

# إنشاءات معدنية

## الحديد و الفولاذ

## الوحدة الاولى: الحديد والفولاذ

**الجدارة :** معرفة مختلف الوحدات الدولية و أصناف المنشآت الفولاذية و مميزاتها و عيوبها و كذلك أنواع و خواص الفولاذ المستخدم في المنشآت المعدنية.

### الأهداف :

عندما تكتمل دراسة هذه الوحدة تكون قادراً (بإذن الله) على أن:

- تتعرف على صناعة الحديد و الفولاذ.
- تتعرف على منتجات الحديد و الفولاذ.
- تتعرف على الصلب الإنشائي و العناصر الداخلة في تركيبه.
- تتعرف على قطاعات الصلب الإنشائية.

**مستوى الأداء المطلوب :** أن يصل أداء المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100٪.

### الوقت المتوقع للوحدة:

ساعتان.

### الوسائل المساعدة :

- مبادئ خواص المواد الهندسية.
- أساسيات مقاومة المواد.

### متطلبات الجدارة:

اجتياز حقيبة ستاتيكا.

## الحديد والفولاذ

### ١. مقدمة

إن سرعة انتشار و استعمال الفولاذ في شتى المجالات يتطلب تطوير التقنيات الحديثة القادرة على معرفة سلوك المنشآت تحت تأثير الأحمال و المحيط الخارجي و تحليل الإجهاد الناتج عن تلك الأحمال. فبفضل الإنشاءات الفولاذية استطاع الإنسان أن يخترق السحاب بإنشائه للمباني العالة و التي لقبت بناطحات السحاب كذلك استطاع إيصال المدن ببعضها بفضل الجسور الطويلة و التي أنشئت باستعمال الفولاذ. ففي عصرنا هذا أصبحت المنشآت المعدنية من أكثر المنشآت استعمالاً حيث انتشرت في شتى المجالات الهندسية بسرعة كبيرة وفي المنشآت الهامة مثل:

- الجسور.
- المباني والأبراج.
- الأنفاق.
- حظائر الطائرات.
- الصالات الرياضية ...إلخ.

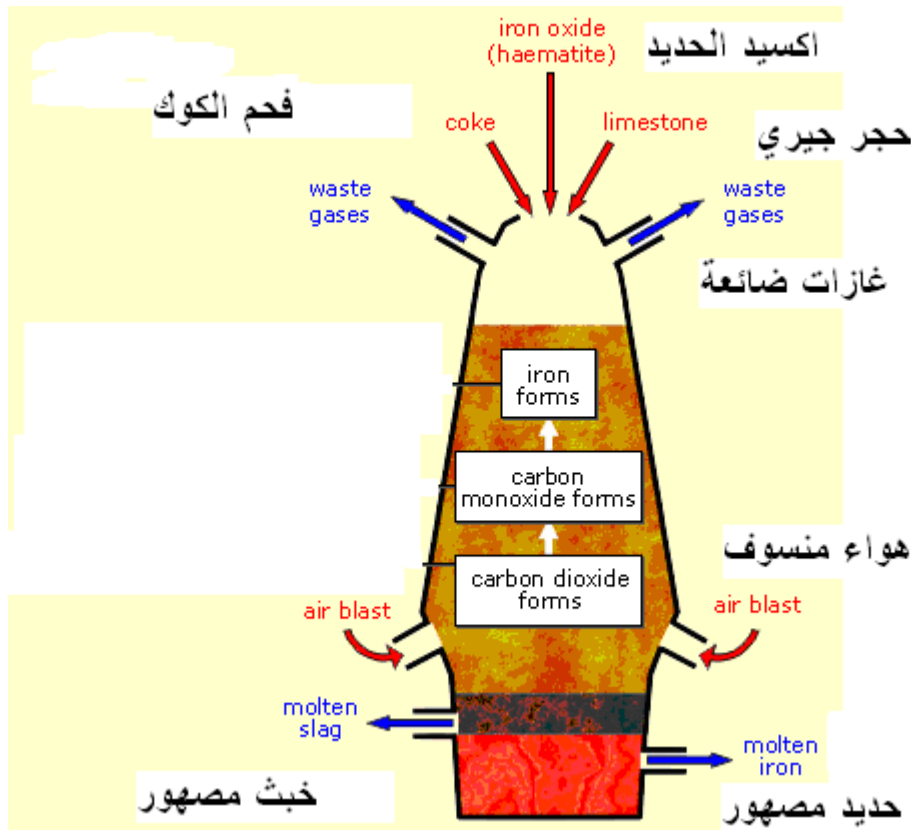
### ٢. صناعة الحديد و الفولاذ:

يتم تصنيع الحديد باستخدام الفرن العالي حيث يتم خلط خام الحديد و فحم الكوك و الحجر الجيري و يدفع هواء ساخن بشدة فيتم اشتعال الفحم و يستخلص الحديد في قوالب و يحتوي على نسبة ٢-٤٪ كربون ثم يتم تنقية الخام من الشوائب الضارة مثل الكبريت مع تقليل نسبة الكربون و إضافة مواد لتحسين خواص الصلب و تستخدم المحولات أو الأفران المفتوحة أو الأفران الكهربائية للحصول على الصلب و يحتوي الصلب الإنشائي على نسبة من الكربون تتراوح ما بين ٠,١٪ إلى ٠,٣٪ و يضاف المنغنيز و الموليبدنم و الفانديوم و الكروم و النيكل و النحاس بنسب متفاوتة لتحسين خواص الصلب الإنشائي.

## الفرن العال

الفرن العال وسيلة الإنتاج الرئيسية للحديد في القرن الحالي و بعد عقود من التطور أصبح وسيلة عالية الكفاءة ويوضح الشكل (1.1) الفرن العال وأجزائه الرئيسية كما يوضح التفاعلات الكيميائية الخاصة به.

يستخدم الفرن العال في إنتاج الحديد الغفل الذي يدخل بعد ذلك إلى المحولات لإنتاج الصلب أو إلى الأفران الكهربائية لإنتاج الصلب والسبائك الحديدية ، و يعمل الفرن العال على حسب نظرية التيارين المتضادين حيث تهبط الشحنة من أعلى بينما يتم نفخ الهواء أو الغاز المختزل من أسفل إلى أعلى.



شكل 1.1: يوضح الفرن العال وتفاعلاته

## شحنة الفرن العال

- خام الحديد: اللبيد (SINTER) او المكورات وعادة خام الحديد يحتوى على نسبة ما بين ٥٠:٦٥ ٪ من الحديد حيث تجري عليه عملية التليد أو التكوير.
- فحم الكوك: وهو الناتج من الأفران بعد تبريده تبريداً سريعاً بالماء ثم تجفيفه.
- الحجر الجيري والدولوميت: حيث يعملان على خفض درجة انصهار الخام والاتحاد مع الشوائب كما يعملان على تعادل حامضية بطانة الفرن حتى لا تتآكل وإنتاج ثاني اوكسيد الكربون الذي يتحد مع الكربون الموجود في فحم الكوك وينتج اول اوكسيد الكربون الذي يقوم باختزال أكاسيد الحديد.
- الإضافات الأخرى وأحياناً الخردة.

### التفاعلات التي تحدث داخل الفرن العال

تصل درجة الحرارة في أعلى الفرن إلى ٢٣٠ درجة وهي غير كافية لبدء عملية الاختزال إلا أنها كافية لامتصاص الرطوبة التي في مواد الشحنة ويحترق الكوك احتراقاً شديداً بمجرد أن يلامس تيار الهواء الساخن في الجزء الأوسط ويوفر الكربون اللازم لاختزال الخام ويكون ثاني اوكسيد الكربون الناتج غير ثابت بسبب وجود الكربون في الكوك بكمية كبيرة لذلك فإنه يتفاعل مع الكربون ويكون اول اوكسيد الكربون ويصعد إلى مدخنة الفرن ويختزل معظم أكاسيد الحديد اختزالاً غير مباشر وعند درجة ٤٠٠ يتم تخلل الماء المتبلور في الخام والتخلص منه والاختزال المباشر يتم بواسطة الكوك في الجزء الأسفل من الفرن وهو الأكثر حرارة حيث تبلغ درجة الحرارة أكثر من ١٣٠٠ درجة مئوية وكلما زادت الثقوب في الخام كلما ارتفعت درجة الحرارة وزادت سرعة التفاعلات الكيميائية وفي منتصف الفرن تقريباً يبدأ الحجر الجيري في التفاعل مع الشوائب في خام الحديد والكوك ويبدأ الخبث في التكون في درجة حرارة حوالي ١٠٠٠ درجة مئوية عندما يكون الحديد قد اختزل إلى حديد إسفنجي وفي قاع الفرن تنصهر الشحنة لجميع مكوناتها باستثناء الكوك الذي يتفاعل جزء منه مع الأكاسيد التي لم تختزل وتصل درجة الحرارة إلى ٢٥٠٠ درجة مئوية ويطفو الخبث فوق الحديد الغفل وذلك لأن وزنه النوعي أقل من الحديد الغفل وتتخلص العناصر الأخرى التي في الشحنة مثل المنجنيز والسيليكون والفسفور من الاوكسجين وتذوب في المعدن الساخن وغالباً يكون الكبريت متواجداً في الكوك ويصبح حاراً عندما يحترق البلوك ونظراً لأن ميل الكبريت للاتحاد مع الحديد كبير لذلك ينبغي العمل على التخلص منه بواسطة عامل مساعد صهر قلوي (Flux) وهو عادة الجير (اوكسيد كالسيوم) الذي يتفاعل مع الكبريت في درجات الحرارة العالية ويتحد الكالسيوم مع الكبريت.

## ٣. منتجات الحديد و الفولاذ

منتجات الحديد و الفولاذ تنتج عن طريق الفرن العال و تعطي المواد التالية:

## • المحولات

بعد إنتاج الحديد الغفل يتم التعامل معه بالتكنولوجيات الاتيه والتي تستخدم لصناعة الصلب

١- محول بسمر القاعدي ٢- محول بسمر الحامضي ٣- المحول الأكسجيني

٤- الفرن المفتوح ٥- الفرن الكهربائي

وهذه الطرق لا تحل واحدة منها محل أخرى لأن كل طريقة لها منظومات مساعدة مختلفة وتتعامل مع مواد خام بنسب مختلفة وتستخدم مصادر مختلفة للطاقة وتخضع اقتصادياتها لعوامل مختلفة.

- الغازات : تنتج غازات بمعدل ٤٠٠٠ متر مكعب /طن حديد وتستعمل الغازات في إنتاج بخار الغلايات وتسخين أفران التكويك وفي تسخين الهواء الداخل إلى الفرن.

- الخبث : يتكون من خام حديد ورماد الفحم وأكاسيد الشوائب ويعالج ثم يستعمل في رصف الشوارع وفي صناعة الإسمنت وأحجار بناء وإذا تم تبريده بالماء مباشرة يستخدم كعازل حراري.

- الحديد الغفل : ويحتوي على كربون من ٥ ٪ إلى ٨ ٪ ويدخل إلى المحولات للتقريب وإنتاج الصلب.

- أهم أنواع الحديد الغفل (الجدول 1.1) :

الجدول 1.1: أهم أنواع الحديد الغفل

.		.	.		
.	.	.			
.					

و أكثر منتجات الحديد من حيث محتوى الكربون هي :

• الحديد المطاوع (حديد مليف: له جسيمات ليفية المظهر) Wrought Iron

نسبة الكربون فيه أقل من 0.1%

• حديد غفل (كتل مصبوبة من حديد الزهر) Pig Iron

نسبة الكربون فيه تتراوح بين أقل من 2% و 4% و تتوفر هذه النسبة أثناء انصهار الفولاذ بالفرن والتي يجب أن يعاد انصهارها لنزع المواد غير المرغوب فيها.

• حديد الزهر (حديد الصب) Cast Iron

نسبة الكربون فيه أقل من 2% إلى 4% ومصنوع من حديد الصب القاسي.

• الفولاذ الصلب Steel

نسبة الكربون أقل من 2%.

#### ٤. الصلب الإنشائي و العناصر الداخلة في تركيبه

بدأ استخدام الحديد كعنصر إنشائي و ذلك باستعمال حديد الزهر (Cast Iron) في إنشاء الجسور ببريطانيا ما بين ١٧٨٠م و ١٨٢٠م. بعد ذلك استبدل حديد الزهر بالحديد المطاوع (Wrought Iron) وذلك عام ١٨٤٠م. وعرف تطور الصلب الإنشائي بتطور محولات بسممر و الأفران لإنتاج الحديد. ويوجد حديد الكربون (Carbon Steel) على أربعة أنواع و هي :

• حديد منخفض الكربون low Carbon

نسبة الكربون أقل من 0.15%

• حديد عادي الكربون Mild Carbon

نسبة الكربون تتراوح ما من 0.15% إلى 0.29%

• حديد متوسط الكربون Medium Carbon

نسبة الكربون تتراوح من 0.30 % إلى 0.59%

• حديد عال الكربون High Carbon

نسبة الكربون تتراوح من 0.60 % إلى 1.7%

و يسمى كل نوع من الحديد بالرقم الدال على قيمة الإجهاد الأقصى فمثلاً فولاذ الإنشاء 37 طبقاً للمواصفات الألمانية يدل على أن قيمة الإجهاد الأقصى هي 37 كجم/مم<sup>2</sup>

توصف أنواع الحديد الصلب حسب مكوناتها الكيميائية كما يلي:

- أ- الصلب القابل للطرق mild steel
- ب- السبيكة الصلب المنخفضة low alloy steel
- ج- السبيكة الصلب المرتفعة high alloy steel

وتحتوي كل أنواع الصلب على خليط من العناصر غير الحديدية والتي تحدد كمياتها في الحديد صفات ومواصفات الصلب كمنتج نهائي ولكن يبقى الكربون كأهم عنصر يدخل في صناعته حيث إنه في النهاية العنصر الأساسي الذي يميز الصلب عن الحديد الخام.

وأغلب الصلب المستخدم في صناعة المباني يكون من نوعين:

- صلب 37 st.37 mild steel
- صلب 52 st.52 low alloy steel

و حسب المواصفات الأمريكية ASTM هناك أربعة أنواع من الحديد وهي :

الحديد(الصلب) منخفض الكربون ويسمى أيضا الصلب الطري Carbon steel

A36 إجهاد الخضوع (Yield Stress)  $F_y = 248\text{Mpa} = 36\text{ksi}$

• حديد (صلب) عال المقاومة ( High Strength,low Alloy )  
A 572  $F_y = 448\text{Mpa} = 65\text{ksi}$

• حديد (صلب) مع مزيج (Alloy steel)  
A 514  $F_y = 689.5\text{Mpa} = 100\text{ksi}$



• حديد (صلب) غير قابل للصدأ (Corrosion resistant High Strength)

$$F_y = 344 \text{ Mpa} = 50 \text{ ksi}$$

A 588

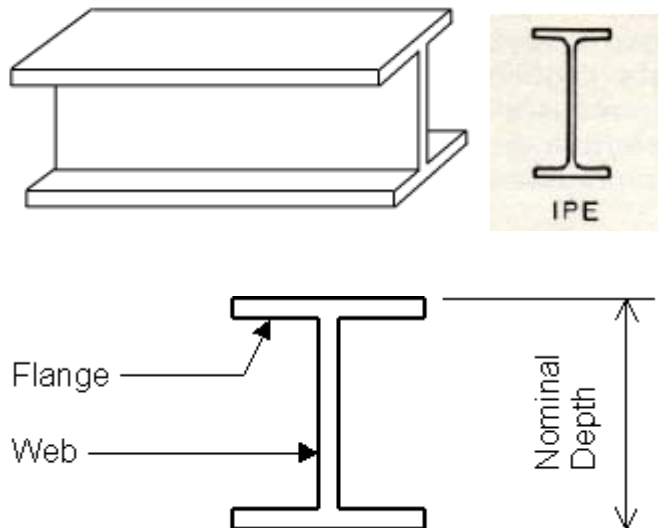
٥. مقاطعات الصلب الإنشائية

يتم إنشاء منشآت الفولاذ من المقاطعات المدلفنة على الساخن و كذلك المقاطعات المدلفنة على البارد حيث تنتج المقاطعات بمرور الكتل خلال معامل الدلفنة حتى تصل إلى السمك والأبعاد القياسية. و تعطى جداول لكل قطاع يبين مقاسات القطاع و خصائص المساحة و مركز الثقل و اتجاهات المحاور و عزوم القصور الذاتية و أنصاف أقطار القصور و غيرها. و تنتج المقاطعات المدلفنة على الساخن في صور شتى.

• مقاطعات الصلب الإنشائية Structural steel Sections

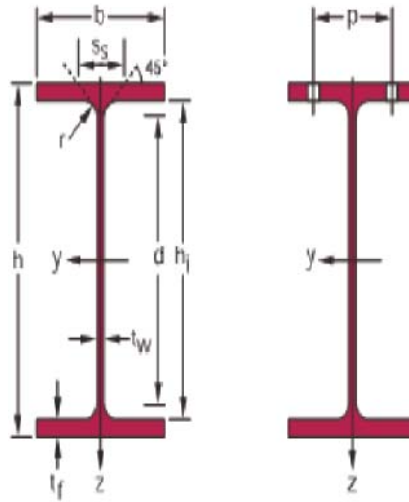
أ- المقاطعات المدلفنة على الساخن Hot-rolled sections

1- مقاطعات حرف IPE & IPB sections (I)



على سبيل المثال و حسب المواصفات الأوروبية Euronorm 19-57

فإن IPE 160



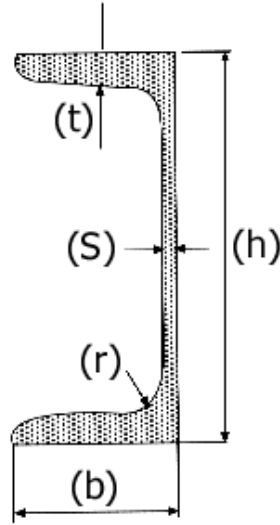
و الجدول التالي يبين بعض خصائص القطاع المذكور.

IPE 160	h (mm)	b (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)
	160	82	5	7.4
	ارتفاع العصب	العرض	سمك العصب	سمك الشفة

## 2- مقاطعات مجرى (U) channel sections

على سبيل المثال و حسب المواصفات الألمانية DIN EN 10025, 17100

- كمر مجرى مدلفنة على الساخن من : ٦ X ٤٥ X ٨٠ مم إلى ١٠ X ٩٠ X ٢٦٠ مم .



$h$  = height web (ارتفاع العصب)

$b$  = width (العرض)

$s$  = web thickness (سمك العصب)

$t$  = flange thickness (سمك الشفة)

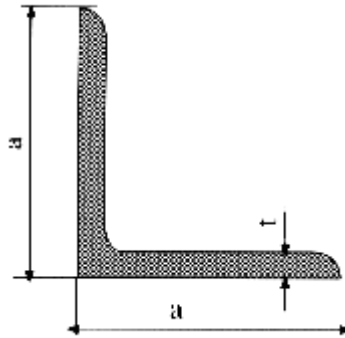
$r$  = radius (نصف القطر)

الارتفاع	العرض	التخاني	سمك شفاه	نصف القطر
$h$	$b$	$s$	$t$	$r$
مم	مم	مم	مم	مم
80	45	6.0	8.0	8.64
100	50	6.0	8.5	10.6
120	55	7.0	9.0	13.4
140	60	7.0	10.0	16.0
160	65	7.5	10.5	18.8
200	75	8.5	11.5	25.3
260	90	10.0	14.0	37.9

العصب		
h ( )		
-	100	0.5
100	200	1.0
200	400	1.5

- زوايا متساوية مدلفنة على الساخن :  $30 \times 30 \times 4$  مم

على سبيل المثال و حسب المواصفات الألمانية DIN EN 10025, 17100



طول الضلع = a

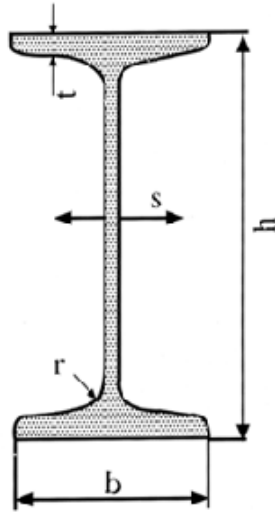
التخانة = t

الوزن	التخانة	طول الضلع a مم
كجم / م	t مم	
1.78	4	30

- كمر عادة مدلفنة على الساخن :

□ مقاس ١٢٠ × ٥٨ × ٥ مم

- حسب المواصفات الألمانية DIN EN 10025, 17100

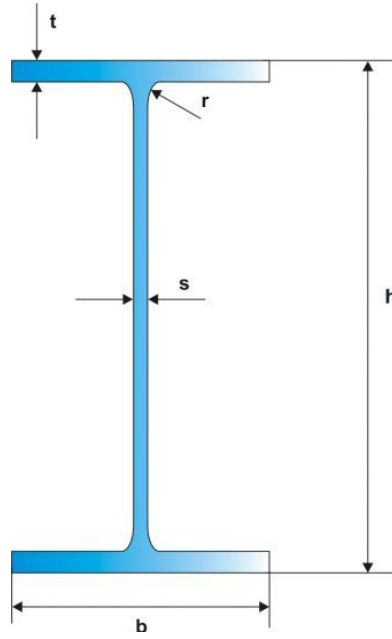


الإرتفاع	الشفة	سمك الشفة	دوران الشفة	الوزن	سمك العصب
h مم	b مم	t مم	r مم	كجم/م	s مم
120± 2	58 ± 1.5	7.7±0.5	5.1	11.1	5.1 ± 0.5



- كمر قياسية IPN حسب المواصفات الألمانية و الاوروبية.

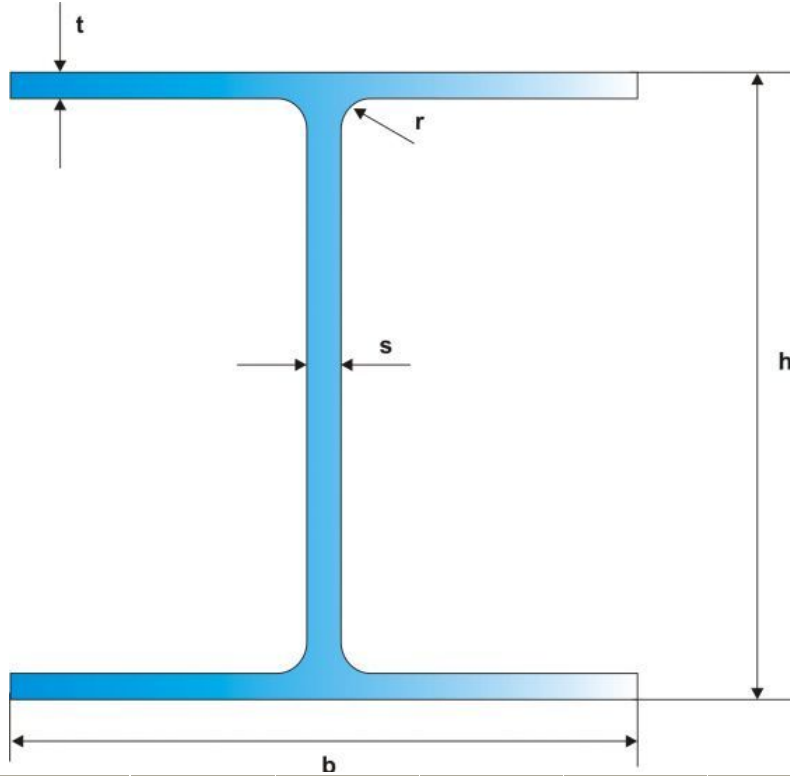
Profiles IPN according to the following standards DIN 1025-1:1995; EN 10024:1995



Type	الأرتفاع h	عرض الشفة b	سمك العصب s	سمك الشفة t	نصف القطر r	وزن لكل ١ متر mass of 1 meter
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]
IPN 80	80	42	3,9	5,9	3,9	5,94
IPN 100	100	50	4,5	6,8	4,5	8,34
IPN 120	120	58	5,1	7,7	5,1	11,1
IPN 140	140	66	5,7	8,6	5,7	14,3
IPN 160	160	74	6,3	9,5	6,3	17,9
IPN 180	180	82	6,9	10,4	6,9	21,9
IPN 200	200	90	7,5	11,3	7,5	26,2
IPN 220	220	98	8,1	12,2	8,1	31,1
IPN 240	240	106	8,7	13,1	8,7	36,2
IPN 300	300	125	10,8	16,2	10,8	54,2
IPN 340	340	137	12,2	18,3	12,2	68
IPN 360	360	143	13	19,5	13	76,1
IPN 400	400	155	14,4	21,6	14,4	92,4
IPN 450	450	170	16,2	24,3	16,2	115
IPN 500	500	185	18	27	18	141
IPN 550	550	200	19	30	19	166

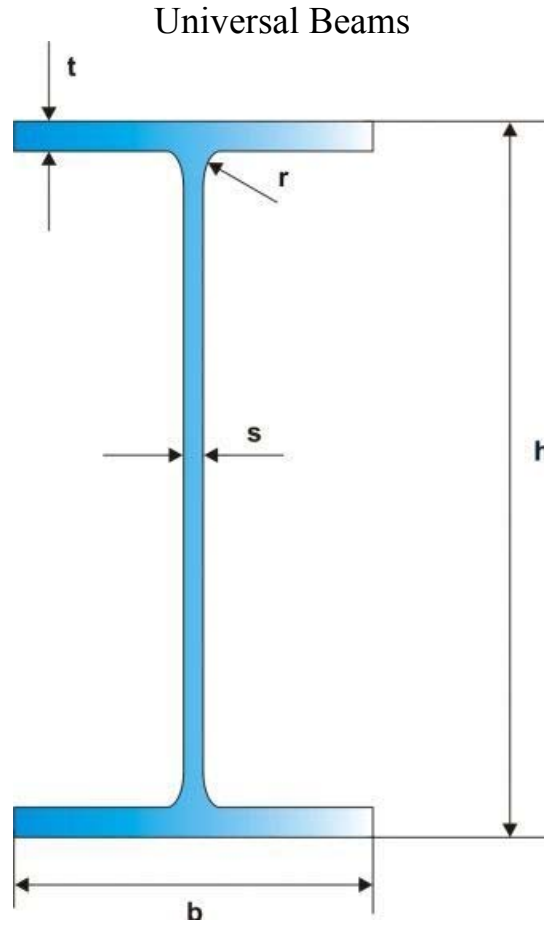
- أعمدة قياسية حسب المواصفات البريطانية BS4: Part1: 1993

### Universal Columns



Type	h	b	s	t	r	mass of 1 meter
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]
UC 152x152x23	152,4	152,2	5,8	6,8	7,6	23
UC 152x152x30	157,6	152,9	6,5	9,4	7,6	30
UC 152x152x37	161,8	154,4	8	11,5	7,6	37
UC 203x203x46	203,2	203,6	7,2	11	10,2	46,1
UC 203x203x52	206,2	204,3	7,9	12,5	10,2	52
UC 203x203x60	209,6	205,8	9,4	14,2	10,2	60
UC 203x203x71	215,8	206,4	10	17,3	10,2	71

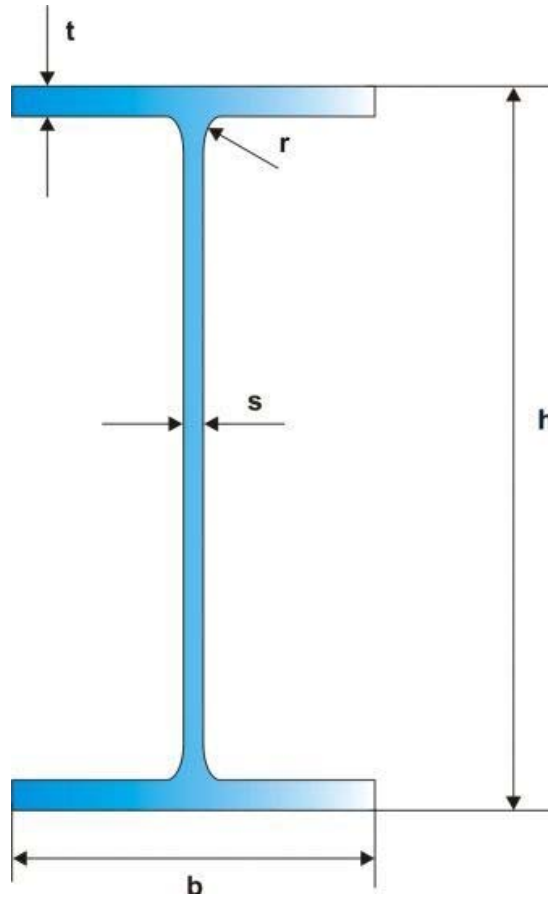
- كمرات قياسية حسب المواصفات البريطانية BS4: Part1: 1993



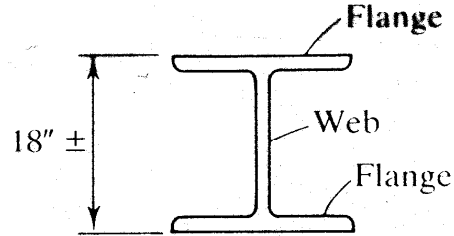
Type	h	b	s	t	r	mass of 1 meter
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]
UB 203x133x25	203,2	133,2	5,7	7,8	7,6	25,1
UB 203x133x30	206,8	133,9	6,4	9,6	7,6	30
UB 254x102x23	254	101,6	5,7	6,8	7,6	22



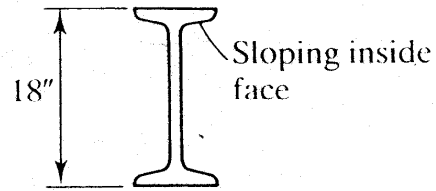
• كميرات قياسية حسب المواصفات الأمريكية ASTM A6/A 6M-04a



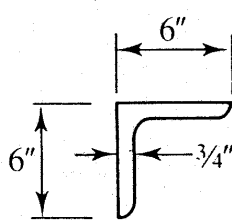
Type	h	b	s	t	r	mass of 1 meter
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg/m]
W 6x15	152	152	5,8	6,6	6	22,5
W 6x20	157	153	6,6	9,9	6	29,8
W 6x25	162	154	8,1	11,6	6	37,1
W 8x18	207	133	5,8	8,4	8	26,6
W 8x21	210	134	6,4	10,2	8	31,3
W 8x31	203	203	7,2	11	10	46,1
W 8x35	206	204	7,9	12,6	10	52
W 8x40	210	205	9,1	14,2	10	59
W 8x48	216	206	10,2	17,4	10	71
W 10x12	251	101	4,8	5,3	8	17,9
W 10x15	254	102	5,8	6,9	8	22,3
W 10x17	257	102	6,1	8,4	8	25,3
W 10x19	260	102	6,4	10	8	28,4



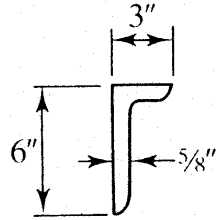
W-shape  
(W18 × 50 shown)



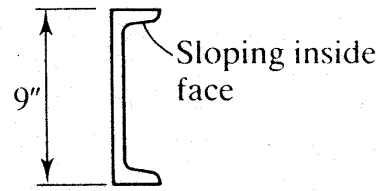
American Standard, S  
(S18 × 70 shown)



Equal-leg  
angle, L  
(L6 × 6 × 3/4 shown)

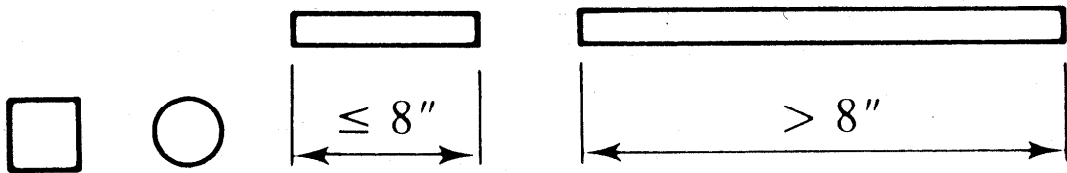


Unequal-leg  
angle  
(L6 × 3 × 5/8 shown)



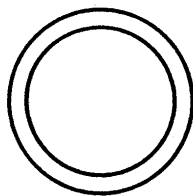
American Standard  
Channel, C  
(C9 × 20 shown)

بعض القطاعات حسب المواصفات الأمريكية

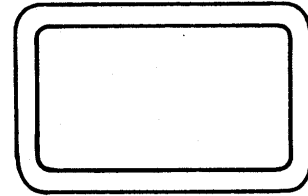
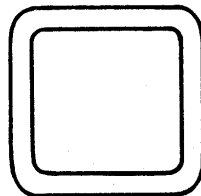


Bars

Plate



Pipe



Tubes

## بعض القطاعات المفرغة

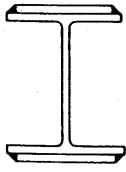
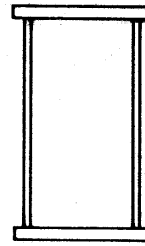
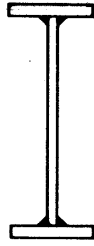
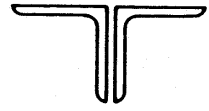
W-shape with  
cover plates

Plate girders















Double-angle

والقطاعات المسحوبة على الساخن هي القطاعات التي تستخدم غالبا لأغراض الإنشاء بالصلب وبصفة عامة وفي المباني متعددة الطوابق بصفة خاصة.

## ب- القطاعات المشكلة على البارد Cold-formed sections

وهذه القطاعات (الشكل ١.٣) تعطي حرية أكبر في تشكيلها بالمقارنة بالقطاعات المسحوبة على الساخن مما يعطيها خاصية التطابق مع المتطلبات الإنشائية ثم أنها خفيفة الوزن بالمقارنة بمثيلاتها من القطاعات الأخرى.

Cold Formed Sections		
		
EQUAL ANGLES	OMEGA SECTION	SECTION SHAPED
		
EQUAL ANGLES	ROAD CRUSH SECTION	SECTION SHAPED
		
C-SHAPED SECTION	CURTAINS SHAPED	COLD FORMED SLEEPER
		
OPEN BOX SECTION	Z-SHAPED	SPECIAL C-SHAPED

الشكل ١.٣ : نماذج لقطاعات مشكلة على البارد.