صناعة الكبريت

د. إبراهيم محمود النجار

لم تظهر أهمية الكبريت إلا في منتصف القرن الثاني عشر ، عندما حل حامض الكبريتيك محل المستحضرات البدائية المستخدمة آنذاك في صناعة الدباغة والأصباغ والزجاج والأقمشة والصابون ، وتأكدت مكانة الكبريت كسلعة لا بديل لها في الأسواق مع ظهور الصناعات الكيميائية الحديثة ، فاستخدم في إبادة الآفات الزراعية وكعامل مساعد في تصنيع مطاط دائم المرونة ومقاوم للحرارة وتقلبات الطقس ، ومع استخدام الكيروسين في الإضاءة استخدم حامض الكبريتيك في تحلية النفط حيث يتم التخلص من بعض المركبات الكبريتية في النفط ، ويمثل الكبريت أحد أهم العناصر الداخلة في صناعة الأسمدة الكيميائية لتصبح أكبر مستهلك للكبريت حتى وقتنا الحاضر .

وهكذا فإن تاريخ الكبريت كسلعة صناعية وسيطة يرتبط إلى حد بعيد بالتاريخ الصناعي الحديث ، فالكبريت لم يواكب الثورة الصناعية والمراحل المباشرة التي أعقبتها فحسب ، بل تعمق دوره في كثير من جوانب الواقع الصناعي المعاصر ، فعلى المستوى العالمي إن حوالي ٥٠٪ من مجمل استهلاك الكبريت يذهب في صناعة الأسمدة الكيميائية ، و٣٦٪ يستهلك في مختلف الأغراض الصناعية الأخرى « الباقي يستخدم مباشرة في الزراعة أو الصناعة » . أما على مستوى الوطن العربي فإن هناك حوالي ٩٠٪ يستخدم في صناعة الأسمدة بينما يستخدم الباقي في الصناعات الأخرى .

المصادر الطبيعية للكبريت

يوجد الكبريت في الطبيعة على هيئة عنصر وعلى هيئة مركبات مختلفة ، وقد وجدت الرواسب الكبريتية بالقرب من البراكين بشكل عام ، أما الكبريت المتحد كيميائياً فيوجد على شكل كبريتيدات وكبريتات ، كما يوجد الكبريت في الينابيع الكبريتية على هيئة كبريتيد الهيدروجين (H_2S) ، وفي كثير من الغازات الصناعية مثل غاز أفران الكوك والغاز المولد ، وعلى هيئة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الغازات البركانية والغازات العادمة ، ومن أهم المصادر الطبيعية للكبريت من الناحية الإقتصادية أغلفة صخور القبب الملحية (Cap Rocks of Salt Domes) ورواسب الأحواض المتبخرة (Evaporite Basins deposits) والترسبات البركانية (Volcanic Deposits) .

يوجد الكبريت الحر في الطبيعة على أشكال بلورية متعددة أو على شكل كتل غير منتظمة ، وهو ذو لون أصفر مميز ، وفي بعض الأحيان يكون مائلاً للخضرة لإحتوائه على شوائب ، وهناك نظريات عديدة حول منشأ وتكوّن الكبريت الحر في الطبيعة تتفق معظمها على أنه ينشأ من مصدرين أساسيين أحدهما بركاني والآخر رسوبي .

● الكبريت البركاني

يُكَوِّن الكبريت البركاني (Volcanic Sulphur) تجمعات حول البراكين والجبال البركانية ، وحول ينابيع المياه الحارة وبالقرب منها ، وهو يتكون إما من خلال تكثفه وترسبه من الغازات الكثيفة التي تطلقها البراكين في الجو والتي تحتوي على نسب عالية من بخار الكبريت ، وإما نتيجة لتأكسد غاز كبريتيد الهيدروجين مباشرة بأكسجين الجو ، وإما بتفاعله مع غاز ثاني أكسيد الكبريت حيث يترسب على شكل كبريت حر ، وتوجد تجمعات الكبريت البركاني في أمريكا الجنوبية والمكسيك ونيوزيلاندة واليابان .

● الكبريت الرسوبي

يوجد الكبريت الرسوبي (Sedimentary Sulphur) في مناطق متعددة من العالم أهمها الولايات المتحدة الأمريكية ، والاتحاد السوفيتي سابقاً ،وبولندا ، وجزيرة صقلية، ويوجد أيضاً بكميات كبيرة في العراق ، وتعد كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس) أصل الكبريت الرسوبي ، وهناك نظريات عديدة حول تحولها إلى الكبريت الحر ، حيث يعتقد أنها تختزل بواسطة بكتيريا لاهوائية في وجود الهيدروكربونات التي تكون مرافقة لها ، ويتحرر غاز كبريتيد الهيدروجين من كبريتات الكالسيوم ذاتها معطياً الكبريت الحر ، وتعد عملية إختزال الجبس بأنها عملية بطيئة تتم بواسطة بكتيريا لا هوائية موجودة في باطن الأرض تعمل على إستخدام الجبس كمصدر للطاقة وفقاً للتالي : -

$$2H^+ + SO_4^{2-} + C\ (\text{Organic}) \longrightarrow H_2S + CO_2 + O_2$$

● المصادر الأخرى للكبريت

بالإضافة إلى تواجد الكبريت بشكل حر في الطبيعة ، فإنه يوجد متحداً مع عدد من الفلزات مكوناً مركبات الكبريتيدات والكبريتات التي تعد مصادر أخرى للكبريت ، ومن أهم خامات الكبريت : البايرايت (Pyrite FeS_2) والبايروتايت (Pyrrhotite FeS_2) والماركزايت (Marcasite FeS_2) والجبس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) والأنهايدرايت ($CaSO_4$) الذي يعد واسع الإنتشار في الطبيعة حيث يشكل أكبر إحتياطي للكبريت في العالم .

توجد خامات البايرايت والكبريتيدات الأخرى بكثرة وبشكل خاص في أسبانيا والبرتغال وقبرص وجمهوريات الاتحاد السوفيتي ، وبشكل أقل في كندا وألمانيا وإيطاليا وفرنسا . من جانب آخر يعد الغاز الطبيعي (Natural Gas) المرافق للنفط وغازات المصافي أحد المصادر الهامة للكبريت في الآونة الأخيرة نسبة لإحتوائه على نسب مختلفة من كبريتيد الهيدروجين، حيث يمكن فصله أو عزله عن المكونات الأخرى للغاز الطبيعي ، ومن ثم أكسدته لإنتاج الكبريت .

أشكال الكبريت

تلعب الإعتبارات الإقتصادية دوراً جوهرياً في إستغلال وتطوير التجمعات الكبريتية ، بحيث تدفع كلفة الإنتاج من أي مصدر وتحت أي شكل إلى إستثماره أو غض النظر عنه ، ومع أن لكل شكل من أشكال الكبريت في الطبيعة إقتصادياته المميزة إلا أن الكلفة الإنتاجية الأقل لشكل ما من هذه الأشكال تؤثر عموماً على إقتصاديات الكبريت ككل ، ومن الأشكال المتعددة لإنتاج الكبريت ما يلي :-

● الكبريت الطبيعي

يعد الكبريت الطبيعي (العنصري) الأقل تكلفة من ناحية الإنتاج على الرغم من أنه أقل وفرة في الطبيعة مقارنة بالأشكال الأخرى ، كما يعد الكبريت المتحد مع الغاز الطبيعي على شكل كبريتيد الهيدروجين والكبريت المسترجع من النفط أثناء عملية تصفيته - على شكل كبريت حر أو عنصري (Brimstone) - نوعاً آخر من أنواع الكبريت الطبيعي الذي أخذ يحتل مكاناً مميزاً في إقتصاديات الكبريت .

● كبريتيدات الفلزات

تعد كبريتيدات الفلزات - تسمى إصطلاحاً بالبايرايتات (Pyrites) - مصدراً مهماً للكبريت إذ رغم أنه يستفاد منها - إقتصادياً - أكثر لإستخراج ماتحتويه من معادن إلا أن عمليات تحميصها ينتج عنها غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يستغل في إنتاج حامض الكبريتيك (H_2SO_4) المركز ، وتعد طرق إنتاج هذا النوع من الكبريت الأكثر كلفة بسبب إستهلاكها لكميات كبيرة من الوقود ، وعليه فإن تكلفة الطاقة تحدد أهمية هذا النوع كمصدر عالمي ثاني للكبريت .

● كبريتات الكالسيوم المائية واللامائية

تعد كبريتات الكالسيوم المائية - الجبس (Gypsum) - واللامائية - الأنهيدرايت (Anhydrite) - من المصادر الهامة لخام الكبريت بسبب الحجم الكبير للصخور المحتوية على هذا النوع من الكبريت ، غير أن قضية إنتاج الكبريت من هذا النوع ترتبط بتكلفة الطاقة اللازمة لإستخلاصه ، وقد توصل مكتب المناجم الأمريكي إلى تطوير طريقتين تعتمدان على تحميص الجبس بالفحم والغاز الطبيعي ، ليتم إختزاله إلى كبريتيد الكالسيوم الذي يعالج في مرحلة أولى لإنتاج غاز كبريتيد الهيدروجين ، ومن ثم يتم إستخلاص الكبريت الحر من الغاز في مرحلة تالية .

إستخراج الكبريت

تختلف طرق استخراج الكبريت حسب نوع الخام المتواجد فيه ، وذلك كما يلي:-

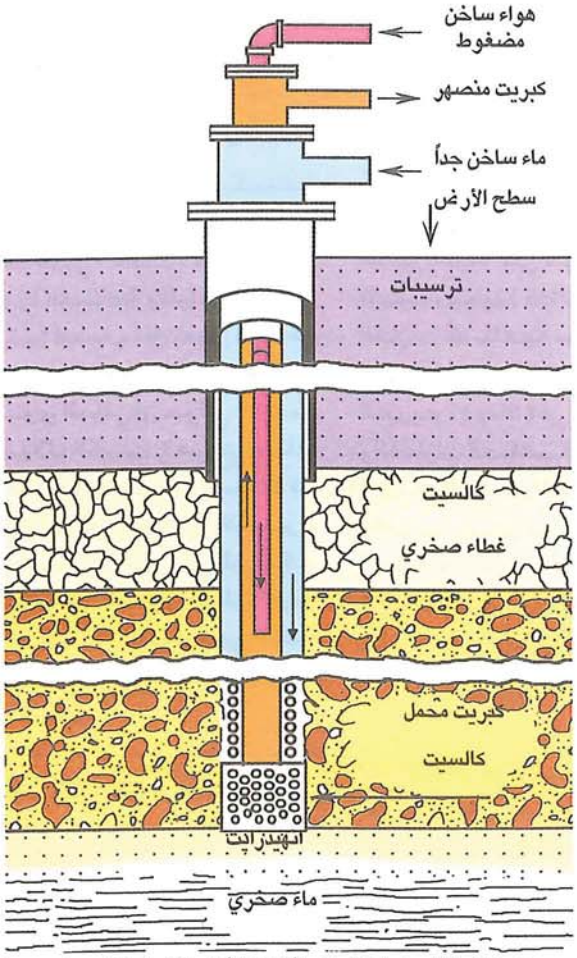
● كبريت الترسبات

يتم إستخراج الكبريت من رواسب الأحواض المتبخرة والترسبات البركانية بوساطة التعدين بعدة طرق من أهمها :

*** طريقة فراش (Frasch):**

وتستخدم لإستخراج الكبريت - الموجود تحت الأرض أو تحت الماء - كما هو الحال في أغلفة صخور القبب الملحية ، حيث تقوم آلات حفر البترول بعمل منافذ بإختراق الصخور الكبريتية إلى قاع الأرض ، وقد تصل مسافة الحفر من ١٥٠ إلى ٧٥٠ متراً، ويتم إنزال أنابيب معدنية داخل تلك المنافذ فيضخ فيها ماء حار عند درجة ١٦٠° م لتصل إلى الصخور الكبريتية فينصهر الكبريت بسبب إنخفاض درجة إنصهاره - ١١٥° م - مقارنة بدرجة حرارة الماء ، وبما أن كثافة الكبريت المنصهر أكبر من كثافة الماء فإنه يغوص إلى أسفل مكوناً حوضاً لتجمعه ، ويتم إستخراج الكبريت المنصهر إلى سطح الأرض بضخ هواء تحت ضغط عال إلى أسفل البئر بوساطة أنبوب خاص، شكل (١) ، ويتم التحكم في حجم الماء الحار والهواء المضغوط ، بحيث يتم معدل خروجهما مساو لمعدل حقنهما ، وذلك تفادياً لتراكم الضغط على البئر ، ولمنع حقن ماء جديد فيها .

يتم نقل الكبريت السائل مع الكمية الفائضة من المياه عند السطح إلى محطة الفصل بأنبوب مسخن بالبخار ، وفي محطة الفصل يتم فصل الهواء وينقل الكبريت السائل إلى أحواض كبيرة ليتم تصلبه أو يبقى سائلاً في مراجل يتم تسخينها بإستمرار بالبخار حيث أن ٩٥٪ من الكبريت الناتج يتم شحنه على هيئة سائل في البواخر والعربات الخاصة بذلك .



● شكل (١) مخطط فراش (Frasch) لإستخراج الكبريت.

كبريت النفط والغاز الطبيعي

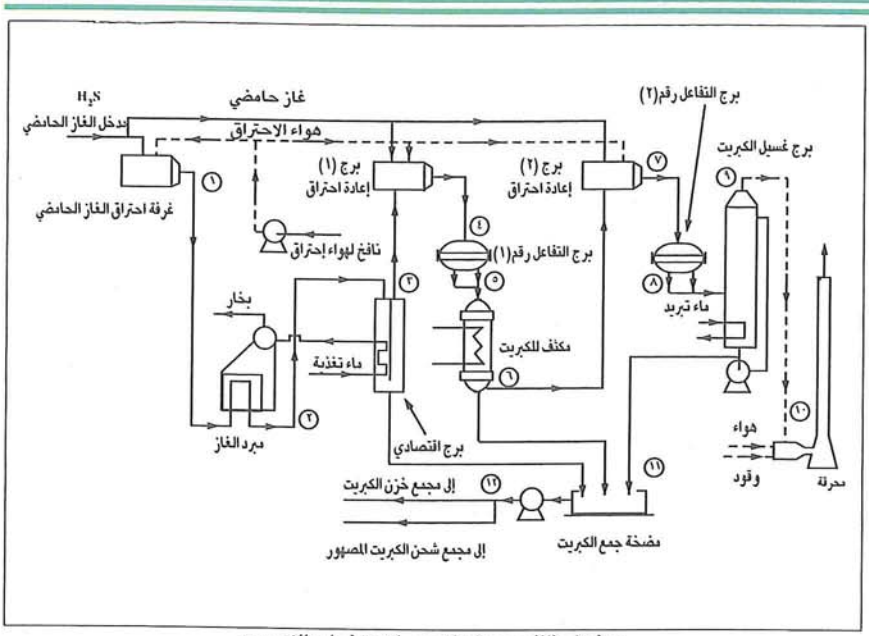
يحتوي خام النفط والغاز الطبيعي على نسب متفاوتة من المركبات الكبريتية ، وتتراوح هذه النسب في النفط ما بين ٠,٠٥٪ للنوع الخفيف إلى ٥٪ أو أكثر للنوع الثقيل ، بينما قد تصل إلى ١٧٪ في الغاز الطبيعي ، وينبغي التخلص من المركبات الكبريتية الموجودة في النفط بسبب تأثيرها الضار ـ شديدة الحموضة ـ أثناء عمليات الإستخراج والشحن والتكرير ، ويتم التخلص من هذه المواد بمعالجتها بالمواد القلوية مثل هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) ، وهيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) ، والأملاح ضعيفة القلوية مثل كربونات الصوديوم وغيرها ، وكذلك بوساطة عمليات التحلية بإضافة أملاح وأكاسيد المعادن الثقيلة لتحويل المشتقات الكبريتية الحامضية مثل المركبتان (RSH) إلى الكبريتيدات الثابتة كيميائياً وحرارياً ، كما يستخدم الكبريت العنصري والأكسجين كعوامل مؤكسدة للمركبتان في وجود بعض المحفزات أثناء عمليات التحلية ، وذلك على النحو التالي :ـ

$$2RSH + S \longrightarrow R\text{-}S\text{-}S\text{-}R + H_2S$$

$$4RSH + O_2 \longrightarrow 2R\text{-}S\text{-}S\text{-}R + 2H_2O$$

كذلك يمكن معالجة النفط بحامض الكبريتيك المركز للتخلص من بعض المركبات الكبريتية الموجودة فيه ، حيث يتم تأكسد ثاني كبريتيد الهيدروجين إلى الكبريت ، والمركبتان إلى داي سلفيد ، والثيوفين إلى الثيوفين المسلفن وغيرها ، بعد ذلك يتم التخلص من المشتقات الكبريتية الحامضية عن طريق معالجتها بالقلويات فضلاً عن عمليات نزع الكبريت بالهيدروجين .

من جانب آخر تعالج الخامات النفطية المحتوية على نسب عالية من ثاني كبريتيد الهيدروجين قبل عمليات التكرير بالتبخر الوميضي ، وذلك برفع درجة حرارة النفط الخام إلى ١٠٠ ـ ١٥٠° م عن طريق التبادل الحراري مع بعض منتجات التقطير تحت ضغط يتراوح مابين ٢ إلى ٣ ضغط جوي ، يتم بعدها تحرير الخام إلى برج فصل ليتصاعد ثاني كبريتيد الهيدروجين من باقي الغازات المكونة للغاز الطبيعي عن طريق إمتصاصه بوساطة محلول كربونات الصوديوم أو الإيثانول أمين ثم



● شكل (٢) وحدة كلاوس لإستخراج الكبريت.

يسترجع الغاز من المحلول بالتسخين ليرسل إلى وحدة المعالجة للحصول على الكبريت النقي بوساطة طريقة **كلاوس** .

*** طريقة كلاوس (Claus) :** وتتلخص خطواتها فيما يلي :ـ

ـ دخول ثلث الغاز الطبيعي المختلط بمركبات الكبريت إلى غرفة الإحتراق رقم (١) ، شكل (٢) ، وفي وجود شعلة دائمة داخل الفرن حيث يتم تأكسد ثاني كبريتيد الهيدروجين إلى ثاني أكسيد الكبريت ، وذلك حسب المعادلة التالية :

$$H_2S(g) + 3/2\ O_2\ (g) \longrightarrow SO2(g) + H2O(g) \qquad \Delta H=-518.8KJ$$

وبما أن التفاعل طارد للحرارة كما موضح فإنه ينتج عنه درجة حرارة عالية جداً (٩٢٧° م) .

ـ تبريد بخار الماء وغاز ثاني أكسيد الكبريت بإمرارهما داخل برج تبريد رقم (٢) ، ومن ثم الإستفادة من بخار الماء عند ضغط يبلغ ١١ ضغطاً جوياً في المرافق الأخرى داخل الوحدة .

ـ خلط غاز ثاني أكسيد الكبريت المبرد في الخطوة السابقة مع المتبقي ـ ثلثي الكمية ـ من الغاز الطبيعي ليتم تخفيض درجة حرارة الخليط لتصل إلى ٢٠٤° م ، ولكي يتم التفاعل بين ثاني أكسيد الكبريت ، وثاني كبريتيد الهيدروجين الموجود في الغاز الطبيعي فإنه يلزم إمرارهما إلى فرن (٣) ، شكل (٢) عند درجة حرارة ٢٨٧° م ثم إلى برجي التفاعل (٤) و (٥) اللذان يحتويان على عوامل مساعدة ـ محفزات ـ من الألومينا المنشطة ليتم تحويل الغازات إلى كبريت ، وذلك وفقاً للتفاعل التالي :

$$2H_2S(g) + SO_2(g) \longrightarrow 3S(L) + 2H_2O(g) \quad \Delta H=-142.8KJ$$

ـ كما هو موضح فإن هذا التفاعل طارد للحرارة ، وتبلغ درجة حرارة نتاجه ٣٤١° م لذا يتم تبريده عند دخوله مكثف الكبريت (٦) لينتج عن ذلك كبريت سائل وبخار ماء ذو ضغط منخفض يبلغ ٤ ضغط جوي ليبقى الكبريت في حالته السائلة ، وقد دلت النتائج على أن الكبريت المنتج حتى هذه المرحلة يعادل ٦٦٪ من أصل الغازات الحامضية الموجودة في الغاز الطبيعي .

ـ للحفاظ على البيئة من الغازات غير المتفاعلة ـ حوالي ٣٤٪ ـ يتم من جديد تمرير الغازات خلال برج الإحتراق (٢) بالرقم (٧) ، من شكل (٢) عند درجة حرارة مناسبة لتفاعل غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني كبريتيد الهيدروجين .

ـ يمرر الخليط إلى برج (٨) المحتوي على الألومينا المنشطة كعامل مساعد للتفاعل لينجم عن ذلك الحصول على الكبريت المنصهر .

ـ تبريد الكبريت وتجميع نواتج التفاعل الأول والثاني من برجي مادة الإحتراق (١) و(٢)

لتصل نسبة التحول إلى ٩٠٪

ـ التخلص من المخلفات الغازية الأخرى مثل غاز ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين، وما تبقى من غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني كبريتيد الهيدروجين بإمرارهما في برج يحتوي على مكثف ـ برج (٩) ـ يسمح بمرور الغازات فقط ويصطاد رذاذ الكبريت المعلق .

ـ تمرر الغازات المتبقية إلى المحرقة (١٠) ليتم التخلص من غازات الكبريت المتبقية عن طريق دفعها بهواء صادر من مروحة خاصة ، وفي وجود شعلة مستمرة ـ وعليه يتم تحويل غاز ثاني كبريتيد الهيدروجين إلى غاز ثاني أكسيد الكبريت الأقل ضرراً بالبيئة ، بعدها يتم خلط غاز ثاني أكسيدالكبريت بكمية كبيرة من الهواء، ومن ثم تبريده وطرده بمروحة قوية إلى طبقات الجو العليا .

ـ تحميص الكبريت المنصهر في حوض أرضي تحت سطح مستوى أرض المصنع ـ مضخة جمع الكبريت (١١) ـ الذي عند إمتلائه يتدفق الفائض منه إلى مجمع الشحن والخزن (١٢) .

مما يجدر ذكره أن جميع أماكن حفظ الكبريت المصهور يجب أن تبقى مغلفة بأنابيب يمر من خلالها بخار عند درجة حرارة ١٤٠ م وضغط ٤ جوي للحفاظ على الكبريت في حالته المنصهرة ، وذلك تلافياً لأي مشاكل قد تنجم من التجمد ، ولسهولة نقل الكبريت المصهور إلى المصنع لإستخدامه في صناعة حامض الكبريتيك أو إستخدامات أخرى .

إستخدامات الكبريت الصناعية

يمكن تفصيل الإستخدامات الصناعية للكبريت فيما يلي :ـ

● حامض الكبريتيك

تسيطر صناعة حامض الكبريتيك على استعمالات الكبريت ، حيث يقدر إستهلاك هذه الصناعة من ٨٥٪ ـ ٩٠٪ من الإنتاج العالمي للكبريت ، وترجع المكانة التي يحتلها هذا الحامض إلى كونه العامل الرئيس الوسيط (Major Intermediate) في تصنيع الكيميائيات الصناعية ، وذلك لأنه أهم الأحماض ذات الأصل المعدني ، ولرخص تكلفة إنتاجه ، ولقابليته للإسترجاع لإستخدامه من جديد (Recycable) ، ولقلة تطايره نظراً لدرجة غليانه العالية ، إضافة إلى بعض المزايا الطبيعية التي تجعله أكثر قابلية للنقل عن سواه من الأحماض .

ورغم أن معظم كميات حامض الكبريتيك في الدول الصناعية تستخدم في إنتاج حامض الفوسفوريك إلا أن قدراً كبيراً من هذا الحامض يستهلك في إستخراج النحاس واليورانيوم (٥٪) ، وصناعة الأصباغ (٤٪) وتصفية النفط (٢٣٪) وصناعة الحديد والصلب (١٪) ، وما تبقى يستهلك وبدرجات متفاوتة في تصنيع المنتجات الإصطناعية ، وصناعات البلاستيك ، والمنظفات الكيميائية ، وفي صناعات البطاريات ، والورق وفي كثير من التطبيقات الكيميائية ، الأخرى كتنقية المياه وصناعات التعدين ومعالجة آبار البترول والمذيبات والمجففات ومواد إطفاء الحريق .

ومما يجدر ذكره أن هناك مجالات عديدة لإستخدام حامض الكبريتيك بالمملكة مثل الصناعات التعدينية والكيميائية ووحدات التقطير والومضي لإعذاب المياه والأسمدة وغيرها ، شكل (٣) .

ويمكن تلخيص أهم الصناعات التي يدخل فيها حامض الكبريتيك كمادة أساسية كالتالي :ـ

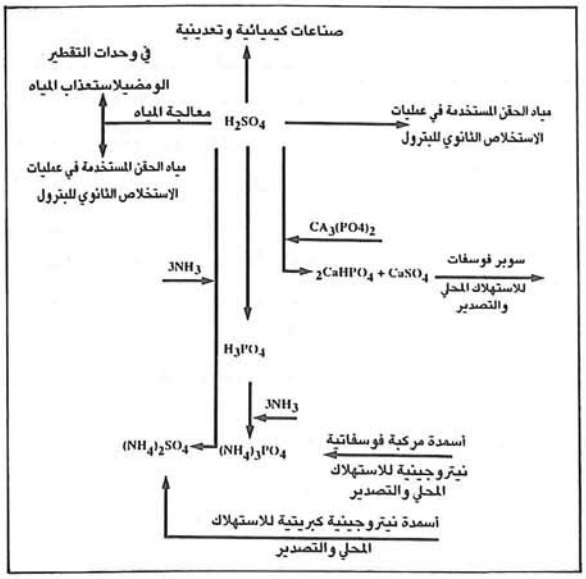
١ ـ الأسمدة الكيميائية .
٢ ـ تكرير النفط والمنتجات النفطية .
٣ ـ معالجة الترب القلوية .
٤ ـ أصباغ ودهانات .
٥ ـ صناعة الحديد والصلب .
٦ ـ الصناعات الدوائية .
٧ ـ البطاريات السائلة .
٨ ـ صناعة النسيج .
٩ ـ المواد الكيميائية والمواد الحفازة .
١٠ ـ المتفجرات الصناعية .
١١ ـ مواد التنظيف .
١٢ ـ معامل تقطير المياه ومالجة مياه المجاري .
١٣ ـ أخرى .

● الأسمدة الكيميائية

يقدر مكتب المناجم الأمريكي أن الكميات المستهلكة من الكبريت في مجال الزراعة تقدر بحوالي ٦١٪ من الكمية المنتجة ، وذلك سواء كان ذلك بشكل مباشر يتمثل في إضافة عنصر الكبريت للأراضي الزراعية أو دمجه مع الأسمدة الأخرى ، أو غير مباشر يتمثل في دخول الكبريت في صناعة الأسمدة الفسفورية والنيتروجينية والبوتاسية ، ويتمثل الدور غير المباشر للكبريت أو حامض الكبريتيك في صناعة تلك الأسمدة فيما يلي :ـ

* **الأسمدة الفوسفاتية :** وتشمل السوبرفوسفات الأحادي والثلاثي وحامض الفسفور ، حيث يمكن صناعة السوبر فوسفات الأحادية بمعالجة صخر الفوسفات بحامض الكبريتيك مباشرة لينتج عن ذلك سماد أحادي بنسبة ٦١-٢٠٪ (P_2O_5) . ويحتاج إنتاج طن واحد من السوبرفوسفات الأحادي إلى ٠,٤٦ طن من حامض الكبريتيك ، أما إنتاج سماد حامض الفسفور فيلزمه إضافة كميات زائدة من حامض الكبريتيك ـ ٢,٧ إلى ٣ طن من الحامض لإنتاج طن واحد من حامض الفسفور ـ حيث يمكن بعدها إنتاج سماد السوبرفوسفات الثلاثي ـ ٤٦ إلى ٤٨٪ (P_2O_5) ـ بمعالجة الصخور الفوسفاتية بحامض الفسفور المنتج من العملية السابقة .

* **الأسمدة النيتروجينية :** وتشكل كبريتات الأمونيوم [$(NH_4)_2SO_4$] السماد النيتروجيني الأساس الذي يمكن إنتاجه بطريقة غير مباشرة من الكبريت ،



● شكل (٣) أهم مجالات استهلاك حامض الكبريتيك بالمملكة.

حيث يلزم لإنتاج طن واحد من هذا السماد إستخدام حوالي ٠,٧٥ طن من حامض الكبريتيك .

* **الأسمدة البوتاسية :-** وتعد كبريتات البوتاسيوم ($K2SO_4$) من أهم الأسمدة التي تنتج من حامض الكبريتيك ، لأن مصادر هذا النوع من السماد لا تلبي الطلب المتزايد عليه ، لذلك تعالج كميات كبيرة من كلوريد البوتاسيوم بحامض الكبريتيك لتحويلها إلى السماد المذكور ، ويلزم لإنتاج طن واحد من هذا السماد إستخدام حوالى ٢٧, طن من حامض الكبريتيك .

* **اليوريا المغلفة بالكبريت (Sulphur Coated Urea - SCU)** يتميز سماد اليوريا { $(NH2)_2 CO$ } بتعرضه إلى عملية فقدان كبيرة منذ اللحظات الأولى لإضافته للتربة خاصة في الأراضي القلوية وعند درجات الحرارة العالية ، ولهذا يمكن تفادي ذلك بتغليف سماد اليوريا بعنصر الكبريت الذي يعمل على إبطاء عملية التحلل فضلاً عن أنه عنصر غذائي للنبات ، ويساعد على ذوبان عناصر غذائية أخرى - أهمها العناصر الدقيقة - في التربة .

● المبيدات الحشرية

يستخدم مسحوق الكبريت لمكافحة الآفات التي تصيب النباتات مثل عنكبوت الغبار في النخيل ، ومعالجة مرض التفحم في القمح إضافة إلى آفات أخرى عديدة .

● المركبات الكيميائية

يدخل الكبريت في تصنيع العديد من المركبات الكيميائية الهامة حيث لا يسع المجال لذكرها جميعاً ، ومن أمثلة ذلك ما يلي :-

* **أكاسيد الكبريت :** ومن أهمها ما يلي :-

- ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) :- ويستخدم في كثير من الصناعات المحتوية على الكبريت مثل أملاح ثنائي الثيونيت (Dithionites) ، والثيوسلفيت (Thiosulphates) ، والكبريتيدات (Sulphites) ، وكبريتيد الهيدروجين (Hydrogen Sulphite) ، وألكانات السلفونات (Alkane Sulphonates) ، وهيدروكسي ألكيل حامض السلفونيك (HydroxyAlkane Sulphonic Acid) وكذلك في صناعة السيليلوز ، وللتخلص من مركبات الكبريت في الزيوت المعدنية ، وكمادة حافظة في صناعة الأغذية، وفي تنقية مياه الشرب .

- ثالث أكسيد الكبريت (Sulphur Trioxide-SO3) : ومن أهم إستخداماته صناعة حامض كلورو وفلوروسلفونيك (Chloro Sulphonic and Flouro Suphonic Acids) ، وكلوريد الثيونيل (Thionyl Chloride) ، وحامض أميدسلفونيك (Amido Sulphonic Acid) ، وعمليات السلفنة للمركبات العضوية المستخدمة في صناعة المنظفات .

* **هاليدات الكبريت :-** ومن أهمها ما يلي :-

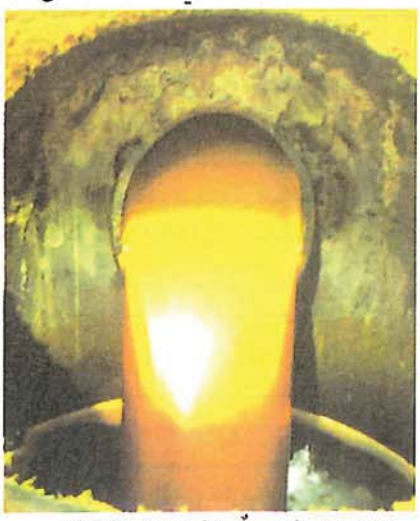
- ثنائي كلوريد ثنائي الكبريت (S_2Cl_2) : ويستخدم في صناعة ثنائي كلوريد الكبريت (SCl_2) ، وكلوريد الثيونيل ، ورباعي فلور الكبريت ، وزيوت التشحيم ، وكمحفز في عمليات الكلورة لحامض الخل، وعمليات فلكنة المطاط .

- ثنائي كلوريد الكبريت (SCl_2) : ويستخدم في صناعة ثيونيل الكلوريد وعمليات السلفنة والكلورة .

- ثيونيل الكلوريد ($SOCl_2$) : ويستخدم بكميات كبيرة في عمليات الكلورة ، وكثير من المركبات الوسيطة في صناعة المبيدات الحشرية والصيدلانية والأصباغ ، وكمادة إلكتروليتية في خلايا جالفانيك (Galvanic Cells).

● رصف الطرق

بدأت في الستينات من هذا القرن تجارب للإستفادة من عنصر الكبريت في رصف الطرق ، وذلك عن طريق خلطه مع الأسفلت بنسبة ٢٠٪ ، وقد توالت التجارب منذ ذلك الحين لإختيار الكمية الأنسب ، حيث تم التوصل إلى أن نسبة ٥٠٪ من الكبريت للخلطة الأسفلتية تعطي أفضل النتائج من حيث قوة تحمل الطرق وزيادة عمرها الزمني.



● كبريت منصهر أستخرج بطريقة كلاوس.

● الطاقة

أثبتت تجارب البحث عن بدائل الطاقة أن الكبريت يعد مصدراً هاماً للطاقة، حيث ينجم عن حرقه طاقة تفوق الطاقة الناتجة عن المصادر التقليدية للطاقة ، فمثلاً وجد أن حرق طن من عنصر الكبريت عند تحويله إلى حامض الكبريتيك يعادل طاقة برميلين من النفط ، وعليه فإن عمليات صناعة حامض الكبريتيك ، وهي الغالبة في صناعة الكبريت ، يمكنها أن توفر كمية هائلة من الطاقة .

● إستخدامات أخرى

يستخدم الكبريت سواء على شكل عنصر أو مركب مثل حامض الكبريتيك في صناعات حيوية أخرى منها على سبيل المثال صناعة المطاط الإصطناعي ، والأنسجة الصناعية المركبة ، والأقمشة ، والمتفجرات والمبيدات الفطرية ، ودباغة الجلود ، والمواد الصيدلانية ، وحفظ الطعام .

وفضلاً عن ذلك توجد للكبريت إستخدامات حديثة لم تكن معلومة من قبل ، مثل : صناعات التغليف ، والتعبئة ، والعوازل .

صناعة الكبريت بالمملكة

تعد المملكة أكبر منتج للكبريت المستخلص من الغاز الطبيعي في المنطقة حيث يبلغ إنتاجها السنوي أكثر من ١,٨ مليون طن من الكبريت الذي ينتج بطريقة كلاوس ، وينتج الكبريت في المملكة بوساطة الوحدات التالية :-

* **شركة سافكو وتوابعها :-** حيث توجد بشركة الأسمدة العربية السعودية (سافكو) وحدة لإستخلاص الكبريت من معامل الغاز الطبيعي ، ومن ثم تصنيع اليوريا والنشادر (الأمونيا) ، فضلاً عن أن للشركة مراكز لتجميع الغاز الطبيعي ، ومن ثم إستخلاص الكبريت منه في كل من بري والعثمانية وشدقم ، وتبلغ الطاقة الإنتاجية لشركة سافكو وتوابعها ١,٤٤ مليون طن سنوياً .

* **مصافي تكرير النفط :-** ويتم فيها إزالة الكبريت المصاحب للنفط بطاقة إنتاجية سنوية تبلغ ٤٢١ ألف طن .