profiller en yaygın kullanılan elemanlar olmakla birlikte çok daha farklı çeşitlerde profiller elde edilebilir. Soğuk hadde çekme yöntemini, sac levhalardan kesilmiş, çelik şeritlerin, bir bant boyunca silindirler arasından çekilmesi suretiyle ya da presler ile bükülerek profillendirilmesi işlemi olarak açıklanabilir.(soğuk şekillendirme) (resim 2)

¹ MSGSU Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Bilim Dalı

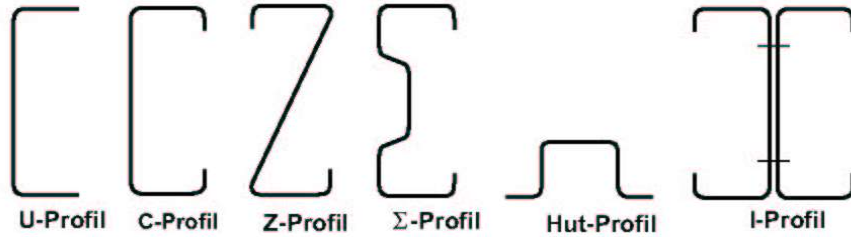


Resim 1 Konvansiyonel çelik profillerin sıcak hadde çekme yöntemiyle üretimi ve Konvansiyonel, dolu gövdeli hadde mamulü elemanlar.



Resim 2 Sac levhaların bükülerek yada bir bant boyunca silindirlerden çekilerek soğuk şekillendirilmesi.

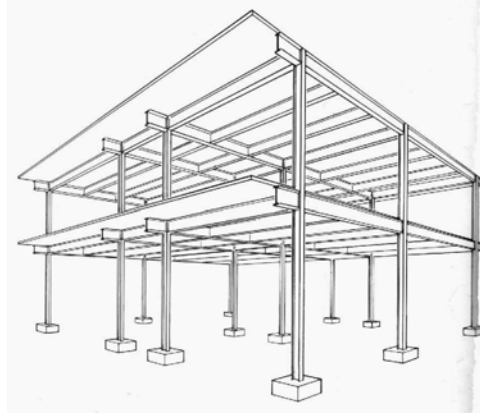
Hafif çelik Yapım sisteminde, Alman DAST-richtline 016 ve Eurocode 3 standartlarınca, strüktürde kullanılacak hafif çelik elemanların cidar kalınlıkları 1mm ile 2.5 mm arasında olmalıdır. Hafif çelik elemanların profil yüksekliği 100-275 mm ve flanş genişliği ise 50-80 mm arasındadır. Profilin tek başına yükleri karşılayamadığı durumlarda profiller birleştirilerek bileşik kesitli profiller oluşturulur. Profil kesitlerine ve düzenlenme aralığına göre, hafif çelik dikme elemanlar 250 cm -350 cm uzunluğunda kullanılır. Kirişlemeler ise düzenlenme aralığına bağlı olarak 200cm-650 cm arasında açıklık geçebilirler. Ancak bu değerler konut gibi yapı yüklerinin ve hareketli yüklerin büyük olmadığı durumda optimum açıklık ve yüksekliklerdir. (tablo 2 ve tablo 3)



Resim 3 Soğuk şekillendirilmiş çeşitli hafif çelik profiller.

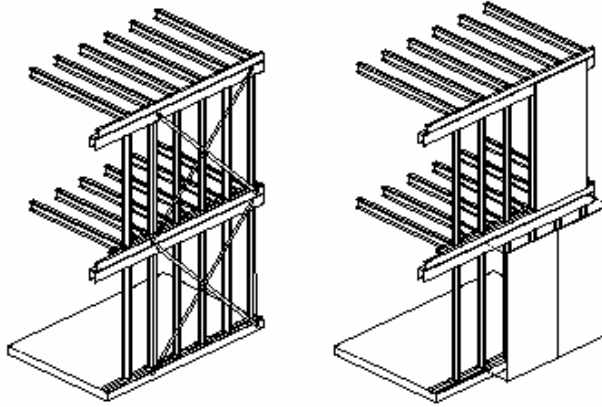
Strüktür Kurgusu

Konvansiyonel çelik sistemlerde; çerçeve strüktür kurgusu yaygın olarak uygulanmaktadır. Çerçeve sistemlerde, elemanlar yapı yüklerine karşı moment aktaracak biçimde rijit bağlanarak birlikte çalışması sağlanır. Konvansiyonel çelik sistemlerde çerçeve kolon ve kirişlerden meydana gelir. Döşemeler; asmolen, prefabrike beton elemanlardan, çelik beton kompozit elemanlar vb. şeklinde oluşturulur. Duvarlar ise taşımaya katılmayan prefabrike beton elemanlar, cam, giydirme cephe elemanlar, metal pano ve panellerden oluşturulabilir.



Resim 4 konvansiyonel çelik elemanlardan oluşan çelik çerçeve sistem

Hafif çelik sistemlerde ise, duvarlar 40-60 cm arayla düzenlenmiş hafif çelik profil dikmelerden, döşemede aynı şekilde 40-60 cm arayla düzenlenmiş kirişlemelerden oluşturulur. Tüm bu kurgu betonarme temel duvarları üzerinde yer alır. Sistemin stüktürel kurgusu tamamen ahşap karkas strüktür ile benzerlik gösterir. Hafif çelik sistemler, temel olarak bir karkas sistem olsa da çerçeve davranışından ziyade, taşıyıcı duvarlardan oluşmuş sistem davranışı gösterir. Taşıyıcı duvar davranışı göstermesinin nedeni, dikmelerin çaprazlanarak rijitlenmesi ve yüzeye kaplanan yapay ahşap panolar ile kompozit olarak çalışmasıdır.



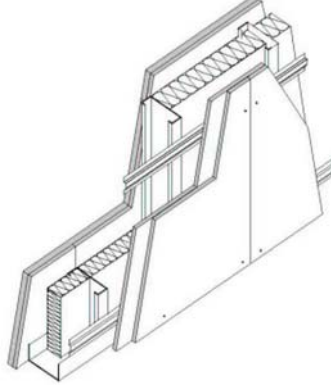
Resim 5 Hafif çelik strüktür kurgusu

Yatay Yüklere Karşı Dayanım ve Rijitleme

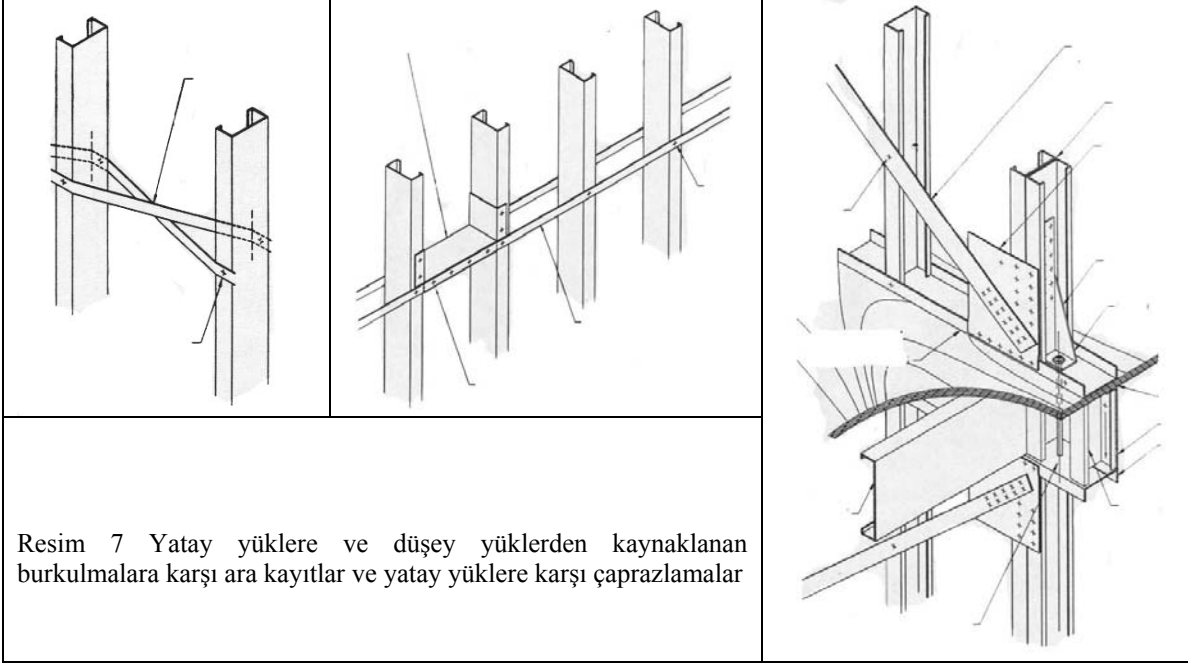
Hafif çelik sistemlerde Alman Çelik İnşaat Komitesinin (Deutscher Ausschuß für Stahlbau) “ Soğuk Şekil Verilmiş İnce Yapı Elemanları Kullanılarak İnşa Edilen Taşıyıcı Sistemlerin Hesabı ve Konstrüksiyonu” başlığını taşıyan 016 nolu yönetmeliğine göre (DAST- Richtline 016) yatay yükler (deprem, rüzgar) yapıyı zorlayan etkenlerdir. Rüzgar hızı en çok 177 km/saat, olabilir. Bu hızda esen rüzgar 1.3 kN/m^2 büyüklüğünde yatay kuvvet yaratır. Hesaplamalar, güvenlik göz önünde tutularak 180 km/saat hızda esen ve 1.55 kN/m^2 büyüklüğünde yatay kuvvet oluşturan rüzgara göre yapılır. Deprem zemin ivmesi birinci derece deprem bölgelerinde $0,4g$ büyüklüğü, ikinci derece deprem bölgelerinde $0.3g$ büyüklüğü göz önüne alınır.

Hafif çelik sistemlerde tüm bağlantılar kendinden delme özelliği olan vidalar (self drive screw) ile gerçekleştirilmesi sebebiyle bağlantıların mafsallı olduğu kabul edilir. Yatay yüklere karşı dikmeler arasına yerleştirilen ara kayıtlar aynı zamanda dikmelerin düşey yükler karşısında burulmalarını da engeller.(resim 7b) Bunun dışında kısmi çaprazlamalar (resim 7a) ya da tüm taşıyıcı duvar boyunca düzenlenen çaprazlamalar (resim 7c) ile yatay yükler karşılanır. Sistemin tümüyle çaprazlanması yatay yüklerin karşılanmasında en avantajlı yöntem olmasına karşın, kapı ve pencere boşluklarının düzenlenmesinde kısıtlayıcı rol oynar. Ayrıca yatay yüklerin karşılanması, yüzeye kaplanan yapay ahşap panolar ile sistemin kompozit çalışması ile elde edilir. Bu yüzeye kaplanan panolar ile taşıyıcı duvar tüm yüklere karşı

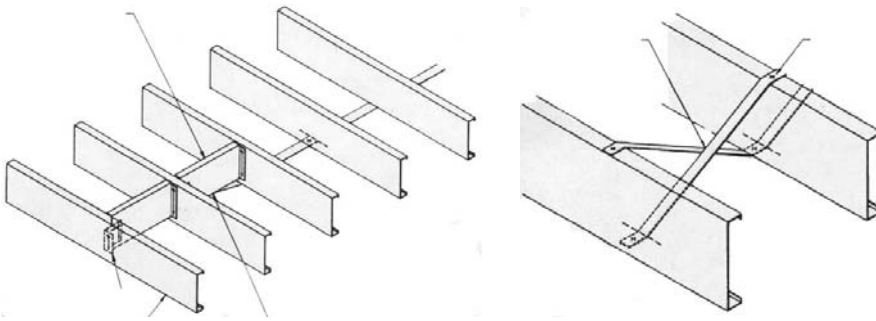
tek bir eleman gibi davranabilmesi için panellerin her iki yüzeyde olmak üzere en az 16 mm kalınlığında ya da 12 mm.lik iki katman şeklinde olmalıdır.(resim 6)



Resim 6 Yatay yüklere karşı her iki yüzeyde 12 mm.lik yapay ahşap panolar ile oluşturulan kompozit taşıyıcı duvar



Aynı şekilde döşeme kirişlemelerinin arasında yapılacak, kuşak, kayıt ve çaprazlamalar döşemenin yatay yüklere karşı bir diyafram şeklinde çalışmasına yardımcı olur.



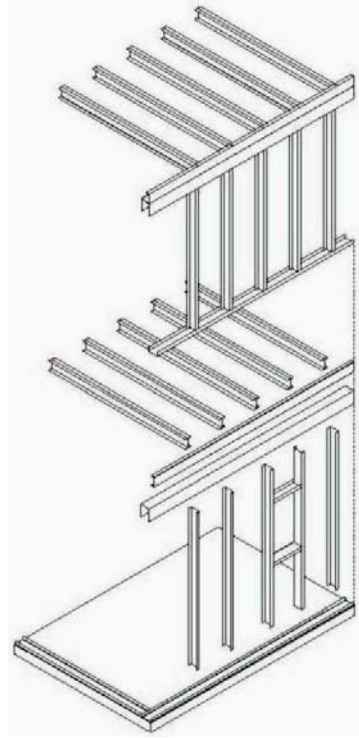
Resim 8 Kuşak, kayıt ve çaprazlamalar ile döşemenin rijitleştirilmesi.

Yapım Yöntemi Olanakları

Çelik yapım sisteminin esasını prefabrikasyon oluşturur. Hem geleneksel hem de hafif çelik sistemlerin inşasında prefabrikasyon oranı yüksektir. Geleneksel çelik sistemlerde, şantiyede kaynak işlemi kontrolü ve kalitesi yeterince güvenilir olmadığı için atölyede bulonlu birleşime uygun biçimde detaylandırılarak, kaynak işlemleri tamamlanmış şekilde şantiyede montaj tercih edilmelidir. Ancak bazı durumlarda şantiyede kaynak işlemleri de yapılmaktadır. Benzer biçimde hafif çelik elemanlar içinde şantiyede kesme ve delme işlemlerinden, korozyona karşı elemanın direncinin azaltması sebebiyle kaçınılmalıdır. Bu sebeple, elemanlar atölyede projeye göre boyutlandırıldıktan sonra, montajının şantiyede yapılması tercih edilir. Çelik yapım sistemlerinde, lineer yapım sistemi, yüzeysel yapım sistemi ve hüresel yapım sistemi olarak prefabrikasyon uygulanır.

Lineer Yapım Sistemi

Projeye göre hazırlanan profillerin şantiyede tek tek bir araya getirilmesi yöntemidir. Yatay ve düşey taşıyıcılar, vida, bulon veya kaynak ile bir araya getirilerek çerçeveler oluşturulur. Profillerin birleştirme işleminde, yaygın olarak kendiliğinden delme özelliği olan vidalar (self-Drilling screws) tercih edilmektedir. Kaynak işlemi çok gerekmedikçe yapılmaz. Taşıyıcı duvarlar U profil al ve üst başlıkları arasında düzenlenen C veya U profil dikmelerden oluşturulur. Döşemeler de bu duvarlar üzerinde mesnetlenen kirişlemelerden meydana gelir. yatay yüklere karşı gerekli rijitlik sağlandıktan sonra , yüzeylerin kaplanması gerçekleştirilir.



Resim 9 Hafif çelik sistemlerde lineer yapım sistemi

Yüzeysel Yapım Yöntemi

Hafif çelik elemanlardan meydana gelen çerçeve, duvar, taşıyıcı duvar, döşeme gibi atölyede ya da şantiyede hazırlanmış yüzeysel elemanların şantiyede montajı şeklindedir. İnşaat hızı açısından oldukça avantajlıdır. Ancak özellikle konvansiyonel çelik sistemlerde nakliye problemleri göz önüne alınmalıdır. Bu soruna karşı yüzeyler, taşınabilir modüler birimler halinde üretilmeli ya da büyük yüzeysel elemanlar şeklinde şantiyede hazırlandıktan sonra yerine monte edilmelidirler. Hafif çelik sistemlerde ise açıklıklar ve yapı ölçeği geleneksel sistemlere göre daha küçük olduğu için nakliye problemi pek yoktur Bu sebeple hafif çelik sistemlerde en çok tercih edilen yapım yöntemidir. Panoların oluşturduğu bu sistem strüktür olarak, takma yöntemi ile inşa edilmiş yığma yapı niteliğindedir. Plan esnekliğini kısmen kısıtlasa da şantiye süresinden büyük tasarruf sağlar. Elemanlar şantiyeye bitmiş olarak geldikleri için şantiyede sadece montaj işlemleri gerçekleştirilir. Ek bir kesme vb. işleme tabi tutulmalarına gerek yoktur.

Yüzeysel yapım yönteminde elemanlar tamamen bitmiş şekilde olabilir. Panolar şantiyeye bir yüzü bitirilmiş, her iki yüzü bitirilmiş veya yüzeyleri, çevrenin montajından sonra şantiyede kaplanmak üzere sadece çerçeve (ızgara pano) olarak ta üretilebilirler. Ancak bu durumda prefabrikasyon düzeyi düşecektir.



Resim 10 hafif çelik sistemlerde ızgara pano ve yüzeyi kaplanarak bitmiş yüzeysel pano

Hücresel Yapım Sistemi

Yapı elemanları, modüler hücreler şeklinde tamamıyla bitirilmiş üniteler halinde şantiyeye getirilirler. Her ünite kendi içinde rijit bir kafes oluşturur. Ünitelerin bir araya gelmesi ile yapı sistemin strüktürel rijitliği oluşur. Prefabrikasyon derecesinin % 90'a kadar yüksek olması, inşaat süresinin oldukça kısa olmasını sağlar. Ünitelerin prefabrikasyonu, genellikle tesisat elemanlarını da içerir. Sistemin her zamankinden daha çok uzmanlaşmış işçilik gerektirmesi, nakliye zorluğu, montajda kaldırımlar sırasında oluşan ek gerilmeler ve planlama esnekliğinin olmayışı sistemin dezavantajlarıdır. Hücresel sistemde üniteler yüksek fabrikasyon içerdiği için ekonomik olabilmesi, seri üretimin çok sayıda yapılmasına bağlıdır. Üniteler bütünüyle bitmiş olabildiği gibi, şantiyede montajdan sonra tamamlanacak şekilde olabilir.



Resim 11 Hafif çelik, hücresel yapım yöntemi

Mimari Kurgu

Hafif çelik sistemlerde geçilebilen açıklıkların küçük oluşu ve sistemin taşıyıcı duvarlardan oluşması nedeniyle planlama olanakları kısıtlıdır. Taşıyıcı duvarların birbirini takip etmesi ve her iki yönde birbirine yakın oranlarda düzenlenmiş olması tavsiye edilir. Yapı formlarının kare ve dikdörtgen olması tercih edilir. Ancak bu bir zorunluluk değildir. Konvansiyonel sistemlerde açıklıkların çok daha geniş olabilmesi ve kolonlardan geriye kalan alanın bölücü duvarlar ile istenildiği gibi düzenlenebilmesi hafif çelik sistemlere göre, bu sistemi planlama olanakları açısından avantajlı kılar.

Çerçeve sistemlerden oluşan konvansiyonel çelik yapılarda cepheler istenilen boşluk oranında düzenlenebilirken, Hafif çelik sistemlerde strüktürel kurgunun taşıyıcı duvarlardan oluşmasından ötürü cephede boşluk açılabilme olanakları daha kısıtlıdır. Köşelere yakın yerlerde boşluk açılması tavsiye edilmez. Ayrıca boşluk oranları, dikme aralıklarına bağlıdır. Cephede, geniş bant pencerelerden kaçınılmalı ve yüksekliği genişliğine göre daha fazla olan boşluk oranları tercih edilmelidir.



Resim 12 hafif çelik sistemlerde boşluk oranları yığma yapı ilkelerine benzer şekilde kısıtlıdır.



Resim 13 Hafif çelik sistemlerde cephe ve boşluk oranları strüktürel kurgu ile ilişkilidir.

Sonuçlar

Depreme dayanıklı yapılar, yapım türü ve strüktürü ne olursa olsun, kurallara uygun şekilde yapılsa mümkündür. Bunun yanında, yapı ölü yükünün az olması ve çeliğin yüksek dayanımı nedeniyle öz ağırlığının oluşturduğu yükün (ölü yük), faydalı yüke oranının küçük olması, önemli bir avantaj oluşturur. Strüktürel etkinlik göz önüne alındığında, geniş açıklıklar ve yüksek yapılar için konvansiyonel çelik yapım yöntemleri uygun bir çözümdür. Ancak konut gibi küçük açıklıklı ve çok katlı olması gerekmeyen yapılarda konvansiyonel çelik sistemlerin uygulanması ekonomik olmayacaktır. Hafif çelik yapım sistemi ise bu tür yapılarda ekonomik ve strüktürel olarak etkin sonuçlar sağlar. Tam tersi bir şekilde, hafif çelik yapıların üç kattan daha yüksek olması durumu, yatay yüklerin karşılanmasında strüktürel zorlamalara neden olur.

Üretim, nakliye, montaj kolaylıkları, yapım süresinin kısa oluşu ve yapım sürecinin yüksek standardizasyonu, deprem bölgelerinde konut ihtiyacının hızla karşılanabilmesine imkan sağlar.

Hafif çelik yapı sistemlerinin, ahşap karkas sistem ile olan benzerliği, çelik ve ahşabın kompozit bir yapı şeklinde kullanılabilmesine olanak tanır. Çeliğin strüktürel üstünlüğü ile ahşabın hafifliğinin birleştirilmesi ekonomik bir çözüm olabilir.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde ise, çelik sanayisinin ve yapısal çelik ürünlerin diğer malzemelere göre küçük ve az miktarda olduğu görülür. Çeliğin hafif olmasına karşın strüktürel etkinliğinin yüksek olması Türkiye gibi büyük deprem riski taşıyan bir ülke için önemlidir. Konvansiyonel çeliğe göre üretimi daha kolay ve küçük atölye ve işletmelerde gerçekleştirilebilen, hafif çelik sistemler ekonomik yapısı geliştirmekte olan Türkiye’de büyük yatırımlar gerektirmeden üretilebilir. Konvansiyonel çelik sistemler ise prefabrikasyon ve denetim imkanlarının yüksek olması nedeniyle deprem riskine karşı Türkiye’de teşvik edilmelidir.

KAYNAKÇA

FRÖHLICH, B. VE SCHULENBUERG, S., (2003) Metal Architecture Desing and Construction, Birkhäuser DBZ-Publishers for Architecture, Berlin

JODIDO, P., (2002) Architecture Now vol.1, vol.2, Taschen GMBH, Köln

NEWMAN, A., (2003) Metal Building Systems, Desing and Specifications, Macgrov-Hill, New York

ÖZKAN, N.,(2004) “Çelik Taşıyıcılı Yapıları Özellikleri” Yapısal Çelik Derneği Bülteni

HAUSER IN STHAL- LEICHTBAUWEISE, (2002), Dokumentation, D 560 Stahl Informations Zentrum, Dusseldorf

OPTIMUM DESING OF COLD-FORMED STEEL,(2003), Publications 25 Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures Helsinki

STAHL IM WOHNUNGSBAU INNOVATIV UND WIRTSCHAFTLICH,(2002), Dokumentation, D 573 Stahl Informations Zentrum, Dusseldorf

ALLEN E., (1999) Fundamentals of Building Construction Metarials and Methods, John Willey & Sons Inc., New York

SHEAR WALL DESİNG GÜİDE, (1998) Publication Rg 9804 North Amerikan Steel Framing Alliance, Washington D.C.

RESİDENTAL STEEL FARAMİNG CONSTRURUCTION, C/O, (1994) Steel Servis, Technical Publications, Las Vegas, Nevada,

BRİTİSH STANDARD- STRUCTURAL USE OF STEELWORK İN BÜİLDİNG. (1987) Part 5 Code Of Practice For Desing Of Cold Formad Sections,Bs 5950 British Standards İnstitution,