

ÇOK KATLI ÇELİK OTOPARK YAPILARI[§]

Dr. Kağan Yemez¹, Emre Şendağ²

¹ CTO, ArcelorMittal Distribution Solutions - Rozak
Öğretim Görevlisi, İstanbul Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği Bölümü
E-Posta: kagan.yemez@rozakdemir.com

² Öğrenci - İstanbul Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği Bölümü

Giriş.

Günümüz koşullarında artan ulaşım kapasitesiyle birlikte ortaya çıkan park ihtiyacı mühendislerin çalışma konuları içine girmiş ve artan araç sayısına karşı sınırlı park alanı ile birlikte minimum alanda maksimum araç sayısını elde edebilme mantığı mühendisleri çok katlı otopark yapıları tasarlamaya yönlendirmiştir.

Çok katlı otoparklar 20. yüzyılın başlarından günümüze dek kullanılmaktadır. Bilinen ilk çok katlı otopark 1918 yılında Şikago'da (Amerika Birleşik Devletleri) La Salle adlı bir otel için inşa edilmiştir. Diğer bir iddiaya göre, ilk çok katlı otopark 1906-1912 yılları arasında Glasgow'da (İskoçya) inşa edilmiş, 1920'li yıllarda bir İngiliz karikatürcü otomobiller için bir otel hayal etmiş ve çok katlı bir otopark çizmiştir.

Nüfus ve varlık artışına paralel olarak artan ihtiyaçlar daha kısıtlı alanlara daha yüksek yapılar inşa etme ihtiyacını doğurmuştur. Bunun sonucunda kaçınılmaz olarak çeliğin çok katlı otopark inşasında kullanılmaya başlanması, teknolojik ilerlemelerin sayesinde daha yüksek dayanımlı malzeme üretimi ile birleşince, bu alanda inşaat maliyetinin düşmesi, otopark araç kapasitesinin daha verimli optimize edilmesi, daha fazla açıklık elde ederek daha fazla kazancın sağlanması gibi yararlar ön plana çıkmıştır.

Yapılan analizler ve var olan bilgiler kullanılarak çok katlı otopark inşasında bir park alanı başına düşen ortalama inşaat maliyeti yaklaşık 3000 - 5000 Euro'dur. Çok ekonomik inşaat metotları kullanılarak bu rakamın 2000 Euro'ya düşürülebileceği gibi, çok lüks bir otoparkta da bu maliyetin 10 000 Euro'ya kadar da çıkabileceği bilinmektedir.

Çok katlı bir otoparkın ekonomik olması için araç kapasitesinin yüksek olması gerekmektedir. Bu ise ancak yüksek kaliteli malzeme kullanımı ve otoparkın kat ve yerleşim planı kullanılabilirliği ile sağlanabilmektedir. Çelik yapılarda iyi bir mimari tasarım ile 20 m²/araç kapasitesine ulaşmak mümkündür. Fizibilite analizi yapılırken otoparkın inşasından ömrünün

[§] Bu bildiri İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü İnşaat Kulübü tarafından senelik yayınlanan YAPİSTANBUL dergisinin 2010 yılı 5. sayısında yayınlanmıştır.

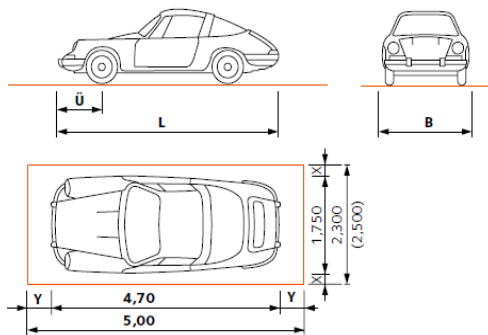
sonuna kadar yani inşaat maliyeti, inşaat süresi, işletme maliyeti ve park ücretleri gibi bütün maliyet ve parametreler hesaba katılmalıdır.

Çelik otoparklar fonksiyonel olarak esnekler ve binanın yeni ihtiyaçlara basit şekilde uyum sağlamasına olanak sağlarlar. Uygun bir tasarım yapıldığı takdirde sökülüp başka bir inşaat sahasında inşa edilebilirler, hafiftirler, yapı oturmalarına karşı daha az hassasiyetleri vardır, elastik deformasyon davranışları sayesinde mafsallı basit temel birleşimleri yeterli olur. Çoğu kez derin temel yapımına gerek kalmayabilir ki, zayıf zemin koşullarında inşa edilen bir yapı için kısa boylarda zemin kazıkları yeterli olabilir.

Mimari Açından Çok Katlı Çelik Otopark Yapıları.

Mimari açıdan otopark tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar arasında bağlantı şeritlerinin mümkün olduğunca kısa tutulması ve rampaların kapladığı alanın mümkün olduğunca azaltılması sayılabilir. Bunların dışında yapının monotonluğunun çeşitli tali görsel çekicilik katan cephe elemanları ile azaltılması düşünülebilir. Dış duvarların mümkün olduğunca açık tutulması daha ileri de bahsi geçecek yangın güvenliği açısından önem arz etmektedir.

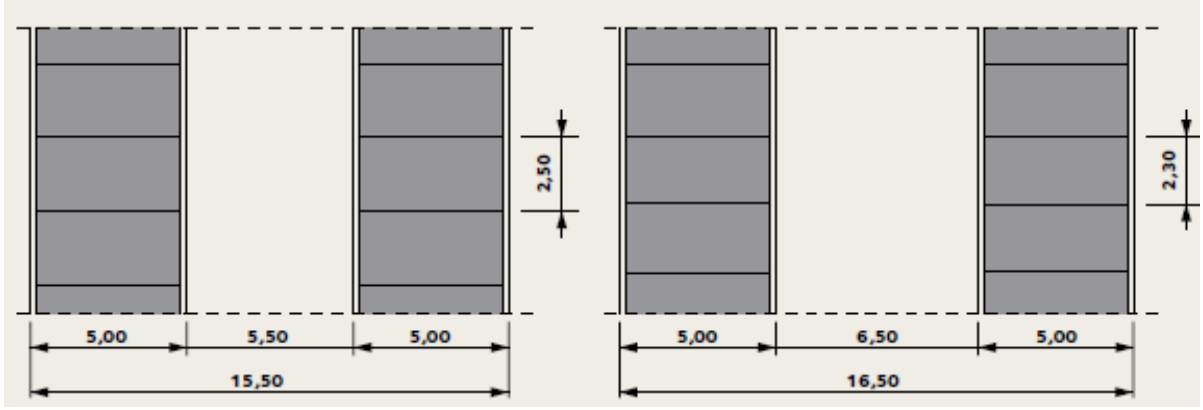
Araçların birçok şekil ve boyutta olmasına rağmen, tipik bir aracın kapladığı alan istatistiksel olarak belirlenebilir. Tipik şehir içi otoparklarında park alanlarının, şeritlerinin ve rampaların bütün ana ölçüleri Şekil 1’de gösterilen temel araç boyutlarına göre ayarlanır. Bu durumda 5 metre uzunluğundaki park alanları şeritlere göre dik açılarla ayarlandığında (Bkz. Şekil 3), servis şeritlerinin 6.5 metre veya 5.5 metre olmasına bağlı olarak araçların manevra kabiliyetleri dikkate alındığında 2.3 veya 2.5 metre genişliğinde olması gerekir. Bu koşullarda kolonlar arasındaki temiz açıklık 15.5 m ile 16.5 m arasında değişir.



Şekil 1. Tipik araç ölçüleri



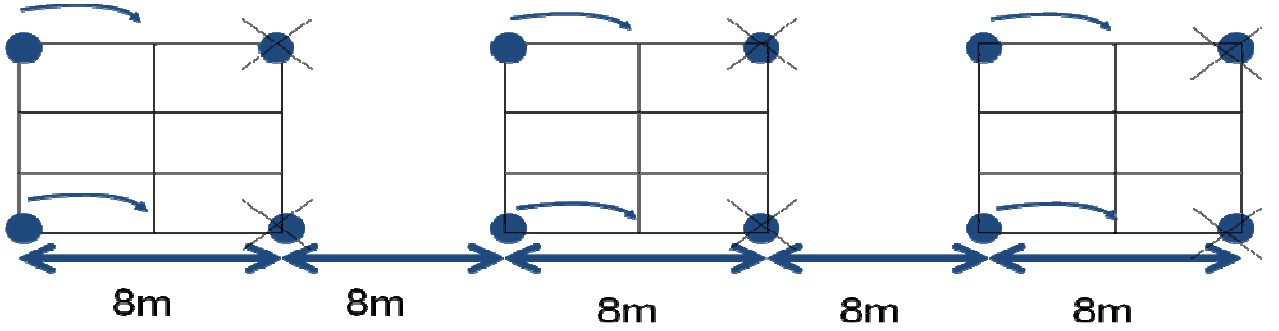
Şekil 2. Örnek bir otopark



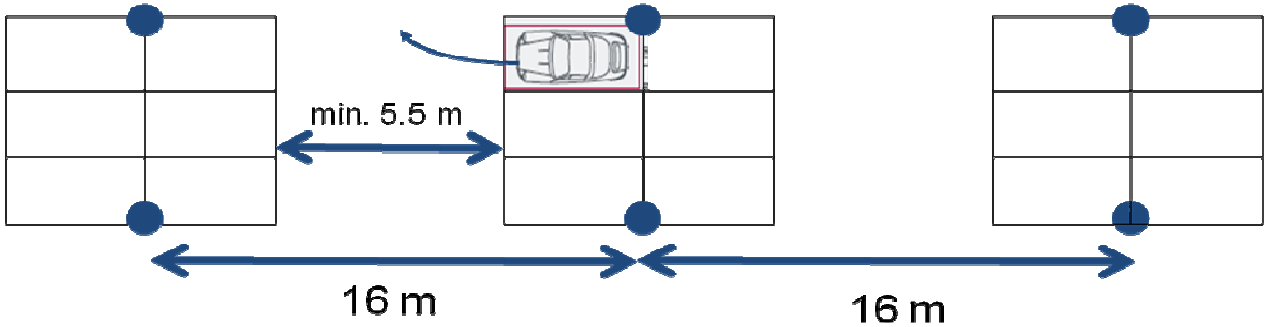
Şekil 3. Araç park yerlerinin çeşitli dizilim alternatifleri

Her otopark yapısı tasarlanırken otopark alanlarının kullanılabilirliğini sağlamak için çeşitli optimizasyon çalışmaları yapılmalıdır. Örneğin; Şekil 4'te gösterilen 8 x 8 m kolon dizilimini, kolon yerleşiminde yapılabilecek ufak bir değişiklikle Şekil 5'teki gibi 16 x 8 m olarak değiştirmek kolon sayısını azaltırken kullanılan net alan miktarını artırır. Kolonlar, araçların park yerlerine değil, ön veya arkalarına denk geldiği için ekstra park alanı yaratılmış, araçların manevra kabiliyeti de rahatlatılmış olur. Bu, ortalama beş dikey aksta yatay aks başına bir araç kazanç demektir. Bir başka ifadeyle basit bir değişiklikle otoparkın araç kapasitesi % 8 mertebesinde artmış olur.

3



Şekil 4. 8 x 8 m kolon diziliminden 16 x 8 m kolon dizilimine geçiş



Şekil 5. 16 x 8 m kolon dizilimi

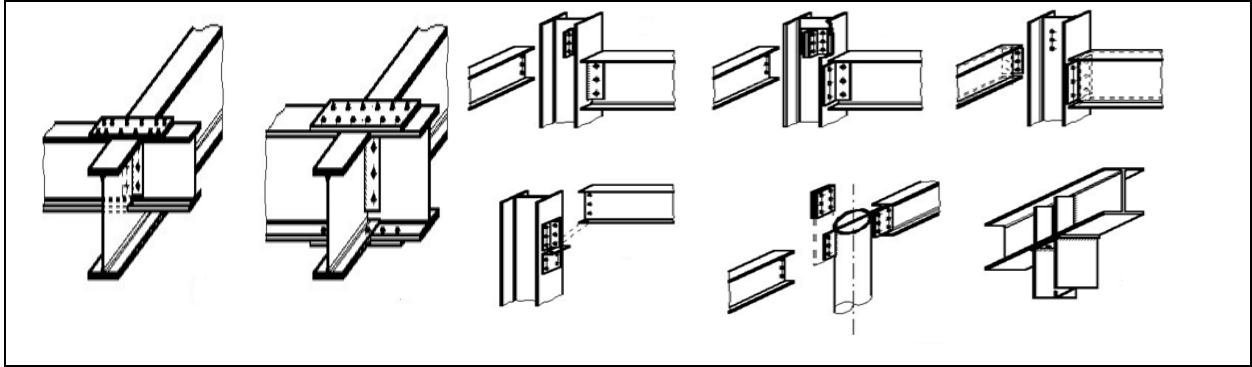
Çok katlı otoparklarda, kolonlar bir (2.3 - 2.5 metre) ya da birden çok park yerinin genişliğine denk gelen aralıklarla yerleştirilirler. İki kolon arası boşluğun 5 metreyi geçtiği yerlerde, kolonlar arası kirişler öngörülür. İdeal olarak, kolonlar arası mesafe geniş açıklığı geçen kirişler arası mesafeye denk gelmelidir. Kolonlar arası tali kirişlerden kaçınmak yapının ağırlığını optimize etmek için bir fırsat olarak değerlendirilebilir.



Şekil 6. Araç park yerlerine göre kolon dizimleri

Çelik taşıyıcı elemanlar düşey kolonlar ve yatay kirişlerden oluşmakta ve bunların birleşimleri pratik olarak şantiyede bulonla yapılır. Deprem, rüzgar ve araçların frenlemesi gibi nedenlerle oluşan yatay etkiler ve kuvvetler döşemelerden geçerek yatay taşıyıcı düşey çapraz veya perde duvarlara iletilir.

4



Şekil 7. Çelik yapılarda tipik birleşim detayları

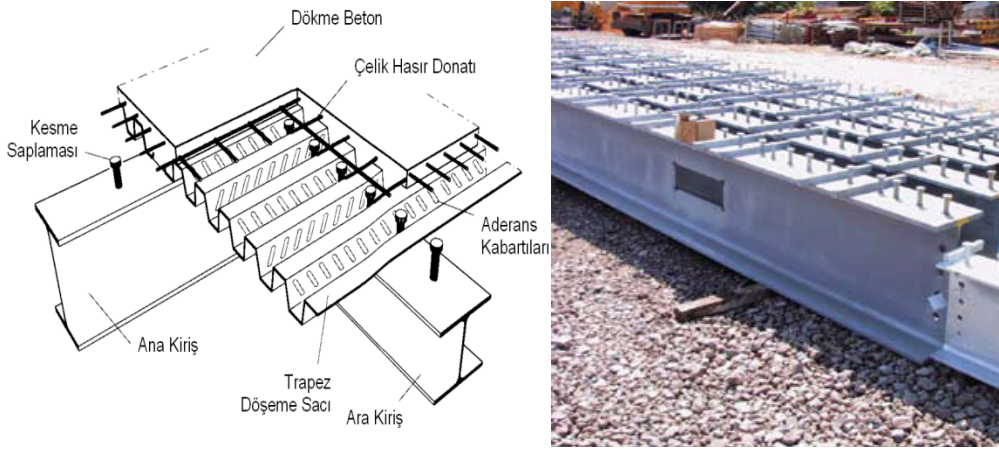
Mühendislik Açısından Çok Katlı Çelik Otopark Yapıları.

Avrupa standardına göre, normal binek araçlarına yönelik otopark kat döşemeleri 2.5 kN/m^2 düzgün yayılı yükü taşıyacak kapasitede tasarlanır. Yaklaşık 12 m^2 kadar olan bir park alanı için bu 3.13 tonluk bir yüke karşılık gelir. Bu yük maksimum bir araç ağırlığının $1-2$ ton olduğu düşünüldüğünde oldukça fazladır. TS 498'de ise otopark kat döşemeleri için tasarımın, 5 kN/m^2 düzgün yayılı yüke göre yapılması önerilmektedir. Bu, 6.16 tonluk bir ağırlığa denk olup normal bir araç ağırlığından çok fazladır. Çok basit, akılcı planlanan ve yönetilecek

otoparklarda bu yük kavramının daha hassas olarak değerlendirilmesi ciddi kazançları beraberinde getirir. Örneğin, üst katlara ağır araçların çıkmasına izin verilmeyecek otoparklar için gayri ekonomiklik söz konusu olup bu konuda şartname hazırlayan otoriterlerin dikkatini çekmek gerekmektedir.

Kolon kesitinde ağırlık ve boyuttan kazanç sağlamak için daha yüksek dayanımlı çelik sınıfının seçilmesi önerilebilir. Büyük ölçekli yapılarda, yüksek dayanımlı S460 çelik sınıfını seçmek daha avantajlı olabilir. Dolayısıyla bunun iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Kirişlerde ise I-kesitin üstüne kaynaklanan studlar (kesme saplamaları) sayesinde beton döşeme tabliyesi ile çelik kirişin birlikte çalışarak kompozit davranış sağlanması önerilir. (Şekil 8). Kompozit etki ile çelik kullanımında yaklaşık % 20-30 kazanç sağlanırken bina yüksekliğini aynı sayıda kat olmasına rağmen azaltmak mümkün olabilir.



Şekil 8. Kompozit döşeme sistemi.

Kirişler üzerinde yerleştirilen tipik kompozit döşeme trapezleri 3.3 metre açıklığa kadar kullanılabilir. Bazı özel trapezler veya prekast beton paneller ile desteksiz olarak 5 metre açıklığa kadar çıkılabilir.

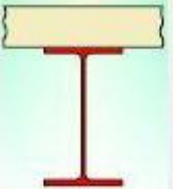


Kirişlere montaj aşamasında bir miktar ters sehim verilmesinin getireceği büyük avantajlar vardır. (Bkz. Şekil 9) Ters sehim verilmiş kiriş üzerine ölü yük ve canlı yükün bir kısmı geldiğinde asıl kotunda dengelenmiş olur. Bu ters sehim miktarına statik hesaplamalar sırasında statik sistem ve yüklere bağlı olarak karar verilir. Desteksiz durumlarda, ters sehim sadece çelik kesitin statik özellikleri düşünülerek hesaplanır. Destekli durumlarda ise kompozit kesitin statik özellikleri düşünülür. Ana kiriş inşaat aşamasında desteklenirse ıslak beton ağırlığından kaynaklanan ölü yükün oluşturduğu sehim azalır. Kompozit döşeme ve ters sehim uygulamalarının kazandırdığı avantajlar Tablo 1’de gösterilmektedir.



Şekil 9. Ters sehim verilmiş kompozit döşeme kirişleri.

6

Tablo 1. Kompozit kiriş ve ters sehim uygulamasının getirdiği kazançlar.



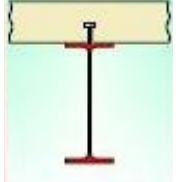
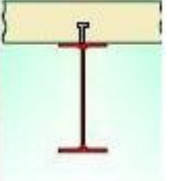
SİSTEM	KOMPOZİT OLMAYAN	KOMPOZİT	KOMPOZİT + 30 MM TERS SEHİM
Açıklık	16,00 m	16,00 m	16,00 m
Kiriş aralıkları*	2,5 m	2,5 m	2,5 m
Beton tabliye kalınlığı	120 mm	140 mm	140 mm
Hareketli yük	5,00 kN/m ²	5,00 kN/m ²	5,00 kN/m ²
Çelik kalitesi	S275	S275	S275
			
Kesit	IPE 750X173	IPE 600 O	IPE 550
Döşeme derinlik kazancı	Referans	- % 18	- % 26
Çelik Kullanım kazancı	Referans	- % 11	- % 39

*Hesaplarda kiriş aralarında kompozit döşeme trapez sacları kullanılmıştır.

Malzeme ve maliyetten tasarruf etmek için hafif IPE kesitlerde yüksek dayanımlı çelik sınıfları kullanılabilir. Sınırlı döşeme derinliği olması durumunda derinliği daha az olan, geniş başlıklı ancak daha ağır çelik kesitler seçilebilir. Tablo 2’de 16 metrelik bir açıklık için kullanılan çelik sınıfının ve kompozit ya da kompozit olmayan tasarımın döşeme derinliği ve ağırlığı

üzerindeki etkileri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir. Her durum için yaklaşık 30 mm ters sehim uygulaması varsayılmıştır. Tipik olarak, S355 kalitesi ile karşılaştırıldığında S460'ın maliyet farkı sadece +%5 kadardır. Yüksek akma dayanımından tam olarak faydalandığı takdirde ciddi ekonomik avantaj sağlanır. S275 yerine S460 kullanıldığı takdirde kazançlar çok daha fazla olur. Bu yüzden, Almanya'daki çok katlı otoparkların çoğunda 15 - 17 metre açıklıklar için S460 kalitesinde kirişler 2.5 - 5 m aralıklarla dizilerek kompozit olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2. Yüksek dayanımlı çeliklerin otopark uygulamalarında kullanımı.

SİSTEM	KOMPOZİT OLMAYAN	KOMPOZİT		
Açıklık	16,00 m	16,00 m		
Kiriş aralıkları	2,50 m	2,50 m		
Beton tabliye kalınlığı	120 mm	140 mm		
Hareketli yük	5,00 kN / m ²	5,00 kN / m ²		
Çelik kalitesi	S275	S275	S355	S460
				
Kesit	IPE 750 X 147	IPE 550	IPE 500	IPE 450
Döşeme derinlik kazancı	Referans	- % 25	- % 31	- % 39
Çelik Kullanım kazancı	Referans	- % 28	- % 38	- % 53

*Hesaplarda kiriş aralarında kompozit döşeme trapez sacları kullanılmıştır.

7

Yangın Koruması ve Doğal Yangın Kavramı Açısından Çok Katlı Çelik Otopark Yapıları.

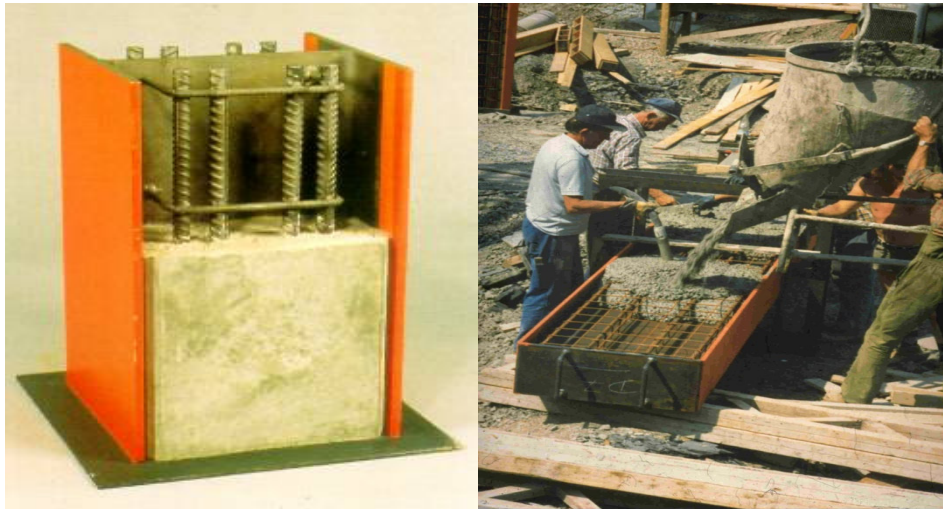
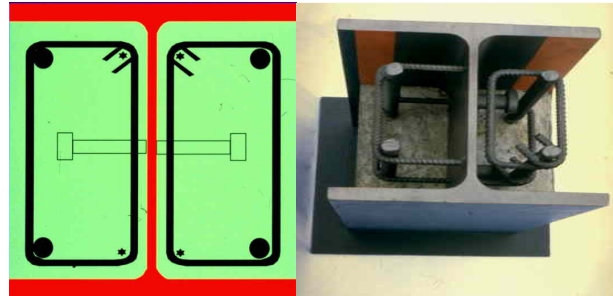
Çok katlı açık otoparklarda bir kattaki açıklık miktarının o katın toplam dış duvar alanının 1/3'üne eşit veya fazla ise taşıyıcı çelik kolon ve kirişleri yangına karşı korumak gerekli değildir. Bu sebeple birçok Avrupa ülkesinde çok katlı açık otoparkların çelik konstrüksiyonlu kısımlarının yangına karşı koruma koşulu yoktur.

Yangına karşı koruma şartının olduğu durumlarda ise çelik elemanların pasif korumasını gerektiren ISO yangın yaklaşımı ve buna alternatif olarak yangın mühendisliği ile Doğal Yangın Kavramı gelişmiştir.

Doğal yangın kavramının dayalı olduğu bilgiler (yangın yükü, sıcaklık yükseliş hızı, var olan araç sayısı) birçok ülkede yapılan testler sonucunda oluşturulmuştur. Örneğin, yapılmış olan gerçek bir deneyde belirlenen maksimum çelik sıcaklığı korumasız kolon ve kirişlerde kısa bir zaman periyodu için 700 °C 'nin biraz üzerinde bir değer olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık

durumunda bile yapıda herhangi bir göçme veya deformasyon olmadığı saptanmıştır. Bu gibi deneyler sonrası yangın mühendisliği kavramı gelişmiş, açık otoparklarda korumasız çelik yapıların kullanılmasına izin verilmiştir. Öte yandan, kapalı ya da yer altı otoparkları daha ağır yangın dayanım şartlarına tabi tutulmaktadır.

60 veya 120 dakikalık ISO yangın koruması sağlamak için, kolon ve kirişler genelde yangın dayanımlı (anti-fire) kompozit sistemler kullanılarak inşa edilebilirler. (Bkz. Şekil 10) Bu sistemlerde H-kesitin başlıkları arasındaki boşluklara donatı yerleştirilir ve beton ile doldurulur. Bu kompozit kolon ve kirişler yükü çelik ve betonun ortaklaşa çalışması ile naklederler. Burada yük taşıma kapasitesi artışına ve çelik kolon kesitlerinin azalmasına ek olarak beton kısım, yangın koruması olarak çelik kısımda oluşabilecek ani bir sıcaklık artışını engellemek gibi önemli bir rol oynamaktadır. Dahası, çelik başlıkların dışta bulunmasından dolayı bu sistem araç darbelerine karşı da sağlam durur.



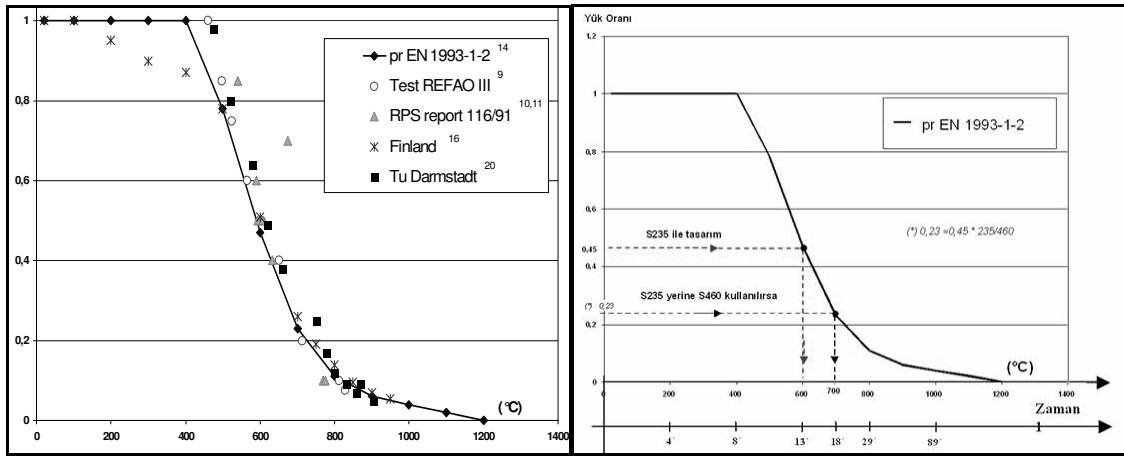
Şekil 10. Yangın dayanımlı (anti-fire) kompozit elemanlar.

Belirli koşullar altında (mekanik havalandırma ve aktif yangın söndürme değerleri), doğal yangın kavramının uygulanması pasif korumanın kapalı ya da yer altı otoparklarının çelik kirişleri için ihmal edilebilmesini mümkün kılar.

Yangın tasarımı ile ilgili Eurocode 3 ve 4 (EN 1993-1-2, 2005; EN 1994-1-2, 2005) EN10025'e göre S235, S355 ve S460 çelik kalitelerini kapsar ve çelik sıcaklığının fonksiyonu olan $f_{y,\theta}$ etkin

akma dayanımına bağlı tasarım hesaplamaları yöntemini verir. Bu eğri çeşitli deneylerden sonra çıkartılmıştır. (Chantrain, 1991; Cajot, 1992; Outinen, 2001; Wohlfeil, 2004)

Yangına karşı çelik yapıları koruma, sadece pasif (yangına karşı izolasyon malzemesi ile çelik elemanları kaplayarak) veya aktif (sprinkler, otomatik yangın duvarları, vb.) yöntemlerle değil akılcı mühendislik çözümleriyle de olabilir. Örneğin; S235 kalitesi seçildiğinde, oda sıcaklığında Yönetmelikler tarafından istenen emniyetli taşıma yükü oranı yaklaşık 0,5'tir. Sehim kriterlerinin çoğunlukla etkili olduğu ve tasarımcının belirli bir takım profiller arasından seçim yapmak zorunda olduğu dikkate alındığında, bu yük oranı 0,45 gibi bir değer olabilir. Bu, 600°C'lik kritik sıcaklığa karşılık gelir. S235 çeliği S460'la değiştirilirse kritik sıcaklık yaklaşık 100°C kadar artar, bu da tasarımın daha güvenli tarafta kalmasını sağlar. Bir başka deyişle tasarım yangını altında yapının ısınma eğrisinin doruğu 600 ve 700 °C arasındayken S235 yerine S460 kullanıldığı zaman yapı bu yangına dayanır. (Bkz. Şekil 11)



Sonuç ve değerlendirmeler.

Günlük yaşamı kolaylaştıran ve aynı zamanda kapladığı alana karşı mevcut araç kapasitesi baz alındığında çevreci bir yapı olan çok katlı otoparklar, inşasında çeliğinde kullanılmasıyla sağladığı avantajları arttırılabilir, aynı zamanda daha güvenli, hafif, hızlı dolayısıyla ekonomik bir tasarım olanağı elde edilebilir.

Mevcut açıklıkların çelik kullanımı ile daha az sayıda ve/veya daha dar, küçük ebat kesitlerle geçilmesi otoparkın mevcut araç kapasitesini arttırırken, otopark içinde daha rahat sürüş imkanı sağlayıp daha hızlı parkın mümkün olması zamandan tasarruf edilmesini mümkün kılar.

Otoparklarda maliyet hesabı yaparken yapının ömrü boyunca bütün maliyetleri hesaba katmak gerekmektedir. Yapı inşa edilmeye başlamadan maliyet konusu iyi ön görülmelidir.

Kullanılacak malzemenin boyutları, tipi ve türü; inşa sistemi ve buna bağlı olarak inşaat süresi; işletme maliyeti ve kazançlar iyi irdelenmeli ve gerekli koşulları sağlayan en ekonomik çözüm tercih edilmelidir.

Çelik yapıların kompozit inşa edilerek çelik ve betonun birlikte çalıştırılması sonucunda beton tabliyenin basınç, çelik profilin çekme etkilerini alarak daha küçük kesitler kullanılması sağlanabilir. Aynı şekilde çeliğin esnekliği sayesinde kirişlere ters sehim verilmesi ile sehim sınırı, daha küçük bir kesit kullanılmasına rağmen aşılmamış olur. Bu tip akılcı basit çelik çözümler ile hem yapının hafifliği hem de daha ekonomik olması sağlanır.

Çelik yapıların yangına karşı koruma gerekliliği yangın mühendisliği kavramının doğup ve gelişmesine sebep olmuş mühendisleri olaylara farklı açılardan bakmaya yöneltmiştir. Günümüzde, aktif ve pasif koruma yöntemlerinin yanı sıra yangın mühendisliği çözümleri de uygulanmaktadır.

Son olarak vurgulamak gerekirse, çelik yapılar birçok olumlu özelliği sayesinde mühendislere inanılmaz tasarım fırsatları vermekte ve projelerin her açıdan optimize edilmesini sağlamaktadır. Yeter ki gerektiği yerde, çelik tasarımın getireceği olanaklar ve kazançlar bilinerek doğru uygulamalar yapılsın.

Teşekkür Bu çalışmaya kaynak araştırmasında verdikleri destekten dolayı ArcelorMittal Commercial Sections S.A teknik departmanına ve ArcelorMittal Distribution Solutions – Rozak firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Cajot, L.G., et al (1992) REFAO-III, Practical Design Tools for Unprotected Steel Columns Submitted to ISO-Fire. C.E.C. Research 7210-SA/505, Final Report Eur 14348 EN, RPS Report N° 11/1991, Luxembourg.

Chantrain, Ph., et al (1991) Behaviour of HISTAR hot-rolled profiles in the steel construction – Tests. PRF Report N°116/1991.

Carparks in Steel, Brochure of ArcelorMittal Commercial Sections, 2008

EN 1993-1-1: 2005, Design of steel structures. General rules and rules for buildings.

EN 1993-1-2: 2005, Design of steel structures. General rules. Structural fire design.

EN 1994-1-1: 2004, Design of composite steel and concrete structures. General rules and rules for buildings.

EN 1994-1-2: 2005, Design of composite steel and concrete structures. General rules. Structural fire design.

Outinen J., et al (2001) High-temperature testing of structural Steel and Modelling of structures at fire temperatures. Research report TKK-TER-23, Helsinki University of technology Laboratory of Steel structures Publications 23 / 2001, Espoo, FINLAND

TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Aralık 1980

TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Kasım 1997

Wohlfeil, N., et al (2004) Internal report on high temperature transient state tests on S460. Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik, TU Darmstadt.