

النزع المععمق لمركبات الكبريت من مزيج صناعي بالاستخلاص بواسطة السوائل الأيونية

إيمان حقي و فرانسوا قره بيت

قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية

تاريخ الإيداع 2008/12/16

قبل للنشر في 2010/05/10

الملخص

تعدّ عملية نزع مركبات الكبريت من قطفة الغاز أويل (السدبزل أو المازوت) بطريقة الاستخلاص بواسطة السوائل الأيونية (ILs) من الطرائق الواعدة بهدف النزع المععمق لمركبات الكبريت و البديلة عن الاعتماد فقط على نزعها بواسطة الهدرجة (Hydrodesulfurization HDS)، إذ أمكن خفض تركيز هذه المركبات حتى أقل من 10 ppm. تظهر نتائج حساب معاملات التوزع مقدار انخفاض تركيز مركبات الكبريت الآتية:

Dibenzothiophene "DBT". 4-Methylthiophene"4-MDBT". 4. 6-
Dimethyldibenzothiophene "4. 6-DMDBT"، وذلك من أجل نسب مختلفة لكل من ن-
الدوبكان (كمزيج صناعي يحتوي على تراكيز معلومة من مركبات الكبريت) إلى السائل الأيوني المستخدم في عملية الاستخلاص. كما درس أيضاً تأثير وجود مركبات الكبريت في بعضها بعضاً في أثناء عملية الاستخلاص. تكمن أهمية هذه الطريقة في عملية نزع مركبات الكبريت في إمكانية تطبيقها عند الضغط الجوي العادي ودرجة حرارة الجو المحيط فضلاً عن عدم حاجتها إلى استخدام الهيدروجين في عملية النزع المععمق لها.

الكلمات المفتاحية: النزع المععمق لمركبات الكبريت، السوائل الأيونية، معامل التوزع.

Deep Desulfurization of Model Oil by Extraction with Ionic Liquids

E. Hakki and F. Karabet

Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

Received 16/12/2008

Accepted 10/05/2010

ABSTRACT

Desulfurization of gasoil (diesel) oil by extraction with Ionic Liquids (ILs) can be one of the new and alternative methods to the common method (Hydrodesulfurization HDS) for deep desulfurization. This method could reduce the s-content down to values less than 10 ppm. The results show that the partition coefficient for Dibenzothiophene "DBT", 4-Methyldibenzothiophene "4-MDBT", 4.6-Dimethyldibenzothiophene "4.6-DMDBT" are changed for different ratio of n-dodecane (as model oil containing s-compounds) to the used ILs in extraction. Also the effect of s-compounds on each others has been studied through the extraction process. The importance of this method comes from the ability of applying it under ambient conditions (pressure and temperature). besides there is no need to use hydrogen for the deep desulfurization.

Key Words: Deep Desulfurization, Ionic liquids, Partition Coefficient.

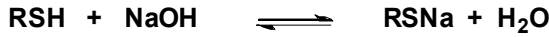
مقدمة

تعدُّ كل من مركبات الكبريت والنتروجين في كل من الغازولين (البنزين) والغازأويل (الديزل أو المازوت)، من أكثر المركبات الكيميائية ضرراً بالبيئة، إذ تؤثر في عملية احتراق الفحم الهيدروكربونية وتساعد على تشكُّل النواتج الثانوية والأكثرها خطورة غازات SO_x . ولذلك قامت كل من المؤسسات الدولية والحكومات بسن القوانين للحد من التراكيز العالية لهذه المركبات في قطرات النفط المستخدمة كوقود احتراق.

وعموماً، يبلغ محتوى مركبات الكبريت المسموح بها في الغازولين 1500ppm (0.15%)، و في الغازأويل (الديزل) (0.7%) 7000ppm وذلك حسب المواصفات القياسية السورية - وهي نسبة عالية جداً إذا ما قورنت بالنسب المسموح بها في الدول الأخرى - مما يزيد من انبعاث الملوثات المنطلقة من عوادم السيارات ولاسيما غازات الكبريت (بشكل خاص SO_2)، فضلاً عن أكاسيد الأوزون و هباب الفحم، فقد وجد أن استهلاك الوقود عن طريق الميكروباصات - التي تعدُّ وسيلة النقل الأساسية داخل المدينة - من أهم أسباب النسب العالية لغاز SO_2 . لأن هذه المركبات مستمرة في العمل مدة (14 ساعة/يوم) وسطياً وخلال (330 يوماً/سنة) وسطياً وبنسبة استهلاك للوقود (14 ساعة/يوم) وقد بلغ الاستهلاك الكلي لهذه الفئة من المركبات نحو (715958 طن الغازأويل/سنة بالنسبة إلى نحو 30994 مركبة). بل وجد أيضاً أن مصدر الكبريت في الجو لا يقتصر فقط على الوقود المحترق في وسائل النقل فقط، كذلك فإن محطات توليد الطاقة الكهربائية تعتمد على عمليات حرق الوقود (الفيول) الذي يحتوي نسبة عالية من مركبات الكبريت تبلغ (4.5%) 30000ppm، تسهم بشدة في تلويث الهواء بغاز SO_2 . علاوة على أن عمليات التدفئة التقليدية وتسخين المياه، خاصة في الفصل البارد من السنة، تسهم بنسبة كبيرة يمكن أن تصل إلى نحو ضعف النسبة السابقة في موسم الشتاء (م. دمشق، 2005).

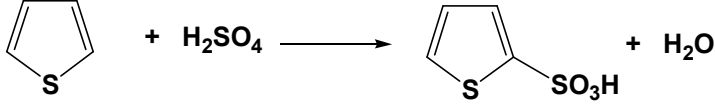
التقنيات المستخدمة حالياً في نزع مركبات الكبريت:

أ- طريقة ميروكس: تستخدم في نزع مركبات الكبريت ذات الخواص الحمضية مثل RSH وذلك بالاستخلاص بماءات الصوديوم:



تصطدم هذه الطريقة بمشكلة عكسية التفاعل وانخفاض الخواص الحمضية للتيولات بازدياد وزنها الجزيئي أي طول السلسلة الألكيلية R، مما يجعلها أقل نجاعة لنزع التيولات من قطرات النفط الأثقل مثل الغازأويل مقارنة بالأخف مثل الغازولين.

ب- طريقة السلفنة: تستخدم في نزع مركبات الكبريت العطرية بالاستبدال وتحويلها إلى مشتقاتها السلفونية مما يسهل فصلها بالاستخلاص بطور حمض الكبريت:



تصطدم هذه الطريقة بمشكلة أساسية مفادها إمكانية فصل مركبات الكبريت العطرية فقط التي تملك مركزاً فعالاً للاستبدال في تفاعلات السلفنة ممثلة بمركبين فقط هما الثيوفن وبنزوثيوفين، أما مركبات الكبريت العطرية الأخرى فإن سلفنتها وفصلها يتعارض مع ظهور مشكلة سلفنة المركبات العطرية المهمة في قطفة الغازولين بسبب غياب المراكز الفعالة للسلفنة على الحلقة العطرية. يؤدي نزاع المركبات العطرية المهمة في القطفة إلى الإساءة إلى مواصفات القطفات النفطية مثل قيمة الاحتراق Calorific Value وعدد أوكتان الغازولين وغيرها من المواصفات.

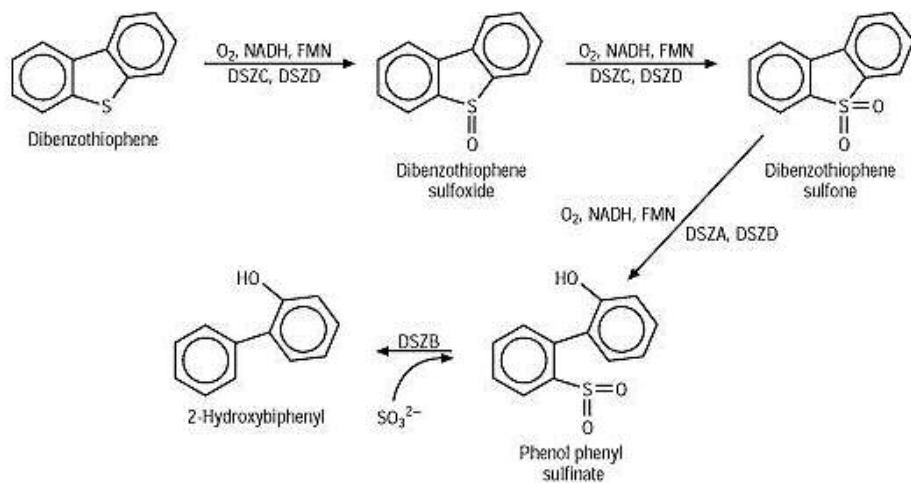
ج- طريقة التنقية بالهيدروجين HDS Hydrodesulfurization أو Hydrotreating: تعدُّ هذه الطريقة الأكثر أناقة من مضاهياتها من الطرائق الأخرى المستخدمة حالياً على الصعيد الصناعي ولاسيما أنها انتقائية تجاه نزاع الكبريت دون المساس ببنية المركب ذاته مما يساعد على الحفاظ على بنية القطفة، ولكنها تصطدم بمشكلة ترافقها مع إشباع العطريات المهمة في النفط فضلاً عن تفاعلات التكسير بالهيدروجين.

يتبين مما سبق أن الطرائق التقليدية للتخلص من مركبات الكبريت من قطفات النفط غير قادرة على خفض نسبة مركبات الكبريت إلى الحدود المناسبة بيئياً التي أوصت بها تقارير منظمة الصحة العالمية والمعايير السورية لنوعية الهواء، إذ يقدر متوسط التركيز اليومي للحدود المسموح بها نحو 0.047 ppm، إلا أنها وصلت في عام 2001 - 2000 إلى 0.146 ppm (م. الدمشقي، 2005).

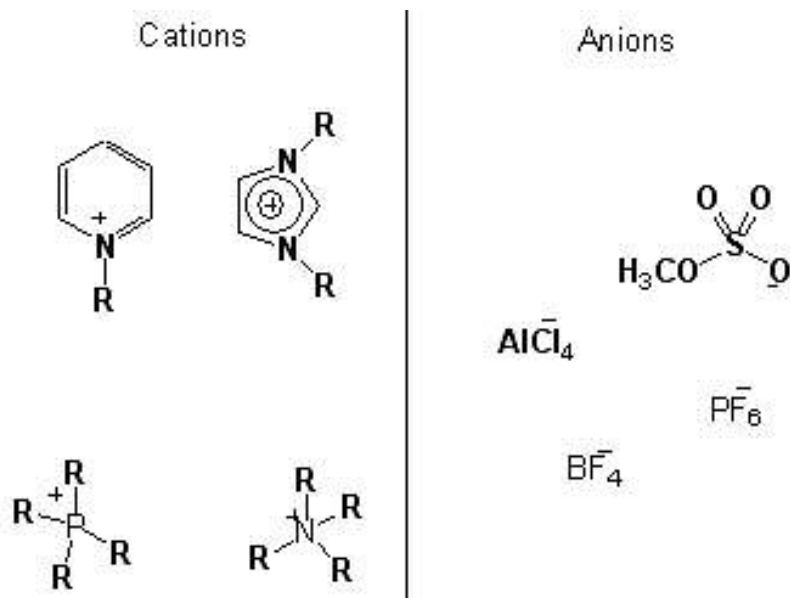
د- طرائق قيد الدراسة - طرائق مستقبلية واعدة:

الطريقة الأنزيمية [C. Marcelis. 2002]: يمكن أن تسلك مركبات الكبريت عند نزاعها بالطريقة الأنزيمية المخطط الآتي.

تستخدم الأنزيمات مثل أنزيم Monooxygenase وأنزيم Desulfidase الكفيلة بتحويل مركب ثنائي بنزو الثيوفن إلى مركب 2-هيدروكسي ثنائي الفينيل وشاردة السلفيت.



- طريقة السوائل الأيونية:



الشكل (1) بعض الأنيونات والكاتيونات التي تتربك منها بعض السوائل الأيونية

ما هي السوائل الأيونية؟

السوائل الأيونية Ionic liquids ILs أملاح تتكون من شرجبات عضوية (الايמידازوليوم، البيريدينيوم، شوارد الأمونيوم والفسفونيوم) ومن شرسبات لاعضوية مثل $(PF_6^- \cdot AlCl_4^-)$ ، ويوضح الشكل (1) مجموعة من هذه المركبات (CHEMDAD. 2003):

وهي سوائل تتميز بانعدام ضغط بخارها عملياً عند درجة حرارة الغرفة (درجة الحرارة العادية) (ALDRICH –Fluka. Vol.5).

تختلف هذه الأملاح عن الأملاح التقليدية من خلال درجة غليانها التي تكون أقل من $100^\circ C$. تحظى السوائل الأيونية ذات درجات الغليان القريبة من درجة حرارة الغرفة أو الأقل منها باهتمام كبير في مجالات أخرى.

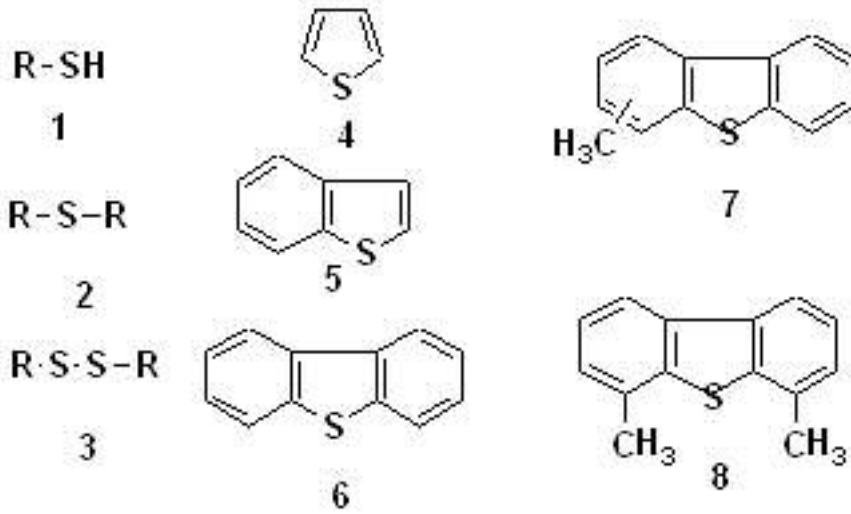
تمتلك السوائل الأيونية خصائص ساعدتها على أن تدخل في تطبيقات متنوعة مخبرياً أو صناعياً، من هذه الخواص:

- خواص انحلال ملحوظة للركازات العضوية كما للركازات اللاعضوية.
- ثباتية حرارية عالية.
- غير قابلة للتطاير، وذلك بسبب انخفاض ضغط بخارها المقيس عند مجال واسع من درجات الحرارة.
- غير قابلة للاشتعال.
- خواص ناقلية أيونية عالية.
- تشكيلها لمنظومات متعددة الأطوار في عمليات الاستخلاص.

تطبيق السوائل الأيونية في استخلاص مركبات الكبريت من الوقود:

تعدُّ طريقة نزع الكبريت بالهدرجة (Hydrodesulfurization HDS) أو المعالجة بالهيدروجين (Hydrotreating. HT) أكثر الطرائق المستخدمة للتخلص من مركبات الكبريت، إلا أن هذه الطريقة تعتمد اعتماداً كبيراً على البنية الجزيئية لها. لأن مركبات الكبريت مثل الثيولات Thiols (1)، وثيو الإيثر Thioether (2) وثنائي السلفيد Disulfides (3) يمكن أن تتفاعل بسهولة مع الهيدروجين بطريقة المعالجة بالهيدروجين (HT)، إلا أن مركبات الكبريت العطرية مثل الثيوفين Thiophene (4) والبنزوثيوفين Benzothiophene (BT) (5) أقل قدرة على التفاعل بطريقة نزع الكبريت بالهدرجة (HDS)، أما مركبات مثل ثنائي بنزو الثيوفين Dipenzothiophene (DBT) (6)، ميثيل ثنائي بنزو الثيوفين Methylthiophene (MDBT) (7) و-6.4 ثنائي ميثيل ثنائي بنزو الثيوفين 4.6-dimethylthiophene (4.6-

(DMDBT) (8) فإنها تتمتع بمقاومة أكبر تجاه عملية الهدرجة مما يشكل عبئاً على المركبات العطرية الموجودة داخل القطفة (Eßer *et al.*, 2004).



الشكل (2) بعض مركبات الكبريت الموجودة في قطفات النفط المتوسطة

تتناقص فعالية عملية HDS بشكل متناسب مع التقدم في عملية نزع الكبريت، ويعود ذلك إلى أن مركبات الكبريت المتبقية من مشتقات DBT تكون غالباً أقل تفاعلية بطريقة HDS.

استناداً إلى ما سبق تعدّ تقنية HDS التقليدية ذات إمكانية محدودة تجاه عملية النزع المعمق لمركبات الكبريت من الوقود، ولا يمكن الحصول على تخفيض أكثر لمركبات الكبريت في قطفة الغاز أويل (والقطفات المتوسطة الأخرى) إلا في تفاعل شديد الظروف من ضغط وزمن بقاء للمادة الذي يؤدي إلى فاقد كبير في المركبات العطرية والمهمة في هذه القطفات.

وجدت طريقة بديلة لتقنية HDS الحالية، وهي استخدام السوائل الأيونية في استخلاص مركبات الكبريت المشتقة من DBT. حيث يمرر تيار من الوقود المراد استخلاص مركبات الكبريت منه بعد معالجته بطريقة HDS (للتخلص من مركبات الكبريت سهلة التفاعل كما أسلفنا الذكر) مع تيار معاكس من السائل الأيوني المستخدم، ومن ثم يمكن تخفيض مركبات الكبريت من 300 ppm إلى 10 ppm (Wasserscheid *et al.*, 2001).

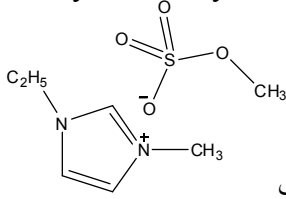
مواد البحث وطرائقه

استخدم في عملية الاستخلاص بطريقة السوائل الأيونية مركبان سائلان أيونيان)، وهما:

1. (1-إيثيل - 3 - ميثيل الإيميدازوليوم) ميثيل سلفات

1-Ethyl-3-Methyl Imidazolium Methyl Sulfate (EMIM.MeSulfate)

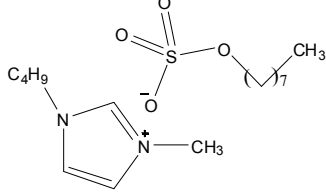
من شركة " فلوكا FLUKA".



2. (1-بوتيل - 3 - ميثيل الإيميدازوليوم) أوكتيل سلفات

1-Butyl-3-Methyl Imidazolium Octyl Sulfate (BMIM.OcSulfate)

من شركة " فلوكا FLUKA".



طريقة العمل:

حُضِرَ مزيج صناعي من مركبات الكبريت المستخدمة في الدراسة والموجودة في

الجدول (1).

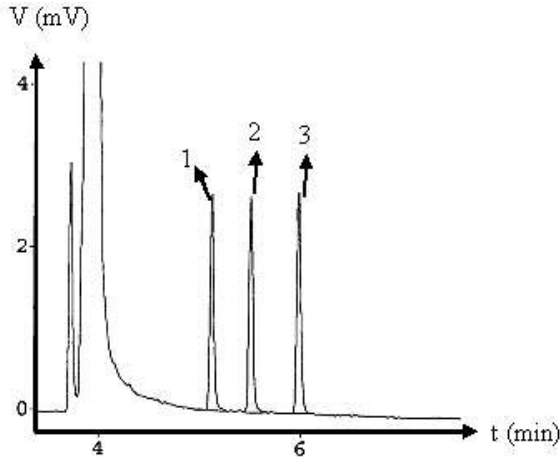
الجدول (1) مركبات الكبريت المدروسة

التركيز في المزيج الصناعي (ppm)	الصيغة	الرمز المختصر	الاسم الكيميائي
125		DBT	Dibenzothiophene (FLUKA)
125		4-MDBT	4-Methyl Dibenzothiophene (ALDRICH)
125		4,6-DMDBT	4,6-Dimethyl Dibenzothiophene (ALDRICH)

بحل مزائج من هذه المركبات في مركب نظامي الدوديكان n-dodecane، ذي الصيغة:

$bp = 201\text{ }^{\circ}\text{C}$ $M_w = 170\text{ g/mole}$ $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{10} \text{CH}_3$

بلغ التركيز الكلي للكبريت في المحلول المحضّر 375ppm (حسابياً)، زمن المزج 15min، وذلك في وعاء مصنفر محكم الإغلاق سعة 10ml، والتحرك بواسطة المحرك المغناطيسي.



الشكل (3) كروماتوغرام تحليل مركبات الكبريت بواسطة جهاز الكروماتوغرافيا الغازية، التركيز بدلالة زمن الاحتباس R_t .

استخدمت كمية ثابتة من السائل الأيوني (في كل مرة 1g)، في حين كان وزن المزيج الصناعي متغيراً وذلك من أجل تعيين معامل التوزع "Partition Coefficient" K_N .

دُرِس تناقص تراكيز مركبات الكبريت المستخدمة بواسطة جهاز الكروماتوغرافيا الغازية (Schimadzu GC-FID-17A. CBP1-50m)

ويوضح الشكل (3) الكروماتوغرام الناتج:

(1) ثنائي بنزو الثيوفين DBT ($t=5.129\text{min}$).

(2) 4-ميثيل ثنائي بنزو الثيوفين 4-MDBT ($t=5.514\text{min}$).

(3) 6.4-ثنائي ميثيل ثنائي بنزو الثيوفين 4.6-DMDBT ($t=5.989\text{min}$).

وأجري التحليل ضمن الشروط الآتية:

300°C	: درجة حرارة الحاقن (Injector)
260°C	: درجة حرارة العمود (Column)
CBP1-50m	: نوع العمود (Column type)
300°C	: درجة حرارة الكاشف (Detector)
Flame Ionization Detector FID	: نوع الكاشف (Detector Type)
1ml/min	: التدفق (Flow)
2µl	: حجم عينة الحقن (Volume)

ويوضح كل من الجدولين (2) و(3) نتائج الدراسة.

الجدول (2) معاملات توزيع نرنست لمركبات الكبريت في السائل الأيوني [EMIM][MeSulfate]

العينة	المركب	تركيز مركبات الكبريت في العينة قبل الاستخلاص PPM	تركيز مركبات الكبريت في ILs PPM	تركيز مركبات الكبريت في n-dodecane PPM	معامل التوزيع Kn
1	DBT	125.0000	31.0009	93.9991	0.3298
	4MDBT	125.0000	16.5430	108.4570	0.1525
	46DMDBT	125.0000	16.7316	108.2684	0.1545
2	DBT	125.0000	24.3758	100.6242	0.2422
	4MDBT	125.0000	13.4377	111.5623	0.1205
	46DMDBT	125.0000	11.0092	113.9908	0.0966
3	DBT	125.0000	18.5167	106.4833	0.1739
	4MDBT	125.0000	11.5695	113.4305	0.1020
	46DMDBT	125.0000	10.8033	114.1967	0.0946
4	DBT	125.0000	14.4852	110.5148	0.1311
	4MDBT	125.0000	2.8775	122.1225	0.0236
	46DMDBT	125.0000	3.4775	121.5225	0.0286
5	DBT	125.0000	15.5737	109.4263	0.1423
	4MDBT	125.0000	9.5802	115.4198	0.0830
	46DMDBT	125.0000	11.1269	113.8731	0.0977

الجدول (3) معاملات توزيع نرنست لمركبات الكبريت في السائل الأيوني [BMIM][OcSulfate]

العينة	المركب	تركيز مركبات الكبريت في العينة قبل الاستخلاص PPM	تركيز مركبات الكبريت في ILs PPM	تركيز مركبات الكبريت في n-dodecane PPM	معامل التوزيع Kn
1	DBT	125.0000	71.3293	53.6707	1.3290
	4MDBT	125.0000	51.3724	73.6276	0.6977
	46DMDBT	125.0000	37.8116	87.1884	0.4337
2	DBT	125.0000	59.2079	65.7921	0.8999
	4MDBT	125.0000	46.8428	78.1572	0.5993
	46DMDBT	125.0000	37.9587	87.0413	0.4361
3	DBT	125.0000	48.0810	76.9190	0.6251
	4MDBT	125.0000	37.5692	87.4308	0.4297
	46DMDBT	125.0000	37.0025	87.9975	0.4205
4	DBT	125.0000	42.0606	82.9394	0.5071
	4MDBT	125.0000	20.4452	104.5548	0.1955
	46DMDBT	125.0000	26.4699	98.5301	0.2686
5	DBT	125.0000	35.6505	89.3495	0.3990
	4MDBT	125.0000	26.1838	98.8162	0.2650
	46DMDBT	125.0000	26.5581	98.4419	0.2698

وحسبت معاملات التوزع كما يأتي:

$$\frac{a_{A,2}}{a_{A,1}} = k_N$$

يعبر كل من $a_{A,1}$ ، $a_{A,2}$ عن الفعالية الكيميائية للمكون A في الطورين (1) و(2)، ونظراً إلى أن التراكيز تنتهي إلى الصفر في المزيج المدروس (من مرتبة الـ ppm) وحسب العلاقة الآتية:

$$a_{A,x} = \gamma_{A,x} C_{A,x}$$

تكون: $\gamma_{A,x}$ معامل الفعالية للمكون A في الطور X إذ ينتهي إلى 1 عندما تنتهي قيمة التراكيز إلى 0. و: $C_{A,x}$ تركيز المكون A في الطور X. ومن ثم تصبح علاقة معامل التوزع نرنست:

$$\frac{C_{A,2}}{C_{A,1}} = k_N$$

وهي العلاقة المستخدمة في الحسابات السابقة إذ إن C تعبر عن التركيز بالوحدة .mg/Lit.

مناقشة النتائج

يعرف معامل التوزع K_N في هذا البحث بأنه نسبة تركيز مركبات الكبريت في السوائل الأيونية ($\text{mg}_S \cdot \text{Kg}_{\text{ILs}}^{-1}$) إلى تركيز مركبات الكبريت في المحل المستخدم (نظامي الدوديكان) ($\text{mg}_S \cdot \text{Kg}_{\text{oil}}^{-1}$)، وعلى اعتبار تراكيز مركبات الكبريت في المحلول تسعى إلى الصفر (تراكيها من مرتبة الـ ppm)، أي أنه يمكن اعتبارها محاليل تسعى إلى المثالية.

تمتاز مركبات الكبريت المدروسة بوزنها الجزيئي العالي - الذي يسبب صعوبة التخلص منها وفق الطرائق التقليدية - فضلاً عن استقرارها الإضافي الناتج عن الروابط π المترافقة على كامل الجزيء، والبنية الفراغية المستوية - بشكل عام - ما عدا على ذرات الكبريت إذ تمتلك البنية الفراغية رباعية الوجوه فضلاً عن إلى المرتبطات الميتيلية التي تتمتع ببنية فراغية رباعية الوجوه أيضاً.

كما تتمتع السوائل الأيونية بالطبيعة الشاردية علاوة على الرابطة π الموجودة في منظومة حلقة الإيميدازوليوم.

تؤدي الخواص السابقة - المتوافرة في مركبات الكبريت المدروسة جميعها الحاوية على المنظومة π المترافقة فضلاً عن الكهرسلبية بين C-S إلى حدوث عملية استخلاص لمركبات الكبريت من وسط ن-الدوديكان المدروسة فيه، إذ إن قوى التأثير الكهربائي π - π بين جزيئات مركبات الكبريت والمحل ن-الدوديكان هي قوى تأثير كهربائي π - π ضعيفة جداً، أضعف من قوى التأثير الكهربائي π - π بين مركبات الكبريت والسوائل الأيونية، مما

يؤدي إلى سهولة انتقال مركبات الكبريت إلى طور السائل الأيوني.

يلاحظ من الجدول السابق أن معاملات التوزع تتخفض مع ارتفاع نسبة العينة الحاوية على مركبات الكبريت إلى السائل الأيوني المدروس، ويلاحظ أن كلا من العينة "1". "2" "1" لهما معامل توزع متقارب نسبياً - بالنسبة إلى بقية العينات - أي يمكن استخدام نسبة العينة "2" وهي النسبة (1:2) عند تطبيق الطريقة بشكل عملي على عينات حقيقة من الغاز أويل (المازوت).

تأثير وجود مركبات الكبريت في بعضها في أثناء عملية الاستخلاص:

في تجربة أخرى دُرِس تأثير وجود مركبات الكبريت مع بعضها في معاملات التوزع لكل منها، حيث حضرت مزائج كما في الجدول (3) وكانت معاملات توزعها كما هو موضح في الجدول نفسه. مع ملاحظة أن نسبة السائل الأيوني ($\text{mgs.Kg}_{\text{ILs}}^{-1}$) إلى المحل الحاوي على مركبات الكبريت (نظامي الدوديكان) ($\text{mgs.Kg}_{\text{oi}}^{-1}$) تعادل (1:1).

الجدول (4) تأثير وجود مركبات الكبريت في معامل التوزع

العينة	المركب	EMIM.MeSulfate معامل التوزع K_N	BMIM.OcSulfate معامل التوزع K_N
1	DBT	0.6062	1.6480
	4-MDBT	0.1920	1.1397
2	DBT	0.7173	1.5797
	4.6-DMDBT	0.0727	0.6567
3	4-MDBT	0.1664	1.2302
	4.6-DMDBT	0.0564	0.6832

يلاحظ لدى مقارنة القيم الواردة في الجدول (4) مع القيم الواردة في الجدولين (2) و(3) تأثير وجود مركبات الكبريت على بعضها البعض نسبياً، حيث لم يلاحظ ازدياد هذه المعاملات. إذ لدى مقارنة قيم الجدول نفسه مع بعضها بعضاً، لوحظ - بالنسبة إلى مركب DBT- على سبيل المثال، أن معامل التوزع له يزداد عندما يكون في الوسط ذاته مع مركب 4.6-DMDBT وذلك عائد إلى وجود زمرتي ميثيل في مركب 4.6-DMDBT التي تؤدي إلى ظهور خواص لا قطبية لهذا المركب مما يقلل من حدوث التأثير الكهربائي ($\pi \cdot \pi$) بينه وبين السائل الأيوني مما يكسب الأخير ألفة أكبر تجاه المركب الأكثر قطبية وهو في هذه الحالة DBT، وكذلك الأمر بالنسبة إلى كل من المركبين 4-MDBT و 4.6-DMDBT.

الخلاصة

توضح النتائج أنفة الذكر أهمية هذه الطريقة بوصفها طريقة واعدة في نزع مركبات الكبريت إلى تراكيز منخفضة جداً وما تقدمه من انعكاسات بيئية إيجابية كبيرة، هذا ما جعلها تأخذ مركزاً مرموقاً في الدراسات الحديثة وتحتل مكاناً في مجال الكيمياء الخضراء بوصفها طريقة استخلاص فعالة لمركبات الكبريت ذات التأثيرات البيئية السيئة.

المراجع REFERENCES

1. مروان الدمشقي، 2005، مشكلة التلوث في الهواء في دمشق - توصيف الواقع و إلى متى هذا الاستعصاء في حلها؟، جمعية أصدقاء دمشق.
2. Bösmann. A.; Datsevich. L.; Lauter. A Schmitz. A.; Wasserscheid. P.;2001. Deep desulfurization of diesel fuel by extraction with ionic liquid; CHEMCOMM Communication; 2494-2495.
3. Chem files. Enabling Technologies-Ionic Liquid. ALDRICH-Fluka. Vol.5-No.6.
4. CHEMDAD. February 2003. Room Temperature Ionic Liquid RTIL. PPT.
5. Chris Marcelis. 2002. Anaerobic biodesulfurization of thiophene. ISBN: 90-5808-767-0.
6. Eßer. J.; Wasserscheid. P.; Jess. A.; 2004. Deep desulfurization of oil refinery streams by extraction with ionic liquid; Green Chem.; 6. 316-322.
7. www.merck.de/servlet/PB/menu/1047790_merck-KGaA-FAQ.htm