



ISSN: 1306-3111/1308-7231
NWSA-Engineering Sciences
NWSA ID: 2013.8.2.1A0346

Status : Review
Received: September 2012
Accepted: April 2013

E-Journal of New World Sciences Academy

Özlem Eren

Mimar Sinan Fine Arts University
essiz@msu.edu.tr, Istanbul-Turkey

Bahar Başarır

Mimar Sinan Fine Arts University
baharbasarir@gmail.com, Istanbul-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2013.8.2.1A0346>

ÇELİK STRÜKTÜRLERİN YAŞAM DÖNGÜSÜ İÇİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

İnsanoğlunun doğal enerji kaynaklarını savurganca kullanması nedeniyle, bu kaynakların giderek azalmakta ve atmosferde oluşan kirlilik nedeni ile de geri dönüşü olmayan doğa olayları ile karşı karşıya kalınmaktadır. Özellikle tasarımcı, görsel değeri fazla yapı tasarlamanın yanısıra yapının tasarımından yıkımına kadar geçirdiği her evrenin, farklı çevresel etkiler oluşturacağını göz önünde bulundurmalıdır. Yapım, kullanım ve yıkım aşamalarında yapı malzemelerinin, bileşenlerin ve sistemin nasıl davranış göstereceğini, çevreye olan etkilerini bilmelidir. Yapı sistemlerinin oluşturulmasında kullanılan çelik malzeme, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında çok sayıda avantaja sahiptir. Bu çalışmada çelik strüktürlerin yaşam döngüsü içinde sürdürülebilirliği, kaynak verimliliği, enerji verimliliği, geridönüştürülebilirlik vb. kriterleri doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Strüktür, Yaşam Döngüsü, Sürdürülebilirlik, Enerji Etkin Tasarım, Geri Dönüşüm

LIFE CYCLE ASSESMENT OF STEEL STRUCTURES WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABILTY

ABSTRACT

Due to utilization of natural resources prodigally by the humans, as well as decrease in these resources and the pollution occurring at atmosphere, it is the inevitable reality of today's world that unrecoverable natural events are experienced. Beyond the task of the designer that is creation of a beautiful image on the paper, the designer should consider the fact that each stage of the structure from design to the demolition shall create different environmental impacts. The designer should also know behavior of structure materials, components and the system, as well as their environmental impacts during construction, utilization and demolition stages. Steel material used in formation of structure system has numerous advantages when compared to other materials. In this study, sustainability of steel structures is evaluated on the basis of various criteria within their lifecycle.

Keywords: Steel Structures, Life Cycle Assessment, Sustainability, Energy Efficency, Recycable



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sürdürülebilir gelişmenin ilk tanımı 1987'de Çevre Ş Gelişimi Toplantılarında Dünya Komisyonu tarafından verilmiştir. Komisyon sürdürülebilirliği, "Gelecek kuşakların gereksinimlerine cevap verme yeteneğini tehlikeye atmadan, günlük ihtiyaçlarını temin ederek, kalkınmayı sürdürülebilir kılma yeteneğine sahip olma" olarak tanımlamaktadır. Sürdürülebilir yapı varolan yapının parçalarının tekrar kullanımı, en az kaynak ve enerji kullanarak kaynakların azalmasının engellenmesi ve hava kirliliğini azaltma gibi çok geniş konuları kapsamaktadır [1, 2 ve 3].

Nüfus artışına paralel olarak gelişen barınma gereksinimi, yapı sektörünün hızla büyümesine neden olmaktadır. Çevresel etkileri düşünülmeden üretilen yapılar çevre tahribatına yol açmakta, hatta insan sağlığını tehdit etmektedir. Yapı sektörünün yarattığı çevre kirliliğinin azaltılması amacıyla, mimarlık disiplinde de sürdürülebilir yapı sistemleri ve yapı malzemeleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Sürdürülebilir mimari tasarım ölçütlerinin belirlenmesi, yapı malzemelerinin yaşam süreçleri boyunca sebep oldukları çevresel etkilerin araştırılması ve bu malzemelerin sürdürülebilirlik ölçütlerinin değerlendirilmesi yapılan çalışmalar arasındadır [3 ve 4].

Avrupa Birliği (AB), "AB Binalarda Enerji Performans (BEP) Yönetmeliği'nde" (2020/91/EC) 2020 yılından başlayarak enerjide %20 tasarruf edilmesi ve binalardaki enerji ihtiyacının %20'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması doğrultusunda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak AB, enerjide dışa bağımlılığı ve fosil enerji tüketimini azaltmak ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği konusundaki Çerçeve Konvansiyonu kapsamında imzalanan "Kyoto Protokolü'nün küresel sıcaklık artışını uzun vadede 2°C'nin altında tutma ve 2020 yılı itibarıyla sera gazı salınımlarını 1990 yılı değerlerinin en az %20 (uluslararası bir anlaşma yapılması durumunda %30) altına çekme taahhüdünü desteklemek amacıyla, AB BEP yönetmeliğinde revizyona giderek, 2020 yılı Aralık ayı itibarıyla AB üye ülkelerinde yeni binaların "yaklaşık sıfır enerjili" olması ve enerjinin bir bölümünün yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasını hedeflemiştir [4 ve 5].

Yapı malzemeleri sürdürülebilir mimari kapsamı içerisindedir. Sürdürülebilir yapı kavramının önem kazandığı günümüzde çelik, malzeme ve yapı özellikleri açısından dikkat çekmektedir. Çelik malzeme, konut, ticari ve endüstriyel yapılar, otoparklar, stadyumlar, köprüler vb. gibi çok sayıda yapı tipinde kullanılan vazgeçilmez yapı malzemesidir. Çelik en çok geridönüştürülen ve ekonomiye de en çok katkıda bulunan malzemedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Sürdürülebilirlik, sadece yapay ve doğal çevrenin korunumunu değil, aynı zamanda canlı varlıkların ve kaynakların sürekliliğini de sağlamayı amaçlamaktadır. Mimarlık disiplinde sürdürülebilirliğin kapsadığı hedefler, enerjinin, bakım ve onarım maliyetlerinin, yapıyla ilişkili hastalıkların, atık ve kirliliğin azaltılması; yapı ürünlerinin verimliliğinin ve konforunun, yapı bileşenlerinin dayanıklılığı ile esnekliğinin arttırılmasıdır. Bu bağlamda sürdürülebilir yapı, doğal ve yapay çevreye, kullanım süreleri içinde şimdiki ortamları ve daha geniş bölgesel ve global çevreye en az zarar veren yapı olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilir yapı da esnek ve gelecekte kullanıcının değiştirebilmesi için bütün ihtiyaçları karşılayabilen, istenilen doğal ve sosyal çevrenin desteklenmesi ve oluşturulması olarak tanımlanır [6 ve 7].

Yapım, geleneksel anlamıyla, çeşitli kaynaklar kullanılarak bir ürün elde edilmesini sağlayan ve kalite, maliyet ve zaman üzerinde yoğunlaşan bir süreçtir. Geleneksel tasarım ve yapım, maliyet, zaman ve kalite hedeflerine odaklanırken, sürdürülebilir tasarım ve yapım, bu hedeflere, kaynak tüketilmesinin ve çevresel bozulmanın en aza indirgenmesi ve sağlıklı yapılaşmış çevre yaratılması hedeflerini de ilave etmiştir [8].

Bu bağlamda çalışmanın önemi, Avrupada yaygın olarak kullanılan çelik yapıların yaşam döngüsü içinde sürdürülebilirliğinin çeşitli kriterler doğrultusunda ortaya konulmasıdır.

3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ÇELİK YAPI (SUSTAINABILITY AND STEEL CONSTRUCTION)

Sürdürülebilir yapım sürecini geleneksel yapım sürecinden ayıran en önemli özellik, yapım sürecinin, "yaşam dönemi değerlendirmesi (life cycle assessment-LCA)" yaklaşımıyla ele alınmasıdır. Yaşam dönemi değerlendirmesi, yaşam dönemi boyunca bir ürün ve/veya hizmet sisteminin girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin derlenip değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1-2) [9,10]. Yapıların çevresel etki değerlendirmesini yapabilmek için, yapının tümünün, toplam yapı yaşam döngüsü içinde kullanılacak bütün yapı malzemelerinin; üretim, yapım, kullanım, söküm, geri kazanım, geri dönüşüm ve en son seçenek olarak yıkım ve atım sırasında yaratacakları etkiyi göz önüne almak gereklidir.



Şekil 1. Stuttgart Havaalanı
Almanya [22]
(Figure 1. Stuttgart Airport,
Germany [22])



Şekil 2. Çelik strüktürlü Bilbao
Müzesi [22]
Figure 2. Steel structural Bilbao
Museum [22]

Yapı sektöründe çelik yapım sistemi 3 şekilde uygulanmaktadır.

Yapısal Çelik Kullanılan Sistem: Çelik, demirden elde edilen bir alaşımdır. Taşıyıcı sistemlerde kullanılan yapı çeliği ergitilmiş demir cevherine %0.2-1 oranında karbonun ve diğer katkı malzemelerinin katılmasıyla oluşan, kolay işlenebilen ve dayanım/yoğunluk oranı yüksek bir bileşiktir. Yapısal çelik malzemin bir başka üretim şekli kalıplama döküm yöntemidir. Bu yöntemle karmaşık şekiller kalıba dökülerek üretilebilmektedir. Çelik yapılar, haddelenerek üretilmiş hadde profil elemanlarının perçin, bulon veya kaynakla bir araya getirilmesiyle yapılmaktadırlar. Çelik üretiminde kalite ve ölçüler, milletlerarası standartlara uygun olarak yapılır. Yapı sektöründe kullanılan başlıca çelik türleri St 37 ve St 52 çelikleridir. Bunlardan St 37 çeliği çok fazla özelliği olmayan yapılarda kullanılır. St 52 çeliği ise St 37 çeliğinden %50 daha mukavemettir.

Bu nedenle de aynı yük ve açıklarda St 37 çeliğinden daha küçük kesitler kullanılabilir. Dairesel formulu (CHS), dikdörtgen formulu (SHS) ve dikdörtgen (RHS) kesitli profilleri universal kiriş ve kolonlardan %20 daha pahalıdır. Özellikle, dikme ve kolonların uç birleşimleri bulonladığı zaman karmaşık detaylar ortaya çıkar. Yapılarda kullanılan farklı kesitlerdeki çelik profiller aşağıda gösterilen şekilde 5 grupta toplanabilir.

- Hadde profiller
- Levhalar (Düz levhalar, oluklu levhalar vb.)
- Kapalı profiller(\square , O)
- Açık profiller (U, L)
- Özel şekillendirilmiş profiller

Hafif Çelik Taşıyıcılı Sistem: Soğukta şekillendirilmiş galvaniz sac profillerden oluşan (U, C, Z gibi) taşıyıcıların kullanıldığı sistemdir.

Önceden Birleştirilmiş Modül Sistem: Taşıyıcılar fabrikada hücre modülleri oluşturacak şekilde birleştirilir. Bu sistem, halı, duvar kağıdı kaplanması, v.b., gibi işlemlerin nakliyeden önce tamamlanmasına imkan vermektedir. Montaj işleri hava durumundan etkilenmez ve tüm yapı iki haftadan önce tamamlanabilir[9].

Tablo 1'de çelik konstrüksiyonlu yapıların sürdürülebilirlik özelliklerinin bir özeti listelenmiştir [10]. Bu özellikler çelik konstrüksiyonlu tüm; konut, ofis, endüstri ve kamu yapıları için hemen hemen aynıdır. Fakat Tablo 1'de belirtilen özelliklerin bir kısmı, fonksiyonel farklılıklarından dolayı köprü gibi açık strüktürler için uygun değildir.

Tablo 1. Sürdürülebilir yapımlar açısından çeliğin özellikleri
(Table 1. Properties of the steel in terms of sustainable construction)

Özellikler	Çelik Konstrüksiyonun Durumu
Kullanılabilirlik	Çelik konstrüksiyon verimli fabrika süreçleri sonucu, en az kaynak kullanımıyla üretilir. Büyük açıklıklı, yüksek ve esnek yapımlar olanağı sağlar.
Hız	Çelik strüktürler inşaat alanında hızlıca inşa edilebildiği için bölgesel kirlenme azaltılır.
Ağırlık	Çelik strüktürler hafiftir. Bu nedenle, malzeme, enerji, taşıma ve emisyon açısından verimlidir. Hafiflik düşey yönde genişlemeye olanak sağlar.
Atık	Çelik konstrüksiyon malzeme açısından oldukça verimlidir, az miktarda atık üretir ve oluşan atığın çoğu geri dönüştürülür.
Performans	Çelik yüksek performanslı, modern bilgisayar teknolojileriyle hassas boyutlarda üretilen bir malzemedir.
Lojistik	Çelik bölgesel olarak üretilebilir ve montaj için gerektiği zamanda inşaat alanına getirilir. Hafif bir malzeme olduğundan taşıma sırasında fazla CO ₂ emisyonu olmaz.
Sağlamlık	Çelik yapılar, tasarım ömrü ve sonrasında yüksek kalitesini uzun süre korur.
Sağlık	Çelik konstrüksiyon kuru yapımları, düşük emisyonlu malzemeleri, kontrollü ve güvenli süreçleri ile yüksek kaliteli mimarlığa öncülük eder.
Geri Dönüştürülebilirlik	Tüm çelik ürünler geri dönüşüm geçirebilir. Geri dönüşüm sırasında kalite kaybı yaşanmaz ve tüm çelik ürünler geri dönüştürülmüş malzeme içerir.
Tekrar Kullanım	Çelik yapılar ve bileşenleri sökülüp tekrar kullanılabilir.

Çelik yapıım ilk bakışta pahalı olarak algılanmaktadır. Taşıyıcı sistem toplam maliyetin %20'sini oluşturmaktadır. Ancak, çelik sistemler, hafiflikleri, tip detaylara olanak sağlaması vb. özellikleri nedeniyle maliyeti düşürmektedir. Çelik iskeletli yapıları ekonomik yapan özelliklerin birkaçı aşağıda sıralanmıştır (4,8,9).

- Yapı inşasına uygun olmayan zeminlerde bile güvenilir yapılar inşa edilebilmektedir.
- Çok yatırım gerektirmeden depreme dayanıklı yapılar inşa edilebilmektedir.
- İnşa sırasında iskele veya kalıba gerek kalmaması, bu harcamayı ortadan kaldırmaktadır.
- Kötü hava şartlarında dahi yapılabilir.
- İnşa ve kullanımları sırasında kolayca denetlenebilmektedir.
- Yapım süresi betonarme sisteme göre kısadır.
- Çelik elemanlar şantiyeye kolaylıkla taşınabilir.
- Betonarme sistemlerle çözümlenmeyecek karmaşıklıkta sistemlere uygundur.
- Yapım ve kullanım sırasında kolaylıkla denetlenebilmekte ve bakım yapılabilir.
- Yapım süresi kısadır.
- Elemanların prefabrike olması nedeni ile naklieleri kolaydır.
- Elemanlar ve birleşim detayları tipleştirilebilmektedir.

Çelik çerçeve taşıyıcılı, dört katlı ticari bir yapının toplam yaşam döngüsünde tükettiği enerjinin %6'sı taşıyıcı sistem yapımında(yapısal çelik profiller %2), %23'ü de taşıyıcı olmayan diğer kısımların yapımında harcanır. 60 yıllık işletme sırasında kullanılan enerji de toplam yaşam döngüsü enerji maliyetinin %71'ini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yapı tasarımlarının, yapının yaşam döngüsü enerji kullanımını da en aza indirmesi gerekmektedir. Aşağıdaki bölümlerde, çelik yapıların yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

3.1. Sürdürülebilir Tasarım (Sustainable Design)

Sürdürülebilir yapının temelini iyi tasarım oluşturmaktadır. İlk tasarım aşamasında alınan kararların yapının ömrünün yanı sıra, inşaat projesinin toplam sürdürülebilirliği üzerinde de büyük etkisi vardır. Çelik yapılarda sürdürülebilir tasarım, çeliğin aşağıda belirtilen özelliklerine bağlı olarak sağlanabilir.

3.1.1. Esneklik (Flexibility)

Değişimin hızla yaşandığı günümüzde sürdürülebilir yapılar, kullanım, servis, elektrik ve bilgi iletişim sistemlerinde olabilecek değişikliklere uyum sağlamak zorundadır. Çelik yapıların kullanılabilir ömrü, iç mekanın yeni ihtiyaçlara adaptasyonu, strüktürel genişleme ve yapı kabuğunun iyileştirilmesi sayesinde uzatılabilir. Bu şekilde aynı kaynaktan daha fazla yararlanılarak, yapının yaşam dönemi maliyeti ve çevresel etkileri azaltılır.

Mimarlardan bir yapıyı tasarlarken beklenen, yapının ileride yapılabilecek değişiklikler karşısında esnek planlamaya imkan verebilmesidir. Böylece ihtiyaçlar değiştikçe, istenildiği şekilde mekansal değişiklikler yapılabilecektir. Çeliğin ağırlığına oranla yüksek dayanımı sayesinde, az sayıda hafif temelleri olan, çevreye daha az etki eden strüktürler inşa edilmektedir. Günümüzde, ilerleyen teknoloji sayesinde duvarların yerleri değiştirilerek mekanlar çok çeşitli düzenlenebilir. Bu da çelik iskeletli yapıların, iç ve dış duvarlarının taşıyıcı olmaması ile sağlanabilmektedir. Özellikle ofis yapıları için mekansal düzenlemede sorun olan elektrik kabloları,



bilgisayar ağ kabloları ve iletişim sistemleri sürekli yenilenmekte bu da mekanı kullananların düzenini etkilemektedir. Oysa çelik iskeletli yapılarda uygulanan döşeme sistemleri (boşluklu kirişler vb.) bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. Endüstri yapılarında, üretim işlemlerindeki değişimlere bağlı olarak yeni makinelerin kullanılmaya başlanması vb. nedenlerle hareketli yüklerde artış olabilir. Artan yükler çelik elemanların birleşimlerinde güçlendirmeler yapılarak karşılanabilir.

Çelik, tasarımcılar için çok farklı işlevsel mekanlar yaratma olanağı sunmaktadır. Yapıyı kullananların zamanla farklı ihtiyaçlara gerek duyması veya yapı bütününde bazı yapı elemanlarının yıpranması nedeni ile mevcut yapıların yaşamlarını uzatma ve iyileştirmesi söz konusu olabilir. Gelişmiş ülkelerde ise, şehir silüetini koruma ve teknolojik gelişmeler nedeniyle binalarda değişikliğe gerek duyulmaktadır. Tüm bunların yanında işlevlerini kaybeden binaların doğa kirliliği yaratmaları da söz konusudur [6]. Çelik yapılarda, sistemin verdiği imkan sayesinde 4 farklı tip değişkenlik söz konusu olmaktadır [3]. Bunlar;

- Biçimsel değişkenlik
- Alansal değişkenlik
- Yapısal değişkenlik
- Alt sistemlerde değişkenlik

Çelik sistemler, esnek planlamaya en uygun sistemdir. Kullanım amacını rahatça değiştirebilme, çeşitli ekleme, çıkarmalara imkan verebilme, hasar gören bölümlerin kolayca onarabilme gibi esnekliği etkileyen özelliklere sahiptir. Çelik çerçeveli yapılar kolaylıkla sökülüp başka bir yere, sadece yeni temel yapılarak taşınabilmekte, yapının alt ve üst bölümlerine yeni modüller eklenebilmektedir. Yukarıda bahsettiğimiz gibi kullanım amacı değişen, hasar gören, eklemeler yapılacak bölümler çelik yapı elemanları kullanılarak kolaylıkla yenileri ile değiştirilebilmekte veya yeniden yapılabilmektedir [3].

3.1.2. Malzeme ve Kaynak Verimliliği (Materials and Resource Efficiency)

İnşaat sektörü malzeme ve kaynakların başlıca tüketicilerindedir. Enerji ve kaynak tüketimini en aza indirerek, geri dönüştürülebilirliği arttırmak sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kalite veya miktar açısından sektör ihtiyacını karşılamadığı durumlarda hammaddeye ihtiyaç duyulur. Çelik yapımda ihtiyaç duyulan temel hammadde; metal cevheri, kireçtaşı, petrol, kömür, doğal gaz ve diğer bazı minerallerdir. Çelik yapımda, yüksek derecede geri dönüştürülmüş bileşen kullanımı ve geri dönüştürülebilirliği ile diğer yapımda sistemlerine oranla daha az hammaddeye ihtiyaç duyması açısından eşsizdir. Cevherinden 1kg çelik üretimi için yaklaşık 2,5-3,0 kg malzeme girişi gereklidir. Artıklar yan ürün veya enerji olarak kullanılır. Hafif çelik malzemeden yapılan bir binanın iskeleti 7-8 hurda otomobilden elde edilebilmektedir. Buna karşılık, benzer bir yapıyı ahşaptan yapmak için yaklaşık 50 ağacın kesilmesi gerekmektedir [8 ve 9].

Çelik yapıların su tüketimi, ağırlıklı olarak çelik üretim tesislerinde yapılan soğutma işlemleri ile ilgilidir. 1 kg çelik üretmek için dolaylı ve doğrudan soğutma ortamında yaklaşık 60 lt su kullanılır [9,10].

Çeliğin yüksek güç-ağırlık oranından da yapı strüktürünün toplam çevresel etkisini azaltmak için yararlanılır. Strüktürel çelik elemanlar, küçük kesitlerle diğer malzemelere göre daha fazla yük taşıyabilirler. Bu sayede malzeme verimliliği artar. Örneğin betonarme

bir yapıda 100x100 cm olan bir kolonun çelik karşılığı 40x40 cm'dir [4, 5 ve 7].

3.1.3. Yenileme (Renovation)

Tarihi yapıların, onarımı, ve eklemelerin yapılmasında çelik en çok tercih edilen malzemedir. Bu tür yapılarda genellikle çatı ve cephelerde dışarıdan okunabilen eklemeler yapılır. Yenileme uygulamalarında çelik ve cam malzeme, hafiflikleri, hızlı yapılabirlikleri ve yenileme sürecinde yapıya zarar vermeden, gerektiğinde kaldılabilecek tasarımlara imkan verdiği aynı zamanda da dönemin özelliğini de kazandırdıkları için tercih edilmektedir. Tarihi binaların iç avlularının kaplanması binanın içinin fonksiyonel alanının genişletilmesi için yapılan çalışmalar görece yeni bir uygulamalardır (Şekil 3). Berlin'de de II.Dünya Savaşı'nda yıkılan Reichtag Binası'nın çatısının yerine, çelik ve cam malzeme kullanılarak mekanın derinliklerine doğal ışığın alındığı dolayısıyla enerji ihtiyacını azaltan bir kubbe yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Tarihi yapıda çelik kirişlemeli üst örtü uygulaması [22] (Figure 4. Steel beams applications at historical buildings)



Şekil 5. Reichtag Binası çatısı, Norman Foster [22] (Figure 5. Reichtag Building, Norman Foster)

3.1.4. Enerji Verimliliği (Energy Efficiency)

Yapının tasarımı, işletim enerjisi tüketimini doğrudan etkilemektedir. Yaşam döngüsü boyunca yapılan enerji tüketimi, farklı çelik esaslı strüktürel sistemlerle oluşturulmuş, verimli strüktür çözümleriyle, kaliteli ve dayanıklı ürünlerin birleşmesi sayesinde azaltılabilir. Çelik malzeme; hem insanları hem de çevrenin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Yapı inşasındaki ekolojik gelişme, yapı servislerini optimize eden yaratıcı sistemler kadar yapı çevresini de içine almaktadır. Yapının performansı, yaşam boyu maliyetle belirlenir. Uzun dönemde dayanıklı olan bu malzeme yapıyı ekonomik hale getirir.

Çelik strüktürlerde kullanılan enerji, bütün yaşam boyunca yapıdaki toplam enerji tüketimi ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür.

Fosil yakıtların yanması, en büyük çevresel tahribata sebep olan faaliyettir. 'Karbonsuz' santraller tarafından üretilen elektrik ile çalışan elektrikli trenler hariç tüm ağır nakliyatlar, CO₂, HC ve diğer kirleticileri çevreye yayar ve sınırlı olan fosil kaynakları kullanır [4,5,12]. Günümüzde konstrüksiyon malzemelerinin nakliyatında kamyonların kullanımı egemendir. Uluslararası ticaretin gelişmesi uzun mesafeli nakliyat ihtiyacının artmasına sebep olmuştur. İnşaat

alanında daha az işçi bulunması inşaat alanına gereken ulaşım ihtiyacını azaltırken otopark gereksinimini de düşürmektedir.

Üretim süreci, önce hammaddelerin elde edilmesi sonra da bu hammaddeler ve hurda kullanılarak, paslanmaz çeliğin elde edilmesi ile devam eder. Fabrikada kontrol altında üretilen çelik işlenerek, şantiyede montajı yapılır; böylece üretim süreci kısalmıştır. Bu süreçte yüksek miktarlarda enerji tüketilir. Harcanan kaynaklar, tüketilen enerji ve ortaya çıkan atıkların belirli değerler arasında olması ekolojik dengelerin devamı açısından büyük önem taşır. İç duvarlarda kullanılan çelik sistemler doğru kullanıldığında son derece verimli olabilirler. Yapılar, ısı izolasyonu, hava kesici, nem bariyeri ve isteğe bağlı yüzeyler ile kombine edilmiş, hafif çelik iskelet sayesinde normal şartlar altında $U: 0,15 \text{ W/m}_2 \cdot \text{K}$ 'den (ısı direnç değeri $R > 7 \text{ m}_2 \cdot \text{K/W}$) daha az ısı geçirgenliği performansı gösterebilir. Modern teknoloji, metal çerçevenin ısı performansı açısından çok da kötü olmadığını gösterir. Ulusal farklılıklar, iklim koşulları açısından belirleyici rol üstlenmektedir ve işletme enerjisi yapı içinde gerçekleştirilen aktiviteler ile doğrudan bağlantılıdır [1,2]. Yeni yapılmış tipik, 2 katlı, 100 m² taban alanına sahip çelik konstrüksiyonlu bir bina yıllık 100 kWh/m²'den daha az servis enerjisi harcar. Bu değer geleneksel bir binanınkinden % 30 daha azdır [8].

Yapının tasarımı, işletme enerjisi tüketimini doğrudan etkilemektedir. Yaşam döngüsü boyunca yapılan enerji tüketimi, farklı çelik tabanlı strüktürel sistemlerle oluşturulmuş, verimli strüktür çözümleriyle, kaliteli ve dayanıklı ürünlerin birleşmesi sayesinde azaltılabilir. Konstrüksiyonel kullanım için üretilmiş 1 kg bitmiş çelik üretiminde tüm süreçler ve enerji tipleri (EU-cevherden ortalama) dahil olmak üzere yaklaşık ortalama 9 kWh enerji gerekmektedir. Çelik bir yapının, 50 yıllık yaşam döngüsüyle karşılaştırıldığında, gömülü çelik parçaların tümünün üretiminde kullanılan enerji toplam enerji tüketiminin %2' inden azdır [3, 4 ve 5].

Yapılarda enerji tüketimini önlemenin en etkili yolu enerji etkin tasarım ve tesis yönetimi sayesinde işletme enerjisi tüketimini azaltmaktır. Yapıların kullanımı sırasında harcanan enerji (işletme enerjisi), yapının yaşam döngüsü çevresel performansını belirleyen en önemli konudur. Yapım sırasında harcanan enerji, yapının ömrü boyunca harcanan işletme enerjisinin %5' inden azdır [8,11]. Tek başına taşıyıcı çerçevenin işletme enerjisi üzerinde önemsiz bir etkisi vardır; fakat adapte edilmiş yapı servisleri ile yapı kabuğu kombinasyonunun termal etkinliği önemlidir. Yalıtımda yapılan küçük iyileştirmelerin toplam enerji tüketiminde büyük etkisi vardır. Çelik yapı kabukları, enerji korunumu sağlayan uygulamalarla kombine edilebilen, iyi yalıtılmış ve hava geçirmez çözümler sağlar. İşletme harcamalarının belirgin bir şekilde enerjiye bağlı olduğu göz önüne alındığında, çelik yapılar maddi tasarruf sağlamaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Bina yönetmelikler ile uyum sağlayan maksimum u-değerleri (W/m²) (SBI raporu 220-2 Modüler inşaatın sürdürülebilirliği)

Table 2. Max U value according to Building Regulations (W/m²) (SBI report, sustainability of modular construction 220-2)

İhtiyaçlar	Dış Duvar	Zemin Döşemesi	Eğimli Çatı Yalıtımı
Hesaplanan Değerler (2006)			
Gaz ısıtma	0.30	0.22	0.16
Diğer ısıtma	0.25	0.22	0.16
Sürdürülebilir Evler için Kod (2006) -Seviye 3 Değerlendirme			
Gaz ısıtma	0.20	0.20	0.15
Hafif çelik çerçeve kullanılarak sağlanan U-değerleri (W/m ²)			
Tipik inşaat	0.25	0.22	0.15
En iyi uygulama	0.15	0.20	0.10

3.2. Sürdürülebilir Yapım(Sustainable Construction)

3.2.1. Prefabrikasyon(Prefabrication)

Geçmişte olanaksız gibi görünen tasarımlar; büyük yüklerin, az malzeme ile taşınmasını sağlayan çelik elemanlarla artık gerçekleştirilebilmektedir. Kaliteli ve sağlam çelik ürünlerin doğru tasarım ilkeleriyle birleştirilmesi, atık üretimini azaltarak başka bir verimli kullanım özelliği oluşturmaktadır.

Çelik taşıyıcı yapı yüksek kaliteli endüstriyel bir üründür. Taşıyıcı sistemin tüm parçaları fabrika ortamında üretilir ve endüstriyel kalite güvencesi içerir. Hepsi standartlara ve şartnamelere göre yapılır ve belgelendirilir. Şantiye üretimleri ve tüm uygulamaları da benzer şekilde kontrol edilir. Çelik çerçeve, modüler ünite ve yapı elemanı gibi ürünlerin prefabrikasyonu daha güvenli bir çalışma ortamı sağlar ve işçilik kalitesini arttır. Prefabrikasyon sayesinde çok küçük inşaat alanlarıyla, doğal çevreye daha az müdahale edilip, şantiye ve çevresindeki kirlilik ve gürültü azaltılarak, çevreye en az olumsuz etkiyle inşaat yapmak mümkün olmaktadır. Çelik yapı sistemini oluşturan elemanların dış hava koşullarından bağımsız bir şekilde fabrikada her türlü işlem den geçirilerek kısa sürede üretilmesi ve her türlü hava koşulunda basit montaj teknikleri ile en kısa sürede yapılması yapım süresini kısaltmaktadır. Tablo 3'te çeşitli prefabrikasyon seviyelerinde zaman ve maliyet faktörlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. İmalat ve inşaat faaliyetlerinde kullanılan toplam enerjinin %11'i inşaat alanındaki süreçlerden kaynaklanmaktadır. Çelik bileşenlerin, inşaat alanına taşınmasında ve inşaat alanı süreçlerinde daha az enerjiye ihtiyaç duyulur [5, 11 ve 12].

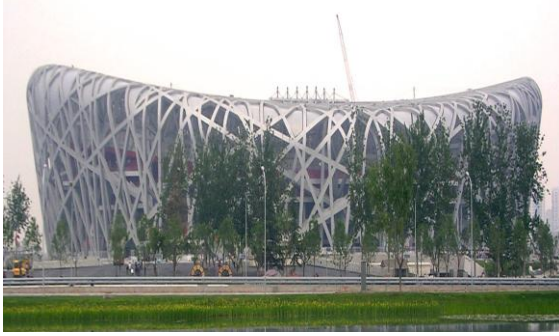
Tablo 3. Farklı yapım sistemlerinin prefabrikasyon seviyelerinde zaman ve maliyet faktörlerinin karşılaştırılması
(Table 3. Comparison of the time and cost factors of different production systems levels of prefabrication)

KRİTER	Geleneksel Tuğla/Blok Konstrüksiyon	Panel (2D) Konstrüksiyon	Hibrit Panel ve Modüler Konstrüksiyon	Tamamen Modüler Konstrüksiyon
Tüm yapım süreci	100%	75%	70%	40%
Hava-geçirimsiz kabuk oluşturmak için harcanan zaman	100%	55%	50%	20%
İnşaat alanında iş gücü gereksinimi	100%	80%	70%	25%
İnşaat alanında kullanılan malzemelerin toplam maliyete oranı	65%	55%	45%	15%
İnşaat alanındaki işçiliğin toplam maliyete oranı	35%	25%	20%	10%
İnşaat alanı dışındaki yapımın toplam maliyete oranı	0%	20%	35%	75%

Kaynak: National Audit Office, 2004[8]

Çelik strüktürler; hafiftirler, malzeme verimliliği sağlarlar ve çoğu durumda inşaat alanı dışında üretilirler. Bu nedenlerle nakledilmesi gereken ağırlık daha azdır; geri dönüşüme veya depoya götürülecek atık miktarı oldukça azdır. Doğru tasarım ve çelik profillerin şekil stabilitesi konstrüksiyon atıklarının azalmasını sağlar. Ön üretimli çelik elemanların, üretim yerinden uzak yerlere nakliye edilmesi gerekebilir [2, 4 ve 13]. Ön üretimli oldukları için çelik malzemeden üretilen cephe kaplamalarındaki hava sızdırmazlığını sağlamak için gereken zaman, geleneksel tuğla ve blok yapıma oranla

%20 azaltılabilir (Şekil 6-7) [2 ve 4]. Uygulama süresi, sürdürülebilirliği belirlemede en önemli etkenlerden biridir.



Şekil 6. Çelik yapıdaki stadyum, Pekin
(Figure 6. Steel structured stadium, Beijing)



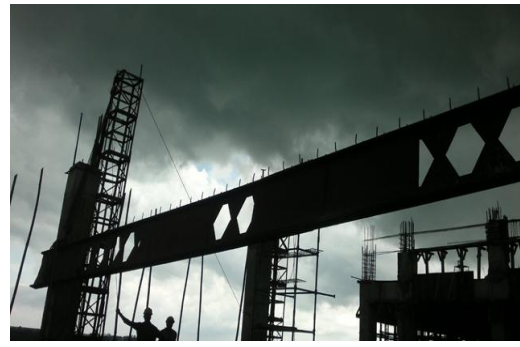
Şekil 7. Porto Havaalanı, Portekiz [22].
(Figure 7. Porto Airport, Portugal)

3.2.2. Çelik Yapılarda Kullanılan Yapısal Elemanlar (Structural Elements on Steel Structures)

Çelik yapılarda kullanılan kiriş elemanları dolu ve boşluklu gövdeli olarak üretilmektedir. Dolu gövdeli kirişler eğilme kuvvetlerine karşı çalışırlar. Kirişin boyutu, hem kendi hem de üzerine gelecek yüklerin ağırlığını taşıyacak kapasiteye sahip olmalıdır. Mühendisler kirişin boyutunu üzerine etkiyecek hareketli yükü ve kendi ağırlığından gelen ölü yükleri hesaplayarak bulurlar. Kiriş olarak genellikle I profiller kullanılır. 100m'nin üzerindeki açıklıkta kirişlerin kalınlığı arttığı için sistem ağırlaşmaktadır. Bu sistemi etkin hale getirmek için uygulanan yöntemlerden biri "sürekli kiriş" prensibidir. Basit mesnetli kiriş ve sürekli kirişlerde yüksek eğilme momentleri meydana gelir. Bu uygulamaların negatif etkileri "Gerber Kiriş" ile kaldırılabilir. Boşluklu gövdeli kirişler, dolu gövdeli kirişlerle geçilemeyen açıklıklarda kullanılır. Kastella, Litzka, Virendel kiriş, düzlemsel kafes kirişler gibi çeşitleri bulunmaktadır (Şekil 8-9).



Şekil 8-9. Dolu ve boşluklu gövdeli çelik kirişler [22]
(Figures 8-9. Solid and open web steel beams [22])



Çelik yapılardaki kolonlar eğilme kapasiteleriyle bu kuvvetlere karşı koyarlar. Çelik yapılarda kare, yuvarlak vb. kesitli çelik profillerden yapılan kolonlara basit kolonlar (Şekil 10); iki veya daha fazla profilin yan yana getirilerek bulon veya kaynakla birleştirilmesi ile yapılan kolonlara birleşik kolonlar (Şekil 11) denir. Tek parçalı kolonlar geniş başlıklı I, daire ya da kutu kesitli

tübüler profillerden yapılmaktadır. Çerçeve sistemlerde genellikle I profiller kullanılmaktadır. Normal bir I profilin başlıklarının büyütülmesi ile yük taşıma kapasiteleri arttırılmaktadır. Daire kesitli tübüler kolonların atalet yarıçapları her yönde aynıdır. I profillerde ise gövde ve başlıklarda atalet yarıçapları farklıdır. Bir çelik kiriş için en uygun kesit, eğilme etkisi altında kaldığı göz önünde bulundurularak elde edilebilir. Kirişe basınç kuvvetleri uygulandığında eğilme etkileri ile kirişin üst tarafı uzar, alt ise tarafı kısalır. Tarafsız eksende herhangi bir değişiklik olmaz. Tarafsız eksendeki çelik miktarının taşıyıcılık ile bir ilgisi bulunmadığı için de I kesitli çelik kirişler kullanılmaktadır. Üst ve alt başlıklar taşıyıcılık görevi üstlenmektedirler. Taşıyıcı elemana eğilme momenti etkidiğinde, gerilme tarafsız eksenin en uzak noktalarında meydana gelir. Bu nedenle kesitte kullanılan malzemenin en uzak bölgelere aktarılması gerekir, farklı bir deyişle tarafsız eksen etrafında malzemesi az ve kenar noktalarda malzemesi çok olan kesitli elemanlar üretilir [21].



Şekil 10. Dolu kesitli çelik kolon [22]
(Figure 10. Solid steel column)



Şekil 11. Birleşik kesitli çelik kolon
(Figure 11. Complex steel column)

3.3. Sürdürülebilir Kullanım (Sustainable Usage)

Yapıları uzun ömürlü ve en az işletim yükü taşıyacak şekilde tasarlamak, sürdürülebilir yapının anahtar özelliklerindedir. Çelik tabanlı sistemler kullanarak yapının ömrünü uzatmak, ekonomik ve maddi kaynak yatırımlarından en üst düzeyde yararlanılmasını sağlar.

3.3.1. Sağlamlık (Durability)

Mimarlar yapılarında çeliği düktil ve esnek bir malzeme olduğu için tercih etmektedirler. Çelik aşırı yük altında kırılma veya kopma yerine eğilme davranışı göstermektedir. Bu sırada çelik strüktür dayanımını koruyabilmektedir. Çelik yapıdaki kiriş ve kolon hem yapının yükünü hem de rüzgar ve depremin oluşturduğu yatay yükleri karşılayabilmektedir. Çelik elemanların fabrika ortamında üretilmesi ile montaj hataları azalmaktadır bu da deprem dayanıklılığını arttırmaktadır. Çelik yapı, betonarme bir yapıya nazaran çok daha hafiftir, bu nedenle de daha az deprem yükü almaktadır ($F=m*a$). Çelik yapılar ön üretimli bileşenlerden yapıldığı için kaliteli yapılardır. TS EN ISO 9005'de "Kalite, bir ürün ya da hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır" olarak tanımlanmaktadır. Yapının dayanıklılığı da kalite kavramında önemli bir yer tutar. Yapının bütününe, kullanılan malzemelerin ve oluşturulan detayların olabilecek en uzun vadede ilk günkü performanslarını korumaları önemlidir. Kısa sürede yıpranan, onarım ya da değiştirme gerektiren malzemeler ve yapı elemanları yapının kalitesiz olarak algılanmasına ve tanımlanmasına sebep olur

[3]. Çelik, kaliteli, uzun ömürlü ve dayanıklı yapıların temel malzemesidir.

3.3.2 Bakım (Maintenance)

Yapıların bakımı uzun ömürlü olmaları açısından çok önemlidir. Çelik için çok çeşitli gelişmiş ve sürdürülebilir kaplama malzemesi kullanılabilir. Önerilen bakım programına uygun olarak kullanıldığında bu kaplamalar, çeliğin çevresel etkilerini azaltan, uzun süreli koruma sağlarlar.

Nem ve oksijen nedeniyle çelik yüzeyinde korozyon oluşur. Korozyonu H₂O, O₂, CO₂, kloritler, SO₂ ve nitrik gazlar NH₃ ile H₂S meydana getirir. Çelik yüzeyde paslanma, nem oranı %60'ın üzerinde olduğu durumlarda meydana gelir. Metaller korozyonun neden olduğu oksid asidinden uzak tutulmalıdır. Çinkonun üzerine bakır kaplanarak korozyonun oluşturacağı tahribat azaltılır. Aynı şekilde çimento, alçı veya kireç gibi nemli mineral ürünlerin metalin üzerinde sert etkisi olabilir. Bu durumda bu tabakalar birbirinden ayrı tutulmalıdır. Koruyucu metal kaplamalar elektrokimyasal buhar metalleme veya kaplama yöntemlerle uygulanabilir. Metal kaplamaların korozyona karşı korunmasında uygulanan en yaygın yöntem galvanizleme işlemidir. Galvanizlemede eleman 450 °C'de sıvı çinko banyosu içinde birkaç dakika bekletilir. Kaplama yaklaşık 0.1mm kalınlığındadır.

3.3.3. İç Mekan Çevre Kalitesi (Quality of Interior Environment)

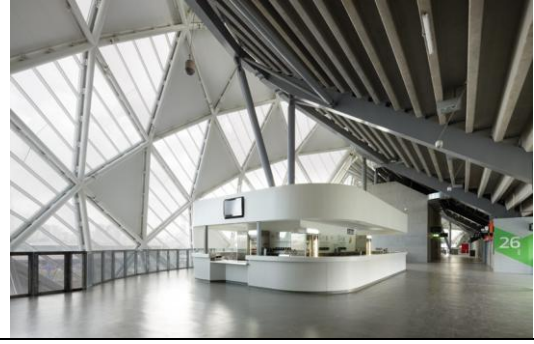
Çelik yapılarda sürdürülebilirlik, ekoloji, ekonomi, dayanıklılık, performans, insan sağlığı ve estetik açısından incelenebilir. Sürdürülebilirlik anlayışının temeli olan yapı malzemelerini çevre sağlığı açısından değerlendirme çalışmalarına başlanmasıyla, malzemelerin elde edilmesi için harcanan enerji ve ortaya çıkan CO₂ miktarı önem taşımaktadır. Günümüzde insan hayatının %90'ından fazlası kapalı iç mekanlarda geçmektedir. Bu nedenle yapı fiziği insan sağlığı açısından son derece önemlidir. İç mekan çevre kalitesi ile insan sağlığı arasındaki ilişki son derece karmaşıktır. Ana konuları, nem, termal konfor, ses ve hava kalitesi oluşturur ve her sorunun boyutu farklı ülkeler arasında değişiklik gösterir.

3.4. Sürdürülebilir Ömrünü Tamamlama (Sustainable End of life)

Adaptasyon veya yenileme yoluyla yapının ömrünü uzatmak imkansız veya istenmeyen bir durum olduğunda, yapının yıkılması kaçınılmaz hale gelir. Bu durumda yapının yıkımının çevresel etkilerini azaltabilmek önemlidir. Çevresel etkileri azaltmak, yıkım sonucu oluşacak kirlilik ve atığın en aza indirilmesi; malzemelerin geri dönüştürülmesi veya tekrar kullanımı sayesinde olur. Çelik ekonomik olarak geri kazanımı en yüksek olan malzemedir. Çeliğin sürdürülebilir ömrünü tamamlama özellikleri aşağıda açıklanmaktadır (Şekil 12-13) [14, 15 ve 16]



Şekil 12. Geridönüşümlü çelik malzeme [22].
(Figure 12. Recyclable steel material[22])



Şekil 13. Melborn Stayumunun iç mekanı [22].
(Figure 13. Interior space of Melborn Stadium)

3.4.1. Atık (Waste)

Atık, üretim ve inşaat süreci sonucu oluşan geri dönüşümlü ve geri dönüştürülemez, kullanılamaz malzemelerdir. Çelik yapımda, Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) sistemleri, doğru ve sabit boyutlarda yüksek kaliteli çelik ürünler üretmek ve inşaat alanında fire vermemek üzere, üretime entegre edilmiştir. Aynı zamanda yapım sırasında oluşabilecek herhangi bir çelik atık geri dönüşümden geçirilerek tekrar kullanılabilir. Çelik yapıım bu özellikleri sayesinde inşaat atıklarının azaltılması konusunda liderlik etmektedir.

Yapım atıklarının yönetimi yeniden kullanım, yeniden üretim ve geri dönüşüm ile ilgili işlerin yönetimi ile ilgilidir. Atık yönetiminin başlıca konuları, yapım alanına özel atık yönetimi planının hazırlanması ve bunun yapım dokümanları içinde yer almasını kapsamaktadır [13,22]. Yapım süresince açığa çıkan çelik vb. katı yapım atıkları toplanarak sınıflandırılmalı ve uygun alanlarda depolanması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Yeniden kullanılabilir malzeme bir kullanımdan ya da uygulamadan sonra orijinal formunu kaybetmeden ve daha basit parçalarına ya da bileşenlerine ayrıştırılması gerekmeden verimli kullanımını devam ettirebilen malzemedir [13 ve 23].



Şekil 14-15. Çelik yapı uygulamaları[22]
(Figure 14-15. Steel structure applications [22])

3.4.2. Sökülebilirlik (Detachable)

Çelik yapılar ve çelik konstrüksiyon ürünleri sökülüp tekrar kullanılabilir. Geçici yapıların büyük bir kısmının çelik konstrüksiyonlu olması çelik yapıların sökülebilirliğinin en büyük göstergesidir. Prefabriğe çerçeve, yapı bileşeni ve modüller kolaylıkla çıkarılıp toplanabilir. Çelik yapıların sökülüp tekrar

kullanımı düşünülerek yapılmış dikkatli tasarımlar sayesinde, çelik yapı stoğu gelecekte kullanım için büyük bir potansiyel oluşturmaktadır (Şekil 14-15).

3.4.3. Enerji Korunumu (Energy Conservation)

Yapı üretilirken mümkün olduğunca üretimde az enerji harcanmalı, atmosferik koşullar bozulmamalı, doğanın dengesi korunmalı, hurdalar tekrar kullanılarak doğal kaynakların tüketimi denetim altında tutulmalıdır [4,5,7].

Etkin hurda toplama ticareti sayesinde çelik dünyada en çok geri dönüştürülen malzemedir. Yıkım projelerindeki çeliğin %90'ı geri dönüştürülür veya yeniden kullanılır. Avrupa çelik üretiminin % 50'si geri dönüştürülmüş kaynaklardanır. Bu sayede yapısal çelik üretiminde CO₂ emisyonu en aza indirilmektedir. Hurdadan üretim yapıldığından doğal kaynaklar tüketilmez. Çelik sınırsız ve kayıpsız bir biçimde geri dönüştürülebilir; bu işlem sırasında çelik kalitesi iyileştirilebilir.

Yeni çelik üretilirken yapısal çeliğin ölü enerjisinin %70 kadarı korunabilir. Yanıcı ürünlerin ölü enerjisinin yarısına kadar olan kısmı ısıtma ve diğer amaçlarla tekrar kullanılabilir [16,17,18].

3.4.4. Tekrar Kullanım (Reuse)

Tekrar kullanım, sökülmüş ürünlerin yeniden veya herhangi bir yenileme olmadan kullanılması anlamına gelir. Çeliğin tekrar kullanımı, geri dönüşümden çok daha büyük bir çevresel avantaj sağlamaktadır. Hala küçük bir ikinci el pazarı olmasına karşın, yapısal çeliğin tekrar kullanımı belirgin bir fırsat oluşturmaktadır. Günümüzde ömrünü tamamlamış çelik yapılarda bulunan çelik ürünlerin yaklaşık %14'ü tekrar kullanılmaktadır [20]. Taşıyıcı çerçeve elemanları, kaplama bileşenleri, yaya köprüleri, levha kazıklar, duvar elemanları, geçici yapılar tekrar kullanılabilen çelik yapı ürünleridir. Yapısal elemanların tekrar kullanımında belirli bir ölçüde standartlaşmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Yaşam ömrü boyunca yapının çok kez değiştirilerek kullanılması ve eğer bu kolay yapılamazsa yıkmaya ve yeniden inşa edilmesi söz konusu olabilir. Bu açıkça israfa neden olmak demektir. Binalar farklı fonksiyonlara göre hizmet edecek şekilde tasarlandığında büyük ölçüde sürdürülebilir gelişmeye hizmet edecektir. Kullanılabilirlik süresi iç mekanların ilavesiyle yapısal büyüme ve dış kabuğun iyileştirilmesi/ geliştirilmesi ile uzatılabilir [21,23]. Bütün bunlar yaşam boyu maliyetini, yaşam süresince kullanıcıya olan etkilerini, mevcut kaynakların kullanımını ve yapının ömrünün uzatılmasını etkiler. Kullanım ve servis ihtiyaçlarındaki değişiklikleri kolaylaştıran büyük açıklıklı konstrüksiyonlarla esnek mekanlar yaratılabilir. Kullanımda değişikliklere izin veren esnek binalar sayesinde kullanılabilir alanın arttırılmasıyla yapının değerini koruması/arttırması müşteri için çok önemlidir [19].

3.4.5. Geri Dönüştürülebilirlik (Recycable)

Çelik konstrüksiyon "geri dönüşüm için tasarım" olanağı da dahil olmak üzere, kontrollü yaşam döngüsü tasarımı sağlar. Çelik strüktürün montaj kolaylığı, bileşenlerinin basit bir şekilde sökülebilir, tekrar kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir şekilde tasarlanmasına olanak tanır. Çelik, defalarca birinci sınıf olarak geri dönüştürülebilir olması nedeniyle eşsiz bir konstrüksiyon malzemesidir. Tablo 4' te çelik yapı ürünlerinin geri dönüşüm ve tekrar kullanım oranları ve toplam geri dönüşümü gösterilmektedir.

Tablo 4. Çelik ürünlerin geri dönüşüm ve tekrar kullanımı[8]
(Table 4. Recycle and Reuse of steel products [8])

Çelik Çeşitleri ve Sürdürülebilirlik	Bölümler	Aşık	Kaplama	Zemin Kaplaması	Destek Elemanları
Geri Dönüşüm (%)	86	89	79	79	91
Tekrar Kullanım(%)	13	10	15	6	1
Toplam(%)	99	99	94	85	92

4. SONUÇ (CONCLUTION)

Çelik modern mimarinin vazgeçilmez malzemesidir. Yirminci yüzyıl boyunca bu malzeme ile güçlü bir tasarım gücüne sahip olan mimar ve mühendisler yapılarında malzeme verimliliği, enerji etkinlik, heykelsi ifade, geridönüştürülebilme, yeniden kullanılabilme gibi çok sayıda avantajı kullandı. Çeliğin ağırlık mukavemet oranı sayesinde geniş açıklıkları geçebilme kapasitesi ve yük taşıma gücü dikkate değerdir. Modern mimaride önemli bir role sahip çelik malzeme ile tasarımcılar, üreticiler tasarımlarının sınırlarını zorlamaktadırlar. Bütün yapı elemanları fabrikada yapılp şantiyede "sıfır" hata ile biraraya getirilmektedir. Böylece hem yapım süresini kısaltmakta hem de kalitesini arttırmaktadır.

Yapının yaşam döngüsü maliyeti, yapının yapım aşamasından kullanım ömrünün sonuna ve yıkım sürecine kadar ki maliyetleri kapsamaktadır. Çelik yapılarda hafiflik, kolon ve kirişlerde ince kesitler kullanılarak doğal ışık ve aydınlık kullanımının sağlanması, büyük ve aydınlık mekanlar, kullanım esnekliği, mekanların değişebilir olması gibi mimari kriterlere göre tasarım gerçekleştirilir. Yapıların yıkılmadan sökülebilmesi, yeniden başka yerde aynı veya farklı amaçlar için tekrar kullanılabilmesi sürdürülebilirliğin temel kriterlerindedir.

Çelik, dayanıklılığı, kaynak verimliliği, üretim ve yapım sırasında enerji tasarrufu sağlaması, yapım ve kullanım esnekliği sağlaması, fabrikada yüksek teknoloji makinalar ile kontrol altında üretilen hata payı yok denecek kadar az olan prefabrik elemanlar olması, minimum atık ile üretimi, bakımının kolaylığı, tekrar aynı ve farklı amaçlar için kullanılabilirliği ve geridönüştürülebilme özellikleri nedeniyle yapı sektörünün gözde malzemesidir. Bütün bu özellikleri ile üretim maliyetinin yüksek olmasına karşın sürdürülebilir bir malzemedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Anon, (1987). World Commission On Environment And Development (WCED).Our Common Future(The Bruntland Report), Oxford University Press, P.43
2. Bassam, A.B. and Michael R.S., (2006). Sustainable Steel Construction, Journal Of Construction Steel Research, 62, 1178-1183.
3. Eren, Ö., (2007). Çelik Yapılar Tasarım Konstrüksiyon Uygulama, Arı Sanat Yayınları, İstanbul.
4. Anon, (2002). Society, Sustainability And Civil Engineering-A Strategy And Action Plan, 2002-2003,Institution Of Civil Engineers.
5. Rajesh Kumar Singh, I., Murty, H.R., Gupta, S.K., and Diskshit, A.K., (2007). Development Of Composite Sustainability Performance Index For Steel Industry, Ecological Indicators 7, 565-588.
6. Anon, (2008). Sustainable Steel Construction, Building A Better Future, A Sustainability Strategy For the UK Steel Construction Sector Developed By The Steel Construction Sector Sustainability Committee (SCSSC).

7. Özdil, Ö.S., (2010). Çelik Yapılar ve Sürdürülebilirlik Türk Yapısal Çelik Derneği
8. Kibert, C.J., (2007). Sustainable Construction, Green Building Design and Delivery, John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
9. Lawson, R.M., (2009). Sustainability of Steel in Housing and Residential Buildings. SCI Publication pp.370
10. Azhar S.A., Carlton, W., Olsen, D., and Ahmad, I., (2011). Building Information Modeling For Sustainable Design And LEED Rating Analysis, Automation and Construction, 217-224.
11. Kibert, C.J., Sendzimir, J., and Guy, G.B., (2002). Construction Ecology, Nature as the Basis for Green Buildings, Spon Press, London, UK.
12. Bilec, M.M., (2007). A Hybrid Life Cycle Assessment Model for Construction Processes, PhD Thesis, University of Pittsburg School of Engineering, USA. Retrieved April 06, 2009, from http://etd.library.pitt.edu/ETD/available/etd-06102007-40343/unrestricted/bilec_July_11_2007_7.pdf
13. Pollo, R. and Rivotti, A., (2004). Building Sustainability Evaluation in the Building Process: The Construction Phase, Proceedings of the Regional Central and Eastern European Conference on Sustainable Building, Building Research Institute, Warsaw, Poland, October 27-29.
14. Gorgolewski, M., Leeding With Steel. Canadian Sheet Steel Building Institute
15. Ley, J., Sansom, M., and Kwan, A., (2002). Material Flow Analysis Of The UK Steel Construction A sector, Concference Proocieeding From Steel İn Sustainable Construction: IISI World Conferece 2002, Luxembourg, 259-266.
16. Büyük, B., (2004). Yalın Üretim. HBS Solutions Bilgisayar ve Yazılım Sist. San. ve Tic.Ltd.Şti.
17. Peng, C., Scorpio, D.E., and Kibert, C.J., (1997). Strategies for Successful Construction and Demolition Waste Recycling Operations, Construction Management and Economics, Vol. 15, pp. 49-58.
18. Sustainable Steel Construction The Design And Construction Of Sustainable Buildings(2012) http://Www.Tatasteelconstruction.Com/File_Source/Staticfiles/Construction/Library/Sustainable%20steel%20construction.Pdf
19. Helzel, M., (2007). New Meets Old- Stainless Steel in Renovation And Renewal, Euru Inox Building Series Vol 12, Luxembourg.
20. Arsan, D.Z., (2008). Türkiye’de Sürdürülebilir Mimari. Mimarlık, Sayı 340
21. Allien, E., (1999). Fundamentals of Building construction Materials and Methods, Jonh&Wiley Sons, New York.
22. Görsel kaynaklar, Google image sayfasından alınmıştır.
23. Erturan, B. ve Eren, Ö., (2012). Modüler Yapım Tekniği ile Bina Etkinliğini ve Verimliliğini Geliştirme Yaklaşımının Değerlendirilmesi, Sayı 4, E-New World Science Academy (NWSA), ISSN 1306 3111.