Az Katlı Endüstrileşmiş Konut Yapım Sistemlerinin Çevresel Etki Açısından Değerlendirilmesi

Semih Göksel YILDIRIM, Yrd. Doç. Dr., İstanbul Arel Üniv., Müh. – Mim. Fak., Mimarlık Bölümü

Sürdürülebilir mimarlığın sağlanabilmesi için yapılı çevreyi oluşturmada çevreye duyarlı yapı malzemelerinin kullanılması esastır. Küresel ısınmaya bağlı olarak gündeme gelen sürdürülebilirlik kavramı ile taşıyıcı sistem malzemelerinin geri dönüşümüne verilen önem de artmıştır. Bu çalışma ile yapılı çevreyi oluşturan binalarda kullanılan malzemeler içerisinde önemli bir yer tutan taşıyıcı sistemler çevresel etki açısından değerlendirilmektedir.

Taşıyıcı sistem seçimi sadece kullanılan taşıyıcı sistem malzemesi tercihi değil, yapının ilk tasarımından, inşa edilip, sökülmesine kadarki tüm ömrünü kapsayan sürecin seçimidir. Konut alanında kullanılabilecek, alternatif yapım sistemlerin seçiminde, tasarlayıcılar ve üreticiler açısından tasarım, üretim, montaj, bina maliyeti ve kullanım aşamalarını kapsayan farklı kriterler mevcuttur. Bu kriterler içerisinde hızlı yapım ve standart kalite hedefi ile ortaya çıkan yapımda endüstrileşme, artan nüfusa paralel olarak öne çıkmaktadır. Tasarım, üretim ve montaj evreleri olarak ayrışan endüstrileşmiş planlama aşamasında, taşıyıcı sistem seçiminde kullanılabilecek kriterler ile binaların çevresel performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek kriterlerin bir kısmı örtüşmektedir. Bu bakımdan endüstrileşmiş planlama yaklaşımı ile binaların çevresel performansı arakesitinde değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Türkiye' de yaşanan deprem tecrübeleri ışığında yapısal ağırlık olarak daha hafif bina yapma düşüncesi kamuoyunda ve inşaat sektöründe geniş yer bulmuştur. Deprem yüklerine daha az maruz kalma gerekçesi ile gündeme gelen hafif yapım sistemleri aynı zamanda daha az malzeme kullanımını da getirmektedir. İnşaat sektörü içerisinde alternatif taşıyıcı sistemler az katlı konut alanında daha fazla yer ve uygulama alanı bulmuştur. Az katlı konut alanında yaygın kullanılan bina taşıyıcı sistemleri olması bakımından, betonarme prefabrike iskelet sistem, hafif ahşap çerçeve ve hafif çelik çerçeve sistemler bileşen, üretim ve montaj özellikleri bakımından karşılaştırılarak "yaşam döngüsü değerlendirme„ si yapılmaktadır. Taşıyıcı sistem seçimi için hem çevresel etki, hem de endüstrileşme gözetilerek oluşturulmuş ortak kriterler belirlenerek, Türkiye' de kullanılabilecek az katlı konut yapım sistemleri karşılaştırılmaktadır.

Endüstrileşmiş Bina ve Az Katlı Konut Yapım Sistemleri

Bina alanındaki endüstrileşme temelde "kapalı endüstrileşme süreci" ve "açık endüstrileşme" süreci olarak ele alınmaktadır. Kapalı endüstrileşme sürecinde sınırlı sayıda tasarlayıcı, farklı tasarım problemlerinin çözümünde teknoloji sahibi firma veya örgütler içinde onlara bağımlı olarak görev yapmaktadır. Açık endüstrileşme sürecinde ise, tasarlayıcılarla teknoloji sahibi firmalar arasındaki bağımlılık, "ortak kurallar" sayesinde ortadan kalktığından, endüstrileşmiş binaların tasarımı tüm tasarlayıcılara açılmış olmaktadır. Merkezi Hollanda' da olan CIB, endüstrileşme yaklaşımlarını aşağıdaki gibi kategorize etmektedir [1] ;

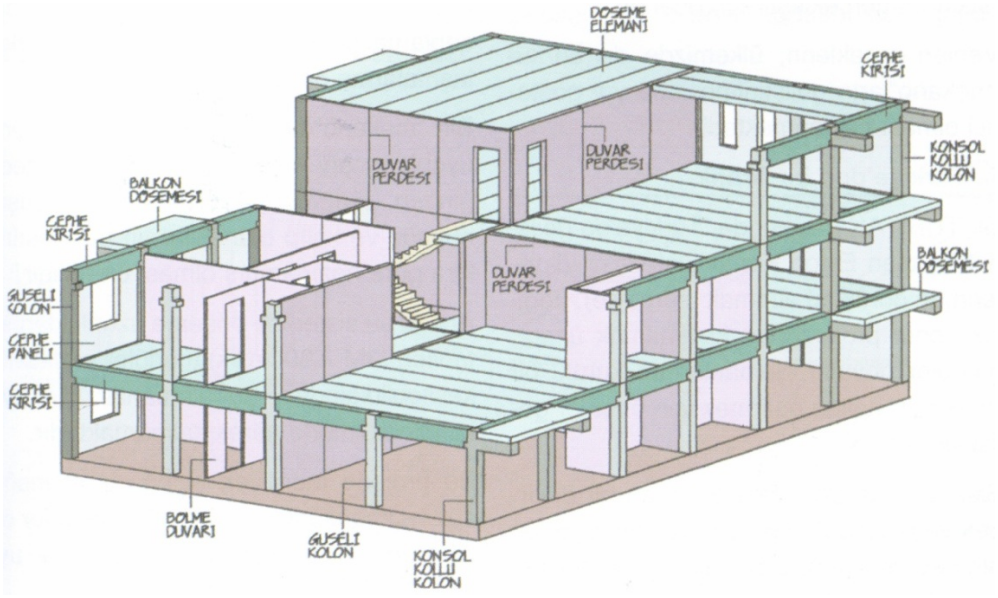
a. Ürünün Endüstrileşmesi (Bina teknolojisi ile ilgili)
   Ürünün endüstrileşmesine ise iki örnek olarak;
   - Şantiyenin (On-site) endüstrileşmesini
   - Üretimin (Off-site) endüstrileşmesini göstermektedir.

b. Sürecin Endüstrileşmesi (Tasarım – üretim - montaj koordinasyonu ve sözleşmesel ilişkiler ile ilgili) olarak tanımlanmaktadır.

Taşıyıcı sistem seçimi aşamasında endüstrileşmiş yapım sistemleri; yapım sistemlerine, taşıyıcı sistem bileşen özelliklerine, üretim özelliklerine, montaj özelliklerine, bina maliyetine ve yapı kullanım alanına yönelik olarak karşılaştırılmaktadırlar. Konut yapımında konvansiyonel betonarme yapım sistemlerine alternatifler olarak prefabrike yapım sistemi türleri içerisinde yer alan prefabrike betonarme, hafif çelik ve ahşap taşıyıcılı yapım sistemleri gündeme gelmiştir. Bu taşıyıcı sistemlerin prefabrike yapıma uygun olan alt kategorileri seçilip, seçilen bu alt kategorileri esas alınarak prefabrike betonarme iskelet sistem, hafif ahşap çerçeve sistem ve hafif çelik çerçeve sistemler arasında karşılaştırma yapılmaktadır.

Betonarme Prefabrike İskelet Sistem

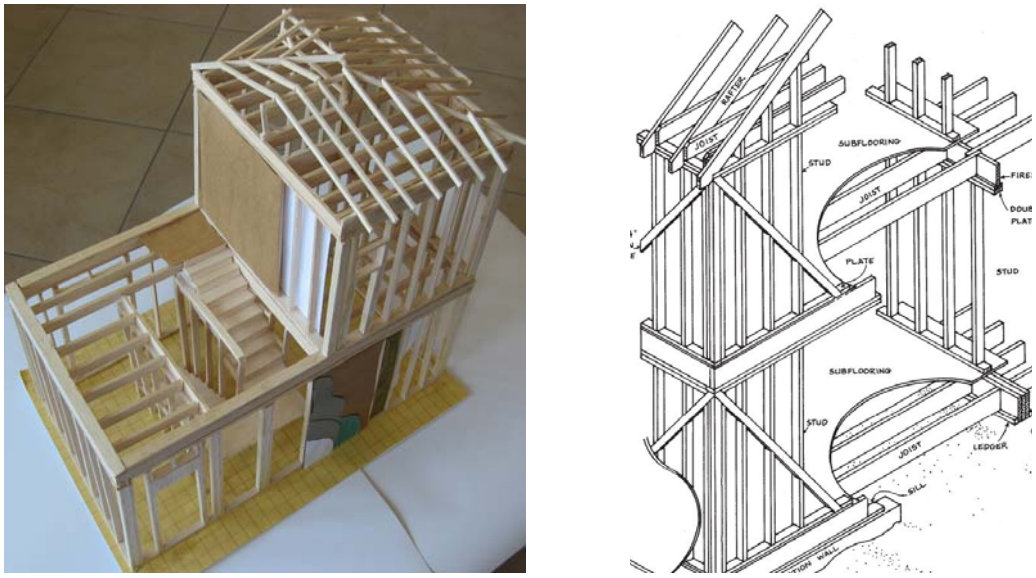
Betonarme esaslı prefabrike sistemler düşey yüklerin zemine aktarılış şekline ve elemanların boyutsal ve biçimsel özelliklerine göre; panel, iskelet ve hücre sistemler olarak ayrılmaktadır. Prefabrike iskelet sistemler diğer sistemlere kıyasla daha büyük açıklıklara, daha esnek tasarımlara olanak sağlamaktadır. Bileşenlerin üretim, taşıma ve kaldırılması kolaylığı, elemanların ve bağlantı detaylarının tipleştirilebilmesi, dolayısıyla kitlesel üretimin sağlanması veya modüler elemanlı bir "mekano" ya dönüştürülmesi mümkündür [2]. Esnek kapalı (mekano) sistemlerin tasarımına elverişli ve az katlı konut alanında kullanımının mümkün olması nedenleri ile bu çalışmada betonarme prefabrike iskelet sistem ele alınmaktadır (Şekil 1).



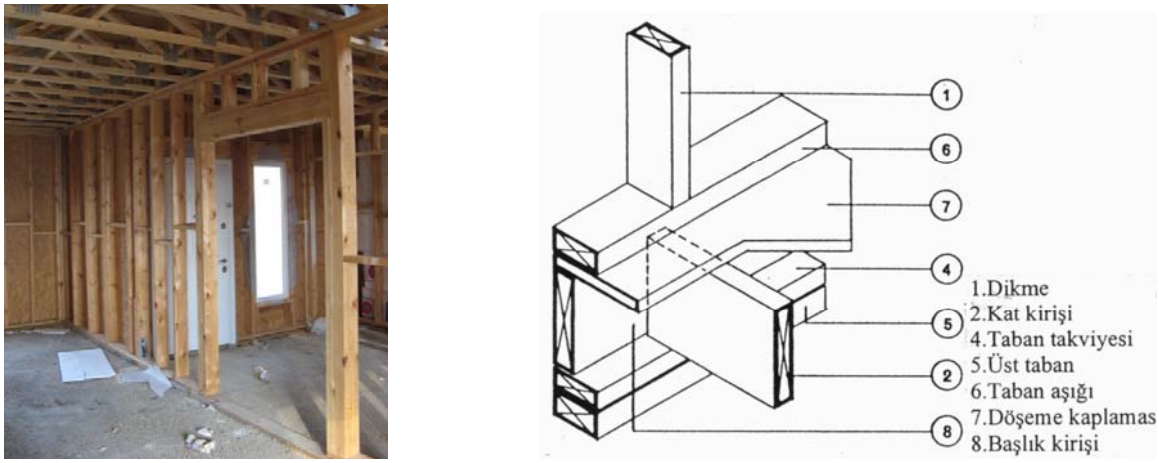
Şekil 1. Betonarme prefabrike iskelet sistem [2].

Hafif Ahşap Çerçeve Sistem

Dünyada kullanılan ahşap yapı sistemleri kütük sistem, çerçeve (dikme-kiriş) sistem ve panel sistem olmak üzere olmak üzere üç grupta toplanabilir. Ayrıca büyük açıklıkların örtülmesinde tabakalı ahşap elemanlarla oluşturulan sistemler de bulunmaktadır [3] [4]. Yaygın kullanımı ve prefabrikasyon kurallarına uygunluğu nedenleri ile bu çalışmada kaburga çerçeve (dikme-kiriş) sistemler hafif ahşap çerçeve sistemler adı altında ele alınmaktadır (Şekil 2). Bu sistemlerde, taşıyıcı sistem bileşenlerinin şantiyede birleştirilmesi ile duvar ve döşeme elemanları oluşturulmaktadır. Ahşap çerçeve sistemler duvar döşeme birleşim şekline göre platform çerçeve ve balon çerçeve sistemler olarak ayrılmaktadır. Bu teknik, hafif çelik çerçeve sistemde de aynı şekilde uygulanmaktadır. Platform çerçeve sistemlerde duvar ve döşeme iskeletleri fabrikada prefabrike olarak her kat için ayrı bir platform olarak inşa edildiği için bu ismi almıştır (Şekil 3). Dikmeler bir kat yüksekliğindedir ve duvar panelleri kolaylıkla standardize edilebilir. En yaygın metodlardan biridir [4] [5] [6] [7].



Şekil 2. Hafif ahşap çerçeve sistem [8].



Şekil 3. Ahşap platform çerçeve detayı [7].

Hafif Çelik Çerçeve Sistem

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. Amerika'nın dışında Avusturalya ve Kanada'da hafif çelik yapı sektörü gelişmektedir. Avrupa'da ise yapı stoğunun birçok merkezde tamamlanmış olması ve konut ihtiyacının yukarıda belirtilen ülkelere göre az olması hafif çelik endüstrileşmesinin tam anlamı ile sağlanamamasına neden olmaktadır. Sektör, Amerika'da en gelişmiş durumdadır [13] [14].

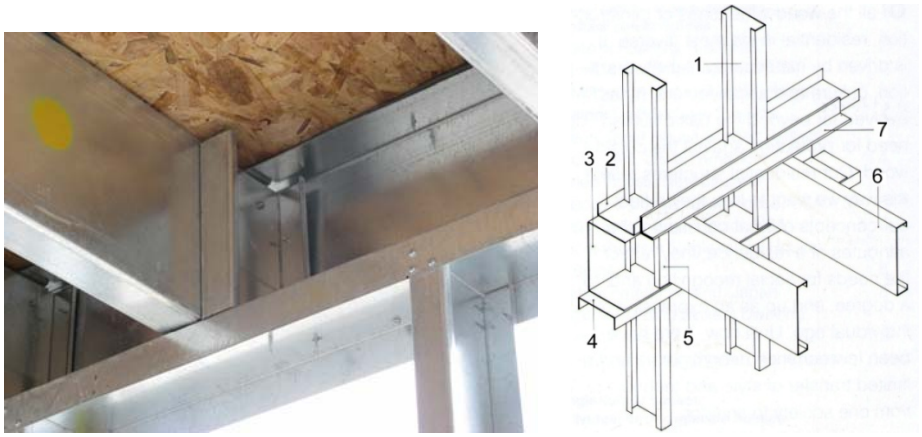




Şekil 4. Hafif çelik taşıyıcı sistem [Fotoğraf: Semih Yıldırım, Zeytinsuyu Tepesi Evleri, İstanbul].

Hafif çelik elemanların sınırlı açıklık geçebilme yetenekleri göz önüne alındığında konut gibi büyük açıklık gerektirmeyen yapılar için uygun olduğu görülür. 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 [9]. 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 [10]. Hafif ahşap çerçeve sistemde görüldüğü gibi, hafif çelik çerçeve sistemlerde, bir mekan oluşturan duvar veya döşeme çok sayıda küçük taşıyıcı profillerden oluşturulur (Şekil 4). Bina taşıyıcı bileşenleri U, C, Z ve Σ kesitli soğuk bükme profillerden oluşmaktadır. Üç dört kata kadar bu teknik kullanılabilir. Galvanize levhadan bükme profillerden bu şekilde yapının oluşturulmasına "dikme konstrüksiyon" (stick construction) denir. "Dikme Konstrüksiyon" duvar ve döşeme taşıyıcısının birbiri ile bağlantı ve yük aktarımı özellikleri açısından hafif ahşap çerçeve sistemde olduğu gibi balon sistem ve platform sistem olarak ikiye ayrılmaktadır [11] [12].

Platform sistemde duvar elemanları döşemenin üzerindedir. Basınç kuvveti döşeme üzerinden düşey taşıyıcı elemanlara aktarılır. Az katlı konutlarda genellikle bu tip kullanılmaktadır (Şekil 5) [12].



Platform sistem
1. Taşıyıcı dikme
2. Alt başlık
3. Alın kirişi
4. Üst Başlık
5. Gövde Berkitmesi
6. Döşeme kirişi
7. Alt kuşak

Şekil 5. Hafif çelik platform çerçeve detayı [10]

Çevresel Performansa Yönelik Taşıyıcı Sistemlerin Değerlendirilmesi

Çevreye duyarlı yapı malzemeleri, yaşamları boyunca; hammaddenin elde edilmesi, işlenmesi, kullanımı, bakım-onarımı, atık oluşumu ve yeniden elde edilişi evrelerinde en az düzeyde enerji harcayan, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen malzemelerdir. Evre olarak tanımlanan her dönemin çevre üzerindeki etkileri farklıdır. Sürdürülebilir bir ekonomik gelişme içinde yapı sektörü ve yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla "yaşam döngüsü değerlendirme" (Life Cycle Assesment) yöntemi ile yapı malzemelerinin performansı denetlenmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemde, yapı malzemelerinin yaşam süreçleri, hammaddenin çıkarılması, üretim, yapım, kullanım, yıkım ve yıkım sonrası olmak üzere altı evreye ayrılarak ele alınmakta ve yapı malzemelerinin bu evrelerdeki sürdürülebilirlik ölçütleri ayrı ayrı belirlenmektedir. [7]

Değerlendirmede üretim, yapım, kullanım ve yıkım evreleri ele alınmaktadır (Tablo 1). Üretim evresinde; bileşen hammade üretiminde enerji kullanımı, üretimde işlem sayısı ve süresi, depolama, yapım evresinde; bileşen tedariği, nakliye, kulanılan malzeme ağırlığı, montaja yardımcı araçlar, işçilik, kullanım evresinde; kullanıcı ihtiyaçlarına göre değişiklik, bakım onarım, yıkım evresinde; bileşen geri dönüşümü, yeniden kullanımı gibi alt başlıklara yer verilmektedir. Bu alt başlıkların bazıları binaların çevresel performanslarının değerlendirilmesinde ve derecelendirilmesinde de kullanılmaktadır.

Çalışmada betonarme prefabrike iskelet sistem, hafif ahşap çerçeve sistem ve hafif çelik çerçeve sistemler yapım sistemlerine ve çevresel performanslarına yönelik karşılaştırılmaktadır. Bunun için Türkiye' deki konut tercihlerine uygun örnek bir konut projesi hazırlanmış ve taşıyıcı sistem farkından dolayı mimari planlamanın değişmeyeceği öngörülerek, üç ayrı sistemin de uygulanabileceği bir plan tipi seçilmiştir. Tanımlanmış bu plan üzerine üç sistem ayrı ayrı uygulanmış, yapısal ağırlık vb. gibi tasarım verileri ortaya konmuştur. Tablo 1' in hazırlanmasında bu verilerden yararlanılmıştır.

Karşılaştırmadaki amaç, bir sistemin diğer sisteme üstünlüğünü ortaya koymak değil, tanımlanmış kriterlere göre veriler ortaya konarak değerlendirme yapabilmektir. Keza, taşıyıcı sistem seçimi aşamasında her kriter farklı önem derecesine sahiptir. Tasarlayıcılara, üreticilere ve proje özeline göre öncelikler değişmektedir. Dolayısıyla önem derecesine göre taşıyıcı sistem seçimi yapılabilir.

Tablo 1. Yapım sistemlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi

YAPIM SİSTEMLERİ			Betonarme Prefabrike İskelet Sistem	Hafif Ahşap Çerçeve Sistem	Hafif Çelik Çerçeve Sistem
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÖLÇÜTLERİ	ÜRETİM EVRESİNDE	Bileşen hammade üretiminde enerji kullanımı	Yüksek [15]	Düşük	Yüksek [15]
		Üretim serisi	Büyük çaplı	Küçük çaplı	Küçük çaplı
		Kullanılan malzeme	Üç tip malzeme (Çimento, inşaat demiri, çakıl)	Tek tip malzeme (Ağaç)	Tek tip malzeme (Galvanize levha)
		Üretimdeki işlem	Üç tip işlem (Kalıp hazırlığı, donatı hazırlığı, beton dökümü)	Tek tip işlem (Dikme ve kiriş kesimi)	Tek tip işlem (Galvanize levhadan profil çekilmesi)
		Üretim süresi	7 gün	1gün	1gün
		Depolama	Büyük alanda	Küçük alanda	Küçük alanda
	YAPIM EVRESİNDE	Bileşen tedariği	Sipariş üzerine	Hazır bileşen	Hazır bileşen
		Nakliye	Ağır tonajlı araçla	Hafif tonajlı araçla	Hafif tonajlı araçla
		Yapısal ağırlık	Ağır	Hafif	Hafif
		Kaba yapı ağırlığı	12,5 X	1,5 X	1 X
		Montaja yardımcı araçlar	Mobil vinç Duvar panelleri hizalama profilleri	El aletleri	El aletleri
		İşçilik	Az	Az	Az
		Yapım aşamasında tasarımda değişiklik	Zor	Mümkün	Mümkün
	KULLANIM EVRESİNDE	Kullanım aşamasında konutta değişiklik	Mümkün	Mümkün	Mümkün
		Taşıyıcı sistemde bakım onarım maliyeti	Yüksek	Az	Az
		Tesisatta bakım onarım maliyeti	Yüksek	Az	Az
		Kullanılan net alan / brüt alan	0,85	0,87	0,87
	YIKIM EVRESİNDE	Taşıyıcı sistem bileşeni geri dönüşümü	Mümkün değil	Mümkün (zaiyat var)	Mümkün (%100)

Sonuçlar

Çalışmada; az katlı konut alanında, taşıyıcı sistem seçimi aşamasında öne çıkan kriterler tespit edilmekte ve farklı endüstrileşmiş yapım sistemleri için karşılaştırılmaktadır. Bu kriterler gerek taşıyıcı sistem seçiminde ve gerekse binaların çevresel performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Endüstrileşmiş planlama yaklaşımı, çevresel etki ve sürdürülebilir malzeme kullanımı perspektifinde değerlendirilmektedir.

Kaba yapı düzeyinde karşılaştırıldığında hafif ahşap çerçeve sistem yaklaşık 1.5 kat, betonarme prefabrike iskelet sistem yaklaşık 12.5 kat hafif çelik çerçeve sistemden daha ağırdır. Hafif ahşap ve hafif çelik çerçeve sistemlerde temele gelen üst yapı yükü azaldığı için temelde kullanılan yapısal kesitler de küçülmekte ve tasarruf sağlanmaktadır. Hafif çelik çerçeve sistemde, galvanize kesit kalınlığı mm cinsinden artırılarak (1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mm) taşıma kapasitesi artırılabilir. İçi boş küçük kesitli galavanize profilin ağırlığına göre taşıma kapasitesi benzer taşıyıcı sistem özelliğine sahip ahşap bileşene göre daha yüksektir.

Hafif yapım sistemi, sistem bileşenlerini taşıma kolaylığı getirmekte ve nakliye maliyetleri de buna bağlı olarak düşük olmaktadır. Kaynak sıkıntısı çekilmeyen galvanize levha tek işlemle profil haline getirilmekte ve küçük depolama alanından hafif tonajlı araçlarla taşıma mümkün olmaktadır. Hafif çelik çerçeve sistem mobil vince ihtiyaç duyulmadan tüm iklim şartlarında hızlı bir yapım tekniğidir ve taşıyıcı bileşenlerde bulonlu birleşim alternatifi ve tesisat geçiş kolaylığı ile ahşap çerçeve sisteme göre daha iyi bağlantı tipine sahiptir.

Hafif ahşap ve hafif çelik çerçeve sistemlerde açıklıkların artması durumunda dikme ve döşeme kirişleri aralıkları azaltılmakta, hafif ahşap çerçeve sistemde dikmeler duvar içleri yönüne genişletilmekte, hafif çelik çerçeve sistemde galvanize profilin kalınlığı mm cinsinden artırılmakta, dolayısıyla net alanlar etkilenmemektedir. Sonuç olarak, mekan açıklıklıları arttıkça net/brüt alan oranı hafif ahşap ve hafif çelik çerçeve sistem lehine doğru kaymaktadır.

Betonarme veya çelik çerçeve sistemin yapımında hafif ahşap çerçeve sistemden %16-17 daha fazla enerji harcanmaktadır. Buna bağlı olarak küresel ısınma potansiyeli % 26-31 daha fazladır [15]. Ancak, hafif çelik tamamlanmış yapım sisteminin sökülebilmesi ve galvanize çeliğin % 100 geri dönüşümlü bir malzeme olması betonarme ve ahşap' a göre üstünlük sağlamaktadır.

Her türden bina alanında uygulanabilecek hafif çelik çerçeve sistem, 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. Aynı şekilde ahşap iskelet sistemde üretimde düşük enerji harcanması sebebiyle benzer avantaja sahiptir.

Hafif ahşap ve hafif çelik yapı bileşenlerinin yalnızca yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ile taşıyıcı sistem olarak değerlendirilmesi arasında fark bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemin yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemine göre değerlendirilmesi ile farklı kriterlerin farklı önem dereceleri vardır. Bu önem dereceleri, taşıyıcı sistem seçimi aşamasında üreticilerin veya tasarlayıcıların proje özeline göre kendileri tarafından belirlenmeli ve Tablo 1 derecelendirilmelidir. Çevresel etki gözönünde bulundurularak yapılan taşıyıcı sistem seçimi bu dercelendirme sonucunda yapılmalıdır.

Kaynaklar

[1] CIB, (2004). Industrialisation in construction, International Council for Research and Innovation in Building and Construction, retrieved September 09, 2004, from http://cibworld.nl.

[2] Ayaydın Y., Koman, İ., (2004). 12 soruda beton prefabrikasyon, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.

[3] Avlar, E., Limoncu, S., (2001). Yapı malzemesi olarak ahşap ve ahşap yapı sistemleri, Yapı Dergisi, Sayı 241, s. 87-90, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.

[4] Götz, K. H., Hoor, D., Möhler, K., Natterer, J., (1989). Timber design & construction sourcebook, a comprehensive guide to methods and practice, Mc Graw-Hill Publishing Comp., New York.

[5] Avlar, E., (2002). Ahşap çerçeve yapıların strüktürel tasarımı, Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu, TMMOB Mimarlar Odası Anakent Şubesi, 15-16 Şubat 2002, İstanbul.

[6] Chiuini, M., Underwood, R., (2007). Structural design, a practical guide for architects, John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA.

[7] Çakır, S., (2000). Geleneksel Karadeniz ahşap konut yapım yönteminin çağdaş teknoloji açısından değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[8] AWC, (2001). Details for conventional wood frame construction, American Forest and Wood Frame Association, American Wood Council, Washington.

[9] Ekinci, S., Eşsiz, Ö. (2005). Deprem bölgelerinde hafif çelik yapım sistemleriyle üretilen konutların uygulanabilirliği, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.

[10] Işık, B., (2001). Hafif çelik yapıların geleneksel ahşap yapılar ile benzerlikleri, Türk Yapısal Çelik Derneği, alındığı tarih 15.07.2001, http://tucsa.org.

[11] NASFA, (2000). Prescriptive method for residential cold formed steel framing, North American Steel Framing Alliance (NASFA), retrieved April 12, 2002, from http://steelframingalliance.com.

[12] Smith, R. J., (1996). Innovations in steel, residential construction around the world, International Iron and Steel Institute, Belgium.

[13] 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.

[14] Terim, B., (2006). Hafif çelik çerçeve sistem, Ege Mimarlık, sayı 1, s. 56, İzmir.

[15] Couch, G., (2004). Wood frame houses better for environment, News Release, United State Department of Agriculture (USDA) Forest Service, Forest Products Labarotory, retrieved October 13, 2004, from http://fpl.fs.fed.us.