### الحديد

[عنصر كيميائي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%86%D8%A7%D8%B5%D8%B1_%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9) [وفلز](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%84%D8%B2)، من أقدم [المعادن](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B9%D8%A7%D8%AF%D9%86) المكتشفة، يرمز له بالرمز Fe [وعدده الذري](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D8%AF%D8%AF_%D8%B0%D8%B1%D9%8A) 26. يقع الحديد في [الجدول الدوري](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D8%AF%D9%88%D9%84_%D8%AF%D9%88%D8%B1%D9%8A) في المجموعة الثامنة والدورة الرابعة، وهو عنصر ضروري لحياة الإنسان والحيوان كونه يدخل في تركيب [خضاب الدم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%B6%D8%A7%D8%A8_%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%85)، وكذلك لحياة النباتات كونه أحد العناصر الضرورية لتكوين [الكلوروفيل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1%D9%88%D9%81%D9%8A%D9%84)[[1]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-0#cite_note-0)، ويدخل في كل شيء تقريباً.

يحتل الحديد المركز الرابع من حيث تواجد العناصر في [القشرة الأرضية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%82%D8%B4%D8%B1%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6%D9%8A%D8%A9)، وهو فلز قابل للطرق والسحب، وغالباً ما يتواجد في الطبيعة في صورة أكاسيد. ويعتبر الحديد وسبائكه أكثر المواد المعدنية إستخداماً على الإطلاق. كما يُعتبر الحديد أكثر [العناصر الكيميائية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B9%D9%86%D8%A7%D8%B5%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9) استقراراً على الإطلاق بسبب توازن [القوة الكهرومغناطيسية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D9%88%D8%A9_%D9%83%D9%87%D8%B1%D9%88%D9%85%D8%BA%D9%86%D8%A7%D8%B7%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D8%A9) [والقوة النووية القوية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D9%88%D8%A9_%D9%86%D9%88%D9%88%D9%8A%D8%A9_%D9%82%D9%88%D9%8A%D8%A9) داخل [نواة الذرة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%88%D8%A7%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%B0%D8%B1%D8%A9)، فالعناصر الأخفّ وزناً يمكنهم من خلال [الاندماج النووي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%86%D8%AF%D9%85%D8%A7%D8%AC_%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%88%D9%88%D9%8A) - والعناصر الأثقل وزناً من خلال [الانشطار النووي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%86%D8%B4%D8%B7%D8%A7%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%88%D9%88%D9%8A) - أن يصبحوا أقرب في صفاتهم للحديد. تحتوي [النيازك](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%8A%D8%A7%D8%B2%D9%83) الساقطة على الأرض على كميات من الحديد قد تصل إلى 90% من كتلة النيازك.

الحديد في الأصل فضي اللون، إلا أنه يتأكسد في الهواء. ويعد الحديد أقوى الفلزات على الإطلاق وأكثرها أهمية للأغراض الهندسية شرط حمايته من [الصدأ](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%AF%D8%A3) (أي التفاعل مع الأكسجين). وهناك عدة طرق لحماية الحديد من [الصدأ](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%AF%D8%A3) وأبسطها على الإطلاق منع تماس الأكسجين أو الرطوبة عن الحديد وذلك بتغليف الحديد بمادة عازلة مثل استخدام الأصباغ أو عوازل PVC مثلاً. ومن أفضل الطرق المستخدمة لحمايته هي استخدام نظام [الحماية الكاثودية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D9%85%D8%A7%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%A7%D8%AB%D9%88%D8%AF%D9%8A%D8%A9) لحماية الحديد من الصدأ والتآكل.

الحديد في حالته النقية أكثر ليونة من [الألومنيوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%84%D9%88%D9%85%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%85)، لكن يتم زيادة [صلادته](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A7%D8%AF%D8%A9) بإضافة بعض العناصر السبائكية [كالكربون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86) بنسب معينة، فيتكون سبيكة [الصلب](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A8_%28%D8%B3%D8%A8%D9%8A%D9%83%D8%A9%29)، وهي أقوى ألف مرة من الحديد النقي. يتراوح تكافؤ الحديد بين (2-) و(6+)، إلا أنه في أشهر حالاته يكون تكافؤه (2+) أو (3+).

## كيفية تكونه

يتكوّن الحديد في داخل [النجوم العملاقة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B3%D8%AA%D8%B9%D8%B1_%D8%A3%D8%B9%D8%B8%D9%85) عند [نهاية دورة حياتها](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%AC%D9%85#.D9.85.D8.B1.D8.A7.D8.AD.D9.84_.D9.88.D9.84.D8.A7.D8.AF.D8.A9_.D9.88.D9.81.D9.86.D8.A7.D8.A1_.D8.A7.D9.84.D9.86.D8.AC.D9.88.D9.85)، في عملية تسمى [بعملية احتراق السيليكون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%83%D9%88%D9%86). تبدأ العملية عندما تندمج نواة ذرة [كالسيوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%88%D9%85) مستقرة مع نواة ذرة [هليوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%87%D9%84%D9%8A%D9%88%D9%85)، لتتكون ذرة [تيتانيوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%8A%D8%AA%D8%A7%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%85) غير مستقرة. وقبل أن تتحلل ذرة التيتانيوم الغير مستقرة، تندمج مع ذرة هليوم أخرى، لتتكون ذرة [كروم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%B1%D9%88%D9%85) غير مستقرة. ثم قبل أن تتحلل ذرة الكروم الغير مستقرة، تتحد مع ذرة هليوم أخرى، لتكوين ذرة حديد غير مستقرة. وقبل أن تتحلل ذرة الحديد الغير مستقرة، تتحد مع ذرة هليوم أخرى، لتكوين ذرة [نيكل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%8A%D9%83%D9%84) غير مستقرة.

تتحلل ذرة النيكل الغير مستقرة إلى ذرة [كوبالت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%88%D8%A8%D8%A7%D9%84%D8%AA) غير مستقرة، والتي تتحلل أخيراً إلى ذرة حديد مستقرة 56Fe. وعندئذ لا تندمج ذرات الحديد المستقرة مع أي عنصر آخر، فتشكل بذلك قلب النجم، ويبدأ النجم عندئذ بالتجمد ويتجه للإستقرار.

## خصائص الحديد

### الخواص الميكانيكية

يتم تقييم الخواص الميكانيكية للحديد وسبائكه باستخدام مجموعة متنوعة من الاختبارات، مثل [اختبار برينل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D8%A8%D8%A7%D8%B1_%D8%A8%D8%B1%D9%86%D9%84_%D9%84%D9%84%D9%82%D8%B3%D8%A7%D9%88%D8%A9) [واختبار روكويل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D8%A8%D8%A7%D8%B1_%D8%B1%D9%88%D9%83%D9%88%D9%8A%D9%84_%D9%84%D9%84%D8%B5%D9%84%D8%A7%D8%AF%D8%A9) وكلاهما لقياس [صلادة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A7%D8%AF%D8%A9) الحديد، [واختبار قوة الشد](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%88%D9%85%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%B4%D8%AF) وغيرها؛ نتائج هذه الاختبارات على الحديد دقيقة للغاية، بما يسمح باستخدام الحديد لمعايرة أو الربط بين نتائج الاختبارات المختلفة.[[2]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-corr-1#cite_note-corr-1)[[3]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-2#cite_note-2) تعتمد نتائج تلك الاختبارات على درجة نقاء الحديد: فبللورات الحديد في صورته النقية أكثر ليونة من [الألمونيوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%84%D9%85%D9%88%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%85)، ومع إضافة [بعض أجزاء من المليون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D8%B2%D8%A1_%D9%81%D9%8A_%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%84%D9%8A%D9%88%D9%86) من وزن سبيكة الحديد من عنصر [الكربون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86)، فإنها تضاعف من قوة الحديد.[[4]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-pure-3#cite_note-pure-3) تزداد صلادة الحديد بسرعة بزيادة محتوى الكربون في سبيكة الحديد حتى تصل نسبته إلى 0.2 ٪ من وزن السبيكة، وبعد ذلك يتزايد بمعدلات أقل ويصل إلى الذروة عندما يصل محتوى الكربون إلى 0.6 ٪ تقريبا من وزن السبيكة.[[5]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-4#cite_note-4) الحديد النقي المنتج صناعياً (حوالي 99.99 ٪) لديه صلادة تقدر بـ 20-30 [HB](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%AE%D8%AA%D8%A8%D8%A7%D8%B1_%D8%A8%D8%B1%D9%86%D9%84_%D9%84%D9%84%D9%82%D8%B3%D8%A7%D9%88%D8%A9). [[6]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-5#cite_note-5)

## التآصل في الحديد

يمثل الحديد أفضل مثال لظاهرة [التآصل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%A2%D8%B5%D9%84) في المعادن، فالحديد يتواجد في ثلاثة أطوار تآصلية وهي ( α-Fe ، γ-Fe ، δ-Fe ). يعد فهم ظاهرة التآصل في الحديد هو المفتاح لإنتاج سبائك صلب ذات خصائص محددة للأغراض المختلفة.

أولها تكوّناً عندما يتجمد الحديد من حالته السائلة عند 1538 درجة مئوية هو (δ-Fe)، يعد الفيريت (α-Fe) هو الطور الأكثر استقرارا للحديد في درجات الحرارة العادية.[[7]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-6#cite_note-6) أما 912 درجة مئوية وحتى 1400 درجة مئوية، يتحول الحديد تدريجياً من طور [الفيريت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%8A%D8%B1%D9%8A%D8%AA) إلى طور [الأوستنيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%88%D8%B3%D8%AA%D9%86%D9%8A%D8%AA) (γ-Fe)، ويستخدم هذا الطور من الحديد في إنتاج [الصلب الذي لا يصدأ](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%B0_%D8%BA%D9%8A%D8%B1_%D9%82%D8%A7%D8%A8%D9%84_%D9%84%D9%84%D8%B5%D8%AF%D8%A3)، والذي يستخدم في صناعة أدوات المائدة والمستشفيات ومعدات الصناعات الغذائية.[[8]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-Metallo-7#cite_note-Metallo-7)

##  نظائر الحديد

يوجد الحديد في الطبيعة في هيئة أربعة [نظائر](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%B8%D9%8A%D8%B1) مستقرة، تكون موزعة كالآتي 5.845% 54Fe و 91.754% 56Fe و 2.119% 57Fe و 0.282% 58Fe. من المتوقع أن يخضع النظير 54Fe لعملية [تحلل بيتا المزدوج](http://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%AA%D8%AD%D9%84%D9%84_%D8%A8%D9%8A%D8%AA%D8%A7_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B2%D8%AF%D9%88%D8%AC&action=edit&redlink=1)‏[**(en)**](http://en.wikipedia.org/wiki/Double_beta_decay)‏، لكن هذه العملية لم تلاحظ بالتجربة بالنسبة لهذه الجسيمات. وحده النظير 57Fe من بين النظائر المستقرة للحديد لديه [لف مغزلي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D9%81_%D9%85%D8%BA%D8%B2%D9%84%D9%8A_%28%D9%81%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D8%A7%D8%A1%29) ومقداره (−1/2).

يعد نظير الحديد 56Fe أكثر نظائر الحديد وفرة وأكثرها ثباتاً. من غير الممكن إجراء عملية انشطار أو اندماج نووي لهذا النظير مع حدوث إصدار للطاقة. يتشكل هذا النظير من نظير النيكل 56Ni الذي يتشكل من نوى أخف من خلال [عملية ألفا](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D8%A3%D9%84%D9%81%D8%A7) داخل [المستعرات العظمى](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B3%D8%AA%D8%B9%D8%B1_%D8%A3%D8%B9%D8%B8%D9%85) (اقرأ [عملية احتراق السيليكون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%83%D9%88%D9%86)). يشكل النظير 56 للنيكل نهاية سلسلة تفاعل الاندماج النووي داخل النجوم العملاقة، لأن إضافة [جسيم ألفا](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D8%B3%D9%8A%D9%85_%D8%A3%D9%84%D9%81%D8%A7) آخر سيشكل الزنك-60، والذي يتطلب تشكيله طاقة عالية جداً، لذلك فإن النيكل-56، والذي عمر النصف له 6 أيام، يوجد بكثرة في هذه النجوم. أثناء عملية اضمحلال المستعر الأعظم إلى [بقايا](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%82%D8%A7%D9%8A%D8%A7_%D9%85%D8%B3%D8%AA%D8%B9%D8%B1_%D8%A3%D8%B9%D8%B8%D9%85)، تحدث للنيكل-56 عمليتي إصدار [بوزيتروني](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%88%D8%B2%D9%8A%D8%AA%D8%B1%D9%88%D9%86) متلاحقتين، يتحول من خلالها أولاً إلى الكوبالت-56، ومن ثم إلى الحديد-56 المستقر، مما يفسر الوفرة الكبيرة للحديد في الكون مقارنة مع فلزات أخرى مقاربة في الكتلة الذرية. يوجد نظير الحديد-56 في قلب [العملاق الأحمر](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D8%A7%D9%82_%D8%A3%D8%AD%D9%85%D8%B1) وفي [النيازك الحديدية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%8A%D8%B2%D9%83_%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF%D9%8A) وفي جوف الكرة الأرضية.

هنالك [نظير مشع منقرض](http://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D9%86%D8%B8%D9%8A%D8%B1_%D9%85%D8%B4%D8%B9_%D9%85%D9%86%D9%82%D8%B1%D8%B6&action=edit&redlink=1) للحديد 60Fe له [عمر نصف](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%B5%D9%81) كبير يبلغ 2.6 مليون سنة. [[9]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-NUBASE-8#cite_note-NUBASE-8) إن أغلب الدراسات السابقة حول قياس نسبة نظائر الحديد كانت مركزة حول تحديد نسبة الاختلافات في النظير 60Fe، وذلك نتيجة للعمليات المرافقة لحدوث [التخليق النووي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AE%D9%84%D9%8A%D9%82_%D9%86%D9%88%D9%88%D9%8A) وفي تشكل [الخامات](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%A7%D9%85). ساعد التطور الكبير والمتسارع في تقنية [مطيافية الكتلة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B7%D9%8A%D8%A7%D9%81%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%AA%D9%84%D8%A9) على كشف وتحديد نسب [النظائر المستقرة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%B8%D9%8A%D8%B1_%D9%85%D8%B3%D8%AA%D9%82%D8%B1) للحديد، وذلك نتيجة وجود العديد من الفروع العلمية المهتمة بهذا المجال، من بينها [علوم الأرض](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%84%D9%88%D9%85_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6) [وعلم الكواكب](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%84%D9%85_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%88%D8%A7%D9%83%D8%A8) بالإضافة إلى التطبيقات الحيوية والصناعية. [[10]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-9#cite_note-9)

أظهرت الدراسات لبعض النيازك الحديدية أن العلاقة بين تركيز النيكل-60، والذي يمثل [ناتج اضمحلال](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%A7%D8%AA%D8%AC_%D8%A7%D8%B6%D9%85%D8%AD%D9%84%D8%A7%D9%84) للحديد-60، ووفرة نظائر الحديد المستقرة يمكن أن تعطي دلالة على وجود الحديد-60 60Fe أثناء [تشكل وتطور النظام الشمسي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%B4%D9%83%D9%84_%D9%88%D8%AA%D8%B7%D9%88%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%B8%D8%A7%D9%85_%D8%A7%D9%84%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A). من المحتمل أن تكون الطاقة المتحررة أثناء اضمحلال نظير الحديد-60، بالإضافة إلى الطاقة المتحررة عن نظير الألومنيوم المشع 26Al، قد ساهمت في حدوث إعادة انصهار وإعادة تشكيل وتمايز [الكويكيبات](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%88%D9%8A%D9%83%D8%A8) قبل نشوئها من 4.6 بليون سنة.

تمتاز نوى نظائر الحديد بأن لها طاقة ارتباط عالية لكل [نوية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%88%D9%83%D9%84%D9%8A%D9%88%D9%86)، ولا يفوقها بذلك إلا نظير النيكل 62Ni، والذي يتشكل في تفاعلات الاندماج النووي في النجوم. أما بالنسبة لتوزع عنصري الحديد والنيكل، فإن نسبة نظائر الحديد في الكرة الأرضية تفوق نظائر النيكل، ومن المتوقع أنها تفوقها أيضاً أثنائ تشكل العناصر في المستعرات العظمى. [[11]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-10#cite_note-10)





قطعة من الحديد النقي

## مركبات الحديد

تكافؤ مركبات الحديد غالباً ما يكون +2 أو +3، ويطلق على مركبات الحديد ثنائية التكافؤ (حديدوز) مثل أكسيد الحديدوز (FeO)، وعلى مركبات الحديد ثلاثية التكافؤ (حديديك) مثل أكسيد الحديديك (Fe2O3). قد يصبح تكافؤ مركبات الحديد سداسي التكافؤ كحالة رابع حديدات البوتاسيوم (K2FeO4). كما أن مركبات الحديد التي تشارك في تفاعلات الأكسدة البيوكيميائية، رباعية التكافؤ.[[12]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-11#cite_note-11)[[13]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-HollemanAF-12#cite_note-HollemanAF-12) كما تتواجد [مركبات عضوية معدنية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1_%D8%B9%D8%B6%D9%88%D9%8A%D8%A9_%D9%81%D9%84%D8%B2%D9%8A%D8%A9) للحديد ذات تكافؤ أحادي موجب أو أحادي سالب أو ثنائي سالب. بل ويتواجد الحديد أحياناً في حالته العنصرية داخل جسم الإنسان.

كما يتواجد مركبات للحديد يكون فيها الحديد ذا تكافؤ ثنائي وثلاثي في الوقت ذاته كأكسيد الحديد الأسود (ال[ماغنتيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A7%D8%BA%D9%86%D8%AA%D9%8A%D8%AA)) ومركب أزرق بروسيا (Fe4(Fe[CN]6)3)،[[13]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-HollemanAF-12#cite_note-HollemanAF-12) والذي يستخدم بعض أنواع أوراق الطباعة التي تستخدم في بعض الرسومات الهندسية.[[14]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-13#cite_note-13)

تعد [كبريتات الحديدوز المائية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A) (FeSO4•7H2O) و[كلوريد الحديديك](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%84%D8%A7%D8%AB%D9%8A) (FeCl3) من أكثر مركبات الحديد إنتاجاً صناعياً. وتعتبر كبريتات الحديدوز المائية من أكثر المصادر المتاحة للحصول على أكسيد الحديدوز (FeO)، لكنه أكثر عرضة للتأكسد في الهواء من [ملح موهر](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA%D8%A7%D8%AA_%D8%A3%D9%85%D9%88%D9%86%D9%8A%D9%88%D9%85_%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A) ((NH4)2Fe(SO4)2•6H2O)، وبصفة عامة تميل مركبات الحديد ثنائية التكافؤ للتأكسد في الهواء لتصبح مركبات حديد ثلاثية التكافؤ.[[13]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-HollemanAF-12#cite_note-HollemanAF-12)

## أكاسيده وكبريتيداته

يتفاعل الحديد مع [الأكسجين](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86) في الهواء مكوناً أكاسيد الحديد وأشهرها: [أكسيد الحديد الأسود](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B3%D9%88%D8%AF) (Fe3O4) و[أكسيد الحديديك](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%84%D8%A7%D8%AB%D9%8A) (Fe2O3) و[أكسيد الحديدوز](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A) (FeO)، وإن كان غير مستقر في درجات الحرارة العادية. هذه الأكاسيد هي الخامات الأساسية لإنتاج الحديد. أما أشهر كبريتيدات الحديد فهو ال[بيريت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%8A%D8%B1%D9%8A%D8%AA) (FeS2) والذي يعرف بـ **الذهب الكاذب**.[[13]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-HollemanAF-12#cite_note-HollemanAF-12)

## هاليداته

عرفت هاليدات الحديد الثنائية والثلاثية منذ القدم باستثناء يوديد الحديديك، وهي تنشأ عن طريق تفاعل معدن الحديد مع حامض هالوجيني لكي ينتج عن ذلك التفاعل أحد الأملاح المائية.[[13]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-HollemanAF-12#cite_note-HollemanAF-12)

Fe + 2 HX → FeX2 + H2

يتفاعل الحديد مع ال[فلور](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%84%D9%88%D8%B1) وال[كلور](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1) وال[بروم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D8%B1%D9%88%D9%85) وينتج عن ذلك هاليدات الحديديك، وأشهرها [كلوريد الحديديك](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%84%D8%A7%D8%AB%D9%8A):

2 Fe + 3 X2 → 2 FeX3 (X = F, Cl, Br)

الحديد هو السادس من حيث وفرة من العناصر الكيميائية في [الكون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%88%D9%86)، وهو يتكون خلال الخطوة الأخيرة من [عملية احتراق السيليكون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D8%AD%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%82_%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%83%D9%88%D9%86) في النجوم العملاقة. ونادراً ما يتواجد الحديد في حالته كعنصر (Fe) على سطح [الأرض](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D8%B1%D8%B6) لأنه يميل إلى التأكسد، ولكن أكاسيده منتشرة وتمثل خاماته الأولية. بالرغم من أنه يمثل نحو 5 ٪ من [القشرة الأرضية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%82%D8%B4%D8%B1%D8%A9_%D8%A3%D8%B1%D8%B6%D9%8A%D8%A9)، إلا أنه يعتقد أن سبيكة من الحديد و[النيكل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%8A%D9%83%D9%84) في باطن الأرض تمثل 35 ٪ من كتلة الأرض ككل. لذا، فالحديد هو العنصر الأكثر وفرة على سطح الأرض، لكنه العنصر الرابع الأكثر وفرة في القشرة الأرضية. [[34]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-33#cite_note-33)[[35]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-34#cite_note-34)

معظم الحديد في القشرة الأرضية متحد مع [الأكسجين](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86) مكوناً أكاسيد الحديد والتي تمثل خامات الحديد في الطبيعة [كالهيماتيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B4%D8%A7%D8%B0%D9%86%D8%AC) وال[ماغنتيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A7%D8%BA%D9%86%D8%AA%D9%8A%D8%AA). يتواجد الحديد بوفرة في بعض التكوينات الحجرية. هذه التكوينات الجيولوجية هي نوع من الصخور التي تتكون من طبقات رقيقة من أكاسيد الحديد، إما من الماغنيتيت (Fe3O4) أو الهيماتيت (Fe2O3)، بالتناوب مع طبقات فقيرة بالحديد من [الحجارة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%88%D8%A7%D9%86_%28%D8%AD%D8%AC%D8%B1%29) والطمي. تشكلت هذه التكوينات منذ 3700 إلى 1800 مليون عام. [[36]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-35#cite_note-35)[[37]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-36#cite_note-36) كما أن هناك صور أخرى لخامات الحديد مثل [الليمونيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D9%8A%D9%85%D9%88%D9%86%D9%8A%D8%AA) وال[بيريت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%8A%D8%B1%D9%8A%D8%AA) و[الإلمينيت](http://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%A5%D9%84%D9%85%D9%8A%D9%86%D9%8A%D8%AA&action=edit&redlink=1)‏[**(en)**](http://en.wikipedia.org/wiki/Ilmenite)‏ و[السيدريت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%8A%D8%AA).

نحو 1 من كل 20 [حجر نيزكي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%8A%D8%B2%D9%83) تتكون من معادن غنية بالحديد والنيكل ك[التاينيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%A7%D9%8A%D9%86%D9%8A%D8%AA) (35–80% حديد)، و[الكاماسيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A7%D9%85%D8%A7%D8%B3%D9%8A%D8%AA) (90-95 % حديد). وبالرغم من ندرتها، إلا أن نيازك الحديد هي المصدر الرئيس للحديد على سطح الأرض.[[38]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-37#cite_note-37)

صناعياً، ينتج الحديد في الفرن اللافح عن طريق إختزال خامات الحديد وخاصة [الهيماتيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B4%D8%A7%D8%B0%D9%86%D8%AC) (Fe2O3) و ال[ماغنتيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A7%D8%BA%D9%86%D8%AA%D9%8A%D8%AA) (Fe3O4) بال[كربون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86) عند 2000 درجة مئوية.

في الفرن اللافح، تلقى خامات الحديد، والكربون في هيئة [فحم كوك](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D8%AD%D9%85_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%88%D9%83)، و[الحجر الجيري](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AC%D8%B1_%D8%AC%D9%8A%D8%B1%D9%8A) (الذي يعمل كـ**مخبث** ويستخدم لإزالة شوائب ثاني أكسيد السيليكون التي قد تتسبب في انسداد الفرن) من أعلى الفرن، وفي ذاته يتم الدفع بـ 4 أطنان [هواء](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%87%D9%88%D8%A7%D8%A1) ساخن لكل طن من خامات الحديد من أسفل الفرن.[[40]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-ReferenceA-39#cite_note-ReferenceA-39) يدخل تيار من الهواء الساخن عبر أنابيب النفخ الواقعة أسفله حيث يتفاعل الأكسجين مع الكوك مكونا [أول أكسيد الكربون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%88%D9%84_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86)

2 C + O2 → 2 CO

يختزل أول أكسيد الكربون الهيماتيت لينتج حديد منصهر و[ثاني أكسيد الكربون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AB%D8%A7%D9%86%D9%8A_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86):

Fe2O3 + 3 CO → 2 Fe + 3 CO2

ويختزل بعض الهيماتيت مباشرة بالكوك قرب قاعدة الفرن اللافح مستغلاً الحرارة العالية لهذه المنطقة

2 Fe2O3 + 3 C → 2 Fe + 3 CO2

يعمل المخبث ([الحجر الجيري](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AC%D8%B1_%D8%AC%D9%8A%D8%B1%D9%8A) وال[دولوميت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AF%D9%88%D9%84%D9%88%D9%85%D9%8A%D8%AA)) على إزالة الشوائب المتمثلة في [الرمل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%85%D9%84) والسيليكات الأخرى. تتسبب حرارة الفرن في تحلل الحجر الجيري إلى [أكسيد الكالسيوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%88%D9%85) وثاني أكسيد الكربون.

CaCO3 → CaO + CO2

ثم يتحد أكسيد الكالسيوم مع الرمل ليكون [الخبث](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%A8%D8%AB_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B9%D8%A7%D8%AF%D9%86).

CaO + SiO2 → CaSiO3

يطفوا الخبث على سطح الحديد المنصهر، نظراً لأن [كثافته](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%AB%D8%A7%D9%81%D8%A9) أقل من كثافة الحديد. يزال بعد ذلك كل من الحديد والخبث من فتحات جانبية في الفرن. يسمى الحديد الناتج [بالحديد الغفل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%85%D8%A7%D8%B3%D9%8A%D8%AD_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF) والذي يستخدم كخام للحديد في مراحل تصنيع الحديد التالية، بينما يستخدم الخبث في رصف الطرق أو كمادة مخصبة لبعض التربات الفقيرة بالمعادن وفي صناعة الاسمنت.[[40]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-ReferenceA-39#cite_note-ReferenceA-39) ينتج عن الفرن اللافح غازات كثيفة بمعدل 4000 م3/طن.

طبقاً لإحدى الإحصائيات البريطانية، فإن [الصين](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B5%D9%8A%D9%86) هي أكبر منتج لخامات الحديد (نحو ربع الإنتاج العالمي) تليها [البرازيل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%B1%D8%A7%D8%B2%D9%8A%D9%84) و[استراليا](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%B1%D8%A7%D9%84%D9%8A%D8%A7) و[الهند](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%86%D8%AF).

## إنتاج الحديد بالاختزال المباشر

بسبب المخاوف البيئية، أصبح هناك إتجاهاً للحد من استخدام فحم الكوك. ظهرت أساليب بديلة لمعالجة الحديد، أحدها هو اختزال الحديد مباشر باستخدام الغاز الطبيعي.[[40]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-ReferenceA-39#cite_note-ReferenceA-39) تختزل خامة الحديد إلى مادة تشبه المسحوق تسمى **الحديد الاسفنجي**، التي تستخدم في صناعة الصلب. تتكون العملية من تفاعلين رئيسيين:

* أولاً: أكسدة الغاز الطبيعي بمساعدة عامل محفز وحرارة.

2 CH4 + O2 → 2 CO + 4 H2

* ثانياً: هذه الغازات تدفع إلى فرن مشحون بخامة الحديد، عند درجة حرارة بين 800-900 درجة مئوية، لينتج الحديد الإسفنجي.

Fe2O3 + CO + 2 H2 → 2 Fe + CO2 + 2 H2O

تزال السيليكا بإضافة مخبث كالحجر الجيري في خطوة تالية.

ومع نهاية ثمانينات القرن العشرين، وصل إنتاج حديد الاختزال المباشر إلى حوالي 50 مليون طن/سنة. تمتاز هذه الطريقة في إنتاج الحديد بأنها:

1. لا تحتاج إلى فحم الكوك غالي الثمن والغير متوافر.
2. تكلفة إنشائها أقل بكثير من تكلفة إنشاء الفرن اللافح.
3. تقنيته بسيطة ويسهل استخدامها.
4. الحديد الناتج من هذه العملية خال من الكربون بينما الحديد الغفل الناتج عن الفرن اللافح يحتوي تقريبا على 4 % كربون.

## طرق أخرى

من المعروف أن الحديد الغفل حديد غير نقي، حيث أنه يحتوي على 4-5 ٪ كربون مع كميات صغيرة من الشوائب الأخرى مثل ال[كبريت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA) وال[ماغنيسيوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A7%D8%BA%D9%86%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D9%88%D9%85) وال[فوسفور](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D8%B3%D9%81%D9%88%D8%B1) وال[منغنيز](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%86%D8%BA%D9%86%D9%8A%D8%B2)، غير أنه هش لزيادة نسبة الكربون به. يصب هذا النوع من الحديد، والمعروف أيضا باسم [الحديد الزهر](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%87%D8%B1)، في المسابك لإنتاج الأنابيب والواقيات من المواد المشعة والقضبان وغيرها من المسبوكات الأخرى.

كما يمكن إنتاج [الصلب](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A8_%28%D8%B3%D8%A8%D9%8A%D9%83%D8%A9%29) أو [الحديد المطاوع](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D9%85%D8%B7%D8%A7%D9%88%D8%B9) من الحديد الغفل. استخدمت لذلك عدة طرق منها [أفران التسويط](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D8%B1%D9%86_%D8%AA%D8%B3%D9%88%D9%8A%D8%B7) و[محولات بسمر](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B7%D8%B1%D9%8A%D9%82%D8%A9_%D8%A8%D8%B3%D9%85%D8%B1) و[أفران المجمرة المكشوفة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D8%B1%D9%86_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AC%D9%85%D8%B1%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%83%D8%B4%D9%88%D9%81%D8%A9) و[فرن القوس الكهربي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D8%B1%D9%86_%D8%A7%D9%84%D9%82%D9%88%D8%B3_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D9%8A). تهدف هذه الطرق لأكسدة بعض أو كل الكربون وغيره من الشوائب، ومن ناحية أخرى، إضافة المعادن الأخرى لإنتاج سبائك الصلب.

وهناك طرق بديلة لإنتاج الحديد، وبعض هذه العمليات تنتج الصلب مباشرة في خطوة واحدة بدلاً من إنتاج الحديد ثم تنقيته لإنتاج الصلب. أهم هذه الطرق ما يعرف باسم الصهر، والاختلاف الأساسي بين الاختزال المباشر والصهر، أن الناتج في الحالة الثانية يكون سائلا، بينما في الأولى ينتج الحديد في صورة جامدة وتتم هذه العملية في فرن الصهر أو قد يكون الصهر والاختزال باستخدام ال[بلازما](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%84%D8%A7%D8%B2%D9%85%D8%A7).

فرن قوس البلازما يشبه إلى حد بعيد فرن القوس الكهربي، ولكن بدلا من أقطاب ال[جرافيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AC%D8%B1%D8%A7%D9%81%D9%8A%D8%AA)، يتم تثبيت شعلات البلازما. هذه الشعلات تبرد بالماء من خلال غلاف معدني يغلفها. يمر من خلال الغلاف أنابيب لتغذية الغاز المتأين (سواء [النيتروجين](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%8A%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86) أو ال[أرجون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D8%B1%D8%AC%D9%88%D9%86))، وقطب إسطواني قابل للذوبان من الجرافيت.

يتم الصهر على مرحلتين باستخدام البلازما **الأولى**: اختزال خام الحديد جزئيا بنسبة 50 % إلى 60 %، قبل أن يتم خلطها مع الفحم والحجر الجيري وفي **الثانية**: الاختزال النهائي والصهر وهو يشبه إلى حد كبير الاختزال في الفرن العالي والفارق الأساسي هو وجود البلازما.

## المعالجات الحرارية للمنتجات الحديدية

تتوقف [صلادة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A7%D8%AF%D8%A9) الصلب على محتوى الكربون فيها، فكلما ارتفعت نسبة الكربون، كلما ازدادت صلادته وقلت قابلية للتشكيل. رغم ذلك، هناك عدة طرق للتحكم في صلادة الصلب، منها:

* [التخمير](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AE%D9%85%D9%8A%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B9%D8%A7%D8%AF%D9%86): يتم بتسخين الصلب إلى 700-800 درجة مئوية لعدة ساعات، ومن ثم التبريد ببطء في الفرن. تؤدي هذه العملية إلى تقليل صلادة الصلب وجعله أكثر ليونة وعملي أكثر.
* [تشغيل الصلب على البارد](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%B5%D9%84%D8%AF_%D8%A7%D9%86%D9%81%D8%B9%D8%A7%D9%84%D9%8A): تتم هذه العملية بطرق الصلب وتشكيله في درجة حرارة منخفضة (أقل من 150 درجة مئوية). من أشكالها، الطرق على البارد والدرفلة على البارد والسحب على البارد.
* **التقسية**: تتم بتسخين الصلب إلى الإحمرار ثم تبريده في الماء، فيصبح الصلب أكثر صلادة وأكثر هشاشة. ولمعالجة ذلك يعاد تسخين الصلب، ولكن لدرجة حرارة أقل ثم تركه ليبرد ببطء، وبذلك تقل هشاشة الصلب.[[40]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-ReferenceA-39#cite_note-ReferenceA-39)
* [التقسية السطحية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%82%D8%B3%D9%8A%D8%A9_%D8%B3%D8%B7%D8%AD%D9%8A%D8%A9): أحياناً يكون من المطلوب إنتاج صلب به خواص ال[متانة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AA%D8%A7%D9%86%D8%A9) وال[صلادة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A7%D8%AF%D8%A9)، وعندئذ يسخن الصلب إلى حوالي 900 درجة مئوية في وسط من الفحم أو [النيتروجين](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%8A%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%AC%D9%8A%D9%86). ينتشر الكربون أو النيتروجين في سطح الصلب، مما يزيد من صلادة السطح. يبرد السطح بسرعة، بينما يبرد قلب الصلب ببطء، مما يجعل من السطح صلد والقلب مرن وذو متانة.

## منتجات الحديد الرئيسية

نظراً لانخفاض تكلفة انتاجه وقوته، أصبح استخدامه لا غنى عنه في التطبيقات الهندسية مثل أجسام [الماكينات](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A2%D9%84%D8%A9_%D8%AA%D8%B4%D8%BA%D9%8A%D9%84) و[السيارات](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%D9%8A%D8%A7%D8%B1%D8%A9) وهياكل [السفن](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%D9%81%D9%8A%D9%86%D8%A9) والهياكل المعدنية [للأبنية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%A8%D9%86%D9%89) العملاقة. لا يستخدم الحديد الخالص نظراً لأنه لين جداً، لذا فهو غالباً ما تستخدم أشهر سبائكه وهي سبائك [صلب](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A8_%28%D8%B3%D8%A8%D9%8A%D9%83%D8%A9%29).

يصنف الحديد تجارياً على أساس درجة نقائه ووفرة العناصر السبائكية به. يحتوي [الحديد الغفل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D9%85%D8%A7%D8%B3%D9%8A%D8%AD_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF) على 3.5-4.5 % كربون،[[41]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-msts-40#cite_note-msts-40) ويحتوي على كميات مختلفة من الشوائب، مثل [الكبريت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA) و[السيليكون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%83%D9%88%D9%86) و[الفوسفور](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%81%D9%88%D8%B3%D9%81%D9%88%D8%B1). الحديد الغفل ليس منتجاً نهائياً قابلاً للبيع، وإنما هو خطوة وسيطة في إنتاج [الحديد الزهر](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%87%D8%B1) والصلب من خامات الحديد. [الحديد الزهر](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%87%D8%B1) يحتوي على 2-4 ٪ كربون و 1-6 ٪ سيليكون وكميات صغيرة من [المنغنيز](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%BA%D9%86%D9%8A%D8%B2). تؤثر الشوائب الموجودة في الحديد الغفل مثل الكبريت والفسفور سلباً على خصائص المنتج النهائي، لذا يتم تخفيضها إلى مستوى مقبول. لكلا العنصرين [درجات انصهار](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D9%82%D8%B7%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%86%D8%B5%D9%87%D8%A7%D8%B1) بين 1150-1200 درجة مئوية، وهي أقل من أي من العنصرين الرئيسيين في سبائك الحديد (الحديد والكربون)، لذا فإنهما ينصهرا أولاً، ويسهل إزالة أغلبهما. تتأثر الخصائص الميكانيكية للسبائك الحديدية كثيراً، بالهيئة التي يتخذها الكربون في السبيكة.

يأخذ الكربون في "الحديد الزهر الأبيض" شكل [سمنتيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B3%D9%85%D9%86%D8%AA%D9%8A%D8%AA) أو كربيد الحديد (Fe3C). يتسبب هذا المركب الهش من الكربيدات في جعل الحديد الزهر الأبيض غير مقاوم للصدمات. أما في [الحديد الزهر الرمادي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%B2%D9%87%D8%B1_%D8%B1%D9%85%D8%A7%D8%AF%D9%8A) فيتواجد الكربون حراً في شكل رقائق دقيقة من [الجرافيت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D8%B1%D8%A7%D9%81%D9%8A%D8%AA)، مما يجعله أيضا هشاً لتركز الإجهادات عند الأطراف المدببة لرقائق الجرافيت. هناك نوع آخر من الحديد الزهر هو [الحديد الزهر المرن](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%B2%D9%87%D8%B1_%D9%85%D8%B1%D9%86)، وهو أحد أشكال الحديد الزهر الرمادي المعالجة بإضافة كميات ضئيلة من [الماغنيسيوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%A7%D8%BA%D9%86%D9%8A%D8%B3%D9%8A%D9%88%D9%85)، لتحويل شكل الجرافيت من الشكل الرقائقي إلى أشباه كرات أو عقيدات، والتي تزيد من [متانة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AA%D8%A7%D9%86%D8%A9) وقوة للمادة.

يحتوي [الحديد المطاوع](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B7%D8%A7%D9%88%D8%B9) على أقل من 0.25 % كربون،[[41]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-msts-40#cite_note-msts-40) وهو متين ومرن، ولكنه أقل قابلية للإنصهار من الحديد الغفل. يتميز الحديد المطاوع بإحتوائه على بقايا [خبث](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AE%D8%A8%D8%AB_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B9%D8%A7%D8%AF%D9%86) داخل المعدن، كما أنه أكثر مقاومة للصدأ من الصلب. قل استخدامه الآن وأصبح يستبدل [بالصلب منخفض الكربون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A8_%D9%85%D9%86%D8%AE%D9%81%D8%B6_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86). بالرغم من أن الصلب منخفض الكربون أكثر عرضة للتآكل من الحديد المطاوع، إلا أن رخص ثمنه جعله أكثر استخداماً.

[الصلب الكربوني](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A8_%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86%D9%8A) هو الصلب الذي يحتوي على 2 % كربون أو أقل[[42]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-kts-41#cite_note-kts-41) مع كميات قليلة من [المنغنيز](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%86%D8%BA%D9%86%D9%8A%D8%B2) و[الكبريت](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA) و[الفوسفور](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%81%D9%88%D8%B3%D9%81%D9%88%D8%B1) و[السيليكون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D9%84%D9%8A%D9%83%D9%88%D9%86). بينما [الصلب السبائكي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A8_%D8%B3%D8%A8%D8%A7%D8%A6%D9%83%D9%8A) فيحتوي على نسب متفاوتة من الكربون، فضلا عن المعادن الأخرى، مثل [الكروم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D9%88%D9%85) و[الفاناديوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%81%D8%A7%D9%86%D8%A7%D8%AF%D9%8A%D9%88%D9%85) و[الموليبدنوم](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%A8%D8%AF%D9%86%D9%88%D9%85) و[النيكل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D9%8A%D9%83%D9%84) و[التنجستن](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AA%D9%86%D8%AC%D8%B3%D8%AA%D9%86) وغيرها. يرفع محتوى العناصر السبائكية في هذا النوع من الصلب من ثمنه، لذا لا يستخدم إلا في أغراض خاصة. أشهر سبائك هذا النوع هي سبائك [الصلب الذي لا يصدأ](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%B0_%D8%BA%D9%8A%D8%B1_%D9%82%D8%A7%D8%A8%D9%84_%D9%84%D9%84%D8%B5%D8%AF%D8%A3). أدخل علماء المعادن الحديدية الآن بعض التحسينات على الصلب السبائكي، فأنتجوا منه نوعاً جديداً يمتاز بالقوة رغم إحتوائه على محتوى قليل من العناصر السبائكية، مما يزيد من [متانة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AA%D8%A7%D9%86%D8%A9) الصلب الناتج وبتكلفة أقل.

كما يستخدم الحديد أحياناً كمادة واقية من الإشعاعات المؤينة، لأنه أخف وأقوى بكثير ميكانيكيا من أشهر مادة في هذا المجال وهي عنصر [الرصاص](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%B1%D8%B5%D8%A7%D8%B5).

من أبرز استخدامات الحديد ما يلي:

* **استخدامات** [**الحديد الزهر**](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%87%D8%B1) : يستخدم في صناعة الأدوات التي لا تتعرض للصدمات مثل : أنابيب المياه وأنابيب الغاز.
* **استخدامات** [**الحديد المطاوع**](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B7%D8%A7%D9%88%D8%B9) : ويستخدم في صنع المغناطيسيات الكهربائية المؤقتة المستخدمة في الأجهزة الكهربائية، كما يستخدم في قضبان التسليح المستخدمة في البناء.
* **استخدامات** [**الصلب**](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D9%84%D8%A8_%28%D8%B3%D8%A8%D9%8A%D9%83%D8%A9%29) : يستخدم في صناعة السفن وقضبان سكك الحديد والجسور والسيارات.

يعيب سبائك الحديد والصلب تعرضها بشدة لل[صدأ](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B5%D8%AF%D8%A3)، إذا لم تكن محمية بشكل أو بآخر. ال[طلاء](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B7%D9%84%D8%A7%D8%A1) و[الجلفنة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%BA%D9%84%D9%81%D9%86%D8%A9) و[التخميل](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%AE%D9%85%D9%8A%D9%84) والغطاء البلاستيكي هي طرق تستخدم جميعها لحماية الحديد من الصدأ من خلال إبعاد [الماء](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%A7%D8%A1) و[الأكسجين](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%83%D8%B3%D8%AC%D9%8A%D9%86) عن سطح المعدن، كما أن هناك طريقة أخرى تستخدم غالباً في حماية أجسام السفن الخارجية وحماية أنابيب نقل النفط وسخانات المياة، وهي باستخدام طريقة [القطب المضحى به](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%86%D9%88%D8%AF_%D9%82%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D9%86%D9%8A) والذي يضحى به ليتآكل بدلاً من الجسم الأساسي.

## استخدامات مركبات الحديد

مركبات الحديد منتشرة في الصناعة، وتستخدم في العديد من الاستخدامات المتخصصة. تستخدم مركبات الحديد عادة كعامل محفز في [عملية هابر-بوش](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D9%87%D8%A7%D8%A8%D8%B1) لإنتاج [الأمونيا](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%85%D9%88%D9%86%D9%8A%D8%A7) و[عملية فيشر-تروبش](http://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=%D8%B9%D9%85%D9%84%D9%8A%D8%A9_%D9%81%D9%8A%D8%B4%D8%B1-%D8%AA%D8%B1%D9%88%D8%A8%D8%B4&action=edit&redlink=1) لتحويل [أول أكسيد الكربون](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D9%88%D9%84_%D8%A3%D9%83%D8%B3%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86) إلى [هيدروكربونات](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%87%D9%8A%D8%AF%D8%B1%D9%88%D9%83%D8%B1%D8%A8%D9%88%D9%86) لإنتاج الوقود ومواد التشحيم.[[43]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-42#cite_note-42)

يستخدم [كلوريد الحديد الثلاثي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%84%D8%A7%D8%AB%D9%8A) في تنقية المياه و[معالجة مياه الصرف الصحي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%B9%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%A9_%D9%85%D9%8A%D8%A7%D9%87_%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%B1%D9%81_%D8%A7%D9%84%D8%B5%D8%AD%D9%8A)، وفي صبغ القماش وكعامل لتلوين الطلاء، كما يضاف لأعلاف الحيوانات، ويستخدم أيضاً لتنظيف [النحاس](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%AD%D8%A7%D8%B3) في صناعة [لوحات الدوائر المطبوعة](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D9%88%D8%AD%D8%A9_%D8%AF%D8%A7%D8%B1%D8%A7%D8%AA_%D9%85%D8%B7%D8%A8%D9%88%D8%B9%D8%A9).[[44]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-43#cite_note-43) كما يتحلل في [الكحول](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D9%84%D9%83%D8%AD%D9%88%D9%84) ليستخدم كصبغة.[[17]](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF#cite_note-Iron_2008-16#cite_note-Iron_2008-16) أما الهاليدات فيتوقف استخدامها على بعض الاستخدامات المختبرية المحدودة.

يستخدم [كبريتات الحديد الثنائي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A) لإختزال أملاح الكرومات في صناعة الاسمنت، كما يستخدم لعلاج [افتقار الدم لعنصر الحديد](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%81%D9%82%D8%B1_%D8%A7%D9%84%D8%AF%D9%85_%D8%A8%D8%B9%D9%88%D8%B2_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF). أما [كبريتات الحديد الثلاثي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D8%A8%D8%B1%D9%8A%D8%AA%D8%A7%D8%AA_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%84%D8%A7%D8%AB%D9%8A) فيستخدم في ترسيب الجسيمات الدقيقة في مياة الصهاريج. بينما يستخدم [كلوريد الحديد الثنائي](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%84%D9%88%D8%B1%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%AF%D9%8A%D8%AF_%D8%A7%D9%84%D8%AB%D9%86%D8%A7%D8%A6%D9%8A) كعامل مختزل في بعض الصناعات العضوية.