

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNE GİRİŞ (Bölüm-7)

Yapı Malzemesi- Çelik

Yrd. Doç. Dr. Banu Yağcı

Kaynaklar;

- Yrd. Doç. Dr. Devrim Özhendekci, YTÜ İnşaat Müh. Böl. Çelik Yapılar I Ders Notları
- Prof. Dr. Yalman Odabaşı, Ahşap ve Çelik Yapılar
- Prof. Dr. Ahmet TOPÇU, Betonarme I, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, <http://mmf.ogu.edu.tr/atopcu>
- <http://video.inaatbolumu.com/celik-celigin-tarihi/>

Çelik

- Çok yönlü
- Dayanıklı
- Esnek



Modern hayatın malzemesi

Mühendisler ve mimarlar için çelik altından daha değerlidir

Çelik demirdeki karbon oranlarının değiştirilmesiyle meydana gelir. Demirin içinde yüksek oranda karbon vardır. Fırınlarda karbon ile demiri ayırıp karbonu azaltmak durumundayız. Demir cevherinden fırınlarda elde edilen saf sıvı çeliğe, kullanım yerine göre farklı elementler ve alaşımlar farklı oranlarda eklenir. Her üretimin kendine has bir reçetesi var (örneğin bir gökdelen kirişi, denizaltı veya bir bıçak için)

MALZEME-ÇELİK

Demir cevheri, yüksek fırında kok kömür ile yakılıp ergitilerek içinde % 5 karbon bulunan **ham demir** elde edilir. Kok kömürünün iki fonksiyonu vardır; birincisi gerekli sıcaklığı sağlamak, ikincisi ise demir ile kimyasal reaksiyona girmek. Kok kömürdeki karbon demir ile alaşım meydana getirir.

Ham demirin özel fırınlarda katkılanmasıyla, bünyesinde % 4 karbon bulunan **font (pik)** üretilmiş olur.

Demir, karbonla birlikte **1420–1470K** sıcaklığa kadar ısıtıldığında oluşan sıvı ergiyik %96,5 demir ve %3,5 karbon içeren bir alaşımdır ve **dökme demir** olarak adlandırılır. Bu ürün ince detaylı şekiller halinde dökülebilirse de, içerdiği karbonun çoğunu uzaklaştırmak amacıyla dekarbürize edilmediği sürece, işlenebilmek için fazlasıyla kırılgandır.

Thomas, Siemens-Martin, Bessemer yöntemleriyle özel fırınlarda ham demirin arıtılıp, katkılanması sonucu da **sıvı haldeki çelik (dökme çelik)** malzeme elde edilir.

Mekanik olarak işlenebilen yani dövülerek, preslenerek, **haddeden** geçirilerek şekil alabilen demir alaşımlarına “**Çelik**” denir. Çelik malzemesinin bünyesinde **% 0.16 ~ 0.20 kadar karbon (C)** bulunur. **Karbon miktarı arttıkça çeliğin hem mukavemeti, hem de sertliği artar.**

Ayrıca fosfor, kükürt, azot, silisyum, manganez, bakır gibi elemanlar da vardır. Çelik malzeme bünyesine kobalt, nikel, vanadyum, molibden gibi maddeler katılarak yüksek kaliteli çelikler üretilebilmektedir. Bu katkı maddelerinin çeşitleri ve oranları çelik cinsine göre değişmektedir.

TARİHÇE-ÇELİK

Klasik arkeolojinin bir teorisine göre dünyada **ilk defa demir cevherinin işlenmesi**, antik çağlarda şimdiki Türkiye’de Kaz Dağları’nda çıkan büyük orman yangınında, toprağın içerdiği demire şekil verilebilecek derecede ısınması sonucunda meydana gelmiştir. Bir diğer teori ise, insanların dünyaya düşen meteorlar sayesinde demiri işlemeyi öğrendikleridir. İnsanlar, büyük ihtimalle meteorla gelen metali dövüp, işleyerek ilkel araç-gereç ve silah yapabildiler diye kabul edilir.

Demir ve çelik **5000 yıldır** kullanılmakla beraber, **iki yüzyıl** öncesine kadar yalnızca silah ve eşya yapımında yer almışlardır. Ancak, **18. yüzyılda İngiltere’de ham demir üretiminin başlamasıyla birlikte demir yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır.**



Demir kullanılarak inşa edilen ilk yapılar **köprülerdir**. Kullanılan ilk malzeme **font** tur. Fontun basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise düşüktür. İngiltere’de, Severn nehri üzerinde **1779** yılında inşa edilen **31 m açıklıklı kemer köprü (Coalbrookdale Köprüsü)** font kullanılarak inşa edilen ilk köprüdür.

Çekme mukavemeti çok düşük olduğundan fontun uygulandığı yapılarda, hep basınç gerilmeleri alacak taşıyıcı sistemlere (kemer sistemler gibi) gidilmiştir.

Köprü **Abraham Darby** tarafından yaptırılmıştır. Abraham Darby taş kömürü kullanarak **kok kömürü** üretebilmeyi ve demiri kok kömürü kullanarak işleyebilmeyi ilk başaran kişidir. **1700'lere kadar demirin işlenmesinde zengin karbon içeriği nedeniyle odun kömürü kullanılmaktaydı**, ancak o yıllarda Avrupa ormanlarının tükenmesi demirin işlenmesini zorlaştırmıştı. İngiltere’de bol miktarda taş kömürü mevcuttu, fakat **taş kömüründe yeterli karbon yoktu. Bu nedenlerle, kok kömürü çelik çağını başlatan büyük bir buluş olarak kabul edilir.**

Ancak, Darby'nin işlediği demirin kalitesi iyi değildi. İşlenen demirin içi karbon köpüğüyle doluydu, saat yapımı gibi ince işler için elverişsizdi. Üstelik fontun çekme dayanımı iyi değildi. Yine bir İngiliz olan **Henry Cort** yaklaşık **1784** yılında ("Puddler" adlı fırının devreye sokulmasıyla) **pudlalama metodunu** geliştirerek iyi kalitede **dövme çelik** üretimini mümkün kılmıştır. Bu buluş sayesinde sanayiye yetecek miktarda iyi kalite çelik elde edilebilmiş ve odun kömürü ile demir işleyen Rusya ve İsveç'in tekeli kaldırılmıştır. Böylece İngiltere çelik piyasasına hâkim olmuş ve gerek madeni, gerekse üretim yöntemiyle dünyaya kendini kabul ettirmiştir. Bu dönemde İngilizler madencilikte dünyada rakipsiz duruma yükselmişlerdir. Birçok ülke, İngiliz mühendislerini davet edip, kendi ülkelerinde demir fabrikaları kurmakla görevlendirmişlerdir. Fransa ve Almanya`da ilk yüksek fırını İngilizler kurmuştur (1787). **O yıllarda dövme çelik kullanılarak dolu gövdeli ana kirişli ve kafes ana kirişli köprülerin yapımına başlandı.** Bunlardan birisi, **1846**'da İngiltere'de inşa edilen **140 m** açıklıklı **Britannia Köprüsü**'dür. →

İlerleyen yıllarda **Bessemer (1855)**, **Siemens-Martin (1864)**, **Thomas (1879)** yöntemlerinin bulunmasıyla **ham demirin sıvı haldeyken arıtılması sağlanmış ve dövme çelik üretimi olanağı ortaya çıkmıştır.** Böylece 1800'lü yılların sonlarından itibaren dökme çelik, en çok üretilen cins olmuştur.

Böylece dövme çelik yerini dökme çeliğe bırakmış, buna paralel olarak da modern çelik yapı tekniği geliştirilmiş ve bu alanda büyük ilerlemeler sağlanmıştır.



Brooklyn Köprüsü (1870-1883);

- **Mühendislik alanında bir dönüm noktası**
- **Çelik çağının başlangıcı**







Gothic temaya göre tasarlanmış bu köprüde, yayalar için merkezde bir şerit yapılmış, faytonlar için iki dış tarafta şerit ayrılmış ve motorlu taşıtlar için ise yaya yolunun sağ ve sol tarafında yollar ayrılmıştır.

1825 metre uzunluğundadır, ayakları arasında yaklaşık 480 metre mesafe bulunmaktadır. Köprü yapımında 600 işçi çalışmış ve tam 16 yılda tamamlanmıştır.



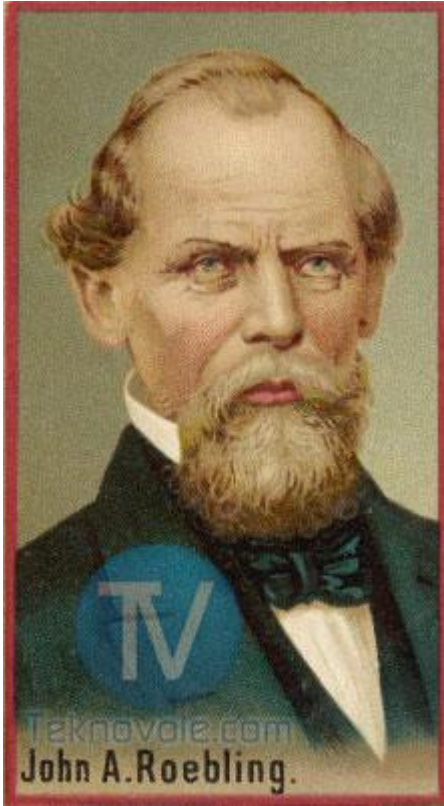




Brooklyn Köprüsü; Özgürlük anıtı gibi genellikle parçalandığında “güzel ve özgür günlerin geride kaldığını” temalayan filmlerde baş tacı edilir.



19. Yüzyıl demir çağıydı. Çelik henüz rüştünü ispatlamamıştı. Çeliğin kendini kanıtlanması gerekiyordu. 1860 yılında bu malzeme kendine ABD- New York kenti kıyısında bir fırsat buluyor. Brooklyn ile Manhattan arasındaki nehirde 490 m lik mesafe gemilerle 3 saat de geçilebiliyordu. Mühendisler hep bir köprü tasarımı için düşünseler de bir problem vardı. Köprüyü o dönemin yaygın malzemelerinden olan demir yada taşla yapmak ağırlığı taşıyacak ayakların suya oturtulması anlamına geliyordu. Bu ayaklar gemilerin okyanustan limana girişini imkansızlaştıracak ve ticarete engel olacaktı. Yani burası için gerekli görülen köprüyü demirle ya da taşla yapmak mümkün değildi.



1867 yılında bir mühendis ([John A. Roebling](#)) pek çok insanın inşa edilemeyeceğini düşündüğü bir tasarım yapıyor. Bu tasarımın sırrı çelik idi, köprü çelik kablolarla asılacaktı. Köprü demirden yapılamazdı çünkü demir yeterince güçlü değildi, çelik ise 2 kat daha güçlüydü. Roebling' in yenilikçi planı kuşkuyla karşılandı. Modern çelik henüz çok yeniydi ve büyük ölçekli yapılar üzerinde henüz denenmemişti. Bazı mühendisler ise gücünden şüphe ediyordu. Mühendisler çelikten haberdardı ancak Roebling kullanmaya karar verene kadar kimse denememişti. Çoğu insan çelik kullanmak istediği için deli olduğunu düşünmüştü. Roebling' in çelik asma bir köprü yapacağını söylemesi, 100 yıl sonra aya ayak basacağını söyleyen Neil Alden Armstrong' un ki kadar garip ve cesur bir söylemdi. Bu köprü ya çeliğin kullanımına bir örnek teşkil edecek yada çeliğin saltanatına bir son verecekti. Roebling çeliğin geleceğin metali olduğunu biliyordu fakat karşısında New York şehrini buldu. 19. yüzyılda yaşayan insanların çöken köprülerle ilgili bir sürü deneyimi vardı. Ortalama her 25 yılda bir köprü çöküyordu. Çelik kullanmayı önermek cesaret işiydi.

1869 da Roebling' in planı onaylanıyor ve yapımına **1870 Ocak** ayında başlanıyor. Tasarıma göre, çeliğin gücü Brooklyn köprüsünü dönemin en güçlü köprülerinden biri yapacaktı. Geriye bir tek sorun kalıyordu. Çelik daha güçlü olsa da demirle aynı zayıflığı paylaşıyordu; **pas ve aşınma**. Demir köprüleri tehdit eden **korozyon** Roebling' in tasarımını da tehdit ediyordu. Çözüm; pek iyi bilinmeyen bir korunma yöntemi olan **galvaniz banyosu**du.

Galvanize çelik paslanmaz ve aşınmaz bir özelliğe sahiptir. Köprüdeki çelik tellerde 1 asır sonra hala pas ve aşınma yok.

Ne yazık ki Roebling' **1869**'da köprünün yerini tespit çalışmaları sırasında geçirdiği bir kaza sonucu öldü, köprünün baş mühendisi olarak oğlu Washington Roebling atandı. **1872**'de Washington Roebling üzerine köprünün kulelerinin inşa edileceği su altı odalarında çalışırken vurgun yedi ve yatalak oldu. Eşi Emily Warren Roebling'in mücadelesi sayesinde köprünün baş mühendisliği görevinden alınmadı ve karısı gayri resmi olarak baş mühendislik görevini sürdürdü, kendisi köprü inşaatını yatağından seyrederek kontrol etti ve karısı aracılığıyla inşaat alanı ile arasında bağlantı sağladı. Köprü nün yapımı **14** yıl sürdü ve **24 Mayıs 1883** de hizmete açıldı.

Köprü, çeliğin büyük ölçekli yapılarda kullanılmasına yönelik kuşkuları giderdi ve yapı malzemesi olarak kabul edilmesinde önemli bir görevi yerine getirmiş oldu.

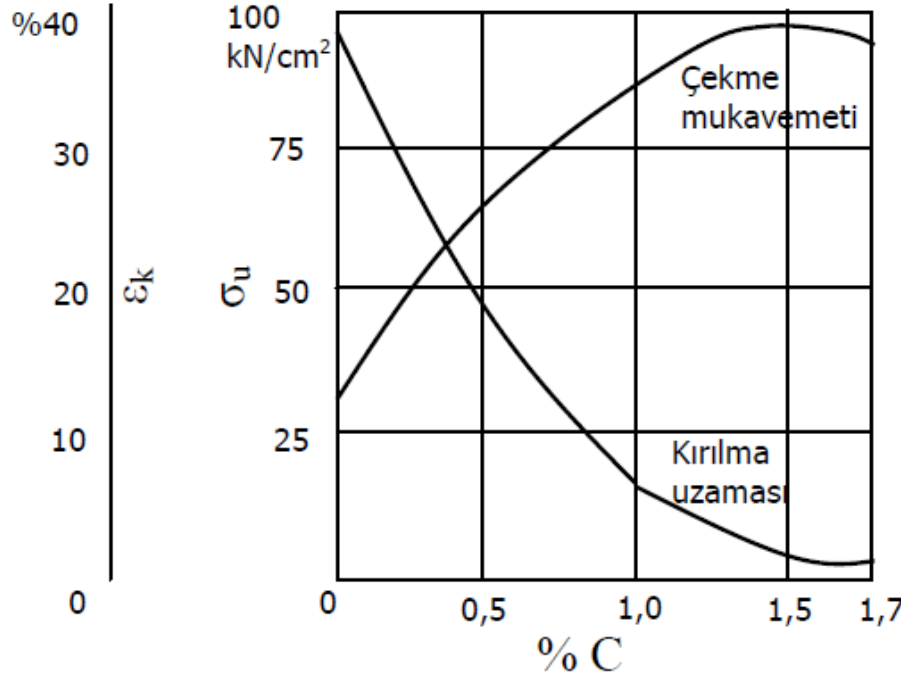
Özellikle **20. yüzyılın başında** elektrik fırınlarının da kullanılmaya başlanmasıyla da çelik yapı tekniklerinde büyük ilerlemeler meydana gelmiştir.

Çelik yapıların hızlı inşa edilebilmesi nedeniyle birinci dünya savaşı sonrasında, ikinci dünya savaşı sırası ve sonrasında çelik yapı inşası yaygın olarak gözlenmiştir. Birinci dünya savaşı sonrasında dağılan sanayinin yeniden üretime geçebilmesi amacıyla çelik inşası tercih edilmiştir. İkinci dünya savaşı sırasında ise Alman ordusunun Volga Nehri'ne kadar onlarca devletin arazilerini işgal ederek, sanayi binalarının donanımlarını söküp yeni arazilere taşınması ve bu arazilerde hızlı sanayi üretimine geçebilmesi ancak çelik taşıyıcı sistemlerin kullanılması ile mümkün olmuştur. Savaş sonrasında ise, sanayi, sosyal-spor tesisleri, okul ve konut binalarının hızla yapılması ihtiyacı, ancak çelik kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Böylelikle çelik yapı taşıyıcı sistemlerinin hesaplama yöntemlerinin ve tasarım esaslarının gelişmesi mümkün olmuştur. Bu süreçte **kaynak teknikleri** de gelişmiştir.

Zamanımızda çelik konstrüksiyonların kısımları, ulaşım olanaklarına bağlı olarak, mümkün olduğunca büyük parçalar halinde, **kaynaklı birleşimler** yapılmak suretiyle atölyelerde hazırlanır. Bu kısımlar şantiyede genellikle **bulonlu montaj birleşimleriyle** birleştirilerek çelik konstrüksiyon tamamlanır.

MALZEME-ÇELİK

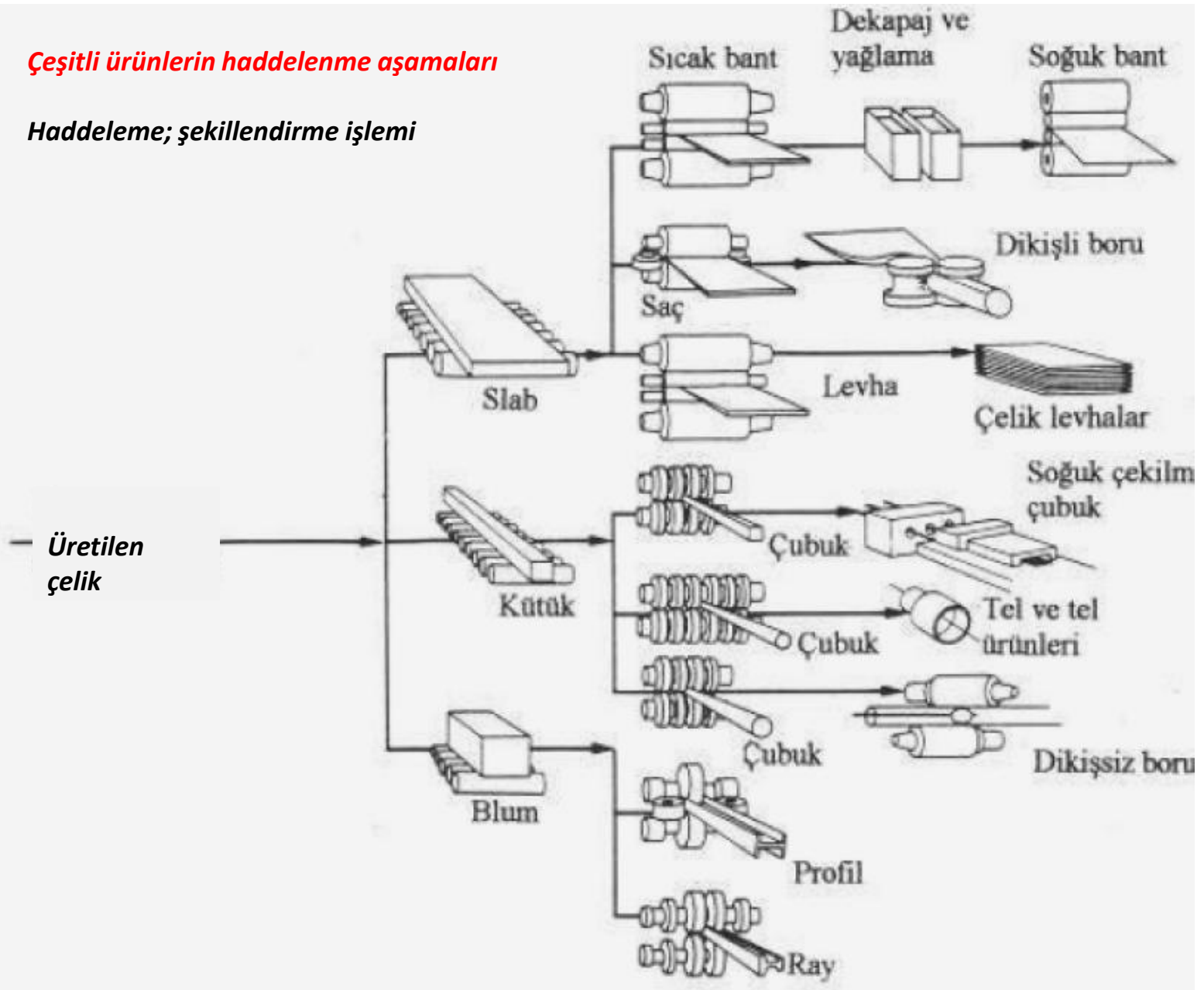
Alman DIN normuna göre çelik, herhangi bir işlemten geçmeden dövülebilir ve genellikle **%1,7'den fazla karbon ihtiva etmeyen** bir demir-karbon alaşımıdır. İnşaatta kullanılan çeliklerde karbon **%0,16-%0,22** aralığındadır. Karbon, çeliğin sertliğini ve mukavemetini artırır, ancak işlenebilirliğini diğer bir deyişle şekil değiştirme ve kaynaklanabilme özelliklerini azalttığı için belli bir oranı geçmemesi gereklidir.



Karbon yüzdesinin çeliğin çekme mukavemetine ve kopma uzamasına olan tesiri (eksenel çekme deneyinde numune uzunluğu, numune çapının 10 misli kadardır)

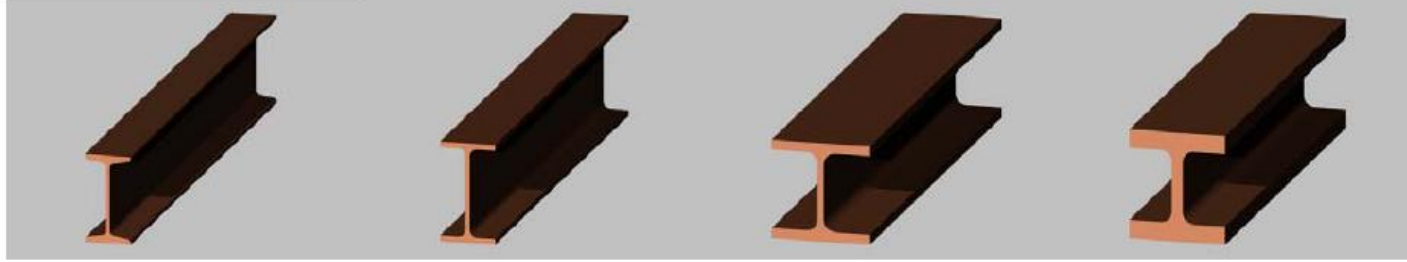
Çeşitli ürünlerin haddelenme aşamaları

Haddeme; şekillendirme işlemi



Bazı Hadde Ürünleri

• I Profilleri



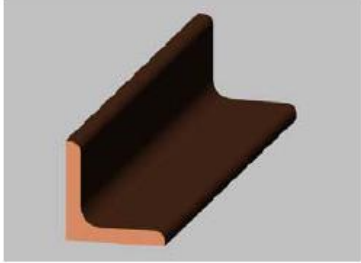
Normal I
(I veya IPN)

Orta Genişlikte I (IPE)

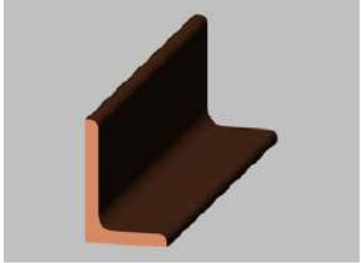
Geniş Başlıklı I
(IPB veya HEB)

Geniş Başlıklı Ağır I
(IPBv veya HEM)

• L Profilleri (Korniyerler)

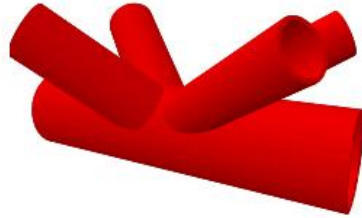


Eşit kollu korniyer

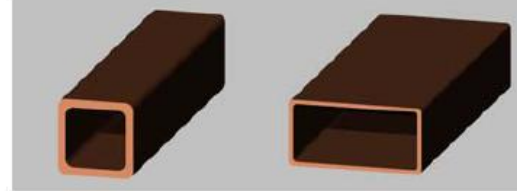


Farklı kollu korniyer

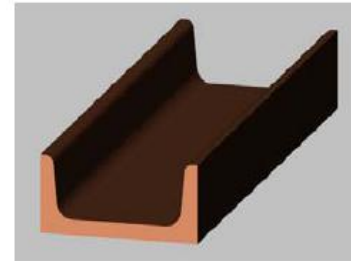
• Boru Profiller



• Tüp Profiller



• [Profilleri



• T Profilleri



ÇELİK YAPI TAŞIYICI SİSTEMLERİN UYGULAMA ALANLARI*

1- Sanayi Yapıları



2- Köprüler



3- Sosyal Yapılar



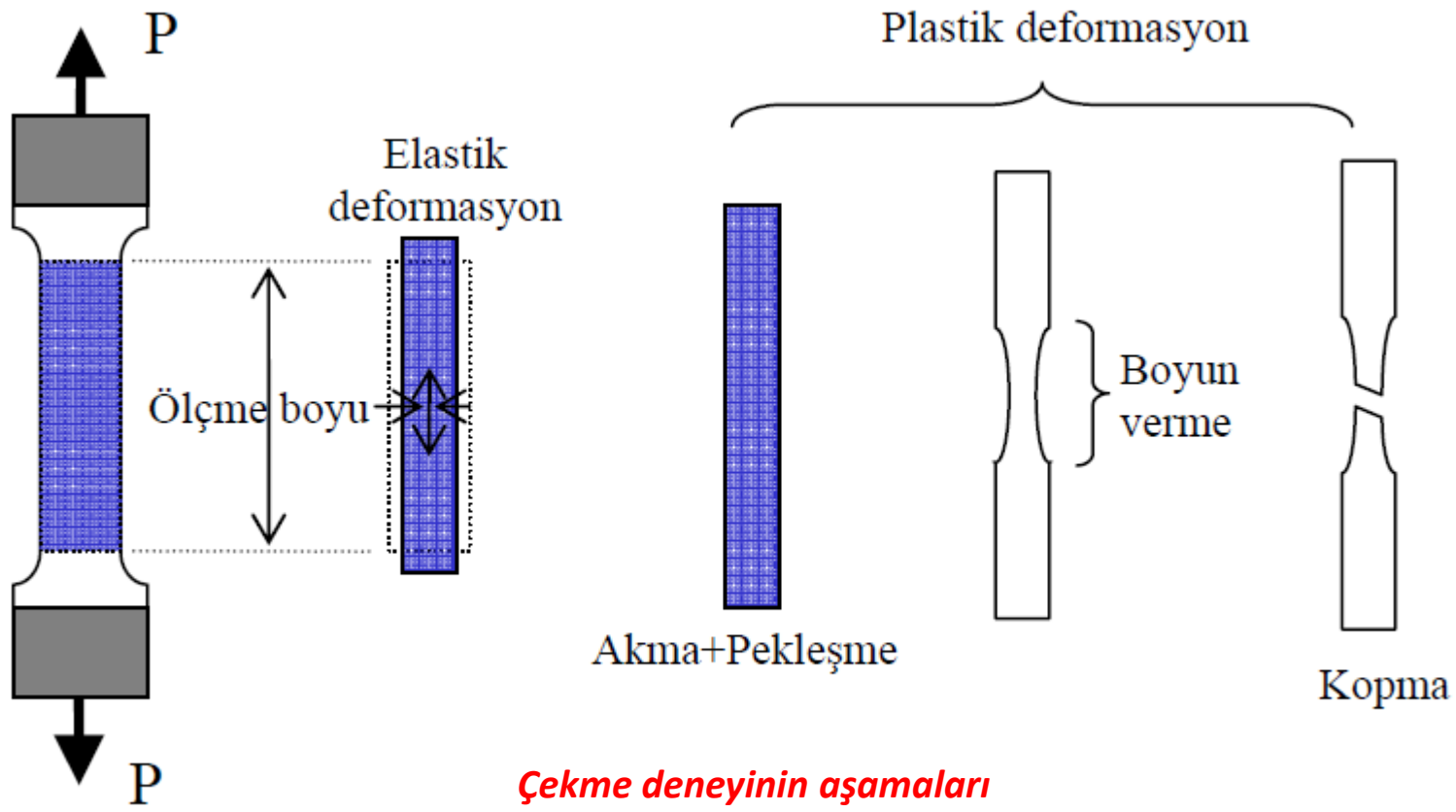
4- Çok Katlı Yapılar



5- Gökdelenler



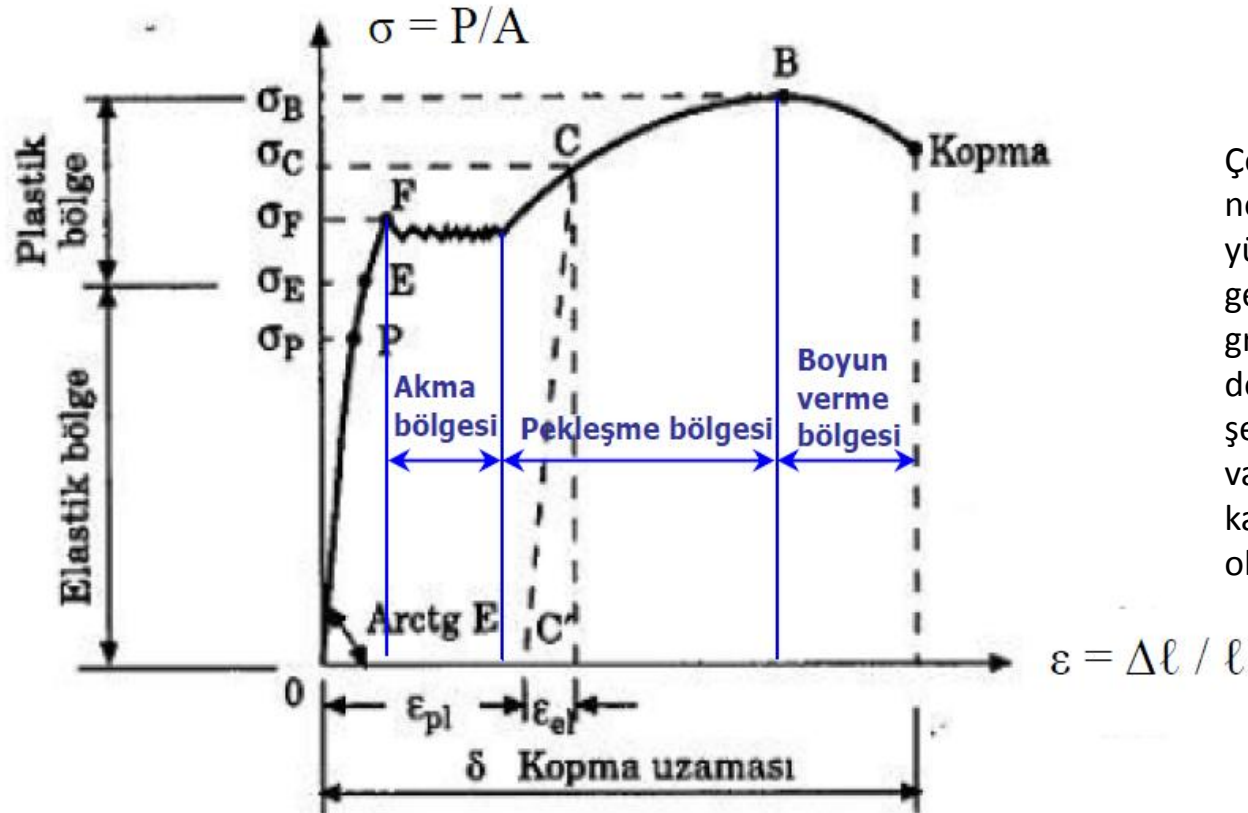
Yapılarda bugün için kullanılan çelik malzemenin kristal bir bünyesi vardır, izotrop ve homojendir. Çeliğin mekanik özellikleri *çekme deneyi* ile belirlenir.



Çekme deneyinin aşamaları

Çekme deneyinde, çubuk biçiminde bir çelik numune yavaş yavaş ve giderek artan çekme kuvvetine maruz bırakılır. Bu esnada bir yandan artan kuvvet etkisiyle çubuğun boyu uzarken, bir yandan da enkesiti daralır ve numune kopuncaya dek kuvvet arttırılmaya devam edilir. Deney boyunca çubukta meydana gelen boy değişimi ve gerilme değerleri ölçülerek gerilme-şekil değiştirme grafiği hazırlanır.

Çubuk elastiklik sınırına ulaşınca kadar (elastiklik sınır gerilmesi : σ_E) meydana gelen şekil değiştirmeler elastiktir; diğer bir deyişle elastik bölgede tesir eden kuvvet kaldırılırsa çubuk başlangıç şekline döner. Hatta bu bölge içinde orantılı sınır gerilmesi (σ_P) diye adlandırılan değerden daha küçük gerilme değerlerinde, gerilmeler ve şekil değiştirmeler arasındaki ilişki lineerdir. Elastiklik sınır aşıldığında ise artık kaçınılmaz olarak çubukta bazı kalıcı hasarlar yani plastik şekil değiştirmeler meydana gelecek demektir. Elastik olmayan bölgede kuvvet arttırılmaya devam edilirse malzeme akma sınırına (σ_F) ulaşır. Şekil ' de görüldüğü gibi akma durumu, sabit gerilme etkisindeki bir elemanda şekil değiştirmede meydana gelen artış olarak tanımlanabilir. Akma durumunda meydana gelen büyük deformasyondan sonra malzeme kendini toparlar ve gerilme yeniden artmaya başlayarak maksimum gerilme (σ_B) değerine ulaşır. Akmadan sonra gerilmenin yeniden artmasına **pekleşme** denir.



Çelik malzeme plastik bölgede bir C noktasına kadar yüklendikten sonra, yük kaldırılıp gerilme sıfırlanırsa, gerilme deformasyon ilişkisi Şekildeki grafikte |OP| doğrusuna paralel |CC'| doğrusunu takip eder. Bu durumda şekilden de görüleceği gibi yük altında var olan gerilmenin elastik olan kısmı kaybolurken, plastik olan kısmı kalıcı olmaktadır.

Çekme deneyinde gerilme-şekil değiştirme grafiği

BETONARME ÇELİĞİ

Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan çekme bölgelerindeki çekme kuvvetlerini almak ve çatlakları sınırlamak amacıyla bu bölgelere çelik çubuklar konur. Ayrıca, sargı donatısı olarak ve bazen basınç kuvveti almak için de kullanılır. “inşaat çeliği”, “betonarme çeliği” denildiği gibi beton içindeki çeliği “donatı” da denir.

Betonu “donatmak” fikri 1850 yılında doğmuştur. İlk uygulamaları demir teller ile donatılmış beton kayık, saksı ve borulardır. Demir tel yerini zamanla demir çubuklara bıraktı. 1900 yıllarına kadar çelik değil demir çubuklar kullanıldı. Günümüzde sadece çelik kullanılmasına rağmen, uygulamada “**Demir**” ve “**Demirci**” kelimesi hala yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çelik çubuklar dairesel kesitlidir. Yüzeği düz veya pürüzlü (girintili-çıkıntılı) üretilirler. Pürüzlü olanlara “**nervürlü**” veya “Profilli” çelik denir. Nervürlü çeliğin dayanımı yüksektir ve beton ile daha iyi kenetlenir. Nervürler bir olta gibi davranır, çeliğin beton içinden sıyrılması zorlaşır. Günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Düz yüzeyle çeliğin dayanımı düşüktür ve beton ile kenetlenmesi iyi değildir, kolayca sıyrılır. Bu nedenle kullanımı giderek azalmaktadır, 2007 deprem yönetmeliği kullanımını kısıtlamıştır. Uygulamada da artık çok nadir görülmektedir.

Nervürlü çelik çubukların ağ şeklinde birbirine kaynaklanmasıyla fabrikada üretilen çeliklere “**hasır çelik**” denir. Döşeme, tünel kaplaması, beton yol gibi büyük yüzeyle elemanlarda kullanılır, işçilik azdır.



ÇELİK SINIFLARI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ (TS708/1996)

Çelik sınıfı		Minimum karakteristik akma dayanımı f_{yk} (N/mm ²)	Minimum Kopma dayanımı f_{su} (N/mm ²)	Min. Kopma uzaması %		yüzey	
				$\phi \leq 32$ mm	$\phi > 32$ mm		
Sıcakta haddelenmiş çelikler	S220a	BÇI-a	220	340	0.18	0.18	D
	S420a	BÇIII-a	420	500	0.12	0.10	N, P
	S500a	BÇIV-a	500	550	0.12	0.10	N, P
Soğukta işlem görmüş çelikler							
S420b	BÇIII-b	420	550	0.10	0.10	N, P	
S500bs	BÇIV-bs	500	550	0.08	0.08	N, P	
S500bk	BÇIV-bk	500	550	0.05	0.05	N, P	

Bu simgeler eskidir, yeni projelerde kullanılmamalıdır.

