

Hafif Çelik Konstrüksiyon Çatı Sistemleri

Semih Göksel Yıldırım
Yrd. Doç. Dr. / İstanbul Arel Üniversitesi, Mimarlık Bölümü

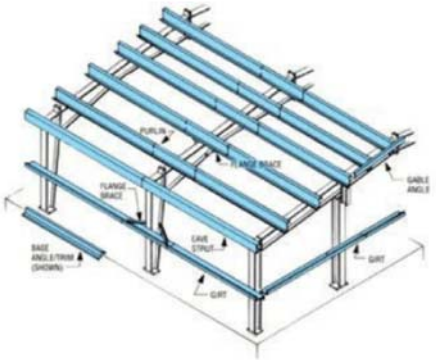
1. GİRİŞ

Çelik çerçeve sistemlerinin, ticari yapılardan sonra dayanıklılığı, sünekliği, geniş ve temiz bir açıklık geçebilme, fleksibilite, geri dönüşebilme, tesisatın yerleşmesinde kolaylık, depremde daha iyi performans, hortum gibi doğal afetlerde yukarıdan emilmeye karşı daha iyi dayanım, haşere oluşumuna sebep olmama, çevresel atıkların azlığı gibi özelliklerinden dolayı ABD'de ve Kanada'da konutta kullanımı yaygınlaşmıştır [1].

Amerika'da yaygın olarak kullanılan ahşap evlerin yerini 1980'lerde hafif çelik evler almaya başlamıştır. Ahşap fiyatlarının artan taleple doğru orantılı olarak yükselmesi, taşınma kolaylığı açısından ve %100 oranda geri dönüşümü mümkün olan hafif çelik malzemenin üstünlüğü, piyasanın hafif çelik sistemli evlere yönelmesini sağlamıştır. Bugün Amerika'da tek ve çift katlı konutların %20'si hafif çelik çerçeve sistem ile üretilmektedir [2] [3].

Ülkemizde üretilen çelik hadde profil çeşitlerinin azlığı nedeniyle istenilen kesite en yakın, büyük kesitin kullanılması çelik yapılarda ortalama % 15-20 fazla malzeme kullanımına neden olmaktadır [4]. Üretimdeki 0,84 mm – 2,5 mm levha kalınlığındaki hafif çelik bileşen kesitleri ile sisteme ilişkin optimum çözüm gerçekleştirilmekte,

dolayısıyla ince cidarlı galvanize profiller yapısal ağırlık olarak çelik çatı uygulamalarında daha verimli kullanılmaktadır. Ayrıca yapı bileşenlerinin ve dolayısıyla yapım sisteminin hafif olması sebebiyle deprem kuvvetlerine daha az maruz kalırlar ve binaya gelen yükün azalmasını sağlarlar. Bu sebeplerden dolayı, betonarme veya hadde profil çelik konstrüksiyon binaların çatılarında da hafif çelik konstrüksiyon çatı sistemleri tercih edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. *Hadde profili çelik konstrüksiyon üzerine hafif çelik merteklerin uygulanması [5].*

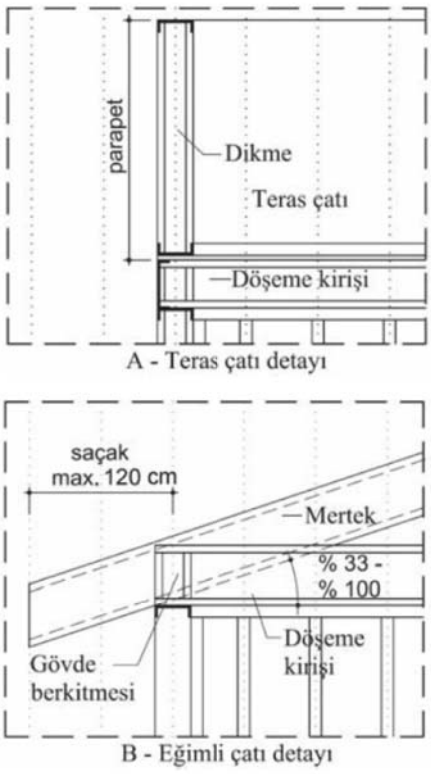
Bu çalışmada, betonarme veya hadde profil çelik konstrüksiyon binaların çatılarında uygulanan hafif çelik konstrüksiyon çatı sistemleri yerine hafif çelik taşıyıcılı yapım sisteminde uygulanan çatı kostrüksiyonu incelenmektedir.

2. TEMEL YAPISAL PRENSİPLER

Yapı ölü yükünün az olması sebebiyle deprem kuvvetlerine daha az maruz kalan hafif çelik konstrüksiyon sistemler, Kuzey Amerika'da, hortum gibi doğal afetlerde de olumlu performans göstermiştir [1].

Hafif çelik yapım sistemlerinde çatı formu eğimli çatı ve teras çatı olarak uygulanır (Şekil 2). Tonoz çatı uygulamalarına yönelik çeşitli örnekler bulunsa da, sistemde kullanılacak bileşenlerden farklı olarak kavisli bileşen ihtiyacı doğmakta ve bileşen pazarında tedariki güçleşmektedir.

Hafif çelik yapılarda 60°den az eğimli yüzeyler duvar olarak analiz edilmezler, eğimli çatı olarak analiz edilirler [6]. Hafif çelik konstrüksiyon ile tek yöne eğimli çatı, kırma çatı, oturtma çatı, mansard çatı gibi eğimli çatılar inşa edilir. Çatı konstrüksiyonu mertekler ile veya makas kirişler ile çözülür, ancak makas kiriş çözümü sistem ekonomisini zorladığı için tercih edilmez.

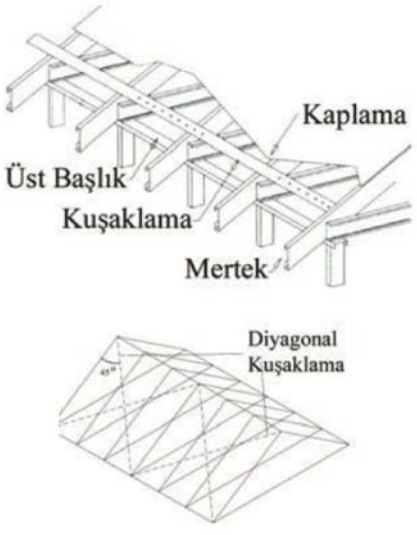


Şekil 2. *Teras ve eğimli çatı detayları.*

Teras çatılarda parapet yüksekliği Türkiye'de geçerli imar yönetmelikleri ile en fazla 1 metre olarak sınırlandırılmıştır.

Plan düzleminde modüler koordinasyon için hafif çelik yapım sisteminde 30 cm, 40 cm, 50 cm ve 60 cm'lik boyutlar uluslararası standartlarda tarif edilmekte ve uygulamalarda gerçekleşmektedir. Çatı konstrüksiyonunda oluşturulan mertekler de, aynı modüler koordinasyon kuralları ve boyutları ile uygulanmaktadır. Taşıyıcı sistem kaplama malzemesi olarak kullanılan OSB levha boyutları da bu modülasyon ile uyumludur.

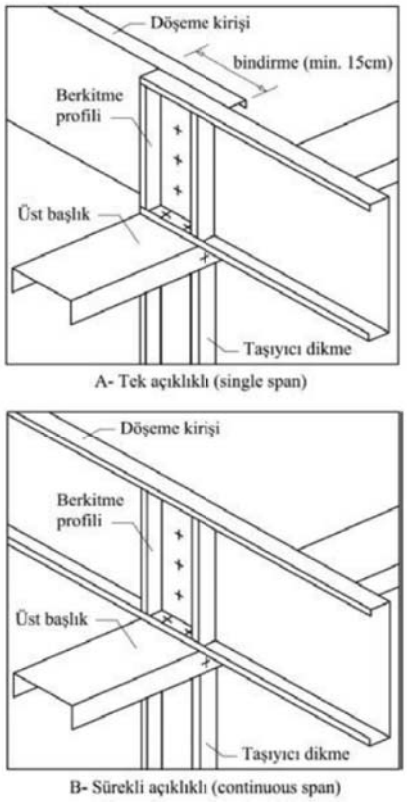
Kullanılan bileşen tipleri olarak; hafif çelik konstrüksiyon döşeme oluşumunda geçerli olan berkitme profili, boyunduruk, kuşaklama, strüktürel kaplama vb. ile sağlanan stabilite prensipleri çatı mertekleri için de geçerlidir. Bina taşıyıcı sisteminin üst kabukta sonlandığı döşeme olarak kabul edilen çatı döşemesinde normal kat döşemesine göre stabiliteye yönelik daha fazla tedbir almak gerekir. Ya döşeme kirişine ve merteklere dik yönde 120 cm ara ile kuşaklama yapılır veya bunun yerine çapraz kuşaklama yapılır. Ayrıca mertekler üzerine uygulanan OSB levha'da strüktürel kaplama görevindedir ve stabiliteye katkı sağlar [7]. Çatı mertekleri yüksekliği (profil derinliği) genellikle 10 cm-30 cm aralığında kullanılmaktadır. Çatı merteklerinde sütrüktürel kaplama, boyunduruk ve kuşaklama Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3. *Çatı merteklerinde strüktürel kaplama, boyunduruk ve kuşaklama.*

Montaj elemanları ve yöntemleri, vida, bulon, punto, perçin, kaynak gibi bağlantı elemanları ile ankraj elemanları olarak ele alınır. Kaynakla birleşim galvaniz kaplamalarının zarar görmesi, şantiye şartlarında kalite kontrolünün zor olması, ağır kaynak makinesinin taşınma güçlüğü, diğer yöntemlere göre daha uzun zaman alması, sökülmesi ve değiştirilmesi güçlüğü nedenleriyle tercih edilmemektedir. Punto ile montaj da aynı kaynaklı birleşimde olduğu gibi daha sonradan elemanların sökülmesi ve sökülen elemanların tekrar kullanılması zorluğu, punto noktalarında ezilen profillerin galvaniz kaplamasının zarar görmesi gibi nedenlerle tercih edilmemektedir. Hafif çelik sistemlerde bulonlu bağlantılar ise genellikle hafif çelik elemanların, beton veya diğer çelik elemanlar ile birleşimlerinde kullanılır. En yaygın olarak, hafif çelik yapılarda profillerin birbiri ile montajında, kendinden delme özelliği olan vidalar (Self- Drilling Screws) kullanılmaktadır.

Döşemenin profil boyutu ve düzenlenme sıklığına bağlı olarak yaklaşık 12 metre açıklık (berkitme profili ile destekli, sürekli açıklıklı ve kiriş aralığı 30 cm olması durumunda) geçilebilmekte, ancak optimum değer olarak 7,2 m açıklık Kuzey Amerika şartnamelerinde tavsiye edilmektedir. Döşemeler ve çatı mertekleri tek açıklıklı (single span) veya sürekli açıklıklı (continuous span) olarak düzenlenir (Şekil 4) [7]. Sürekli açıklıklı olması durumunda geçilen açıklığın ortasındaki mesnet noktasında ek oluşmaz ve ortadaki destek, burkulmaları ve sehimi azalttığı için tek açıklıklıya göre daha küçük kesitli veya profil kalınlığı daha ince döşeme profilleri kullanılır. Toplam yapısal ağırlık bakımından değerlendirildiğinde, döşeme kirişlerinin veya merteklerin sürekli açıklıklı düzenlenmesi daha ekonomiktir. Ayrıca, döşeme kirişinin veya merteklerin taşıyıcı duvar üzerine oturduğu her noktada burkulmalara karşı berkitme profilinin kullanılması, geçilen açıklığı olumlu etkilemektedir.

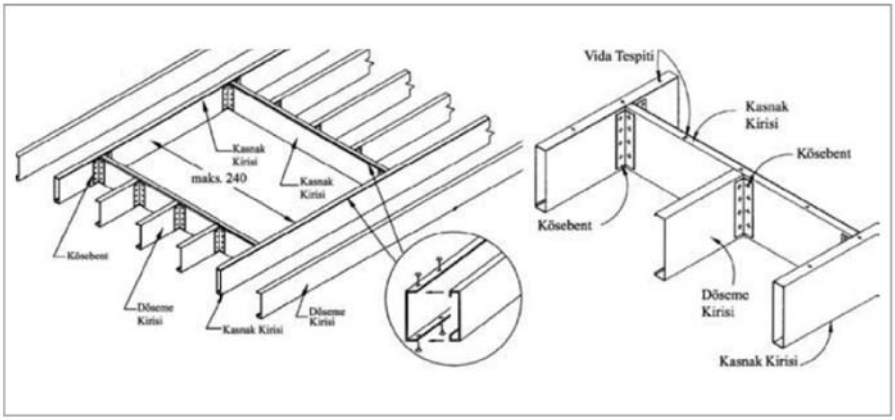


Şekil 4. *Tek açıklıklı ve sürekli açıklıklı döşeme tipleri.*

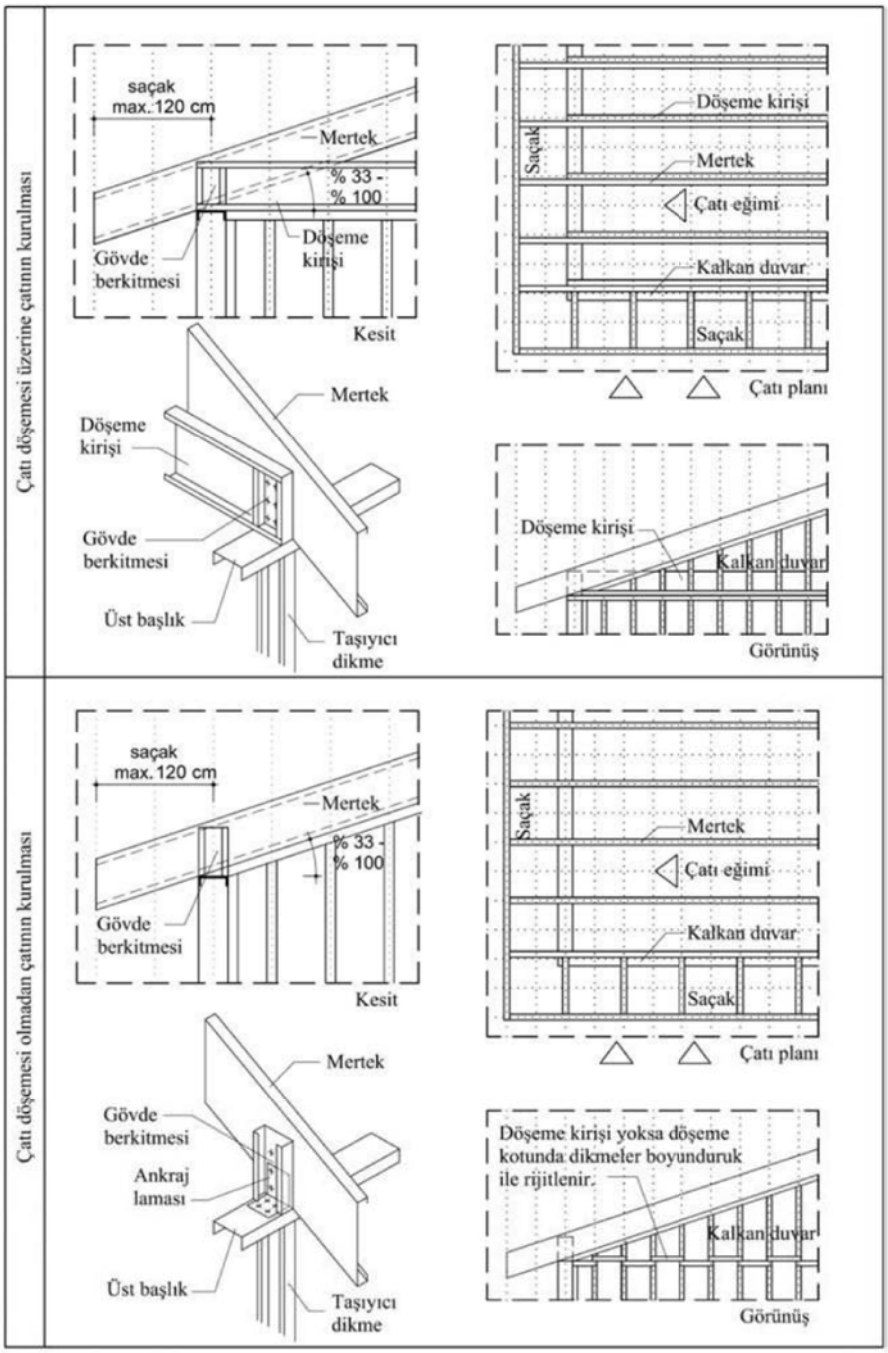
İki adet C profilin sırt sırta birleştirilmesinden oluşturulan ( ][ )profillerin geçebildiği açıklıklar ile cidar kalınlığı 0,5 mm daha kalın sigma (∑) profillerin geçebildiği açıklıklar, birbirine çok yakın veya aynı değerdedir. Bu durumda profil ağırlıkları göz önüne alındığında sigma (∑) profiller daha ekonomiktir [8]. Döşeme kirişinin veya merteklerin sürekli açıklıklı olarak düzenlenmesi geçilen açıklığa olumlu etkisi olsa da, profil boyutunun belirlenmesinde nakliye koşulları (fabrikadan şantiye ortamına nakledilebilecek en fazla bileşen ölçüleri) göz önünde bulundurulmalıdır.

Döşemelerde boşluklar kasnak kirişi yardımı ile iki tipte oluşturulur. Boşluğun bir tarafı duvar yüzeyine yaslanır veya döşeme içerisinde herhangi bir yerde konuşlandırılır. Kasnak kirişi yapma profil olarak soğuk bükme profillerin birleştirilmesi ile oluşturulur ve döşeme kirişi ile aynı levha kalınlığında profiller kullanılmalıdır. Döşeme kirişine dik yönde kasnak kirişi ile en fazla 240 cm (kasnak kiriş boyu) boşluk açılabilmektedir (Şekil 5). Sistemde tanımlanan en fazla kasnak kirişi boyutuna uyulduğu sürece, kasnak kirişinin bastığı mesnet noktasında dikme takviyesine gerek yoktur.

Eğimli çatılar ya çatı döşemesi olmadan kurulur ya da çatı döşemesi üzerine kurulur (Şekil 6).



Şekil 5. *Kasnak kirişi oluşturulması.*



Şekil 6. *Eğimli çatı kuruluşu.*

3. HAFİF ÇELİK VE AHŞAP İSKELET ÇATI KONSTRÜKSİYONU KARŞILAŞTIRMASI

Hafif çelik iskeletin taşıyıcı eleman düzeni, bağlantı noktaları ve diğer pek çok teknik prensip olarak ahşap iskelet yapıya benzer. Burada önemli fark; taşıyıcı malzemenin izolasyon değeri yüksek dolu kesitli ahşap yerine, iletken içi boş kesitli çelik ile yer değiştirmiş olmasıdır [9]. Bileşen tipi bakımından içi boş küçük kesitli hafif çelik sistemin ağırlığına göre taşıma kapasitesi, benzer taşıyıcı sistem özelliğine sahip ahşap iskelet sisteme göre daha yüksektir. Kaba yapı düzeyinde karşılaştırıldığında ahşap iskelet yapım sistemi, hafif çelik yapım sisteminden yaklaşık % 50 daha ağırdır [10]. Ayrıca çeliğin süneklik düzeyinin yüksek olması, deprem kuvvetleri karşısında hafif çelik konstrüksiyonu, ahşap sisteme göre avantajlı kılmaktadır.

Bugünkü ekonomik yapı içerisinde, hafif çelik taşıyıcılı yapım teknolojisi, az katlı yapıların taşıyıcı sistem kalitesinin arttırılmasının yanında, ahşap yapım teknolojisine göre daha ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Ayrıca çeliğin % 100 geri dönüşebilir olması üretici açısından bir avantajdır. Aynı bileşen için çok çeşitli ahşap çeşitleri ve fiyatları olması, hafif çelik yapı bileşeninin standart kalite ve fiyat ile farklı üreticilerin inşaat sektörüne ürün sunma olanağı ile tercih edilmesini sağlamaktadır [1].

Hafif yapım sistemi, sistem bileşenlerini taşıma kolaylığı getirmekte ve nakliye maliyetleri de buna bağlı olarak her iki sistemde de düşük olmaktadır. Hafif çelik ve ahşap taşıyıcılı sistem bileşenlerinin üretiminde, hammadde tek işlem ile profil haline getirilmekte ve küçük depolama alanından hafif tonajlı araçlar ile taşınmaları mümkün olmaktadır. Hafif çelik taşıyıcılı sistem bileşeni olan galvanize profillerde delik açılabilmekte ve tesisat geçirilebilmektedir. Tesisat geçiş kolaylığı bakımından hafif çelik konstrüksiyon, ahşap iskelet taşıyıcılı sisteme göre avantajlıdır.

Sıcaklığa bağlı genleşme ve büzüşme, ahşap iskelet sistemlerde gerçekleşmemektedir. Hafif çelik sistemde bu, dıştan ısı yalıtımı yapılması şartıyla sağlanabilmektedir. Ahşap sistemde emprenye edilmiş ahşap kullanılması ile çürüme ve böceklen-



Şekil 7. *Hafif çelik çatıda bitirme malzemeleri (Fotoğraf; Semih Yıldırım, Kardelen Evleri, İstanbul).*

meye karşı önlem alınabilmektedir. Emprenye işlemi ile böceklenme ve çürümeye karşı ahşabın ömrü, türüne bağlı olarak yaklaşık on kat artmaktadır. Oysa ki, uygulamalarda genellikle, kolay elde edilebilmesi sebebiyle emprenye edilmemiş ahşap yapı bileşenleri kullanılmaktadır.

Galvanize profillerdeki çinko kaplamada korozyon oldukça düşük orandadır. Kırsal, kentsel, kıyı ve endüstriyel bölgelerdeki uygulanmış hafif çelik yapılar üzerinde yapılan araştırma neticesinde çinko kaplamadaki korozyon miktarı 3 yıllık periyot için 0,1 mikrondan daha azdır. Taşıyıcı sistem bileşenlerinde kullanılan G60/Z180 niteliğindeki galvanize levhanın yüzeyindeki çinko kaplamanın tamamı, korozyon ile yaklaşık 381 yılda yok olmaktadır. Dolayısıyla çeliği, korozyona karşı yapı ömrü boyunca yeterince korumaktadır [11].

Hafif çelik yapı bileşeni olan galvanize levha A1 sınıfı (hiç yanmaz) olmasına karşın, yangın esnasında sistemin göçme riski bulunmaktadır. Hatta normal alevlenici yapı bileşeninden oluşan ahşap sistemden daha erken göçme gerçekleşmektedir. Ahşap ve hafif çelik sistemlerde, içten alçı levha kaplanması ile yangına karşı önlem alınmış olmaktadır.

4. HAFİF ÇELİK KONSTRÜKSİYON ÇATI SİSTEMİ İLE BİTİRME MALZEMELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Hafif çelik konstrüksiyonda ısı geçirgenliği yüksek galvanize çelik profillerin kullanılması sebebiyle ısı köprüsü oluşumuna dikkat edilmelidir. Dıştan ısı yalıtımı yapılması ile hem iç mekan konfor şartları sağlanmakta, hem de soğuk ve sıcak iklim bölgelerinde konstrüksiyonda genleşme ve büzüşmenin önüne geçilmektedir. Buhar kesici levha her zaman yalıtım tabakasının sıcak tarafında uygulanmalıdır. Çatı merteklerinin altına içten alçı levha uygulanabilmesi için omega profilleri merteklere ters yönde monte edilir (Şekil 7). Ateş bacaları ya çift kat alçı levha ya da beton esaslı levhalar ile uygulanmaktadır. Sistemin hafif olmasından dolayı çatı kaplaması olarak da hafif kaplama malzemeleri tercih edilmektedir. Örneğin metal esaslı kaplamalar veya petrol esaslı bitümlü malzemeler kullanılır.

5. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA SİSTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bileşen hammadde üretiminde enerji kullanımı açısından değerlendirildiğinde, ahşap bileşenin üretiminde daha az enerji harcanmaktadır. Ahşap iskelet sistem bileşenlerinin sökülmesi esnasında ise zayiat verilmektedir. Dolu kesitli ahşap bileşenin söküm esnasında zarar görmesi halinde, yönlendirilmiş yonga levha (OSB) gibi endüstriyel üretim ile yeniden kullanımı mümkün olmaktadır. Hafif çelik konstrüksiyonda kullanılan galvanize çelik profiller %100 oranında geri dönüştürülebilmektedir.

Her türden bina alanında uygulanabilecek hafif çelik konstrüksiyon, LEED sertifikalandırma kategorileri arasından "materyaller ve kaynak" başlığından, %100 geri dönüşebilen bir malzeme olması ve inşaat atığı oranının çok düşük olması özelliklerinden dolayı, tasarım ve üretim öncesinde belirli puanları baştan almaktadır. Bu da, sertifikalandırmada önemli avantaj sağlamaktadır.

Hafif çelik konstrüksiyonda varolan esneklik Tablo 1'deki gibi üç başlıkta toplanmaktadır.

SONUÇLAR

Hafif yapı ihtiyacına karşılık inşaat sektöründe talep edilen hafif çelik konstrüksiyon sistemler, betonarme veya hadde profillerinden oluşturulmuş çelik

Tablo 1. Hafif çelik konstrüksiyonda varolan esneklik

Planlama Aşamasında Esneklik	Üretim Aşamasında Esneklik	Kullanıcı İhtiyaçlarına Göre Değişiklik
Sistemin teknolojik olarak el verdiği ve dünyada kabul edilmiş ortak kurallar olarak belirli modüler ızgaraya bağlı planlama yapılmaktadır. Döşeme kirişleri ve çatı mertekleri olarak geçilebilen en fazla açıklık gibi, sistemin teknolojik sınırları bulunmaktadır. Genellikle teras veya eğimli çatılarda tercih edilmekte, hazır bileşen tedarik güçlüğü sebebiyle tonoz çatı uygulamalarında tercih edilmemektedir. Betonarme veya hadde profillerden oluşan çelik konstrüksiyon binaların çatıları için de kullanılabilmektedir.	Hazır bileşen tedarik imkanı üretim aşamasında değişikliğe imkan vermektedir. Çatı mertekleri veya döşeme kirişlerinde delik açılabilmekte ve tesisat geçirilebilmektedir. Üretim aşamasında planlamaya ilişkin değişiklikler, montaj kolaylığı ve sınırlı sayıda bileşen kullanılmasından dolayı mümkün olabilmektedir.	Sistem bileşenleri ve elemanları vidalı birleşimler olduğu için en az hasarla tamamen sökülebilmekte ve yeniden kullanılabilmektedir. Kullanıcı ihtiyaçlarına göre mekan ekleme veya çıkarma mümkün olmaktadır. Taşıyıcı sistem bileşenlerinin sökülüp yeniden kullanılması hızlı ve düşük maliyetlidir.

yapıların üzerinde de çatı konstrüksiyonu olarak uygulanmaktadır. Hafif çelik konstrüksiyonda yapısal ihtiyacı karşılayacak ince cidarlı galvanize çelik profil tipleri sektörde hazır bileşen olarak temin edilebilmekte; bu da, daha az malzeme kullanımını getirmekte ve ağır çelik profiller karşısında rekabet gücünü artırmaktadır. Böceklenme riskinin olmaması ve taşıyıcı profillerden tesisat geçiş kolaylığı olması bakımından ahşap çatı çözümlerine karşı avantajlıdır. Çeliğin fiziksel özelliklerinden dolayı ısı köprüsü oluşmamasına uygulanacak detay çözümlerinde dikkat edilmelidir. %100 oranında çelik profillerin geri dönüştürülebilir olması sebebiyle sürdürülebilirlik kapsamında tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Scharff, R., 1996. Residential Steel Framing Handbook, Mcgraw-Hill, New York.

[2] SFA, 2007. Steel Framing Guide, A Builder' S Guide to Steel Frame Construction, Steel Framing Alliance, Washington, Retrieved July 21, 2007, from http://steelframing.org.

[3] Terim, B., 2006. Hafif Çelik Çerçeve Sistem, Ege Mimarlık, Sayı 1, S. 56, İzmir.

[4] Arda, T. Seno, 2001. Deprem Bölgelerinde Çelik İskeletli Binalar, Türk Yapısal Çelik Derneği, İstanbul.

[5] http://products.construction.com/swts_content_files/1881/E58517.Jpg>, Alındığı Tarih 15.12.2011.

[6] CSSBI, 2005. The Lightweight Steel Frame House Construction Handbook, Canadian Sheet Steel Building Institute, Canada.

[7] NASFA, 2000. Prescriptive Method for Residential Cold Formed Steel Framing, North American Steel Framing Alliance (NASFA), Chicago.

[8] STAHL, 2002. Häuser in Stahl- Leichtbauweise, Stahl Informations Zentrum, Yayın Referans No: 560, Dusseldorf.

[9] Işık, B., 2001. Hafif Çelik Yapıların Geleneksel Ahşap Yapılar ile Benzerlikleri, Türk Yapısal Çelik Derneği, <http://tucsa.org> Alındığı Tarih 15.07.2001.

[10] Yıldırım, S.G., 2010. Türkiye'de Az Katlı Konutlar için Yarı Açık Hafif Çelik Yapım Sistemi Önerisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[11] AISI, 1996. Durability Of Cold-Formed Steel Framing Members, American Iron And Steel Institute, Washington.