تحضير مواد فَعّالة سطحياً كاتيونية باستخدام زيت دوار الشمس

عدنان العزو، د. أيهم الجندي، د. خالد الطويل

قسم الصحة العامة وسلامة الغذاء – كلية الصيدلة – جامعة إدلب

الملخص:

من خلال هذه الدراسة تبين أنه يمكن تصنيع مواد فعالة سطحياً كاتيونية Cationic Surfactants، عن طريق فصل الأحماض الدسمة من الزيت النباتي بالحلمهة القلوية لإسترات الغليسرول، وإدخالها في سلسلة من التفاعلات الكيميائية (أسترة ميتانولية، يليها اصطناع ثنائي إيتانول أميد من خلال تفاعل الإستر الميتانولي مع ثنائي إيتانول أمين، ثم أسترة جديدة للزمر الكحولية بحمض عضوي نقي طبيعي المصدر للحصول على مركب إستر أميدي، يُحَوَّل في النهاية إلى ملح أمونيوم رباعي في وسط من غاز كلور الهيدروجين)، لتنتج لدينا مركبات كاتيونية ذات قوام دهني قادرة على خفض التوتر السطحي، وبتكلفة منخفضة إذا ما قورنت مع تلك المحضرة من مصادر صناعية.

تجاوز مردود التفاعل الـ 85% في معظم مراحله، وقد أدى المركب النهائي إلى تخفيض التوتر السطحي للماء بمقدار 50% عند استعماله بتركيز 0.25gr/100ml.

الكلمات المفتاحية: مواد فعالة سطحياً، توتر سطحي، مواد كاتيونية، زيت دوار الشمس، مطيافية الأشعة تحت الحمراء (تحويل فوريه)، العدد الموجي، انحناء الرابطة، اهتزاز امتطاط.

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

Preparation of Cationic Surfactants Using Sunflower Oil

Adnan Elizzo, Dr. Ayham Aljunde & Dr. Khaled Altawil.

Department of General Health and Food Safety, Faculty of Pharmacy, Idlib University.

Abstract:

Through this study, it has been shown that cationic surfactants can be synthesized by separating fatty acids from a vegetable oil, and introducing them in a series of reactions (Methanolic Esterification, followed by Di-ethanol amide production through a reaction between the Methanolic Ester and Di-ethanolamine, then a new Esterification for the Hydroxylic groups by a pure and natural fatty acid, At the end, we can convert it to Quaternary Ammonium Salts in a presences of Hydrogen Chloride) resulting in cationic materials of Greasy texture and able to reduce surface tension at a low financial cost compared to those prepared from industrial sources.

The reaction yield has exceeded 85% in most of its stages. and the final compounds reduced the surface tension of water about 50% when it was used at 0.25gr/100ml concentration.

.**Keywords:** Surfactant, Surface tension, Cationic Substances, Sunflower Oil, Infra-Red Spectroscopy **(FT-IR)**, Wave Number, Bending Vibration, Stretching Vibration.

1- المقدمة:

تُعَدُّ صناعة المواد الفعالة سطحياً واحدة من أهم الصناعات الكيميائية، فقد تطورت بشكل مذهل خلال السنوات الأخيرة. إذ تعود صناعتها واستعمالها إلى ما قبل 2600 عام. إذ يعد الفينيقيون أول من صنع الصابون من مواد دسمة نباتية أو حيوانية مع قلوياتٍ أخذوها من رماد الأشجار أو من بعض النباتات.

ومع مرور الزمن تطورت طرق التصنيع وتنوعت المواد الأولية المستعملة بشكل كبير، فقد بلغ معدل الإنتاج العالمي 10 مليون طن عام 2007م، في حين تخطى عتبة الـ 2 مليون طن في العام 2011م، بقيمة تجارة عالمية تجاوزت 3.52 مليار دولار. ما يعكس الأهمية المنوطة بهذه المركبات ويبين مدى التطور في صناعاتها.
وقد أدى إطلاق المواد الفعالة سطحياً في المسطحات المائية ومياه الصرف الصحي إلى تكوين رغوة في البِرَك مؤدية إلى انخفاض مستوى الاوكسجين في الماء ما سبَّب تدهوراً في النظام البيئي المائي واضطراباً في الدورة المائية نتيجة إعاقة التبخر (Johnson et al., 2021) ما استدعى العمل لإيجاد مركبات بديلة تكون سهلة التدرك.

المواد الفعالة سطحياً: هي مواد تعمل على خفض التوتر السطحي بين سائلين، أو بين طورين (سائل وصلب، أو سائل وغاز).

2- أهمية العوامل الفعالة على السطح:

للعوامل الفعالة على السطح استخدامات في مجالات متنوعة، كما في:
2-1- **صناعة المنظفات:** ذات الأنواع المختلفة التي توفر الوقت والجهد في عمليات الغسيل وإزالة الملوثات.
2-2- **الصباغة والدباغة:** إذ تعمل على تشتيت الاصبغة ضمن محلول الصباغة، وتساعد على تعديل الكهرباء الساكنة للخيوط المستعملة، فتزيد ليونة الاقمشة. وفي الدباغة تشكل العوامل الفعالة على السطح طبقة واقية على الفِراء، وتمنع التصاق الألياف

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

ببعضها، وتعمل على إبقائها مرنة أثناء عمليات الشد التي يتعرض لها الجلد.

2-3- **مواد التجميل والعناية بالبشرة:** يتم مزج الزيوت والمركبات الدهنية المستعملة في الصناعات التجميلية مع مواد فعالة سطحياً لتسريع عملية امتصاص هذه المركبات.

2-4- **صناعة الدهانات ومواد الطلاء:** إذ إن إضافة المواد الفعالة على السطح أثناء طحن المواد اللاعضوية الصباغية يخفض الجهد اللازم للطحن والتنعيم بمقدار 75%.

2-5- **صناعات أخرى مختلفة:** ففي الصناعات الدوائية تساهم في تشكيل مستحلبات للمادة الفعالة ضمن السواغات، كما تضاف في الصناعات الغذائية كمحسِّنات لبعض المنتجات (إسترات السكروز: تزيد طراوة الخبز والمعجنات). كما تدخل في صناعة الورق ومنتجات السيللوز وفي صناعة المبيدات الحشرية (الجندي، 2016م، ص11-13).

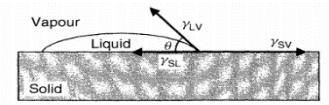
الجدول رقم (1) :يوضح أنواع العوامل الفعالة على السطح وأهم استخداماتها

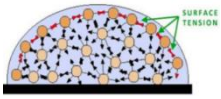
نوع العامل الفعال على السطح	مثال	الاستخدام
Nonionic	إيتوكسيلات الكحول الأليفاتية ، مركبات البولي اوكسي إيتيلن ، ال span	تشكل 45% من مجمل منتجات العوامل الفعالة على السطح ، **وتعمل كعوامل مبللة في الطلاءات ، وفي المكونات الغذائية**
Anionic	ألكيل سلفات ، صوابين ، تيكسابون	تشكل 50% من مجمل المنتجات الفعالة سطحياً ، **منظفات ، سوائل الجلي ، شامبوات**
Cationic	أملاح الأمونيوم الرباعية	تستخدم بالمشاركة مع العوامل الفعالة سطحياً الغيرشاردية ، **كمنعمات للمنسوجات ومضافات لتعديل الكهرباء الساكنة** .
Zwitterionic	البيتائينات ، أمفوأسيتات	مكلفة ، **لها استخدامات خاصة في مجال مستحضرات التجميل**

3- آلية عمل العوامل الفعالة سطحياً:

تتعرض الجزيئات الداخلية في السوائل لقوى تجاذب متساوية من كافة الاتجاهات (كقوى فاندرفالس وعزم ثنائي القطب) في حين تعاني جزيئات الطبقة السطحية من قوى

جاذبة سفلية وجانبية فقط. أي أن التوتر السطحي للسوائل ينشأ عن عدم التوازن بقوى الجذب على جانبي الطبقة السطحية مؤدياً إلى انكماش فيها نحو الأسفل. إن الأثر الذي تقوم به العوامل الفعالة على السطح يتمثل بشدة بتخفيض التوتر السطحي وزيادة التبلل.

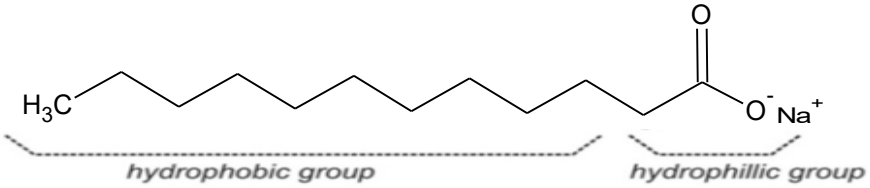




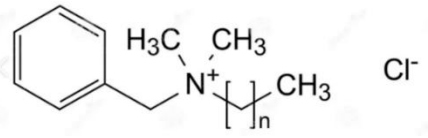
شكل رقم (1) يبين ظاهرة التوتر السطحي والاختلاف في درجة التبليل نتيجة إضافة المواد الفعالة سطحياً

4- تصنيف العوامل الفعالة سطحياً اعتماداً على نوع الرأس:

4-1- Anionic Surfactants (سالبة): مركبات ذات رأس قطبي مشحون سلبياً. وتُعَدُّ الكربوكسيلات العوامل السالبة الفعالة على السطح الأكثر استعمالاً على شكل أملاح صوديوم أو بوتاسيوم (صوابين).



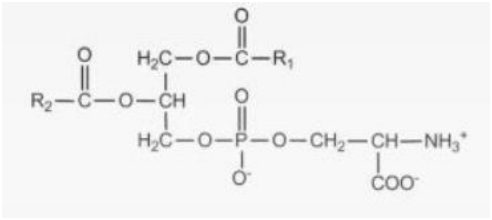
4-2- Cationic Surfactants (موجبة): لهذا النوع من المركبات رأس ذو شحنة إيجابية. وهي ذات تأثير خافض للتوتر السطحي عند درجات الحموضة PH المختلفة. كما أنها تملك خواصاً مضادة للكهرباء الساكنة، منعمة للألياف والشعر ومضادة للبكتيريا. أهم الأمثلة على هذا النوع من المركبات الفعالة سطحياً: أملاح الأمونيوم الرباعية.



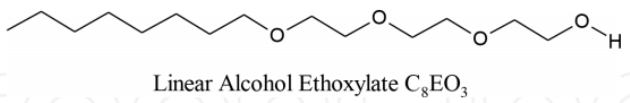
370 تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

4-3- **Zwitterionic Surfactants (مذبذبة):** تملك مراكز مشـــحونة إيجابياً وأخرى مشحونة سلبياً متصلة بنفس الجزيئة. ومن ثَمَّ تتغير شحنتها بتغير PH الوسط.

مثالها: Phosphatidyl Serine



4-4- **Nonionic Surfactants (لاقطبيـة):** تملـك مجموعـات رأس قطبية غير مشـــحونة ذات ألفة عالية للماء مرتبطة بذيول كربونية كما في الإيترات، الأغـــــوال، وســـلاســـل



(Barman, & Banjare, 2024, ،(Biermann et al., 1987) Polyoxyethylene .p.181-199)

5- مشتقات الحموض الدسمة كعوامل فعالة سطحياً:

تعدُّ مشتقات الحموض الدسمة مركبات واعدة من حيث الفعالية السطحية والخصائص المضادة للجراثيم. إذ إنها تخرب الغشاء الخلوي الجرثومي مسببة بذلك تثبيطاً للنمو الجرثومي (Yoon et al., 2018). ومن ثمَّ يمكن الاستفادة من بنيتها كمركبات صديقة للبيئة في تحضير مركبات مهمة ذات استعمالات صناعية وحيوية متعددة.

6- زيت دوار الشمس Sun-Flower oil:

تزرع بذور دوار الشمس في الأراضي المروية. وتعتبر مصدراً غذائياً بشكلها النيء والمحمص، كما يمكن استخراج الزيت منها بطريقة العصر أو بالمذيبات.

ولزيت بذور دوار الشمس خاصية الغنى بالحموض الدسمة متعددة عدم الإشباع ذات الفوائد الصحية والعلاجية العالية (Akkaya, 2018).

الجدول رقم (2): يوضح نسب أهم الحموض الدسمة في زيت دوار الشمس

Fatty acids	Sunflower oil (%) (standard)	Sunflower oil (%) (mid-oleic acid)	Sunflower oil (%) (high-oleic acid)
Palmitic acid	5.0 – 7.6	4.0 – 5.5	2.6 – 5.0
Stearic acid	2.7 – 6.5	2.1 – 5.0	2.9 – 6.2
Oleic acid	14.0 – 39.4	43.1 – 71.8	75.0 – 90.7
Linoleic acid	48.3 – 74.0	18.7 – 45.3	2.1 – 17.0
Linolenic acid	0 – 0.3	0 – 0.5	0 – 0.3

7- الدراسات المرجعية Referance Studies:

- في العام 2007م نُشِر بحث أجراه كل من Sawer Ahmad، Cheng Hock Chuah و Choy Sin Lee في مجلة الجمعية الأمريكية لكيميائيي الزيوت Journal of the American Oil Chemists' Society العدد 84، شرحوا فيه طريقةَ لاصطناع ثنائي إيتانول الأميد انطلاقاً من زيت النخيل المكرر بتفاعله مع ثنائي إيتانول أمين (DEA) بنسبة مولية 1:3 مع التسخين لمدة 5 ساعات عند $110^{\circ}C$.

- وفي العام 2014م قام كل من Jie Zhang, Dan Cai, Shanshan Wang, Ying Tang, Zhao Zhang, Ya Liu, Xiaoqing Gao بنشر بحث بعنوان "Efficient method for the synthesis of fatty acid amide from soybean oil methyl ester catalysed by modified CaO" في مجلة الهندسة الكيميائية الكندية، العدد 92، الجزء 5 شرحوا فيه طريقة تحضير أميدات الأحماض الدسمة انطلاقاً من إستر متيل أحماض زيت فول الصويا بتفاعله مع إيتانول أمين بوجود CaO كمحفز مع التسخين 115– 125°C والتحريك المستمر، فكانت نسبة التحول 96.3% –80.2.

- وفي العام 2014م نشر الباحث Adewale Adewuyi بحثاً في المجلة العربية للكيمياء بعنوان "Synthesis and surface-active property of diethanolamide

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

and epoxidised diethanolamide surfactant from the seed oil of Baphia nitida" شـرح فيه طريق اصـطناع ثنائي إيتانول أميد وإيبوكسـيد ثنائي إيتانول أميد من زيت بذور نبات *Baphia nitida* (وهو نبات استوائي). إذ تم التفاعل بوجود فوق أوكسيد فورميك أسيد و DEA وزيت نبات *B.nitida*.

- في العام 2021م نشـــر الباحث Chairuddin في مجلة الموارد الكيميائية الطبيعية الجزء 3، العدد 02 بحثاً بعنوان:

"Synthesis of Cationic Surfactant N, N-(2-Laurate-Ethyl) Stearamidium Chloride" شـرح فيه بشـكل مفصـل طريقة اصـطناع مركب أمونيوم رباعي على شـكل مركب إستر–أميديوم انطلاقاً من الإستر المتيلي لحمض الشحم إذ تم التفاعل مع (DEA) بوجود محفز شـديد القلوية من ميتوكسـيد الصـوديوم والتسـخين إلى 80-90°C مع التحريك المسـتمر لمدة 5 سـاعات، ثم أسـترة الأميد الناتج مع حمض اللوريك وتحويله إلى QAS بتفاعله مع غاز كلور الهيدروجين بمردود تفاعل يقارب 90%.

- وفي العام 2023م تم نشـــر بحث في جامعة Pembangunan Nasional قسـم الهندســـة الكيميائية / كلية التكنولوجيا الصـــناعية في إندونيســـيا بعنوان "Synthesis of Diethanolamide Surfactant from Palm Oil by Esterification and Amidation Processes" تحدث فيه الباحث عن طريقة تحضـير ثنائي إيتانول أميد من زيت النخيل بتفاعله مع الميتانول بوجود حمض الكبريت لتشكيل إسترات الميتانول التي تمت مفاعلتها مع DEA بوجود محفز هيدروكسـيد الصـوديوم. وقد تبين أن أعلى نسـبة تحول بلغت 68.95% وذلك عند إجراء التفاعل بنسبة مولية [1:5] من [DEA: متيل إستر].

8- القسم العملي Practical part:

8-1- المواد Materials:

زيت دوار الشمس – هيدروكسيد البوتاسيوم – حمض كلور الماء 37% – فينول فتالئين– إيتانول 95% – ميتانول مطلق – حمض الكبريت المركز – ثنائي إيتانول أمينDEA – إكسايلين – ثنائي إيتيل إيتر – ن,هكسان – بلورات هيدروكسيد الصوديوم – ماء مقطر – أوليك أسيد نقي – ملح كلور الصوديوم مخبري.

8-2- الأدوات Tools:

ميزان إلكتروني حساس (0.000gr) - زجاجيات متنوعة، جهاز FT-IR نوع BIOBASE (RS-01 ATR)، صفائح ألمنيوم مغطاة بطبقة سيليكا (TLC)، أنابيب شعرية، مصباح أشعة فوق البنفسجية، مبخر دوار نوع (SUCHI) مزود بجهاز تخفيض للضغط من نفس الموديل، ورق ترشيح، هاون بورسلان، سخان كهربائي مزود بمحرك مغناطيسي.

8-3- الطرائق The Methods:

8-3-1- توصيف الزيت Oil Description:

8-3-1-1- قرينة الحموضة الحرة Free Acidity value:

قيمة تمثل عدد ميليغرامات هيدروكسيد البوتاسيوم اللازمة لتعديل الحموض الحرة الموجودة في غرام واحد من الزيت.

ويمكن قياسها عن طريق: وضع وزن 5gr من الزيت في أرلينماير وإضافة 25ml من الكحول الإتيلي 95% ثم تسخن على حمام مائي لمدة 5 دقائق حتى تمام الانحلال، ويبرد المزيج ثم يضاف نقاط من كاشف لوني (مشعر الفينول فتالئين) ونعاير باستعمال محلول قلوي من KOH (0.1N) حتى انقلاب اللون. وتتم معايرة تجربة شاهدة باستعمال نفس الكميات من المحاليل بدون إضافة الزيت. وتحسب قرينة الحموضة الحرة من خلال العلاقة التالية (كاخيا،2017م، 85) و (Nielsen, 2010):

$$\text{قرينة الحموضة الحرة (mgKOH/gr)} = 56.1 \times N \times (X - Y)/W$$

حيث Y: حجم الكاشف الذي تم استهلاكه في معايرة الشاهد مقاساً بالـ ml.

X: حجم الكاشف الذي تم استهلاكه في المعايرة في التجربة مقاساً بالـ ml.

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

W: وزن العينة المستعملة مقاساً بالـ gr.

N: تركيز KOH بالنظامي.

***56.1* : الوزن الجزيئي لـ KOH.**

8-3-1-2- قرينة التصبن Saponification value:

عدد الميلي غرامات من هيدروكسيد البوتاسيوم اللازمة لتصبين غرام واحد من المادة الدسمة.

ولتعيين قرينة التصبن يتم وزن 5gr من المادة الدسمة في حوجلة سعة 250 ml مجهزة بمبرد عكوس، ثم تضاف كمية زائدة من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (0.5 N) KOH الكحولي، ثم نسخن لمدة ساعة عند الدرجة $80 - 90^{\circ}C$.

ثم نضيف عدة نقاط من مشعر الفينول فتالئين ونعاير الفائض من هيدروكسيد البوتاسيوم الكحولي بواسطة محلول (0.5N) HCl حتى انقلاب اللون. وتتم معايرة تجربة شاهدة باستعمال نفس الكميات من المحاليل بدون إضافة الزيت. وتُحسَب قرينة التصبن من خلال العلاقة التالية (كاخيا،2017م، 87) و(Nielsen, 2010):

$$\text{قرينة التصبن (mgKOH/gr)} = 56.1 \times N \times (A - B)/W$$

حيث A: حجم الكاشف الذي تم استهلاكه في معايرة الشاهد مقاساً بالـ ml.

B: حجم الكاشف الذي تم استهلاكه في المعايرة في التجربة مقاساً بالـ ml.

W: وزن العينة المستخدمة مقاساً بالـ gr.

N: تركيز KOH بالنظامي.

***56.1* : الوزن الجزيئي لـ KOH.**

8-3-2- فصل الأحماض الدسمة من الزيوت:

وزنت كمية 20gr من الزيت في حوجلة سعة 250ml وأضيف لها كمية فائضة من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (0.5N)، وتمت عملية التصبن بالتسخين على حمام مائي مع وجود مبرد عكوس والتحريك المستمر لمدة ساعة.

وكانت النتيجة الحصـــول على مزيج يحتوي أملاح البوتاســـيوم للأحماض الدســـمة مع الغليسيرين وفائض المحلول القلوي إضافة إلى باقي مكونات الزيت غير القابلة للتصبن.

في المرحلة الثانية: تمت عملية فصـــل الصـــابون (الملح البوتاســـي للأحماض الدسمة) عن طريق غسل المزيج الناتج بمحلول مشبع لملح كلور الصوديوم مراتٍ عدة وأخيراً تمت استعادة الحموض بإضـافة حمض كلور الماء المركز حتى انقلاب لون ورقة عباد الشمس من اللون الأزرق إلى اللون الأحمر الوردي.

8-3-3- اصطناع إسترات متيل الاحماض الدسمة:

تم وضــع 20gr من المســتخلص الســابق (مزيج الحموض الدســمة) في حوجلة ســعة 250ml وأضــيف لها 10ml ميتانول 99.9% ، ثم أضــيف لها 1ml من حمض الكبريت المركز، ورُكِّب المبرد العكوس، ووضـــعت الحوجلة ضـــمن حمام مائي، والبدء بالتسخين على سخان كهربائي مع التحريك المستمر باستعمال المحرك المغناطيسي عند درجة حرارة $80 - 90^{\circ}C$ لمدة ساعة.

بعد ذلك تم وقف التسـخين وتبريد الحوجلة، ومن ثم غسـل المزيج بالماء المقطر عدة مرات، وطرح الطور المـائي الحـاوي على حمض الكبريـت وفـائض الميتـانول. ثم تُخُلِّصَ من بقايا الميتانول والطبقة المائية بالتقطير عند $100^{\circ}C$ للحصـول على الإسـتر الميتانولي الناتج. فتكون معادلة التفاعل على الشكل الآتي:

$$R\text{-}COOH + CH_3OH \xrightarrow[\Delta=80-90°c]{H_2SO_4} R - COOCH_3 + H_2O$$

8-3-4- اصطناع ثنائي إيتانول أميد انطلاقاً من الإستر الميتانولي السابق:

في حوجلة مزودة بمغناطيس تم وضـــع وزن 14.75gr (يكافئ 0.05mol) من الإســـتر الميتانولي وأضـــيف له وزن 9.75gr (يكافئ 0.093mol) من مركب DEA، ورُكِّبَ مبرد عكوس، وسُخِّن مع استعمال محرك مغناطيسي حتى وصول المزيج إلى درجة حرارة $100^{\circ}C$ إذ أُضـيف المحفز (ميتوكسـيد الصـوديوم NaOMe) مع اسـتمرار التحريك والتسخين عند $80 - 90^{\circ}C$ لمدة 5 ساعات (Zhang et al., 2014).

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

وبعد ذلك تُخَلِّص من الميتانول الناتج ومن فائض DEA باســـتعمال المبخر الدوار عند درجة حرارة $180^{\circ}C$ تحت ضـغط مخفف ($\approx 60_{mmHg}$) للحصـول على مركبات ثنائي إيتانول أميد الأحماض الدسمة ذات القوام السائل الزيتي بلون أصفر كريستالي. إذ حُصِل على 17.1gr(بمردود 93%) ومن ثَمَّ فمعادلة التفاعل هي:

$$R-COOCH_3 + HN(CH_2CH_2OH)_2 \xrightarrow[80-90^{\circ}c]{NaOMe} R\text{-}CON(CH_2CH_2OH)_2 + CH_3OH$$

8-3-5- أسـترة الأميد (اصـطناع ثنائي أوليات ثنائي إيتانول أميد الحموض الدسمة):

وُضِـــع وزن (28.2gr) يكافئ 0.1mol من حمض الأوليك في حوجلة ثلاثية الفتحة مرتبطة بمبرد عكوس مع تمرير غاز N_2، ثم أضـــيف لها وزن 18.4gr (مكافئ لـ 0.05mol) من ثنائي إيتانول الأميد المحضـر المرحلة السـابقة و40ml من مذيب الكزايلين و1ml من حمض الكبريـت المركز. وسُـــخِّن بين درجتي حرارة $(140-150^{\circ}C)$ مع التحريك المســتمر لمدة 5 ســاعات. ثم بُرِّد المزيج الناتج لمدة 12 ســاعة إذ كان الناتج 45.2gr ثنائي أوليات الإيتانول أميد (بمردود 97%) على شـكل سـائل دهني القوام بلون بني غامق. ويمكن تمثيل التفاعل الحاصل بالمعادلة الآتية:

$$R\text{-}CON(CH_2CH_2OH)_2 + 2\,\acute{R}\text{-}COOH \xrightarrow[\Delta=140-150^{\circ}c]{H_2SO_4} R\text{-}CON(CH_2CH_2OCO\acute{R})_2 + 2\,H_2O$$

8-3-6- تحضير العامل الفعال سطحياً الكاتيوني QASs من الإسترأميد:

في حوجلة ثلاثية الفتحة وُضِـع 100gr من ملح كلور الصـوديوم المخبري ثم رُكِّب جسـر زجاجي يصل بينها وبين الحوجلة الحاوية على مركب الإسترأميدي المذاب في الهكسان، ثم أضـيف حمض الكبريت المركز ببطء فوق ملح كلور الصـوديوم إذ حدث تفاعل تحرر فيه غاز كلور الهيدروجين HCl الذي انتقل عبر الجســـر الزجاجي إلى الحوجلة الأخرى ليتفاعل مع الإســـتر أميد مكوناً ملح امونيوم رباعي QAS. وكانت معادلات التفاعل الأخير وفق التالي:

$$H_2SO_4 + 2\text{NaCl} \rightarrow 2\,HCl\uparrow + Na_2SO_4$$

$$R\text{-}CON\left(CH_2CH_2OCO\acute{R}\right)_2 + HCl \rightarrow R\text{-}CONH^+\left(CH_2CH_2OCO\acute{R}\right)_2 + Cl^-$$

9 - النتائج Results:

9-1- بحساب قرينة الحموض الحرة لزيت دوار الشمس كانت كالآتي:

قرينة الحموضة الحرة (mgKOH/gr) $= 56.1 \times N \times (X - Y)/W$

$$= 56.1 \times 0.1 \times \frac{(1-0)}{5} = 1.12 mg/gr.$$

9-2- وبحساب قرينة التصبن لزيت دوار الشمس كانت النتيجة:

قرينة التصبن (mgKOH/gr) $= 56.1 \times N \times (A - B)/W$

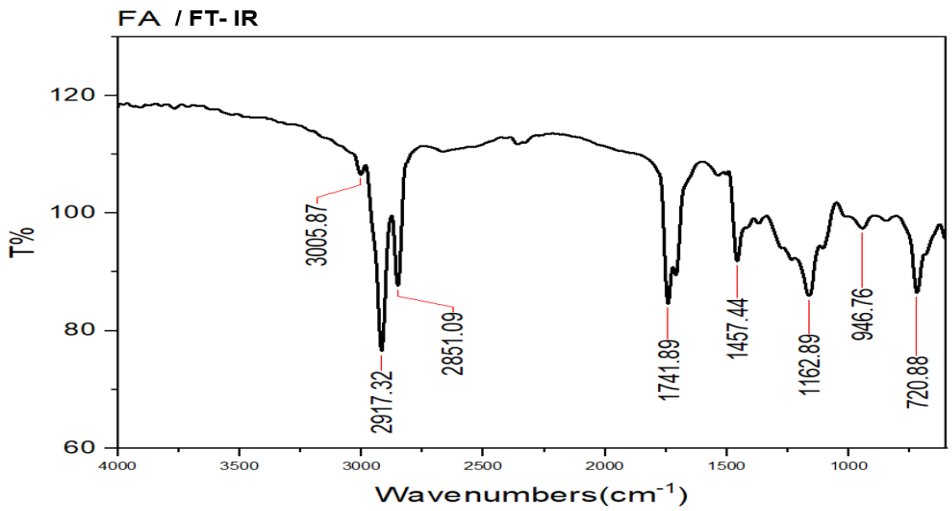
$$= 56.1 \times 0.5 \times \frac{(20-5.5)}{2.062} = 197.25 mg/gr.$$

بالعودة إلى القيم المحسوبة لقرينة الحموضة وقرينة التصبن نجد أن الأرقام التجريبية أعلى قيمةً من القيم المرجعية، لأن العينات المدروسة هي من مصادر تجارية لم يُراعى في تحضيرها وحفظها الشروط البحثية (El Kady et al., 1993) إذ تقدر قرينة الحموضة الحرة لزيت دوار الشمس المكرر والمعامل بمواد التبييض وإزالة الرائح بـ0.3-0.6mg/gr ، في حين تبلغ قيمة قرينة التصبن المرجعية 188-194mg/gr.

9-3- تأكيد هوية الأحماض الدسمة المستخلصة:

أُجرِيَ تفاعل التصبن، ثم فصل الطور العضوي عن الطور المائي وغسل الطور العضوي بمحلول مشبع من كلوريد الصوديوم مرات عدة، ثم مسح طيف FT-IR لمزيج الحموض الناتجة فكان المخطط الموضح بالشكل الآتي:

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

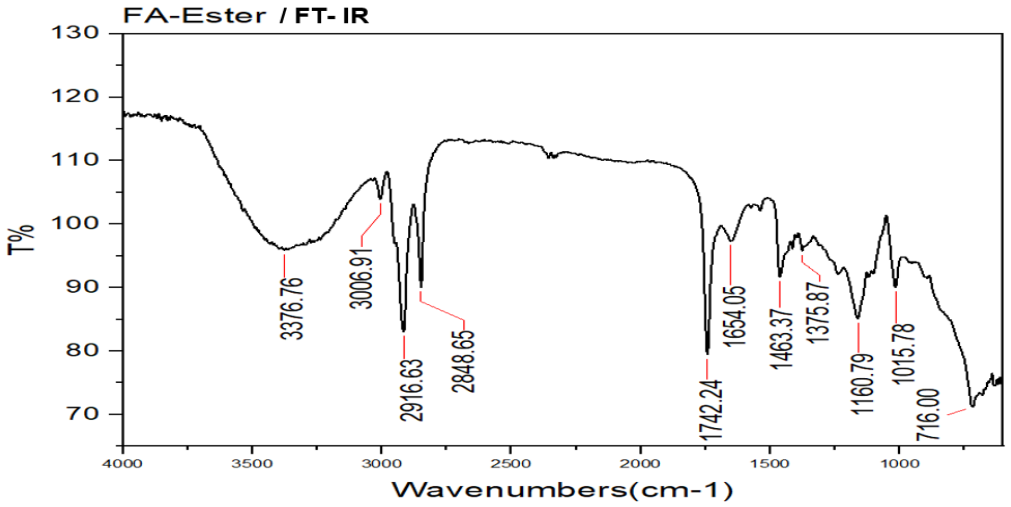


المخطط رقم (1) يظهر طيف FT-IR لمزيج الأحماض الدسمة المستخلصة من زيت دوار الشمس

يُظهر المخطط السابق قمة امتصاص عند العدد الموجي $1741.89cm^{-1}$ وهي تعود لاهتزاز انحناء الرابطة C=O الكربوكسيلية، كما يشير وجود القمة عند العدد الموجي $1162.89cm^{-1}$على امتطاط الرابطة C-O الكربوكسيلية والقمة $1117.22cm^{-1}$ على وجود الرابطة O-H الكربوكسيلية. في حين دل وجود القمم الحادة عند الأعداد الموجية $2851.09cm^{-1}$ و$2917.32cm^{-1}$ على وجود الرابطة C-H ذات التهجين sp^3، والقمة عند$3005.87cm^{-1}$ دليل على وجود الروابط المضاعفة من نوع C=C-H ضمن بنية بعض الأحماض الدسمة في المزيج. ومن ثَمَّ فإن النتيجة المتوقعة هي وجود الأحماض الدسمة في مزيج الاستخلاص المدروس.

9-4- اصطناع إستر متيل الأحماض الدسمة:

اصطُنِع بتفاعل الحموض الدسمة المستخلصة في المرحلة السابقة مع فائض من الميتانول في وســـط من حمض الكبريت المركز مع التســـخين عند $80-90°C$ بوجود المبرد العكوس مع التحريك المستمر، ثم التخلص من الطور المائي. بعد ذلك تمت عملية مسحٍ ودراسة لطيف الامتصاص IR للمزيج، فكان المخطط الآتي:



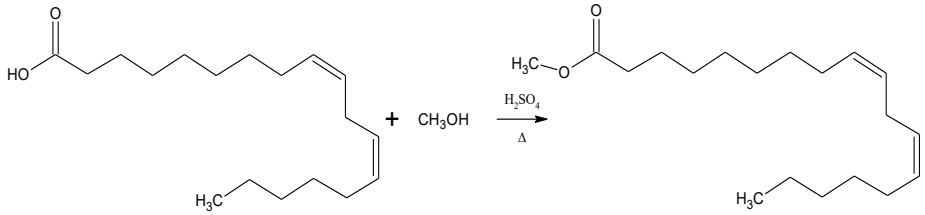
المخطط رقم (2) يظهر طيف FT-IR لمزيج من إسترات المتيل للأحماض الدسمة المستخلصة من زيت دوار الشمس

ومن خلال تفسير طيف الـFT-IR نجد: القمة عند الأعداد الموجية $2916.63cm^{-1}$ و$2848.65cm^{-1}$ تدل على اهتزاز امتطاط الرابطة C-H ذات التهجين sp^3 ، والقمة الحادة عند $1742.24cm^{-1}$ مميزة للرابطة الإسترية، بينما القمة عند $1654.05cm^{-1}$ تشـــير إلى وجود اهتزاز امتطاط للرابطة C=C، ونجد قمة عند $1160.79cm^{-1}$ تدل على امتطاط الرابطة C-O الإســترية، والقمة عند $3006.91cm^{-1}$ ناتجة عن المتطاط الرابطة C-H المجاورة للرابطة المضـــاعفة (-C=C-H)، أما القمة العريضـــة عند $3376.76cm^{-1}$ تشـــير إلى امتطاط الرابطة O-H والتي قد تكون بســـبب بقايا كحول متيلي أو رطوبة (وهذا مستبعد بسبب التخلص منهما بالتبخير عند درجات حرارة تجاوزت

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

$100^{\circ}c$)، بقي الاحتمال الثالث وهو الأقرب للواقعية والذي يتمثل بوجود بقايا من الاحماض الدسمة لم تتم أسترتها (ويعتبر هذا التفسير الأكثر قوة لأن تفاعل الأسترة عكوس.

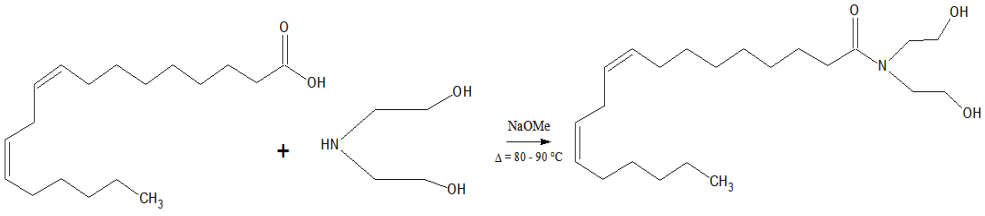
نستنتج مما سبق أن المركب الناتج في هذه المرحلة عبارة عن إستر عضوي مشوب بحمض دسم حر، ما يتوافق مع تفاعل الاصطناع المنشود في هذه المرحلة. كما هو موضح بالمعادلة:



المخطط رقم (3) يبين معادلة اصطناع الإستر المتيلي

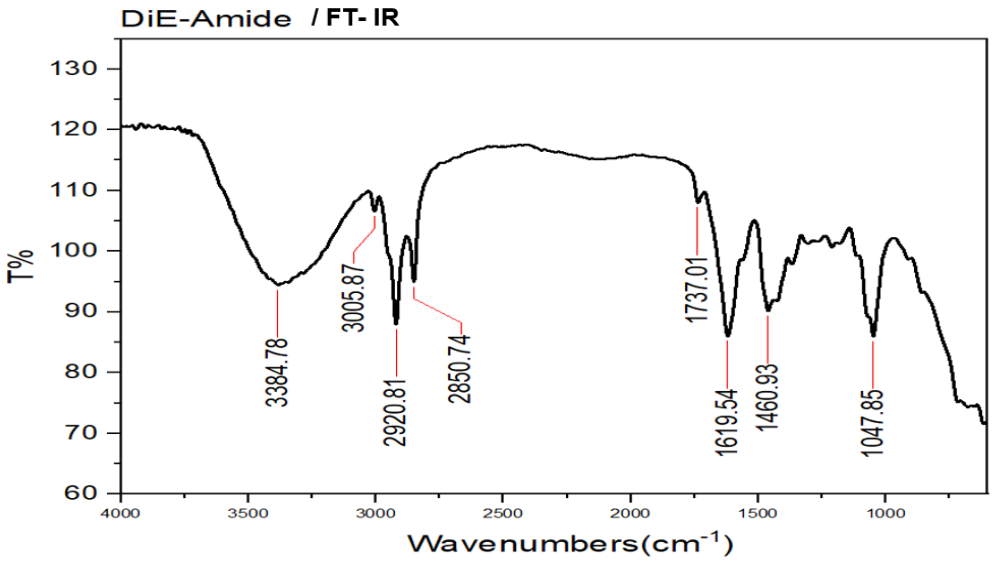
9-5- اصطناع ثنائي إيتانول أميد انطلاقاً من الإستر المتيلي:

تمت العملية من تفاعل الإستر الميتانولي مع فائض من مركب DEA بوجود محفز من ميتوكسيد الصوديوم مع استخدام مبرد عكوس والتسخين إلى 80–90°c مع التحريك المستمر لمدة 5 ساعات. ثم تم التخلص من الميتانول ومن فائض DEA باستعمال المبخر الدوار عند 180°c وضغط مخفف ($\approx 60_{mmHg}$).



المخطط رقم (4) يبين معادلة اصطناع ثنائي إيتانول أميد

بعد ذلك تمت عملية مسح ودراسة لطيف الامتصاص IR لنواتج التفاعل فكانت النتيجة موضحة بالمخطط رقم (5) إذ تمت دراسة الطيف بهدف تفسير الأعداد الموجية التي ظهرت عندها القمم. فكان التفسير المقترح كالآتي:



المخطط رقم (5) يظهر طيف FT-IR لمزيج ثنائي إيتانول أميد للأحماض الدسمة المستخلصة من زيت دوار الشمس

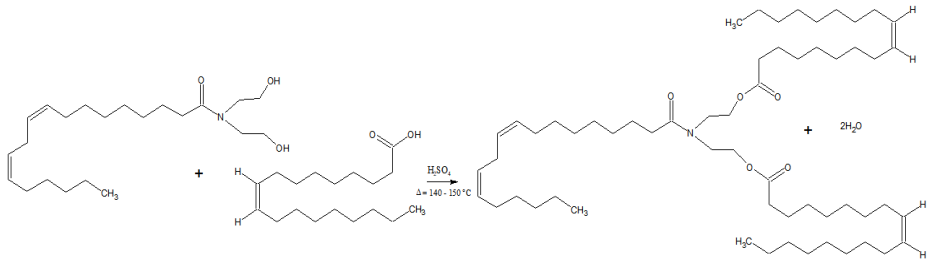
إن وجود حزم امتصـــــاص عنـد العـدد الموجي $3384.78cm^{-1}$ توافق وجود زمر الهيـدروكســـيـل وامتطـاط الرابطـة O-H إذ ترافق وجود هـذه القمـة مع القمـة عنـد $1365cm^{-1}$ الناتجة عن انحناء الرابطة O-H، ويتأكد هذا التوصـــيف بوجود القمة عند $1047.85cm^{-1}$ التي تعود لاهتزاز الرابطـة C-O في الكحول الأولي، والقمـة عنـد $1619.54cm^{-1}$ تعود لاهتزاز امتطـاطي للرابطـة C=O الأميديـة، وإن وجود حزمـة امتصـــــاص عند $1560cm^{-1}$ يـدل على امتطـاط الرابطـة C-N الأميديـة، أمـا حزم الامتصاص الحادة عند الأعداد الموجية $2850.74cm^{-1}$ و $2920.81cm^{-1}$ تدل على امتطــاط الرابطــة C-H ذات التهجين sp^3 التي تترافق مع وجود قمــة أخرى عنــد $1460.93cm^{-1}$ لنفس الرابطة، كما وجود قمة عند $3005.87cm^{-1}$ عائد لـــ C–H= الألكِنية.

382 تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

من محاولة تفسير الطيف لمعرفة هوية المركبات المدروسة نجد أن تفاعل تحويل الاستر الميتانولي إلى ثنائي إيتانول الأميد كان ناجحاً.

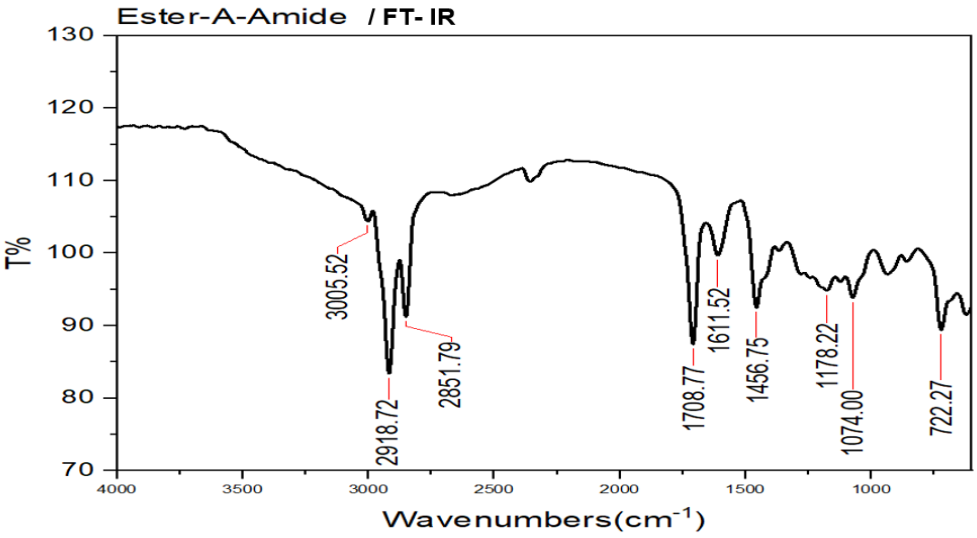
6-9- أسترة الأميد (اصطناع ثنائي أوليات ثنائي إيتانول أميد الحموض الدسمة):

حُصِلَ على إستر أوليات ثنائي إيتانول أميد للحموض الدسمة من خلال تفاعل أسترة لثنائي إيتانول أميدات الحموض الدسمة مع حمض الأوليك بوجود محل الكزايلين والتسخين إلى 140-150°c لمدة 5 ساعات بوجود غاز الآزوت والتحريك المستمر. وكان التفاعل الحاصل كما هو موضح بالمعادلة التالية:



المخطط رقم (6) يبين معادلة اصطناع إستر أوليات ثنائي إيتانول أميد

بعد ذلك تمت دراسة طيف الامتصاص FT-IR لنواتج التفاعل، فكان المخطط الآتي:

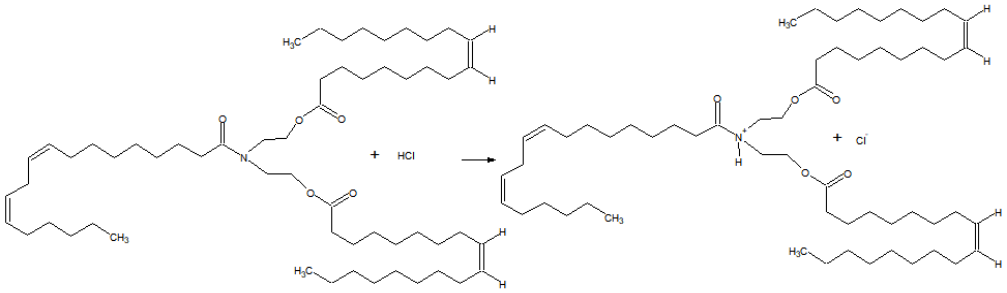


المخطط رقم (7) يظهر طيف FT-IR لمزيج من إستر أوليات ثنائي إيتانول أميد لأحماض زيت دوار الشمس

بالرجوع إلى مخطط الطيف لوحظ غياب قمة الامتصاص التي كانت موجودة قبل الأسترة عند العدد الموجي $3384.78cm^{-1}$ بشكل نهائي، ما يعني الأسترة الكاملة لزمر الهيدروكسيل، في حين بقيت قمم امتصاص الزمرة C-H ذات التهجين sp^3 عند الأعداد الموجية $2851.79cm^{-1}$ و $2918.72cm^{-1}$ إذ الاهتزاز الامتطاطي الذي يرافقه اهتزاز لنفس الرابطة عند $1456.75cm^{-1}$، والقمة الحادة عند $1708.77cm^{-1}$ ناتجة عن اهتزاز طنيني للرابطة C=O الإسترية ويرافقها القمة $1178.22cm^{-1}$ الناتجة عن امتطاط الرابطة C-O الإسترية، والقمة عند $1611.52cm^{-1}$ تمثل اهتزاز الرابطة C=O الأميدية. مما يعني أن المركب المدروس عبارة عن إسترأميد نتج عن أسترة مركب الهيدروكسيل أميد السابق بحمض أوليك، وأن تفاعل الاصطناع كان ناجحاً.

9-7- تحضير العامل الفعال سطحياً الكاتيوني من الإسترأميد:

جرى التفاعل الأخير في جو من غاز كلور الهيدروجين. إذ أُصِل غاز كلور الهيدروجين الناتج من تفاعل ملح كلورالصوديوم مع حمض الكبريت المركز في حوجلة مزودة بثلاث فتحات إلى الحوجلة الحاوية على الإستر المنحل في الهكسان بواسطة كوع زجاجي مع التحريك المستمر.

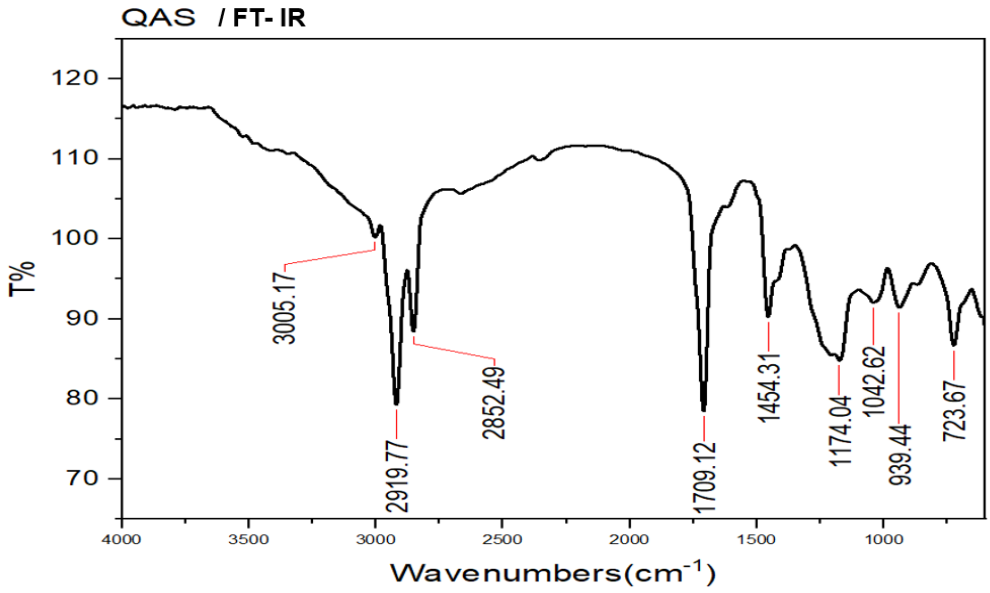


المخطط رقم (8) يبين معادلة اصطناع ملح أمونيوم رباعي من إستر أوليات ثنائي إيتانول أميد

وعند تحليل النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام مطيافية FT-IR ظهرت حزمة امتصاص في منطقة العدد الموجي $2000-3000cm^{-1}$ وهو ناتج عن اهتزاز امتطاط الرابطة N-H في شوارد الأمونيوم، وقمم الامتصاص عند $2919.77cm^{-1}$ و $2852.49cm^{-1}$ هي لاهتزاز امتطاط للرابطة C-H ذات التهجين sp^3 التي تترافق مع

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

وجود قمة أخرى عند $1454.31cm^{-1}$، في حين تمثل قمة الامتصـــاص القوية عند $1709.12cm^{-1}$ اهتزاز الرابطة C=O للإستر، أما قمة الامتصاص عند العدد الموجي $1630cm^{-1}$ تمثل امتطاط الرابطة C=O لأميد الكربونيل الثالثي. فالمخطط يدل على صـــحة الاصـــطناع وأن المركب النهائي هو ملح أمونيوم رباعي. (Nainggolan & Sembiring, 2021)



المخطط رقم (9) يظهر طيف FT-IR لمزيج كاتيونات استر أوليات ثنائي إيتانول أميد للأحماض الدسمة المستخلصة من زيت دوار الشمس

10- دراســة مراحل الاصــطناع باســتعمال طريقة كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة TLC:

تم إجراء اختبـار التفريق بـاســـتعمـال كروماتوغرافيـا الطبقـة الرقيقـة Thin Layer Chromatography (TLC) بهدف تتبع مراحل الاصـــطناع والتغيرات الحاصـــلة على المركبات في كل مرحلة.

10-1- في المرحلة الأولى تم حل العينات بمذيب الهكســـان، واِســـتُعمِل طور متحرك مكون من **(50% Methanol: 50% n-Hexane)**. فكانت النتيجة موضــحة بالصــورة التالية:

حيث: $RF = \frac{\text{المسافة التي قطعها المذاب}}{\text{المسافة التي قطعها المذيب}}$

- Fatty acids (أقصى اليسار)
  RF=5cm/5cm = 1
- F.A.Methyl Ester (الوسط)
  RF=3.3cm/5cm = 0.66
- Di-ethanol amide (أقصى اليمين)
  RF=00.4cm/5cm = 0.08

شكل رقم (2) يوضح تطور النواتج في مراحل الاصطناع

10-2- في المرحلة الثانية حُلَّت العينات بمذيب الهكسان أيضاً، واستُعمل طور متحرك مكون من **(65% Methanol: 35% n-Hexane)**. فكانت النتيجة موضحة بالصورة التالية:

- Di-ethanol amide (في الجهة اليسرى)

RF = 1.5cm/4.3cm = 0.35

- Oleate Di-ethanol amide (في الجهة اليمنى)

RF =2.3cm/4.3cm = 0.53

شكل رقم (3) يوضح تطور النواتج في مراحل الاصطناع

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

ففي الشكل (2) كان انتقال الحموض الدسمة هو الأبعد إذ إن الـــ Retention Factor (RF) =100%

بينما كانت مرحلة الأسترة الميتانولية غير كاملة ما أدى إلى انقسام العينة المنتقلة إلى: الحموض الدسمة غير المتأسترة بقيمة RF=100% والإستر الميتانولي ذو RF=66%.

وكانت عملية تحويل الإســتر الميتانولي إلى ثنائي إيتانول أميد كاملة، إذ حُدِّدت قيمة RF لها باســـتعمال طور متحرك أكثر قطبية فكانت قيمته 35%، في حين كانت RF= 53% لمركب الإستر أميدي Oleate Lauric Di-ethanol amide كما هو ظاهر في الشكل (3).

ومن ثم فإن تغيُّر قيم RF ترافق مع التغيرات الحاصلة في طيف الـــ FT-IR بما يتوافق مع التعديلات في صيغة المركبات الناتجة عن كل تفاعل.

11- دراسة الفعالية السطحية Surface Activity study:

إن قيمـة التوتر الســـطحي للمـاء المقطر عنـد الـدرجـة $20^{\circ}C$ تســـــاوي $T_1 = 72.8\text{dyn}.cm^{-1}$ وقد دُرِست الفعالية السطحية للمركب المدروس كـQAS بطريقة ارتفاع القطرة في أنبوب شعري (Adhikari et al., 2023) وفق القانون الآتي:

$$T = \frac{r.h.d.g}{2} \Rightarrow r = \frac{2*T}{h.d.g} \Leftrightarrow r = \frac{2\times72.8}{2.1\times1\times981} = 0.071cm$$

تمت إضافة 0.25gr من الـــQAS وحلها في 100ml ماء مقطر ثم أُخِذت قراءة ارتفاع القطرة في الأنبوب الشـعري فكانت 1.1 cm ومنه حُسِبت قيمة T_2 الناتجة عن الإضـافة فكانت:

$$T_2 = \frac{r.h.d.g}{2} = \frac{0.071\times1.1\times981\times1}{2} = 38.31\text{dyn}.cm^{-1}$$

ومنه حُسِبت الفعالية السطحية لمركب QAS المدروس من خلال العلاقة:

$$\triangle T = T_1 - T_2 = 72.8 - 38.31 = 34.49\text{dyn}.cm^{-1}$$

12- تحديد قيمة Hydrophilic Lipophilic Balance (HLB):

حُدِّدت قيمة HLB للتنبؤ بسلوك المادة المستحلبة معتمدين على نسبة وزن المجموعات المحبة للماء إلى الوزن الجزيئي للمركب كلياً بغية تحديد مجال الاستحلاب المناسب لاستخدام العامل الفعال على السطح المدروس (الرفاعي، 2020، ص8) عن طريق تطبيق القاعدة الآتية:

$$HLB = 20(M_h/M) = 20 \times (211.5/935.5) = 4.52$$

وبالعودة إلى المخطط رقم (10) تبين أن قيمة HLB للمركبات المدروسة تقع ضمن زمرة العوامل المبللة وعوامل الاستحلاب من النمط: ماء في الزيت (W/O) كما في المراهم.

مضادة للرغوة	مبللات	عوامل استحلاب م/ز	عوامل استحلاب ز/م	منظفات	مساعدة على الانحلال
1.5-3	3-6	1-7	7-20	13-15	15-18

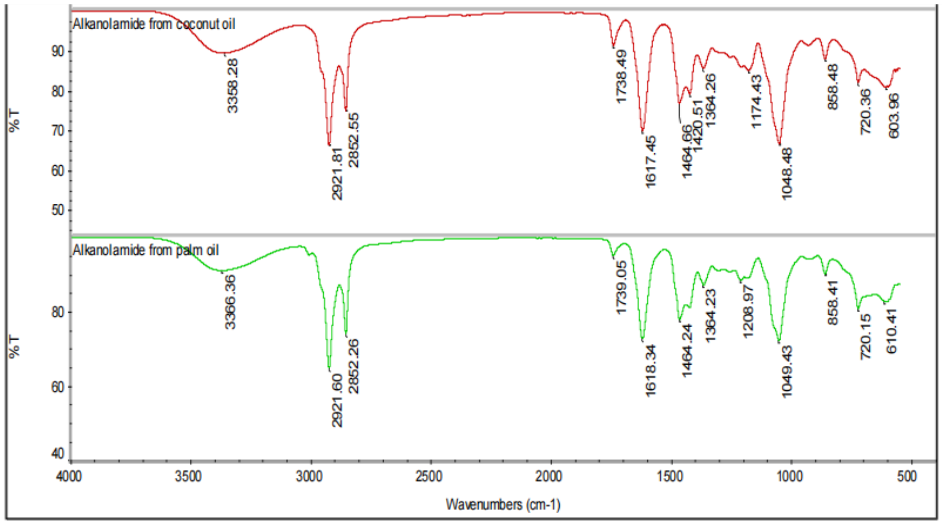
المخطط رقم (10) يبين العلاقة بين قيمة HLB والدور الذي يقوم به العامل الفعال سطحياً

13- المناقشة Discussion:

1. يمكن تحضير مواد فعالة سطحياً كاتيونية انطلاقاً من مواد دسمة محلية مفصولة من زيت عباد الشمس.
2. وتمتلك المركبات المحضرة تأثيراً واضحاً على التوتر السطحي، حيث بلغت قيمة الفعالية السطحية للمركبات المحضرة $34.49 \text{dyn}.cm^{-1}$.
3. لوحظ بأن هذه المواد المحضرة تمتلك قيم CMC ذات جدوى اقتصادية، وذلك لأننا نحصل على التوتر السطحي المنخفض دون الحاجة إلى إضافة كميات كبيرة من المادة الفعالة سطحياً، نظراً لكونها تمتلك قيمة CMC منخفضة.
4. قورِن طيف FT-IR لمركبات ثنائي إيتانول أميد الناتجة في البحث كمركب وسطي (المخطط رقم 5) مع أطياف مماثلة لأميدات محضرة من زيوت النخيل وزيت جوز الهند بمراحل اصطناع وشروط اصطناع متنوعة، فكانت الأطياف متطابقة من

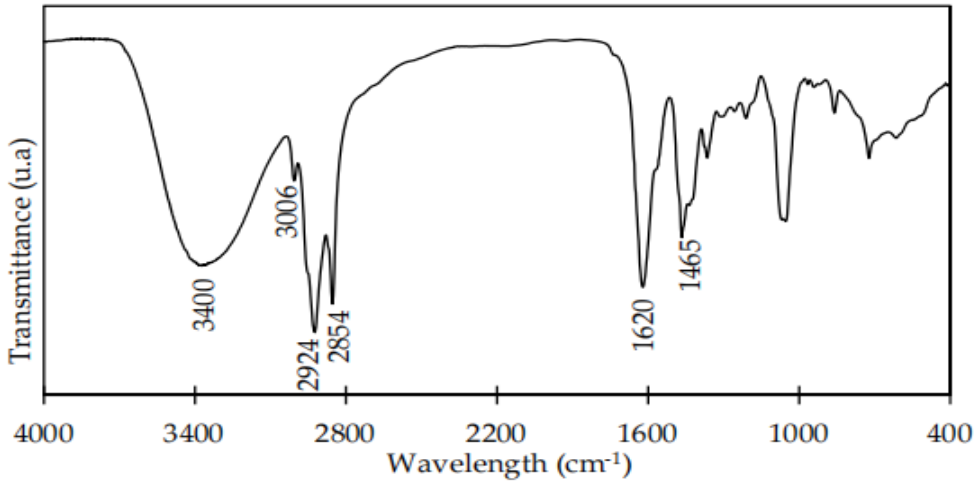
تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

حيث تموضع قمم الامتصاص وأشكال القمم، ما يدعم صوابية طريقة التحضير المتبعة في البحث. كما هو مبين بالمخطط رقم (11). (Sari et al., 2018).



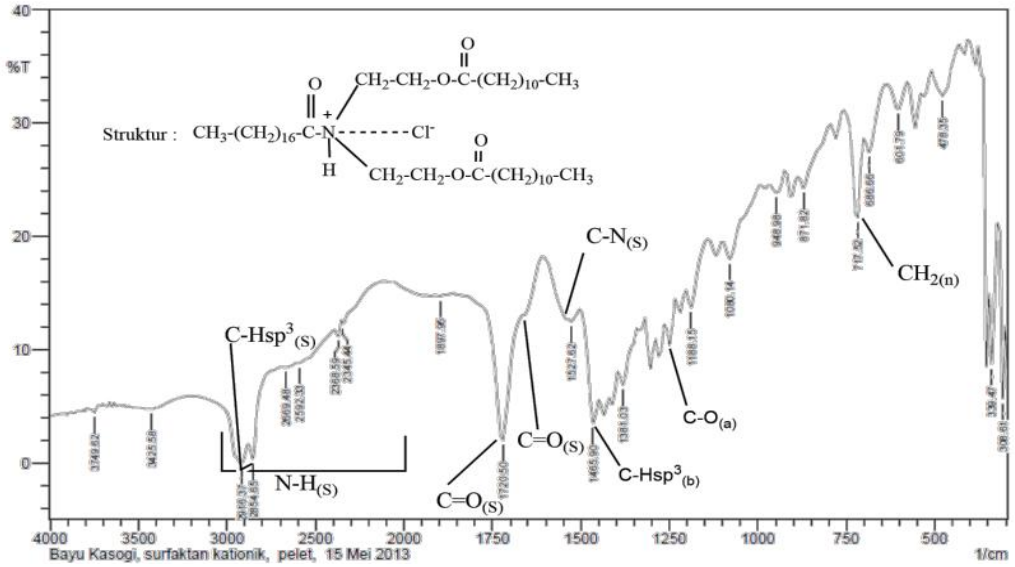
المخطط رقم (11) يظهر أطياف امتصاص مركبات ثنائي إيتانول أميد لأحماض زيوت النخيل وزيت جوز الهند

5. كذلك تمت مقارنة نفس الطيف مع طيف FT-IR لمركب ثنائي إيتانول أميد حمض الأوليك (PC Caplan et al., 2019) وكانت قمم الامتصاص متوافقة مع الدراسة.



المخطط رقم (12) يظهر طيف امتصاص مركب ثنائي إيتانول أميد لحمض الأوليك

6. كذلك قورِن طيف FT-IR للمركب النهائي المحضـــر في البحث (المخطط رقم9) مع طيف QAS لإستر أوليات ثنائي إيتانول أميد حمض الاستياريك فكانت قمم الامتصاص للمركبين عند أعداد موجية متطابقة، كما يظهر في المخطط رقم (13).



المخطط رقم (13) يظهر طيف امتصاص QAS لإستر أوليات ثنائي إيتانول أميد حمض الاستياريك

7. وتعود أهمية البحث بشكل خاص إلى محتوى زيت دوار الشمس من الحموض الدسمة الغير مشـبعة ذات القيمة الغذائية العالية والخصـائص الصـحية في الوقاية والعلاج، وأن تلك الحموض ومشـتقاتها التي حُضِّـرت تشـكل مركبات سـهلة التفكك، صـديقة للبيئة، وخاصـة إذا علمنا أنه لاتوجد دراسـات سـابقة عن تحضـير مركبات كاتيونية من حموض زيت بذور دوار الشمس.

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10

المراجع العربية:

1- الجندي، أيهم. 2016م. تحضير مواد فعالة سطحياً أمفوتيرية باستخدام مواد دسمة محلية. ط1. د. أيهم الجندي. جامعة حلب.

2- شيخ عثمان، لمياء، 2007م. تكنولوجيا الزيوت والدهون. الطبعة الأولى، دار علاء الدين، سورية، 346.

3- كاخيا، طارق، 2017م. تحاليل الزيوت والدهون وموادها الأولية والمساعدة، 85-87.

4- المواصفات السورية المتعلقة بالدهون والزيوت لعام1981م

5- الرفاعي، بلال، 2020م. المواد الفعالة سطحياً ومستحضرات التجميل والشعر. الكيميائي بلال عبد الوهاب الرفاعي. دمشق.

6- الرفاعي، بلال عبدالوهاب. 2020م. المواد الفعالة سطحياً ومستحضرات التجميل والشعر. 8.

المراجع الأجنبية:

1. Adhikari, D. R., Budha, T. B., Basnet, A., Adhikari, S. K., & Baral, S. P. (2023). Surface Tension of Liquids (Water, Chloroform and Acetone) by Capillary Rise Method. *BMC Journal of Scientific Research*, *6*(1), 31–36.
2. Akkaya, M. R. (2018). Fatty acid compositions of sunflowers (Helianthus annuus L.) grown in east Mediterranean region. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, *95*(4).
3. Biermann, M., Lange, F., Piorr, R., Ploog, U., Rutzen, H., Schindler, J., Schimd, R., & Falbe, J. (1987). Surfactants in consumer products. *Theory, Technology and Application. Springer, Heidelberg*, 86–106.
4. El Kady, S. A., Abd El Gawwad, A. J., Kassem, A. J., Lasztity, R., Hamed, M. I., & Rabie, M. M. (1993). Effect of refining on the physical and chemical properties of sunflower and soybean oils. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, *37*(3–4), 135–146.
5. Johnson, P., Trybala, A., Starov, V., & Pinfield, V. J. (2021). Effect of

synthetic surfactants on the environment and the potential for substitution by biosurfactants. *Advances in Colloid and Interface Science*, *288*, 102340.

6. Nainggolan, I., & Sembiring, A. (2021). Synthesis of Cationic Surfactant N, N-(2-Laurate-Ethyl) Stearamidium Chloride. *Journal of Chemical Natural Resources Vol*, *3*(02), 131–142.
7. Nielsen, S. S. (2010). *Food analysis*.
8. PC Caplan, S., BG Silva, T., DS Franscisco, A., R. Lachter, E., & SV Nascimento, R. (2019). Sulfonated polystyrene nanoparticles as oleic acid diethanolamide surfactant nanocarriers for enhanced oil recovery processes. *Polymers*, *11*(9), 1513.
9. Sari, F., Susanto, B. H., & Bismo, S. (2018). The potential utilization of coconut oil and palm oil as raw material of alkanolamide under alkaline conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *105*(1), 12035.
10. Yoon, B. K., Jackman, J. A., Valle-González, E. R., & Cho, N.-J. (2018). Antibacterial free fatty acids and monoglycerides: biological activities, experimental testing, and therapeutic applications. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(4), 1114.
11. Zhang, J., Cai, D., Wang, S., Tang, Y., Zhang, Z., Liu, Y., & Gao, X. (2014). Efficient method for the synthesis of fatty acid amide from soybean oil methyl ester catalysed by modified CaO. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, *92*(5), 871–875.

12. Barman, Benvikram, Manoj Kumar Banjare. (2024). "A Review On The Study Of Physicochemical Properties And Application Of Surfactants". *Futuristic Trends in Chemical Material Sciences & Nano Technology, 3(5):181-199*.

13. Adewuyi, Adewale, (2019) "Synthesis and surface-active property of diethanolamide and epoxidised diethanolamide surfactant from the seed oil of Baphia nitida". *Arabian Journal of Chemistry, 7(12): 1545-1551.*

تاريخ إيداع البحث:28/03/2026
تاريخ قبوله للنشر :2026/06/10