الهيئـة العامـة للتعليـم التطبيقـي والتدريــب
كليـة التربيـة الأساسيـة
قسـم العلـوم-الجيولوجيـا

الجيولوجيـا الاقتصاديـة

د. الهــام اللنقــاوي

الجزء الرابع
الخامات المعدنية

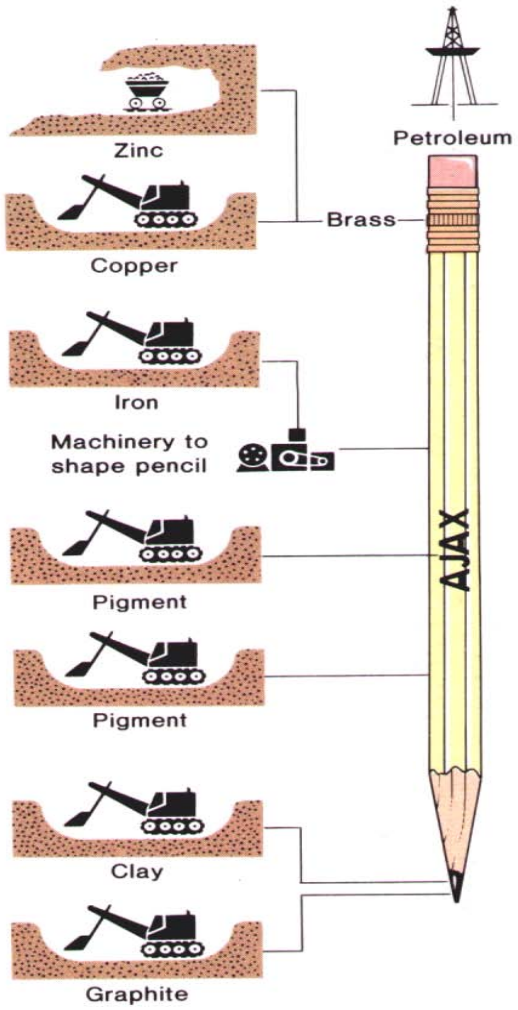


Figure 21.1
Mineral resources necessary to make a wooden pencil.

شكل يوضح المواد المستخدمة في صنع قلم الرصاص

الخامات المعدنية

Economic Mineral Resources

من المعروف أن 99.5% من القشرة الأرضية يتكون من ثلاثة عشر عنصر فقط وهي: الاكسجين، السيليكون، الألمنيوم، الحديد، الكالسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، المغنيسيوم، التيتانيوم، الهيدروجين، الفسفور، المنجنيز، الفلور. والمتبقي من هذه النسبة (0.5%) تشتمل على عناصر كثيرة لكن أهمها ما يلي:الذهب، الفضة، البلاتين، النحاس، الرصاص، الزنك، القصدير، النيكل. وهذه هي المعادن الاقتصادية الأساسية التي يقوم عليها اقتصاد الدول.

ما هي الخامات المعدنية Ore Minerals :-

هي عبارة عن عناصر معدنية مرتبطة كيميائيا مع عناصر أخري مشكلة تكتلات معدنية التي تكون عادة مختلطة مع مكونات الصخر أو معادن لافلزية التي تعرف بالشوائب (gangue)، وهذه التكتلات المعدنية يستخلص منها معادن مختلفة لها قيمة اقتصادية كبيرة.

التصنيف القديم للخامات المعدنية الذي وضع قبل عام 1911

كان يقسم الخامات المعدنية إلى قسمين أساسيين:-

1. **خامات معدنية معاصرة Syngenetic deposits :**

وهي الخامات المعدنية التي تتكون أثناء تكون الصخر الحاوي لها. مثلا إن الصخور الجيرية أحد الموارد الاقتصادية لمعدن الكالسيت، لذلك نستطيع أن نقول أن الكالسيت المكون لهذه الصخور عبارة عن خام معدني معاصر. مثال آخر الصخور الرملية فهي تتكون من الكوارتز الذي يعتبر خام معدني معاصر ضمن هذه الصخور.

2. **خامات معدنية لاحقة Epigenetic deposits .**

وهي الخامات التي تتكون في وقت لاحق لتكون الصخر الحاوي لها نتيجة للترسيب من المحاليل الساخنة المتبقية من تبلور الصخور المصهورة أو المياه الجوفية. وهذه المعادن تستخلص من نفس الصخر الحاوي لها ولم تتعرض لعمليات التعرية. مثلا لو تعرضت الرواسب الرملية أو الصخور الرملية لعملية اللحم بواسطة معدن آخر مثل البايرايت هنا نستطيع القول بأن معدن الكوارتز خام معاصر أما البايرايت فهو خام لاحق.

وأيضا صنفت الخامات المعدنية تبعا لتأثير العوامل الخارجية عليها إلى نوعين أساسيين:-

1. خامات أولية Primary deposits .

الخامات التي تتكون أثناء تكون الصخر وتنتج أو تستخلص من نفس الصخر الحاوي لها، وهي التي لم تتعرض لتأثير عوامل التعرية والتجوية. على ضوء الأمثلة السابقة نستطيع أن نصنف الكوارتز والبايرايت على أنهم خامات أولية تكونت أثناء تكون الصخر ولم تتعرض لعمليات التجوية أو التعرية.

2. خامات ثانوية Secondary deposits .

هي عبارة عن الخامات المعدنية التي تستخلص من الصخور وهي نشأت عن طريق عمليات التجوية الكيميائية أو الفيزيائية أو البيولوجية على الخامات الأولية. دراسة المعادن المختلفة ضمن الصخر تحدد طبيعة الخام المعدني من حيث النشأة أي هل هو ذو نشأة أولية أو ثانوية. عادة تكون معادن الكبريتيدات معادن أولية وعند تعرضها لعمليات التجوية ينشأ منها معادن الأكاسيد والكربونات والكبريتات.

جدول يوضح الخامات الأولية التكوين والثانوية:-

الخـام الأولي		الخـام الثانوي
كبريتيد الحديد (البايرايت)	تجوية ←	أكسيد الحديد المائي (الليمونايت)
كبريتيد النحاس (كالكوسايت)	تجوية ←	كربونات النحاس (مالاكايت) أكسيد النحاس (كوبرايت)
كبريتيد الرصاص (جالينا)	تجوية ←	كربونات الرصاص (سيروسايت) كبريتات النحاس (بروكانايت)
سيليكات الألمونيوم والبوتاسيوم (الأورثوكليز)	تجوية ←	سيليكات الألمونيوم المائية (الكاولين)

التصنيف العلمي الحديث للخامات المعدنية

تصنف الخامات المعدنية في الوقت الحاضر بناءا على التصنيف الذي وضع من قبل العالم لينجرين (Lidgreen) في سنة 1911، الذي صنف الخامات المعدنية بناءا على طبيعة التكوين الناتج عن الاختلاف في درجات الحرارة و الضغط الى مايلي:-

نوع الخامات	بعض الأمثلة	درجة الحرارة (م)	الضغط
(1) معادن ميكانيكية الترسيب	رواسب الذهب والأحجار الكريمة، الصخور الرسوبية الفتاتية		
(2) معادن كيميائية الترسيب		70-0	متوسط-عالى
<1> في المياه السطحية			
أ. بواسطة التفاعل	صخور رسوبية عضوية		
ب. بواسطة التبخير	صخور رسوبية كيميائية		
<2> ضمن الصخور			
أ. زيادة تركيز المعادن في الصخور			
1. بواسطة التجوية (الكيميائية)		100-0	متوسط
2. بواسطة المياه الجوفية	ترسب معدن الكوارتز ضمن مسامات الصخور الرملية	100-0	متوسط
3. بواسطة التحول	تكون الرخام والكوارتزايت	400-0	عالى
ب. إضافة معادن غير أساسية لمكونات الصخر		100-0	متوسط
1. دون التعرض للتداخلات النارية	ترسب مواد لاحمة من الكبريتيدات والأكاسيد بسبب المياه الجوفية، المعادن الطينية ضمن الصخور النارية بسبب إذابة الفلدسبارات		
2. نتيجة للتعرض المباشر للتداخلات النارية			
. بواسطة المياه المصاحبة للصهير			
رواسب منخفضة الحرارة epithermal	السيربنتين والتلك من تفاعل المياه الساخنة مع الصخور النارية القاعدية، عروق الذهب	200-50	متوسط
رواسب متوسطة الحرارة mesothermal		+500-200	عالى
رواسب عالية الحرارة hypothermal		+600-500	عالى+
. بواسطة التعرض المباشر للصهير			
معادن متحولة pyrometasomatic	ياقوت، كلورايت، جارنت، سيربنتين	800-500	عالى+
معادن متسامية sublimates	الكبريت	600-100	منخفض-متوسط
<3> ضمن الصخور المصهورة			
أ. معادن صهارية magmatic deposits	الصخور النارية السطحية والجوفية	1500-700	عالى+
ب. معادن البجماتيت pegmatites	الصخور النارية البجماتاتية (جرانيت بجماتيتي، بايروكسينايت بجماتيتي)	+575	عالى+

حيث يوضح الجدول السابق أن الخامات المعدنية تتكون بواسطة طريقتين رئيسيتين هما :

1. طريقة ميكانيكية: وتتلخص في عمليات التجوية والتعرية الميكانيكية التي تفتت الصخور وتكون الرواسب المختلفة التي بإمكان عوامل النقل حملها ثم ترسيبها، وبالنهاية تتكون الصخور الرسوبية الميكانيكية ضمن بيئاتها المختلفة، والرواسب الحصوية والمعدنية ضمن الأنهار وعلى ضفاف الأنهار بواسطة الفيضانات وضمن الدالات الترسيبية.

2. طريقة كيميائية: وهذه العملية تشمل ثلاث طرق رئيسية:-

<1> تتكون الخامات المعدنية بواسطة طرق كيميائية عن طريق التفاعل بين الكائنات الحية والماء السطحي أي الترسيب الكيميائي العضوي، بالإضافة إلى الترسيب المباشر من مياه البحار والبحيرات بسبب عملية التبخر الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة. نستطيع القول بأن جميع الصخور الرسوبية الكيميائية والكيميائية العضوية تندرج ضمن هذا النوع من الخامات.

<2> تتكون الخامات الاقتصادية بواسطة طرق كيميائية ضمن الصخور المختلفة، هنا بإمكان العمليات المختلفة زيادة تركيز المعادن المكونة للصخر أو إضافة معدن جديد لا يعتبر من مكونات الصخر الأساسية. مثلا:
الصخور الرملية تتكون من معدن الكوارتز ونسبة من المسامات التي يمكن أن تشكل 30 % من حجم الصخر الكلي، لو أن العمليات الكيميائية المصاحبة للمياه الجوفية العادية أو المياه الساخنة رسبت معدن السيليكا بين حبيبات الكوارتز بحيث أغلقت المسامات جميعها، هنا تكون المياه الجوفية أدت إلى زيادة تركيز الكوارتز (الذي ما هو إلا سيليكا) ضمن هذا الحجر الرملي. أما لو ترسبت بلورات البايرايت أو الجالينا أو الكالسيت أو غيرها من المعادن هنا نستطيع القول بأن المياه الجوفية أدت إلى إضافة معدن غير أساسي لمكونات الصخر.
زيادة التركيز تحدث بواسطة عمليات التجوية والتعرية وبواسطة الترسيب من المياه الجوفية وأيضا بواسطة عملية التحول خاصة التماسي والإقليمي القليل الدرجة.
أما إضافة معادن جديدة يمكن أن تحدث دون التعرض للماجما أي بواسطة المياه الجوفية أو التعرية والتجوية، أو يمكن لها أن تحدث بواسطة تعرض الصخور للمحاليل الساخنة أو الأبخرة أو الحارة المصاحبة للماجما.

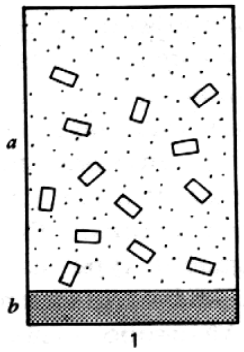
<3> تتكون الخامات المعدنية بواسطة التبلور من الماجما إما على سطح الأرض أو على أعماق متفاوتة من سطح الأرض ويتكون منها الصخور النارية المختلفة وهي تعرف بمعادن صهارية، أو معادن البجماتيت إذا كان الصخر يحتوي على نسيج بجماتيتي.

نشأة الخامات المعدنية

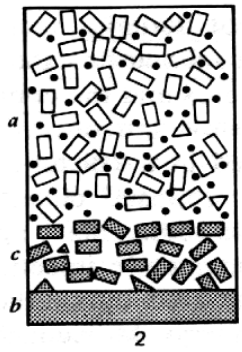
مما سبق يمكننا القول أن الخامات المعدنية تتكون نتيجة عدة عمليات تحدث في الطبيعة إما على سطح الأرض أو ضمن صخور القشرة الأرضية على أعماق متفاوتة اعتمادا على درجة الحرارة و الضغط و التفاعلات الناتجة مع المياه التحت سطحية أو السطحية. وتقسم نشأة الخامات المعدنية إلى ما يلي:-

1. نشأة الخامات المعدنية عن طريق تبلور المصهور الصخري Magmatic crystallization .

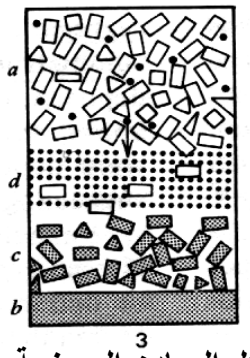
تبلور المصهور الصخري ينشأ منه خامات معدنية صهارية تعرف بالصخور النارية العادية وصخور البجماتايت، بالإضافة إلى تشكل عروق اقتصادية حول الماجما بسبب اندفاع المحاليل الساخنة إلى الخارج عبر الصخور وثم تصلبها مشكلة كميات اقتصادية من أكاسيد الحديد والرصاص ومعادن ثمينة مثل الذهب والفضة.



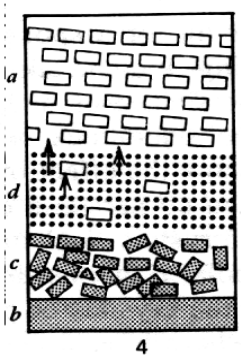
بدأ التبلور



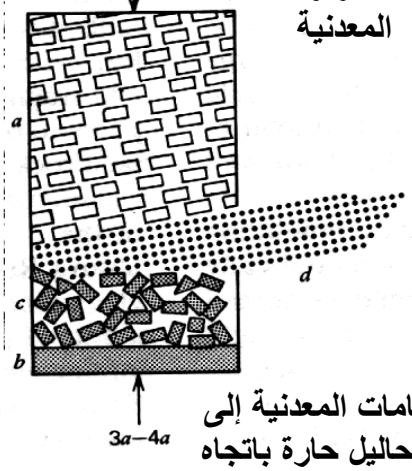
تشكل المعادن الحمضية والمعادن القاعدية وانفصالها في نطاقات



تشكل المعادن الحمضية والمعادن القاعدية وانفصالها في نطاقات، وتشكل نطاق من العناصر والاكاسيد المعدنية



تطور نطاقات المعادن الحمضية والمعادن القاعدية ونطاق العناصر والاكاسيد المعدنية وتعرضها للضغط



اندفاع الخامات المعدنية إلى الخارج كمحاليل حارة باتجاه صخور القشرة الأرضية مكونة عروق الخامات المعدنية

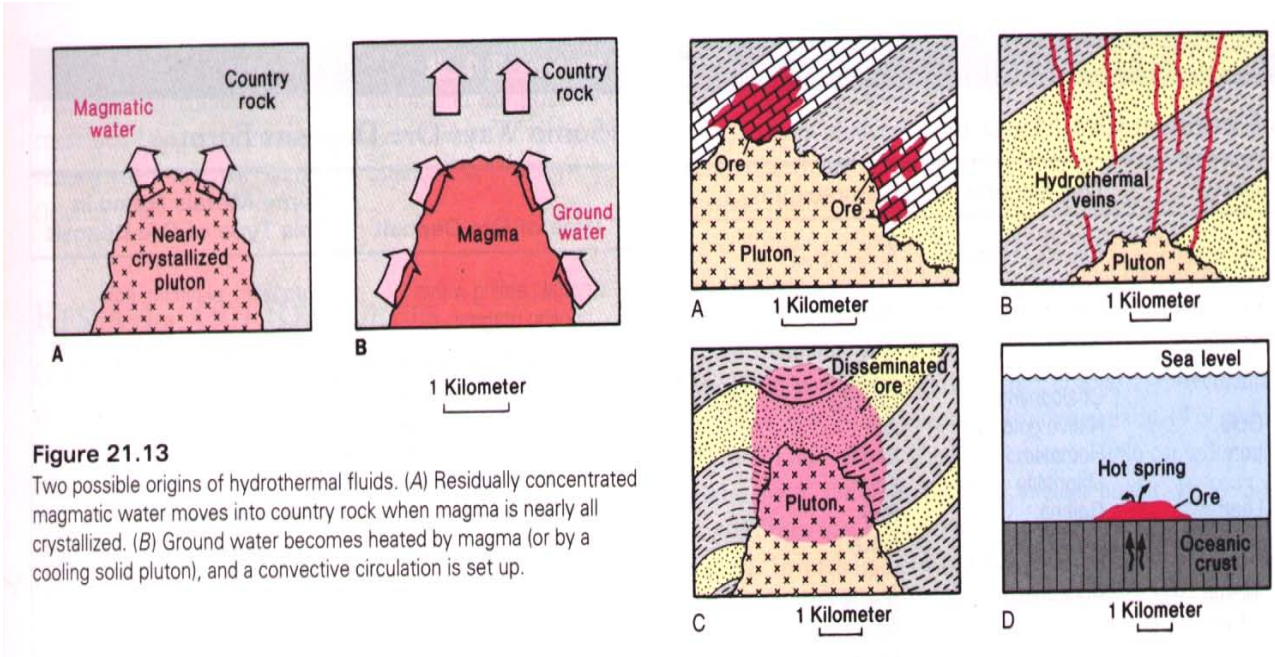


Figure 21.13
Two possible origins of hydrothermal fluids. (*A*) Residually concentrated magmatic water moves into country rock when magma is nearly all crystallized. (*B*) Ground water becomes heated by magma (or by a cooling solid pluton), and a convective circulation is set up.

شكل يوضح كيفية تكون الخامات المعدنية عن طريق تبلور الماجما والتفاعلات بين المياه الجوفية الساخنة والماجما وتكون الخامات المعدنية بواسطة المحاليل الساخنة المصاحبة للماجما.

التركيز بالمحاليل الساخنة يؤدي إلى تكون العروق المعدنية، وتكون هذه المحاليل الساخنة المتخلفة عن تصلب الماجما عادة حامضية وغنية بالماء والسيليكا وغازات مثل أكسيد الكربون والنيتروجين، ومركبات أخرى للكبريت والكلور والزرنيخ والقصدير والسيلينيوم وعناصر معدنية أخرى مثل النحاس والفضة والذهب والرصاص وغيرها. حيث تتخلل المحاليل الصخور المحيطة بالتداخل الناري عبر الشقوق والفواصل والفجوات وعند انخفاض الضغط الواقع عليها وتقل درجة حرارتها تبدأ بترسب حمولتها من مكونات معدنية مكونة العروق الغنية بالخامات المعدنية.

2. تنشأ الخامات المعدنية عن طريق الكائنات الحية:-

خاصة معادن الكبريتيدات عن طريق الترسيب بواسطة البكتيريا، حيث تكون ضمن الاحواض الترسيبية المائية المعزولة وغالبا ما تكون هذه الأحواض مشبعة بكبريتيد الهيدروجين الذي يساهم في عملية تكون الكبريتيدات.

3. تنشأ الخامات المعدنية عن طريق عمليات التعرية والتجوية (عمليات رسوبية) التي تتضمن:-

أ. التحلل الميكانيكي (التفتيت): تجوية فيزيائي، فهي تؤدي إلى تكون الرواسب والصخور الرسوبية الميكانيكية.

ب. الأكسدة: تجوية كيميائية، التفاعل بين الأكسجين المذاب بالماء أو بخار الجو والمعادن يؤدي إلى أكسدتها خاصة المعادن المافية وكبريتيدات الحديد.

ج. تفاعل المحاليل والغازات مع بعضها البعض: تجوية كيميائية.

د. التبخير: عملية الترسيب الكيميائي، التركيز بواسطة التبخر يؤدي إلى تكون صخور المتبخرات مثل طبقات الملح والجبس.

ه. التميؤ (الاتحاد مع الماء): تجوية كيميائية، حيث يتم اتحاد عنصر الأكسجين والهيدروكسيل مع المعادن دون أن تتعرض تلك المعادن إلى التفتت، مثل اتحاد الأنهيدرايت مع الماء لتكوين الجبس.

4. تنشأ الخامات المعدنية عن طريق عمليات التحول، ويشمل:-

أ. التحول الحراري.
ب. التحول الديناميكي.
ج. التحول الإقليمي.

تصنيف الخامات المعدنية اعتمادا على أهميتها الاقتصادية

أولا: الخامات المعدنية الفلزية Metallic Mineral Deposits :-

1. الخامات الفلزية الثمينة Precious Metals .

الذهب، الفضة، البلاتين: وهي المعادن التي توجد في صورة نادرة وتستخدم بصورة أساسية كمقياس لتحديد قوة الأنظمة النقدية العالمية خاصة الذهب حيث تحرص معظم دول العالم على الاحتفاظ باحتياطي من الذهب على شكل سبائك أو نقود.

الذهب:-

يستخدم الذهب عملة، وفي الزينو وصناعة الحلي، ويسبك مع الفضة أو البلاتين أو النيكل ليعطي ذهبا أبيض. ويسبك مع الكادميوم ليعطي ذهبا أخضر، ومع النحاس ليعطي ذهبا أحمر، ومع الألمونيوم ليعطي ذهبا ورديا. كما يستخدم في حشو الأسنان والكتابة على الأغلفة أو الأطباق الصينية وغيرها من الاستخدامات. ويعتبر الذهب الحر أهم خامات الذهب لكن في كثير من الأحيان يوجد مختلط مع الفضة، بالإضافة إلى وجود خامات معدنية نادرة للذهب وهي التيلوريد والكالافريت.

الفضة:-

الفضة تعتبر أيضا من الخامات الفلزية الثمينة وهو يستخدم خاصة في صناعة الحلية وصك النقود، بالإضافة إلى الصناعات الكهربائية والكيميائية والطبية والفوتوغرافية والهندسية، وإنتاج سبائك اللحم. أهم خامات الفضة هو أرجنتيت بالإضافة إلى وجوده على هيئة فضة حرة في الطبيعة.

البلاتين:-

هو ثالث الخامات الفلزية الثمينة ويتميز بارتفاع سعره الذي يفوق الذهب. وهو يستخدم في صناعة الحلي، وهو عامل مساعد في التفاعلات الكيميائية (تستخدم بودرة البلاتين للتفاعل بين غاز ثاني أكسيد الكبريت وبين الأكسجين ليعطي ثالث أكسيد الكبريت)، صناعة أواني المختبرات المقاومة للحرارة، صناعة المتفجرات، حشو الأسنان، نقاط التماس في أجهزة الإشعال (بلاكات). ويوجد في الطبيعة على هيئة عنصرية حرة.

يمكن الحصول على المعادن الثمينة (الذهب، الفضة، البلاتين) بالحالة العنصرية كرواسب حصوية أو دقيقة ضمن الرواسب النهرية أو الدلتا وأيضا ما يعرف برواسب البلاسر (Placer Sediments)، وضمن عروق الذهب والفضة حول التداخلات النارية الكبيرة.

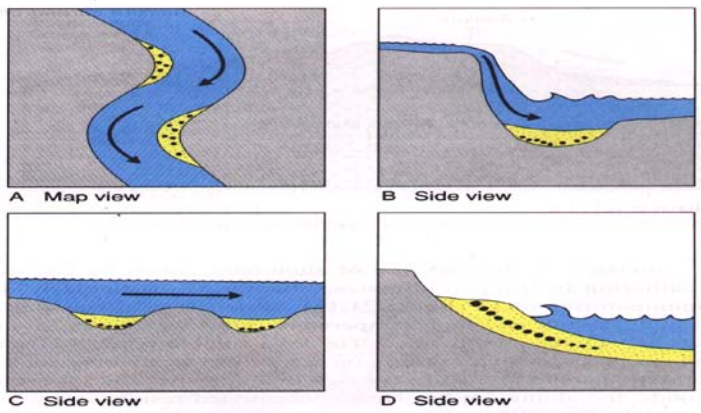


Figure 21.16
Types of placer deposits. (*A*) Stream bar. (*B*) Below waterfall. (*C*) Depressions on stream bed. (*D*) Beach. Valuable grains shown in black.

شكل يوضح الرواسب الحصوية والدقيقة المختلفة:-

(A) الرواسب النهرية ضمن الأنهار الناضجة والهرمة.
(B) الرواسب المتجمعة أسفل الشلالات النهرية ضمن المراحل الشابة.
(C) الرواسب المتجمعة ضمن المنخفضات على قاع النهر.
(D) الرواسب الشاطئية ضمن الدالات الترسيبية وغيرها.

2. خامات معدنية فلزية لصناعة السبائك.

وهي المعادن التي بإمكانها أن تستخدم في صناعة السبائك المختلفة التي تقوم عليها الصناعات العالمية، وتصنف إلى :-

أ. خامات السبائك اللاحديدية Nonferrous Alloys :

وهي السبائك التي لا يدخل الحديد في تصنيعها، وتشمل العناصر المعدنية التالية:

	العنصر المعدني	أهم الخامات المعدنية	الاستخدام الاقتصادي
1	النحاس (Cu) Copper	النحاس الحر Native Silver كالكوسيت Chalcocite كُوَبْرَيت Cuprite مالاكيت Malachite	صناعة البطاريات والذخيرة، الصناعات الكهربائية خاصة صناعة المولدات الكهربائية والأسلاك المختلفة، صناعة السبائك مثل سبائك البرونز والنحاس الأصفر والدورالومين وهي سبائك تستخدم في الصناعات المدنية والحربية.
2	الرصاص (Pb) Lead	جالينا Galina سيروسيت Cerussite	صناعة البطاريات والذخيرة، لصناعة الدروع الواقية من الأشعة السينية والذرية وصناعة المفاعلات النووية
3	الزنك (Zn) Zinc	سفلاريت Sphalarite زينكيت Zincite	صناعة البطاريات والذخيرة
4	القصدير (Sn) Tin	الكاسيترايت Cassiterite	صناعة البرونز، يستخدم في صناعة المعلبات المعدنية لحفظ المواد الغذائية، صناعة لحام المعادن، صناعة الأوراق المفضضة، والرقائق المعدنية الخاصة بالتغليف، صناعة سبائك البرونز بعد إضافة النحاس له، صناعة الكيماويات والسيراميك، صناعة الأنابيب القابلة للعصر المستخدمة لمعجون الأسنان ومعاجين الحلاقة.
5	الألمنيوم (Al) Aluminum	البوكسايت Bauxite	صناعة الطائرات، الشبابيك والأبواب.
6	الزئبق (Hg) Mercury	السينبارCinnabar	صناعة الأجهزة الكهربائية والزراعية والأغراض الطبية مثل صناعة الترمومتر الزئبقي، وإنتاج المرايا، وعمليات التحليل الكهربائي الخاص بإنتاج الصودا الكاوية والكلور، وفي الصناعات الكيميائية والطلاء والمتفجرات والبطاريات الجافة، وفي استخلاص الذهب من خاماته لأنه يستطيع أن يتحد مع الذهب.

ب. خامات السبائك الحديدية Ferroalloy.

يوجد نوعان من السبائك الحديدية:-

النوع الأول: يتكون من الحديد فقط ويكون إما بإضافة الكربون أو غاز ثاني أكسيد الكربون له بحيث لا تتعدى 1% لتحويله إلى سبائك الستيل (Steel) الذي تستخدم في كثير من الصناعات المتقدمة وصناعة الأواني المعروفة بالسينلس ستيل أي الحديد الذي لا يصدأ، أو تنقيته من الشوائب الموجودة معه بحيث تتكون سبائك الحديد المطاوع (Wrought Iron) وهي سبائك شديدة الصلادة وتتميز بالمرونة الكبيرة كما تتميز بسهولة عملية الطرق والسحب والتشكيل، لذلك تستخدم في صناعة الأسلاك والسلاسل وأدوات الحدادة.

النوع الثاني: يعرف بخامات السبائك الحديدية وهي الفلزات التي تستخدم في عملية تحويل الحديد إلى صلب وتشتمل على المنجنيز، الكروم، النيكل، الموليبدينوم، التنجستن، الفانديوم، الكوبالت.
ويستخلص الحديد من الخامات المعدنية التالية: البايرايت، الماجنيتيت، الهيماتيت، الليمونايت، السيداريت.

جدول يوضح الخامات المعدنية للعناصر المعدنية المستخدمة في صناعة السبائك الحديدية:-

	العنصر المعدني	أهم الخامات المعدنية	الاستخدام الاقتصادي
1	المنجنيز Manganese (Mn)	البيرولوسليت Pyrolusite هوسمانيت Hausmannite رودونايت Rhodonite مانجانيت Manganite رودوكروزيت Rhodochrosite رومانشيت Romanechite بيمنتيت Bementite	سبائك الحديد الصلب. الصناعات الكيميائية مثل صناعة البطاريات الجافة والأصباغ والزجاج
2	الكروم Chromium (Cr)	كرومايت Chromite	يستخدم في صناعة السبائك الحديدية ليضفي عليها الشدة ومقاومة التفاعلات الكيميائية وخفض وزنها، لذلك تستخدم هذه السبائك في صناعة أجزاء السيارات وعربات السكك الحديدية والطائرات وصناعة الفضيات والأدوات المنزلية. ويستخدم الكروم أيضا في التصوير والصباغة والتلميع وتبييض الزيوت وأعواد الثقاب.
3	النيكل Nickel (Ni)	بنتلانديت Pintlandite نيكوليت Nickolite	السبائك الحديدية لصنع أجزاء الآلات المعرضة للأحمال الثقيلة والصدمات والحك والتآكل وتغير درجات الحرارة. كذلك يستخدم في صك النقود وطلاء المعادن، وصناعة أنابيب التكثيف وأجزاء الطائرات والسيارات ومولدات الكهرباء والأسلحة الحربية.
4	موليبدنوم Molybdenum (Mo)	موليبدنايت Molybdenite ولفنايت Wulfenite فيروموليبديت Ferromolybdite	السبائك الحديدية التي تتسم بالصلادة الشديدة لصناعة الطائرات والمركبات المختلفة، وأدوات وأجهزة الخراطة والقطع.
5	التنجستن Tungsten (W)	شيليت Scheelite ولفرمايت Wolframite	يسبك مع الكروم لصناعة الصمامات وقواعدها والأزاميل والأختام والألواح المصفحة والمدافع الثقيلة وأسلاك الكهرباء وأنابيب أشعة إكس. وصناعة كربيد التنجستن الذي يعتبر المادة الصناعية التي تلي الألماس في الصلادة.
6	الفانديوم Vanadium (V)	كارنوتايت Carnotite باترونايت Patronite	سبائك الحديد الصلب التي تتميز بالصلادة العالية والسهولة في التشكيل التي تستخدم في صناعة الإبر والدبابيس ومحور العجلات

		فانادينيت Vanadinite	ومكابس المضخات والعمود المرفقي في المحركات. كما يستخدم الفاناديوم في صناعة الأجهزة الكهربائية، السيراميك، المواد الكيميائية، الأصباغ، والطباعة.
7	الكوبالت Cobalt (Co)	كوبلتايت Cobaltite بنتلانديت Pintlandite	في تحضير الكربيدات وأنواع الفولاذ اللازمة لصناعة المغناطيسيات الدائمة، والسبائك الحديدية التي تتميز بقدرة عالية على مقاومة درجات الحرارة المرتفعة والتآكل لذلك تستخدم في صناعة المحركات النفاثة والآلات القاطعة.

3. خامات الفلزات النادرة Minor Metals .

هي الخامات الموجودة بنسب قليلة في الطبيعة وعادة تكون مختلطة مع خامات اقتصادية أخرى، وهي مهمة جدا لبعض الصناعات.

جدول يوضح أنواع الفلزات النادرة وخاماتها المعدنية وطرق استخدامها:-

	العنصر المعدني	أهم الخامات المعدنية	الاستخدام الاقتصادي
1	الانتيموني Antimony (Sb)	الانتيمونيت Antimonite أنتيموني حر Native antimony	صناعة سبائك الرصاص الصلب المستخدمة في صناعة البطاريات والألواح والأنابيب، تلبيس الأسلاك الكهربائية، الأنابيب القابلة للانضغاط (أنابيب معاجين الحلاقة والأسنان)، رقائق معدنية، القذائف وطلقات المسدسات، اللحم، حواجز مانعة الاحتكاك، الموصلات الكهربائية. عنصر الانتيموني الحر يستخدم في طلاء وصناعة الحلي وأدوات الزينة، ومركباته تستخدم في الأصباغ، أعواد الثقاب (safety matches)، الزجاج، الأدوية، تقسية المطاط، ويستخدم في الأدوات الحربية مثل شظايا القذائف، والطلقات، سدادات التفجير، وعبوات التفجير.
2	الزرنيخ Arsenic (As)	آرزينوبايرايت Arsenopyrite سمالتيت Smaltite تينانتيت Tennantite نيكوليت Niccolite	في صناعة المبيدات الحشرية والسموم، عملية صنع الزجاج، حفظ الخشب والجلد، الأصباغ، مواد الطلاء، الأدوية، الألعاب النارية، المواد الكيميائية. صناعة سبائك الرصاص التي تستخدم في صناعة القذائف.
3	بريليوم Beryllium (Be)	بيرتراندايت Bertrandite فيناكيت Phenakite	سبائك البريليوم والنحاس المستخدمة في صناعة الزنبرك، الصمامات، الطائرات، كاربرايتر في السيارات. كما يستخدم في صناعة أنابيب أشعة إكس، مصابيح التفلور، اللوحات الإرشادية (Neon signs). سبائك من البريليوم والنيكل والكوبالت والألمونيوم لصناعة الطائرات الفضائية والمفاعلات النووية.
4	بيسموث Bismuth (Bi)	بيسموث حر Native Bismuth، بيسموثينيت Bismuthinite	الطب(أملاحه تستخدم لعلاج الجروح واضطرابات الجهاز الهضمي، والمواد المستخدمة في الأشعة الداخلية) ومستحضرات التجميل، تلميع البورسلان، طلاء المعادن، طباعة الأقمشة، الزجاج الطبي.
5	كادميوم Cadmium (	جرين أوكايت Green-ockite أوتافيت Otavite	يسبك مع الفضة والنحاس والنيكل لصنع الأجهزة المقاومة للاحتكاك خاصة في السيارات. يضاف للنحاس لتقسيته، ويضاف للفضة لجعلها مقاوم للتبقيع ولصناعة أدوات الأكل، ويسبك مع الذهب لصناعة الذهب الأخضر.طلاء الحديد المستخدم في الأبواب والشبابيك والمسامير لجعلها مقاومة للصدأ. أيضا في صناعة أدوات التصوير، شاشات التلفزيون، الأصباغ، المطاط، الصابون، الألعاب النارية، طباعة الأقمشة.

6	ليثيوم Lithium (Li)	سبوديومين Spodumene مياه جوفية وبحيرات عالية الملوحة	بطاريات الليثيوم، السيراميك، الزجاج،
7	مغنيسيوم Magnesium (Mg)	المياه الجوفية المالحة و الشديدة الملوحة، مياه البحار، مغنيزايت Magnesite، الدولومايت، بروسايت Brucite.	أخف الفلزات ويتميز بالقوة أيضا، لذلك يسبك مع الألمونيوم وقليل من الزنك والمنجنيز وتستخدم هذه السبائك في صناعة السيارات والطائرات والآلات التي تحتاج الخفة والقوة في آن واحد، مثل الميكروسكوب، العدسات المكبرة، الكاميرات، أجهزة المسح، الأطراف الصناعية، المكوكات الفضائية، الآلات الموسيقية. كما يستخدم في صناعة المصابيح الضوئية، الألعاب النارية، الإشارات الضوئية.
8	تيتانيوم Titanium (Ti)	المنايت Ilmenite روتايل Rutile	صناعة الأصباغ الناصعة البياض، وأدوات الحمامات، السلك الصناعي، الحبر الأبيض، الزجاج الملون، تلميع الفخار، الأسنان الصناعية، صبغ الجلد والأقمشة. يسبك مع كثير من المعادن خاصة الحديد لجعل الستانليس الستيل مقاوم للتآكل مع مياه البحر. يستخدم لإزالة الألوان عن الأقمشة، وصناعة قنابل الدخان
9	الزيركونيوم Zirconium (Zr)	زيركون Zircon زيركونيا Zirconia	صناعة الطابوق والإسمنت المقاوم للحرارة، طلاء أو تلبيس المعادن، عوازل حرارية، الصنفرة، مصابيح خاصة ومصابيح اليد، تقسية المطاط، الحبر الأبيض، المكثفات الكهربائية، مرشحات أشعة إكس

4. الخامات الفلزية المشعة Radioactive Metals.

تضم الفلازات المشعة العناصر الفلزية الموجودة في القشرة الأرضية التي تتميز بنشاط إشعاعي، أي بإمكانية تكوين طاقة هائلة من تفجير وتفتيت ذاتها. وتشمل اليورانيوم، والكوبالت، والثوريوم، والراديوم والبلوتونيوم. وتستخدم الفلزات المشعة في السلم وذلك لإنتاج الكهرباء والحرارة (أي موارد للطاقة) وأيضا في الطب وتحلية المياه البحرية وتسيير البواخر والغواصات وقياس أعمار الصخور، كما تستخدم في الأغراض الحربية لإنتاج القنابل النووية، ورؤوس الصواريخ والقذائف التي تخترق المدرعات وأيضا صناعة الآليات المدرعة. يستخلص اليورانيوم من الخامات التالية: البتشبلند Pitchblende، اليورانينيت Uraninite، الكارنوتايت Carnotite، الأوتونايت Autunite. ويستخلص الثوريوم من رمال المونازيت Monazite. ويستخلص الراديوم من معدن اليورانيوم.

ثانيا: الخامات اللافلزية Nonmetallic deposits

هذه الخامات موجودة بصورة أوسع وكميات أكبر من المعادن أو الخامات الفلزية الأخرى، وتستخدم في صناعات كثيرة، ويعتمد سعر هذه الخامات على تكلفة النقل و الغرض الذي من أجله استخلصت هذه الخامات. معظم هذه الخامات تستخدم عادة على هيئتها الطبيعية الأصلية، لكن القليل منها الذي يجزأ ويستخلص منه معادن أو مشتقات أخرى. تقسم أنواعها إلى ما يلي:-

	أقسام الخامات اللافلزية وطريقة الاستخدام	الخامات المستخدمة
1	خامات الوقود Mineral Fuels	جميع الوقود الحجري: الغاز الطبيعي، النفط، الفحم (البيت، ليجنايت، الفحم البتيوميني، الانثراسيت)
2	خامات الخزف Ceramic Materials	الطين، الفلدسبارات (اورثوكليز، بلاجيوكليز) ، البوكسيت، الفلورايت، التلك، زيركونيا
3	خامات البناء Structural and Building Materials	الصخور بأنواعها، الحصى، الرمل، الطين، الجبس، الأنهايدرايت، الكالسيت، الكوارتز، ماجنيزيت
4	خامات مقاومة للحرارة	الأسبستوس، الجفاء، الزيركون، الأمفيبولز
5	خامات التعدين والمقاومة Metallurgical and Refractory Materials	الفلورايت،كرايوليت، الجرافيت، الرمال الكوارتزية، الحجر الجيري، بوكسيت، بوراكس، دولوميت، الفوسفات
6	خامات كيميائية Chemical Minerals	الكبريت، البيرايت، الكالسيت، دواومايت، الهاليت، نترات، بورات، مياه شديدة الملوحة، برومين، أيودين
7	خامات الصناعة والتصنيع Industrial and Manufacturing materials	أسبستوس، مايكا، التلك، باريت، ويذاريت، الرمال الكوارتزية، الكوارتز، دياتومات، بينتونايت، كالسيت شفاف، فلورايت، تورمالين، ماجنيزيت
7	خامات المخصبات (التسميد) Fertilizer Minerals	النترات، البوتاسيوم، البوتاش، الفوسفات (أباتيت والجوانو)
8	خامات الصنفرة Abrasives and Abrasive Minerals	كوراندوم، الماس، العقيق، الحجر الرملي، الكوارتز، الصوان، كوارتز-مايكا شيست، الرمل الكوارتزي، الخفاف، دياتومات، الحجر الجيري، الطين، التلك، الفلدسبار المطحون، دولومايت
9	الأحجار الكريمة Gemstones, Ornamental	الألماس، الياقوت، الزمرد، الزبرجد، الفيروز، العقيق، التوباز،اللازورد،اللؤلؤ