التحليل الكمي للمجاميع العضوية باستخدام تقنية الاشعة تحت الحمراء

كريم ثامر شنيهج، سلمى محمد رضا، لمياء جليل بصري

مركز البحث والتطوير النفطي

Corresponding Author E-mail: speprdc@gmail.com

الخلاصة:

استخدام طيف الاشعة تحت الحمراء لاجراء التحليل الكمي للمجاميع العضوية اعتماداً على حساب طيف الامتصاص للمجاميع العضوية (العطريات والبارافينات والنفثينات والاولفينات ومجموعة الكاربونيل) وعند رسم علاقة النسب المئوية مع مقدار الامتصاصية تم الحصول على المنحنيات القياسية واشتقاق المعادلات الرياضية في الحسابات الكمية بواسطة جهاز الاشعة تحت الحمراء (FTIR) .

وحددت النسب المئوية للمجاميع العضوية للمركبات البارافينية والعطرية والنفثينية في زيوت التزييت وحساب الامتصاصية عند Wave number ($750\ cm^{-1}$) طبق قانون بير في المدى بين(15 – 40) مايكروغرام/مل وبمعامل ارتباط مقداره 0.9192 وكذلك تحديد النسب المئوية للبارافينات والعطريات بالكيروسين تحت Wave number ($1610\ cm^{-1}$) طبق قانون بير في المدى بين (10.2 – 50) مايكروغرام/مل وبمعامل ارتباط مقداره 0.9842 وايضاً تم تحديد النسب المئوية الى الزايلينات هي (p– xylene، o- xylene، m-xylene) طبق قانون بير في المدى بين(5– 30) مايكروغرام/مل وبمعامل ارتباط مقداره 0.9849 و0.9613 و 0.9032 وايضاً تم تحديد ومعاملة كل واحد على حده مع زيت البارافين وبنسب ايضاً مختلفة وبنفس الطرق السابقة حصلنا على المعادلات الرياضية لحساب المواد البارافينية الى الميثا والبارا والاورثو زايلين وكذلك تحديد مجموعة Carbonyl group حيث مزجت مادة مثيل اثيل كيتون(MEK) طبق قانون بير في المدى بين(5 – 30) مايكروغرام/مل وبمعامل ارتباط مقداره 0.9716 و0.9670 وايجاد المعادلة النهائية لحساب المواد العطرية الموجودة في الـ (*Toluene*) بنفس الطرق السابقة حسبت النسبة المئوية للـ (MEK) تحت عدد موجي ($1730cm^{-1}$).وقد تمت مقارنة النتائج التي حصلنا عليها من المعادلات الرياضية بواسطة جهاز الأشعة تحت الحمراء مع نتائج جهاز التحليل الكروماتوغرافيا (GC) للمقاطع النفطية الخفيفة لغرض التأكد من دقة الطريقة فقد كانت النتائج قريبة جداً بين قراءة الجهازين ونسبة الخطأ في جميع النقاط لاتتجاوز (±0.5%).

المقدمة:

مطياف الاشعة تحت الحمراء Infrared spectroscopy:هو أحد فروع علم الأطياف الذي تتعامل مع المنطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي أما القياسات المطيافية **Spectrometry** فإنها تعني قياس هذه التداخلات بين المادة والشعاع وصفيا عن طريق التعرف على التراكيب الكيميائية لهذه المواد أو كمياً عن طريق قياس تراكيز هذه المواد.

تم اعتماد تقنية الاشعة تحت الحمراء بتقييم كميات المركبات العطرية والبرافينات والنفثينات أعتماداً على طيف امتصاص المجاميع الوظيفية لهذه المكونات في المقاطع النفطية.أما الاشعة تحت الحمراء هى المنطقة التى تكون تحت المنطقة المرئية مباشرة ولها طول موجي يتراوح بين 2.5-25 ميكروميتر ومن الوحدات الاشهر من الطول الموجي هى مقلوب الطول الموجي بالسنتمتر ويسمى **العدد الموجي** حيث ان العدد الموجي يتناسب مع التردد والطاقة.

وأما الأجهزة التي تقوم بهذه القياسات تدعى بالمطيافيات أو أجهزة مقياس الطيف **Spectrometers** أو راسم طيفي Spectrograph ويشار الى مخطط التداخل بين المادة والشعاع بمخطط طيفي spectrogram أو طيف spectrum.

ويشمل مجموعة من التقنيات، وأشهرها مطيافية الامتصاص (Absorption spectroscopy) يمكن استعمال المطيافية، كما هي الحال مع جميع أنواع المطيافيات، في تحديد هوية المركبات [1,2,3].

الهدف من البحث:

استخدام تقنية الاشعة تحت الحمراء في اجراء التحليل الكمي للمجاميع العضوية في المقاطع النفطية والمركبات العضوية والمحسنات البترولية.

الجزء العملي:

المطياف IR spectrometer الجهاز المستخدم في انجاز البحث 380Thermo Nicole

شكل (1) يوضح الجهاز المستخدم في انجاز البحث 380Thermo Nicole

الجزء العملي:

المواد الكيميائية المستخدمة :

جدول (1) المواد الكيميائية المستخدمة في البحث ودرجة نقاوتها ومناشئها [4, 5, 6]

No	Chemical name	Chemical formula	Purity	Company
1	n-Heptane	C_7H_{16}	99%	U.K
2	Paraffin oil	---	99.9%	BDH Limited poole
3	O-Xylene	C_8H_{10}	99%	Spain
4	MEK		99.9%	BDH Limited poole
5	Toluene	$C_6H_5CH_3$	99%	Gainland Chemical
6	P - Xylene	C_8H_{10}	99%	Sino pharm chemical reagent
7	m - Xylene	C_8H_{10}	99%	Sino pharm chemical reagent
8	Cyclo Hexane	C_6H_{12}	95%	S.D.Fine –chem limited

تحضير المحاليل:

1- حضرمحلول قياسي لحساب نسب المواد العطرية في الزيوت من خلال مزج نسب مختلفة من زيت البرافين مع مذيب التلوين وكانت النسب كالتالي: .

- 1.5مايكروغرام/مل من زيت البرافين مع 8.5 مايكروغرام/مل من مذيب التلوين.
- 3 مايكروغرام/مل من زيت البرافين مع 7 مايكروغرام/مل من مذيب التلوين .
- 4 مايكروغرام/مل من زيت البرافين مع 6 مايكروغرام/مل من مذيب التلوين .

2- حضرمحلول قياسي لحساب نسب المواد البارافينية في الزيوت من خلال مزج نسب مختلفة من زيت البرافين مع مذيب التلوين وكانت النسب كالتالي:.

- 0.9 مايكروغرام/مل من زيت البرافين مع 3.1 مايكروغرام/مل من مذيب التلوين.
- 1 مايكروغرام/مل من زيت البرافين مع 3 مايكروغرام/مل من مذيب التلوين .

- 1.5 مايكروغرام/مل من زيت البرافين مع 2.5 مايكروغرام/مل من مذيب التلوين.

3- حضرمحلول قياسي لحساب نسب المواد العطرية في الكيروسين من خلال مزج نسب مختلفة من مذيب التلوين مع الهبتان الاعتيادي وكانت النسب كالتالي:-

- 0.4 مايكروغرام/مل من التلوين مع 3.5 مايكروغرام/مل من الهبتان .
- 0.5 مايكروغرام/مل من التلوين مع 3.5 مايكروغرام/مل من الهبتان.
- 1 مايكروغرام/مل من التلوين مع 3.5 مايكروغرام/مل من الهبتان .
- 0.6 مايكروغرام/مل من التلوين مع 1 مايكروغرام/مل من الهبتان .
- 2 مايكروغرام/مل من التلوين مع 2 مايكروغرام/مل من الهبتان.

4- حضرمحلول قياسي لحساب نسبة الاورثو زايلينات من خلال مزج نسب مختلفة من الاورثوزايلين مع زيت البرافين وكانت النسب كالتالي:- .

- 0.5 مايكروغرام/مل من الاورثوزايلين مع 9.5مايكروغرام/مل من زيت البرافين .
- 1مايكروغرام/مل من الاورثوزايلين مع 9 مايكروغرام/مل من زيت البرافين.
- 1.5 مايكروغرام/مل من الاورثوزايلين مع 8.5 مايكروغرام/مل من زيت البرافين .
- 2.5 مايكروغرام/مل من الاورثوزايلين مع 7.5 مايكروغرام/مل من زيت البرافين .
- 3 مايكروغرام/مل من الاورثوزايلين مع 7 مايكروغرام/مل من زيت البرافين .

5- حضرمحلول قياسي لحساب نسبة البارا زايلينات من خلال مزج نسب مختلفة من البارازايلين مع زيت البرافين وكانت النسب كالتالي:- .

- 0.5 مايكروغرام/مل من االبارازايلين مع 9.5مايكروغرام/مل من زيت البرافين .
- 1مايكروغرام/مل من البارازايلين مع 9 مايكروغرام/مل من زيت البرافين.
- 1.5 مايكروغرام/مل من البارازايلين مع 8.5 مايكروغرام/مل من زيت البرافين .
- 2.5 مايكروغرام/مل من البارازايلين مع 7.5 مايكروغرام/مل من زيت البرافين .
- 3 مايكروغرام/مل من البارازايلين مع 7 مايكروغرام/مل من زيت البرافين .

6- حضرمحلول قياسي لحساب نسبة الميتازايلينات من خلال مزج نسب مختلفة من الميتازايلين مع زيت البرافين وكانت النسب كالتالي:- .

- 0.5 مايكروغرام/مل من االميتازايلين مع 9.5 مايكروغرام/مل من زيت البرافين.
- 2.5 مايكروغرام/مل من الميتازايلين مع 7.5 مايكروغرام/مل من زيت البرافين.
- 3 مايكروغرام/مل من الميتازايلين مع 7 مايكروغرام/مل من زيت البرافين.

7 - حضرمحلول قياسي لحساب نسب المواد الاروماتية من خلال مزج نسب مختلفة من MEK مع مذيب التلوين وكانت النسب كالتالي:

- 0.1 مايكروغرام/مل من MEK مع 9.5مايكروغرام/مل من التلوين.
- 0.2 مايكروغرام/مل من MEK مع 0.8 مايكروغرام/مل من التلوين.
- 0.3 مايكروغرام/مل من MEK مع 8.5 مايكروغرام/مل من التلوين.
- 0.5مايكروغرام/مل من MEK مع 0.5 مايكروغرام/مل من التلوين.
- 0.75 مايكروغرام/مل من MEK مع 0.25 مايكروغرام/مل من التلوين.

8- حضرمحلول قياسي لحساب مجموعة الكاربونيل من خلال مزج نسب مختلفة من MEK مع مذيب التلوين وكانت النسب كالتالي:

- 0.9 مايكروغرام/مل من MEK مع 9.5مايكروغرام/مل من التلوين.
- 2.5 مايكروغرام/مل من MEK مع 7.5 مايكروغرام/مل من التلوين .
- 3 مايكروغرام/مل من MEK مع 7 مايكروغرام/مل من التلوين .

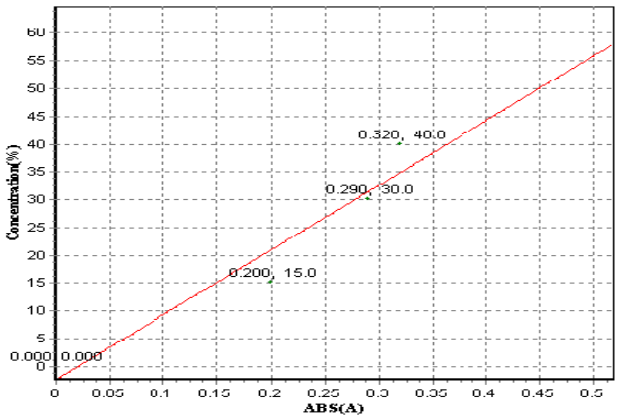
تشخيص المركبات العطرية والبرافينية في مقاطع زيوت التزييت:

1- تحضير منحنيات المعايرة

- ايجاد النسبة المئوية لكمية العطريات في زيت البرافين و مقدار الامتصاصية

جدول (2) النسبة المئوية لكمية العطريات في زيت البارافين ومقدار الامتصاصية

No.	Conc.	% Tran.	Abs.
1	0.0	100.1	0.0
2	15	63.1	0.2
3	30	51.3	0.29
4	40	47.9	0.32



شكل (2) منحني المعايرة للنسب المئوية لكمية العطريات في زيت البرافين.

والمعادلة التالية توضح كيفية حساب نسبة العطريات:

$$CA\% = 116.650 \times Abs - 2.371$$

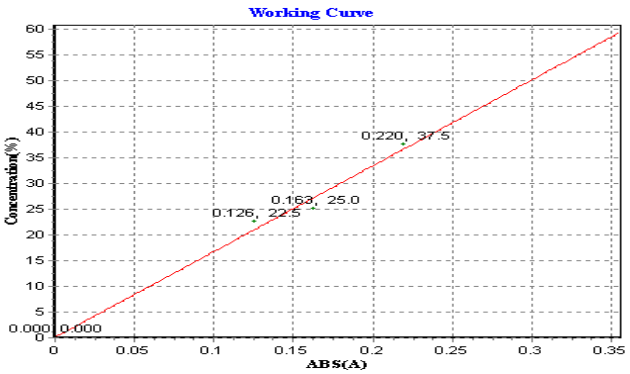
Correlation = 0.9192 vol %

- ايجاد النسبة المئوية لكمية البارافينات في زيت البرافين

حساب مقدار الامتصاصية من خلال طيف الاشعة تحت الحمراء لنماذج قياسية تم تحضيرها مختبريا.

جدول (3) نسبة البارافينات في زيت البرافين.

No.	Conc.	%Tran.	Abs.
1	0.0	100.0	0.0
2	22.5	74.8	0.126
3	25	68.7	0.163
4	37.5	60.3	0.22



شكل (3) منحني المعايرة للنسب المئوية لكمية البارافينات في زيت البرافين

والمعادلة توضح كيفية حساب نسبة البارافينات.

$$CP\% = 166.590 \times Abs + 0.052$$

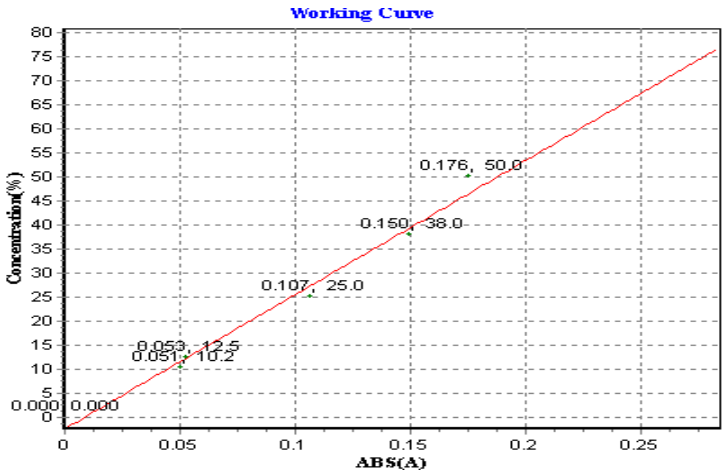
Correlation = 0.9895 vol %

- ايجاد النسب المئوية للعطريات في مقطع الكيروسين

حساب مقدار الامتصاصية من خلال طيف الاشعة تحت الحمراء.

جدول (4) النسب المئوية للعطريات في الكيروسين

No.	Conc.	%Tran.	Abs.
1	0.0	100.0	0.0
2	10.2	88.9	0.051
3	12.5	88.5	0.053
4	25	78.2	0.107
5	38	70.8	0.150
6	50	66.7	0.176



شكل (4) منحني المعايرة لكمية العطريات في مقطع الكيروسين

والمعادلة هي:

$$CA\% = 278.920 \times Abs - 2.347$$

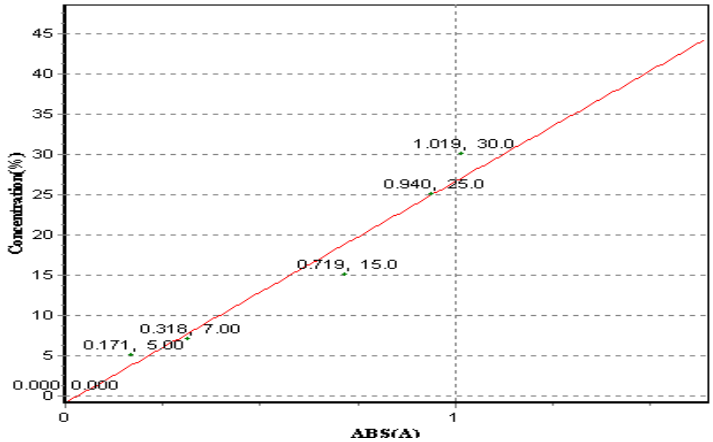
Correlation = 0.9842 vol %

- ايجاد النسب المئوية الـ m-xylene مع زيت البارافين

تم مزج نسب مختلفة من ميتا زايلين مع زيت البارافين لحساب تركيز الميتا زايلين القياسي.

جدول (5) النسب المئوية الـ m-xylene مع زيت البارافين

No.	Conc.	%Tran.	Abs.
1	0.0	100.0	0.0
2	5	67.5	0.171
3	7	48.1	0.318
4	15	19.1	0.719
5	25	11.5	0.94
6	30	9.6	1.019



شكل (5) منحني المعايرة m-xylene بواسطة جهاز IR .

$$Cmx\% = 27.465 \times Abs - 0.830$$

Correlation = 0.9613 vol %

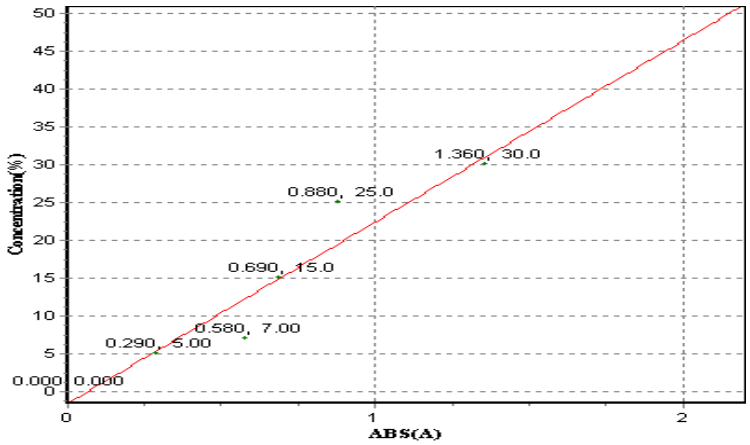
Cmx: يمثل تركيز الميتا زايلين

- ايجاد النسب المئوية الـ O-xylene مع زيت البارافين القياسي

تم مزج نسب مختلفة من الـ O-xylene مع زيت البارافين وايجاد معادلة المنحني القياسي بواسطة جهاز IR

جدول(6) النسب المئوية الـ O-xylene مع زيت البارافين

No.	Conc.	%Tran.	Abs.
1	0.0	100.0	0.0
2	5	51.3	0.29
3	7	26.3	0.58
4	15	20.4	0.69
5	25	13.2	0.88
6	30	4.4	1.36



شكل(6) منحني المعايرة الـ O -Xylene بواسطة جهاز IR.

$$Cox\% = 23.993 \times Abs - 1.529$$

Correlation = 0.9032 vol %

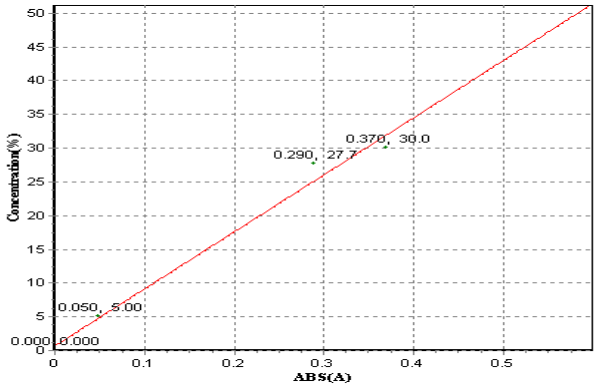
Cox: تمثل تركيز الاورثوزايلين

- ايجادالنسب المئوية الـ p-xylene بواسطة جهاز IR

تم مزج نسب مختلفة من الـ p-xylene مع زيت البارافين وايجاد معادلة منحني المعايرة

جدول (7) النسب المئوية الـ p-xylene بواسطة جهاز IR.

No.	Conc.	%Tran.	Abs.
1	0.0	100.0	0.0
2	5	89.1	0.05
3	27.7	51.3	0.29
4	30	42.7	0.37



شكل(7) منحني المعايرة p-xylene بواسطة جهاز IR .

Cpx :- تركيز البارازايلين .

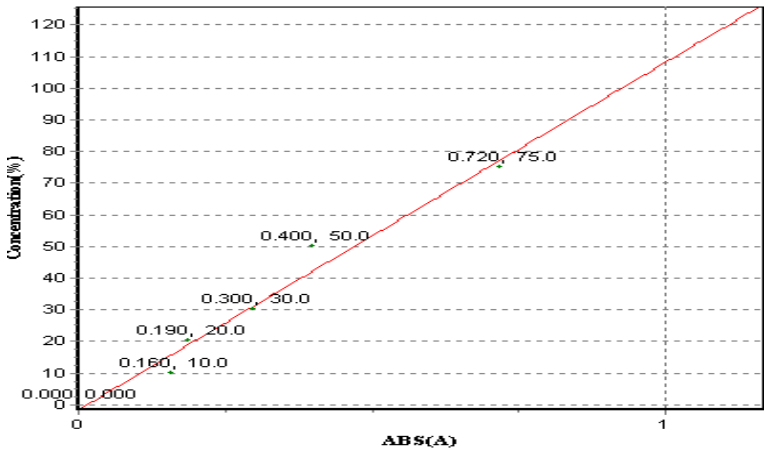
$$Cpx\% = 84.676 \times Abs + 0.645$$

Correlation: 0.9849 vol %.

- النسب المئوية لمادة MEK مع التولوين.

جدول(8) النسب المئوية لمادة MEK مع التلوين لحساب الاروماتيك.

No.	Conc.	%Tran.	Abs.
1	0.0	100.0	0.0
2	10	69.2	0.16
3	20	64.6	0.19
4	30	50.1	0.30
5	50	39.8	0.4
6	75	19.1	0.72



شكل(8) منحني المعايرة MEK من خلال مزج نسب مختلفة من التلوين مع MEK .

$$Toluene\% = 109.840 \times Abs - 1.569$$

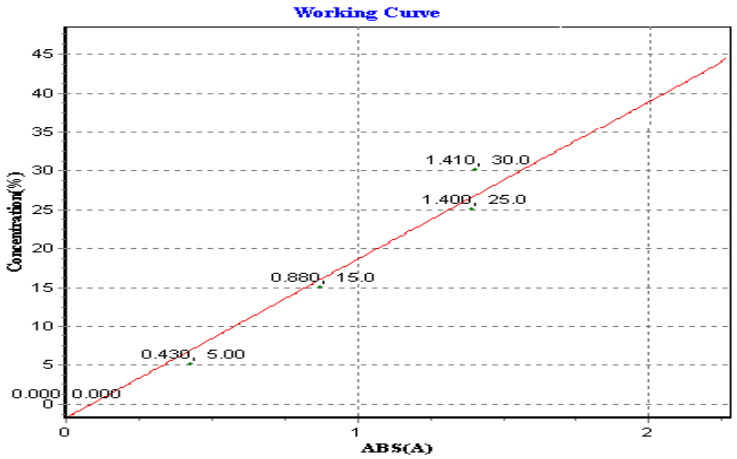
Correlation: 0.9716 vol %

- ايجاد النسب المئوية للامتصاصية MEK بواسطة IR.

تم مزج نسب مختلفة من التلوين مع مادة مثيل اثيل كيتون وقيست الامتصاصية لها بواسطة جهاز طيف الاشعة تحت الحمراء.

جدول(9) النسب المئوية الى MEK الناتجة من مزج التلوين مع MEK.

No.	Conc.	%Tran.	Abs.
1	0.0	100.0	0.0
2	5	37.2	0.43
3	15	13.2	0.88
4	25	4.0	1.40
5	30	3.9	1.41



شكل(9) النسب المئوية الى MEK الناتجة من مزج التلوين مع MEK.

$$MEK\% = 20.396 \times Abs - 1.807$$

Correlation : 0.9670 vol %

2- التطبيقات العملية لكل المركبات:

استخدمت عدة نماذج لحساب نسبة المواد العطرية والبارافينية والنفثينات والاولفينات للزيوت كتطبيق عملي على المعادلات الرياضية التي تم الحصول عليها من المنحنيات.

جدول (10) يوضح الجدول نسب المواد العطرية والبارافينية والاولفينات.

Sample(4)	Sample(3)	Sample(2)	Sample (1)	Test
3.228	0.2	Nil	Nil	نسبة المواد العطرية
80.06	48.69	74.35	33.1	نسبة البارافينات
16.712	51.11	25.65	66.9	نسبة النفثينات + الاولفينات

وفحصت عدة نماذج لزيوت التشحيم لتحديد المجموعات الوظيفية الاساسية وكانت النتائج كما مبينة في جدول (11) .

جدول (11) نماذج لزيوت التشحيم .

Test	Sample (1)	Sample(2)	Sample(3)	Sample(4)	Sample(5)
نسبة المواد العطرية	0.91	4.97	0.62	1.087	2.295
نسبة البارافينات	14.38	95.03	64.19	42.677	97.705
نسبة النفثينات + الاولفينات	84.71	Nil	35.19	56.236	Nil

وايضاً كتطبيق عملي للبحث لتقدير المجاميع الوظيفية لنماذج زيوت التزييت حيث قيست نسبة المواد العطرية والبارافينية والنفثينية لنماذج مختلفة من زيوت التزييت.

جدول (12) تقدير المجاميع الوظيفية لزيوت التزييت

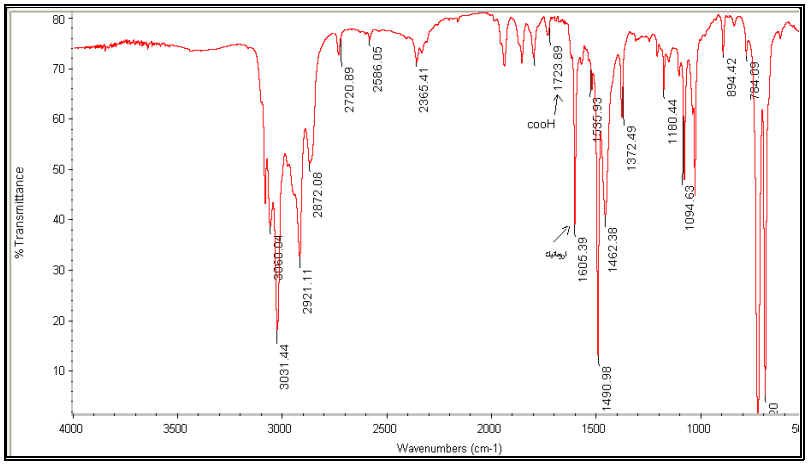
Test	Sample (1)	Sample(2)	Sample(3)
نسبة المواد العطرية	1.712	6.728	1.478
نسبة البارافينات	6.382	35.816	14.345
نسبة النفثينات + الاولفينات	91.906	57.456	84.177

فحصت نماذج أخرى لزيوت التزييت وحساب نسب المركبات العطرية (CA) والبارافينية (CP) والنفثينية (CN) وتم تحديد مكونات ثلاثة نماذج من زيوت تزييت مختلفة المناشيء كتطبيقات عملية على المعادلات الرياضية التي حصلنا عليها من المنحنيات القياسية وحسبت لها ايضاً الانحراف القياسي (SD) للنماذج وكانت نسبة الخطا تتراوح بين (0.8-4.3) والنتائج موضحة بالجدول (13).

جدول (13) نسب CA,CP,CN,SD لزيوت التزييت لنفس العينة .

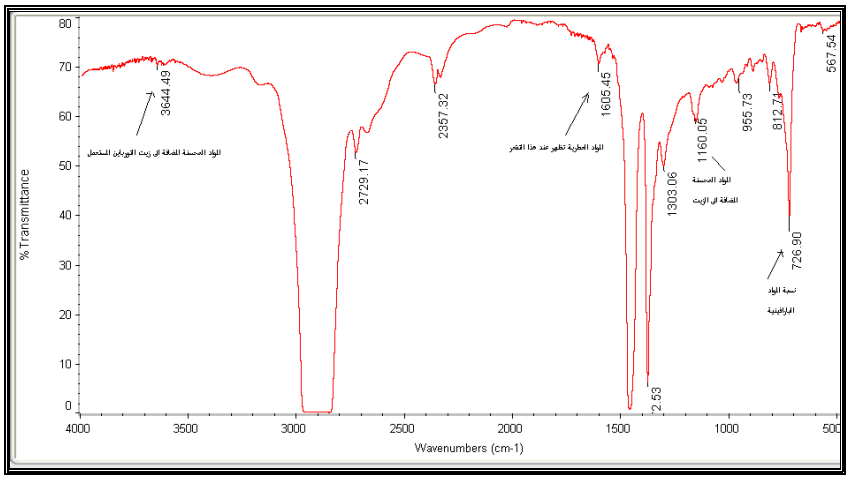
Sample / Test	1	2	3	SD
CA	2.15	2.768	2.229	2.3823 ±0.83554
CP	33.2	35.147	34.388	34.2450 ±2.43799
CN	64.65	62.085	63.383	64.0703 ±4.39295

وكتطبيق عملي في المختبر على زيت مستعمل يحتوي على محسنات مضافة غير مختفية تماماً بعد فترة الاستعمال وبهذا أصبح بالامكان تحديد صلاحية زيوت التزييت من خلال فحصها بطيف الاشعة تحت الحمراء وملاحظة وجود المحسنات وعدمها في الزيت كما في الشكل (10).



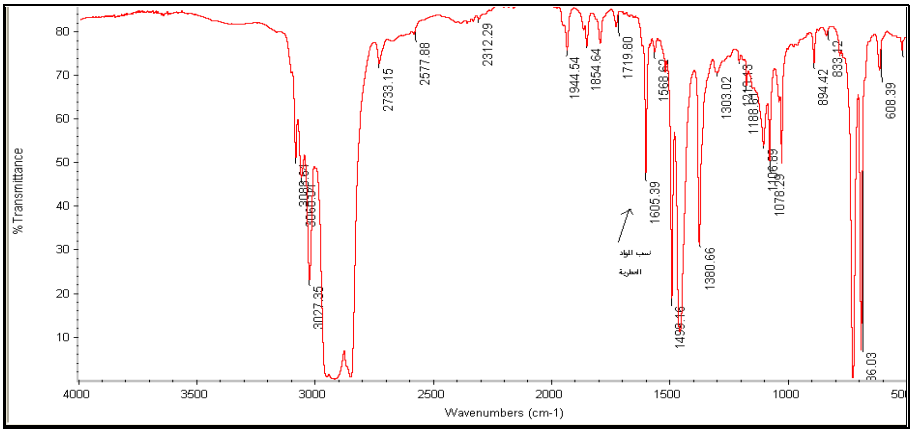
شكل (10) زيت مستعمل (زيت مخلفات التوربين) يحتوي على محسنات مضافة.

ولأجل ان يغطي البحث كافة المشتقات النفطية فقد تم أجراء عملية اذابة كمية من الاسفلت السيال بواسطة مذيب التولوين ومن ثم تحديد طيفه بواسطة الأشعة تحت الحمراء لتحديد أهم المجاميع الوظيفية التي يحتويها وكذلك الأسفلت المعامل لزيادة النفاذية كما مبين في الشكل (11).



شكل (11) اسفلت سيال مذاب بالتولوين

وكتطبيق عملي على المواد العطرية في الكيروسين يمثل هذا الشكل الاصرة **C=C** لطيف العطريات عند رقم الموجة $1610\ cm^{-1}$ وكما موضح في الشكل (12).



شكل (12) نسبة المواد العطرية في مقطع للكيروسين وتكون واضحة بحدود $1605cm^{-1}$.

❖ التطبيق العملي لحساب العطريات لمقطع كيروسين:

$$A = -\log(\%T/100) = \log(I_0/I)$$

$$A = log\frac{16.3}{13.1} = 0.094$$

Conc. = 278.920* 0.094 - 2.347

Conc. = 23.87 vol%

A: تمثل الامتصاصية

Conc: تركيز الامتصاصية

❖ تطبيق عملي لحساب نسب الزايلينات (ميتازايلين):

$$A = -\log(\%T/100) = \log(I_0/I)$$

$$A = \log \frac{13.6}{12.4} = 0.040$$

$$Conc. = 27.465 \times 0.040 - 0.830 \qquad \text{Conc. = 0.2686 vol\%}$$

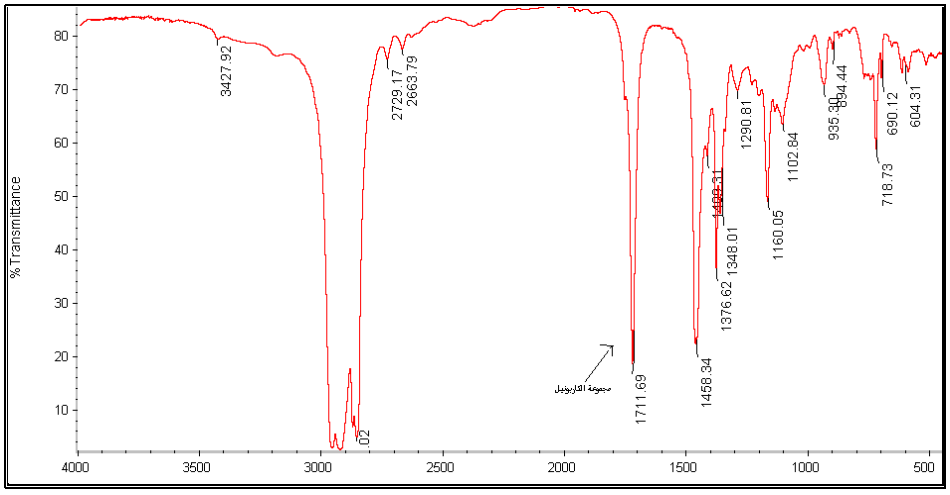
$$A = -\log(\%T/100) = \log(I_0/I)$$

$$A = Log \frac{12.6}{11.4} = 0.043$$

$$Conc. = 23.993 \times 0.043 - 1.529$$

Conc. = 0.4973 vol %

وكتطبيق عملي لمركبات مجموعة الكاربونيل لمادة المثيل اثيل كيتون فحصت هذه المادة وحددت مجموعة الكاربونيل كما في الشكل (13).



شكل (12) مجموعة الكاربونيل تظهر بحدود $1711.69\ Cm^{-}$

3- المقارنة بين نتائج جهازي IR & GC:

تم اجراء مقارنة بين نتائج جهازي IR & GC لعدة نماذج من الكيروسين وكانت نسبة المواد العطرية متقاربة بين نتائج الجهازين. وحسب لها الانحراف القياسي للنماذج ايضاً كما في الجدول رقم (14) وكانت نسبة الخطا لاتتجاوز 0.5 %.

جدول (14) نتائج المقارنة بين جهازي IR & GC.

Sample	Aromatic Conc. by IR	Aromatic Conc. by GC	S.D
1	4.6	4.3965	±0.124
2	11	11.6844	±0.34
3	17.528	18.63	±0.54
4	19.2	19.6	±0.2
5	10.5	12.5	±1.4

الاستنتاجات:

1. أن تقنية الاشعة تحت الحمراء ممكن ان تستخدم للتحليل الكمي اعتماداً على حساب طيف الامتصاص للمجاميع العضوية اعتمادا على قوانين لامبرت بير آخذين بعين الاعتبار نوع الخلية وسمكها وكيفية تحضير النموذج القياسي ليتوافق مع تراكيز المجموعات الوظيفية في العينات النفطية او المضافات والمذيبات .
2. لا تحتاج هذه التقنية الى مستلزمات كثيرة خلافا للاجهزة والطرق الاخرى .
3. تم اشتقاق المعادلات الرياضية للحسابات الكمية للمنحنيات القياسية وحسابها بجهاز الاشعة تحت الحمراء FTIR.
4. حساب النسب المئوية للمركبات البارافينية والعطرية والنفثينية في زيوت التزييت وتم حساب ايضاً النسبة المئوية للكيروسين وتحديد مجموعة الكاربونيل وكذلك الاولفينات .
5. من خلال النتائج التي حصلنا عليها من جهاز الاشعة تحت الحمراء ومقارنتها مع جهاز تحليل الـ GC كانت النتائج جداً متقاربة ونسبة الخطا في جميع النقاط لاتتجاوز 0.5%
6. تتميز الاشعة تحت الحمراء بالسرعة في انجاز التحليل والتشخيص المبكر للمجاميع العضوية التي تحتويها العينه وفي هذا البحث تم استخدام برنامج خاص بجهاز UV وهوUV-quantitative analysis window. والاستفادة من بعض خواص هذا البرنامج ليتم استخدامه بالتحليل الكمي بتقنية طيف الاشعة تحت الحمراء واشتقاق الموديلات الرياضية بواسطته وسهولة التعامل مع العينات على اختلاف انواعها وعدم تغير خواص النموذج بحيث يبقى النموذج محافظاً على مواصفاته.

المصادر:

1. M.K. Weldon, V.E. Marsico, Y.J. Chabal, D.R. Hamann, S.B. Christman and E.E. Chaban, Surf. Sci.

"Proceedings of the 8th Int'l conf. on Vibrations at Surfaces, in press "(1996).

2. Dr. Walt Volland, Bellevue Community College, BellevueWashington. "Organic Compound Identification Using Infrared Spectroscopy ", 1999.

3 . وسام قاسم الشالجي، كريم ثامر شنيهج، "التحليل الألي لاختصاص التحليلات الكيمياوية بمستوى الدبلوم الفني" الطبعة الاولى، بغداد، 1993م-1414هـ.

4. R. M. Silverstein, G. C. Bassler, and T. C. "Morrill, Spectrometric Identification of Organic Compounds ", 4th ed (New York: Wiley, 1981), 166.

5. Submitted by Matt . " Infrared Absorbance Spectroscopy (IR)" on July 19, 2011.

6. Dr. J. Cooke, Department of Chemistry, University of Alberta" ,Spectroscopy in Inorganic Chemistry (Theory)" 2005.