

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 42 . العدد 25

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. ناصر سعد الدين
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : [www.albaath-univ.edu.sy](http://www.albaath-univ.edu.sy)

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
  - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
  - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:  
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:  
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
  - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :  
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
  - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :  
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
  - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):  
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
  - 2- هدف البحث
  - 3- مواد وطرق البحث
  - 4- النتائج ومناقشتها .
  - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
  - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات ( الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي ( كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
  - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
  - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
  - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
  - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:  
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة ( - ) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة ( ثانية . ثالثة ) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة . وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد ( كتابة مختزلة ) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة . مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد

بالبنود ( أ و ب ) ويكتب في نهاية المراجع العربية: ( المراجع In Arabic )

## رسوم النشر في مجلة جامعة البعث:

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة		
24-11	فاطمة العاشق د. محمد كيشي	تحضير وتوصيف مشتق إيثري دوائي للغليسول ودراسة خصائصه المختلفة
60-25	مريم العساف الزامل د. محمود عامر	تخفيض COD من مياه صرف معاصر الزيتون باستخدام كاشف فنتون
92-61	علي صقر د. أحمد العبدو د. عبدالله رستاوي	تصنيع ونمذجة حساس ضغط طبي قابل للتلامس ذو حساسية ومجال ديناميكي ملائمين





## تحضير وتوصيف مشتق إيثري للجليسرول ودراسة خصائصه المختلفة

فاطمة العاشق\*، د. محمد كيشي\*\*

### المخلص

تم في هذا البحث إجراء تفاعل الجليسرول مع الإندوميثاسين باعتباره مضاد التهاب لاسيترونيدي لتحضير أحادي إيثر الجليسرول باستخدام شروط مناسبة، حيث تم استخدام حفاز أساسي (ثالثي بوتوكسيد الصوديوم) بنسبة مولية للمواد المتفاعلة (1:10)، وذلك عند زمن تفاعل قدره تسع ساعات وعند درجة حرارة  $100^{\circ}\text{C}$  حيث تم الحصول على المنتج المطلوب بانتقائية عالية ومردود مرتفع (68%)، بعد ذلك تم تحديد بعض الخصائص الفيزيائية لنواتج التفاعل من خلال قياس اللزوجة الكيناميكية ودرجة العكارة والكثافة وكذلك مقدار حرف الضوء المستقطب.

تم تتبع سير التفاعل باستخدام كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (TLC) ثم فصل نواتج التفاعل وتمت تنقيته كروماتوغرافياً وُحددت بنيته الجزيئية باستخدام الطرائق الطيفية المناسبة FT-IR,  $^1\text{H-NMR}$ ,  $^{13}\text{C-NMR}$

**الكلمات المفتاحية:** الجليسرول -مضادات الالتهاب اللاستيروئيدية - إيثرات الجليسرول.

(\* طالبة ماجستير: قسم الكيمياء (كيمياء عضوية) - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا.

(\*\* مدرس دكتور في الكيمياء العضوية: قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا.

# Preparation and Characterization of Pharmacological Ether Derivative of Glycerol and Studying its Different Properties

Fatima Alashek \*, Dr. Mohammad keshe \*\*

## Abstract

In this paper, the glycerol has reacted with indomethacin as a nonsteroidal anti-inflammatory to prepare mono-ether glycerol using appropriate conditions, basic catalyst (tert- sodium butoxide) was used with a molar ratio (1:10) (indomethacin: glycerol), a reaction time is nine hours and a temperature of reaction 100°C the product was obtained with high selectivity and high yield (68%). After that, some physical properties of the reaction product were determined by measuring the kinematic viscosity, turbidity and density and amount of deflection of the polarized light.

The reaction followed by using thin layer chromatography (TLC), then the product was separated and purified, the molecular structures have determinate by spectroscopy methods FT- IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR.

**Key words:** Glycerol - Nonsteroidal Anti-inflammatory Drugs – glycerol ethers.

\*) Master Student: Department of chemistry (Organic Chemistry) - Faculty of science-Albaath university Homs - Syria

\*\*) Doctor of Organic Chemistry: Department of chemistry - Faculty of science-Albaath university Homs-Syria.

## 1- المقدمة:

ارتبط التطور مؤخراً في الصناعات الكيميائية الحيوية إلى حد كبير بـ "كيمياء الغليسول"، حيث ظهرت في السنوات الأخيرة فرص جديدة لتحويله إلى مواد كيميائية ذات قيمة مضافة [1]، حيث تم تصنيف الغليسول كأحد المركبات الصديقة للبيئة والأمنة للدخول في التفاعلات العضوية [2] وذلك بسبب خصائصه المميزة [3] التي تجعله مرغوباً جداً في الصناعة، إضافة إلى أنه مركب ثابت عند مجال واسع من درجات الحرارة كما أنه غير سام وقابل للتحلل الحيوي وكذلك متوافر بكميات كبيرة كمنتج ثانوي في عمليات الحصول على الوقود الحيوي من الزيوت النباتية [4].

يدخل الغليسول في تفاعلات عضوية متعددة نظراً لاحتوائه على أكثر من زمرة هيدروكسيلية مُعطياً مُركبات مُتنوعة تدخل في الصناعة، لعل أبرزها تفاعلات الأكسدة [5]، الهدرجة [6]، نزع الماء [7]، الأسترة [8]، البلمرة [9]، كما يدخل في تفاعل الأيثر [10] لإنتاج إيثرات الغليسول ذات الاستخدامات المُتعددة.

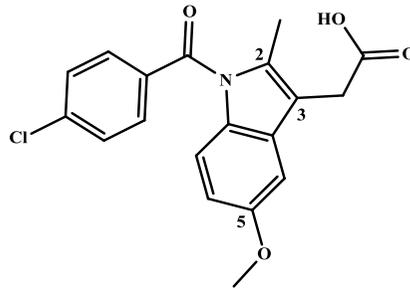
تمتلك نواتج أيثر الغليسول العديد من الخصائص البيولوجية مثل التحفيز المناعي [11] ومضادات للأورام [12] ومضادات للميكروبات [13] وتُستخدم إيثرات الغليسول في تطبيقات هامة في الصناعة والغذاء والدواء، حيث تدخل في إنتاج مُستحضرات التجميل [14] وكذلك المنظفات [15] والمستحلبات والبوليمرات ومواد التشحيم وأحبار الطباعة والكريمات المطهرة [16]، وكذلك في المستحضرات الصيدلانية [17].

تزايد الإهتمام بمُضادات الإلتهاب اللاستروئيدية التي تمتلك فعالية بيولوجية، وتُعد من بين الأدوية الأكثر استخداماً، حيث تُستخدم كأدوية خافضة للحرارة مُسكنة للألم خاصة آلام العضلات والمفاصل وهشاشة العظام [18]، (علاج النقرس)، وتستخدم للوقاية من أمراض القلب (احتشاء عضلة القلب) والسكتة الدماغية، ولعلاج مرض الزهايمر وكذلك في بعض الحالات لعلاج أمراض المثانة والمرارة، حيث تعمل مُضادات الإلتهاب اللاستروئيدية من خلال تثبيط عمل أنزيمات السيكلوكسيجينات COX-1، COX-2 والتي تمنع إنتاج البروستاغلاندين PG مما يؤدي إلى تسكين الألم [19].

مع ذلك فإن استخدام مُضادات الإلتهاب الالاستيروئيدية لمدة طويلة له تأثيرات جانبية مُختلفة منها قرحة المعدة أو الفشل الكلوي، لذلك تم دراسة تعديل بنيتها من أجل التقليل من التأثيرات الجانبية وتحسين قدرتها العلاجية.

تم تصنيف مُضادات الإلتهاب الالاستيروئيدية حسب نوع الزمرة الوظيفية فيها إلى أربع مجموعات، من أبرزها مجموعة الإندول التي تتضمن مُسكنات الألم الشائعة كالإندوميتاسين والسولينداك [20].

يُعد الإندوميتاسين (الشكل-1) أحد أبرز مُضادات الإلتهاب الالاستيروئيدية حيث يُعد أحد مشتقات حمض الإندول، يحتوي متبادلات في المواقع 2,3,5 وقد تم اكتشافه لأول مرة عام 1963م [21].



الشكل (1): الصيغة الكيميائية للإندوميتاسين [22].

يتم استخدام الإندوميتاسين في علاج أعراض الصداع [23] وهشاشة العظام والتهاب المفاصل [24] والتهاب الجيوب الأنفية وغيرها من الأمراض الالتهابية وكذلك خافض للحرارة ولعلاج الوذمة [25] ، إلا أنه يسبب قرحة معدية [26] ولذلك تزايد الإهتمام بتحضير مُشتقات جديدة للإندوميتاسين قد تكون لها فعالية علاجية في المستقبل وأثار سلبية أقل [27].

## 2-هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى اصطناع إيثر أحادي الغليسول وذلك بمفاعله مع الإندوميتاسين باستخدام حفاز أساسي (ثالثي بوتوكسيد الصوديوم) للحصول على المنتج بمردود جيد وشروط مناسبة وتوصيفه باستخدام التقنيات المطيافية الحديثة، ثم دراسة بعض الخصائص الفيزيائية للمنتج المحضر كونه أحد مشتقات الإندوميتاسين.

## 3- القسم التجريبي:

### 3-1- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- مطياف الطنين النووي المغناطيسي نموذج 400MHz من شركة Bruker السويسرية الموجود في هيئة الطاقة الذرية.
- جهاز مطيافية الأشعة ما تحت الأحمر نموذج FT-IR-4100 من شركة Jasco اليابانية الموجود في قسم الكيمياء كلية العلوم جامعة البعث.
- صفائح كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة من الألمنيوم مطلية بالسليكا جل 60F<sub>254</sub> قياس 20 X 20 من شركة Merck الألمانية.
- صفائح كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة تحضيرية من الزجاج مطلية بالسليكا جل 60F<sub>254</sub> قياس 20 X 20 من شركة Merck الألمانية.
- مقياس لزوجة كيناميكية نوع 200 Fungilab Size.
- مقياس كثافة مارك Iso lab D 97877 Wertheim – Germany
- جهاز قياس عكارة Martini instruments Mi 415.

### 3-2- المواد الكيميائية المستخدمة:

الغليسول (99%)، الإندوميتاسين (99%)، ثالثي بوتوكسيد الصوديوم، رباعي بوتيل هيدروكسيد الأمونيوم، ميتانول، كلوروفورم، كبريتات الكالسيوم اللامائية.

### 3-3 – طريقة العمل:

يُضاف إلى حوجلة كروية مصنفة مجهزة بمحرك مغناطيسي (0.0027mol-0.25g) من الغليسول ثم يُضاف (4% mol) من الحفاز الأساسي ثالثي بوتوكسيد الصوديوم وبعدها يُضاف (5% mol) من رباعي بوتيل هيدروكسيد الأمونيوم لتأمين الوسط الأساسي اللازم

للتفاعل و ثم يضاف (0.1g -0.00027mol) من الإندوميثاسين، يُحرك مزيج التفاعل في حمام زيتي عند درجة حرارة 100°C مع مراقبة سير التفاعل بواسطة كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة (T.L.C) باستخدام جملة جرف مكونة من (ميتانول: كلوروفورم) (50%:50%) حتى انتهاء التفاعل، بعدها يُترك مزيج التفاعل ليبرد ثم يُضاف له ماء مقطر وذلك لحل الجليسرول الفائض والمُستخدم كمادة مُتفاعلة ومذيب، ثم يُرشح مزيج التفاعل، ويُستخلص باستخدام مذيب كلوروفورم ثلاث مرات متتالية وذلك بإضافة 10ml كلوروفورم في كل مرة، بعد ذلك يُفصل الطور العضوي ويُضاف له كبريتات الكالسيوم اللامائية ويُخز المذيب بعد الترشيح، ليُنقى الناتج باستخدام كروماتوغرافيا الصفيحة الزجاجية فيتم الحصول على مُنتج زيتي القوام أصفر اللون لزج بمردود (68%).

### 3-4- دراسة الخصائص والتطبيقات:

#### 3-4-1- قياس درجة العكارة Degree of Turbidity :

يتم باستخدام جهاز قياس العكارة، حيث يُوضع 5ml من المحلول في عبوة مخصصة وتوضع ضمن الجهاز، وتُقاس درجة العكارة للتركيز المُحضر.

#### 3-4-2- قياس اللزوجة Viscosity:

يُضاف إلى مقياس اللزوجة "مقياس أوستفالد " (size 200) حجماً قدره 5ml من المحلول المُحضر سابقاً ويُوضع في حمام مائي مع التحريك على درجة حرارة 40°C، ثم يُقاس الزمن اللازم لمرور المحلول ضمن المقياس ثم يُضرب بثابت الجهاز ليتم الحصول على قيمة اللزوجة وفق العلاقة الآتية:

$$* \dots\dots\dots C=Q.T$$

Q: ثابت الجهاز ويساوي 0.094236 عند درجة الحرارة 40°C.

T: الزمن اللازم لمرور المحلول ضمن الانتفاخين.

#### 3-4-3 - قياس الكثافة Density:

يتم ذلك باستخدام مقياس الكثافة ومن ثم تطبق علاقة الكثافة:

$$d=m/v$$

m: وزن المحلول (gr)

v: حجم المحلول (ml)

### 4-4-3- قياس حرف الضوء المستقطب:

يتم ذلك باستخدام جهاز حرف الضوء المستقطب و ثم تطبيق العلاقة:

$$[\alpha]_{25}^D = \frac{100 \times \alpha}{L \times C}$$

$\alpha$  : زاوية الدوران

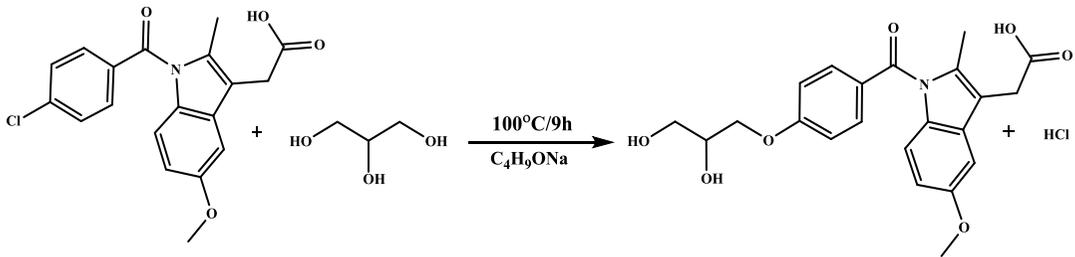
L : طول الأنبوب ويقدر بـ: dm

C : تركيز المادة وتقدر بـ: gr/100ml

### 4- النتائج والمناقشة:

أولاً: تم تحضير أحادي غليسرول الإندوميتاسين "MGI":

من خلال تفاعل الغليسرول مع الإندوميتاسين بوجود حفاز قلوي مناسب وفق التفاعل التالي:



التفاعل (1): تفاعل أيثرة الغليسرول مع الإندوميتاسين.

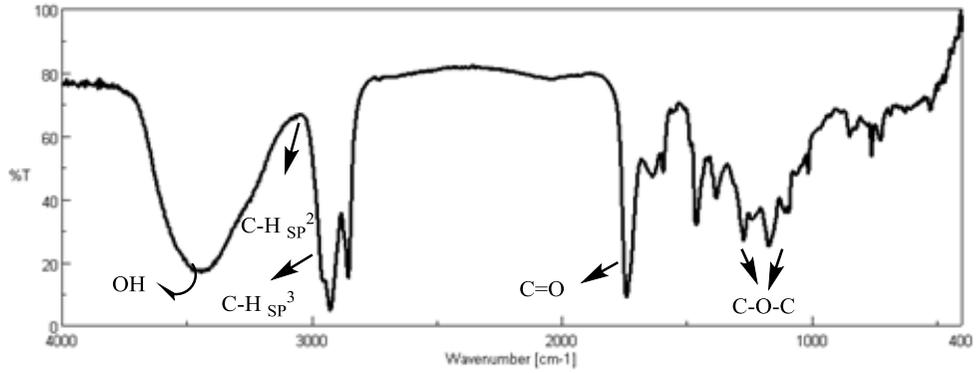
تم تتبع سير التفاعل باستخدام كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة T.L.C، وأخيراً فصل

النواتج باستخلاصه وتنقيته كروماتوغرافياً بعد ذلك تم تحديد بنية المركب الناتج "MGI"

بالطرائق الطيفية المناسبة: ( $^{13}\text{C-NMR}$ ,  $^1\text{H-NMR}$ , FT-IR)

حيث يبين الشكل التالي طيف الأشعة تحت الحمراء لنواتج التفاعل.

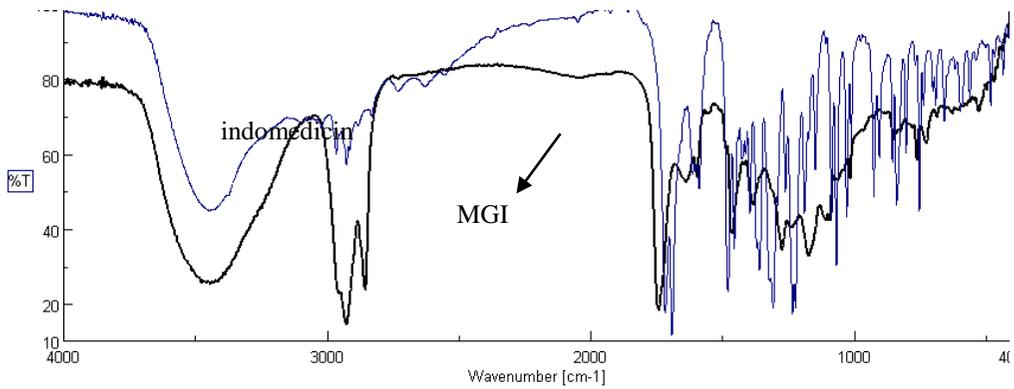
تحضير وتوصيف مشتق إيثري للجليسرول ودراسة خصائصه المختلفة



الشكل (1): طيف الأشعة تحت الحمراء لـ "MGI" في KBr.  
الجدول (1): تفسير طيف الأشعة تحت الحمراء لـ "MGI".

CH <sub>2</sub> Bent	C-H aromatic bent	Csp <sup>3</sup> -H	C-O-C	C=O	OH	المجموعة الوظيفية
1464.67	849.49	2927.41	1272.29 1172.51	1741.41	3444.24	الإمتطاط الموافق "cm <sup>-1</sup> "

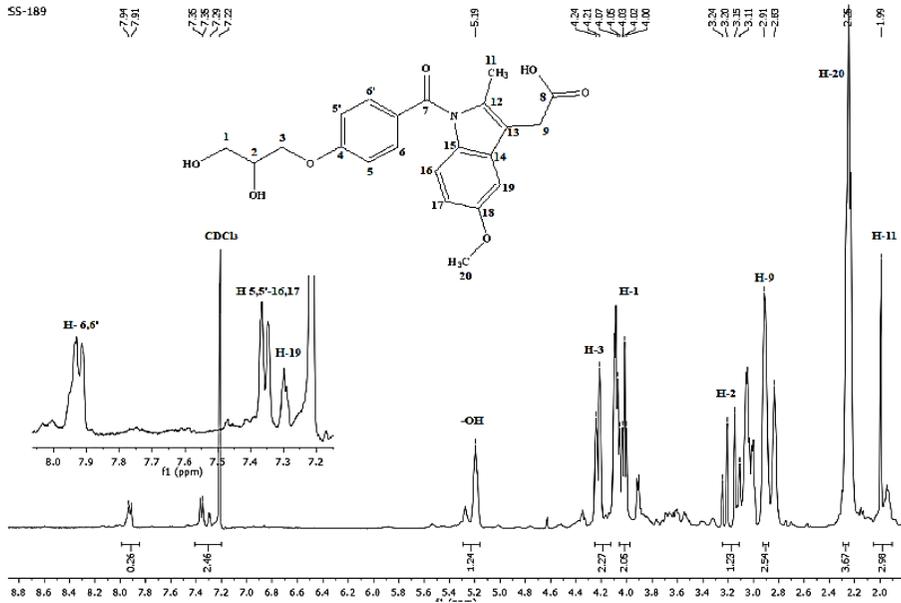
حيث يُلاحظ من مقارنة طيفي كلاً من الإندوميثاسين والإيثر الناتج، انزياح عصابة الإمتصاص العائد لزمرة الكربونيل في المنتج  $1741.41\text{cm}^{-1}$  نحو الأعداد الموجية الأكبر



مُقارنة مع الإندوميثاسين  $1717.3\text{cm}^{-1}$

الشكل (2): طيف التراكب لكل من الإندوميثاسين والمنتج "MGI"

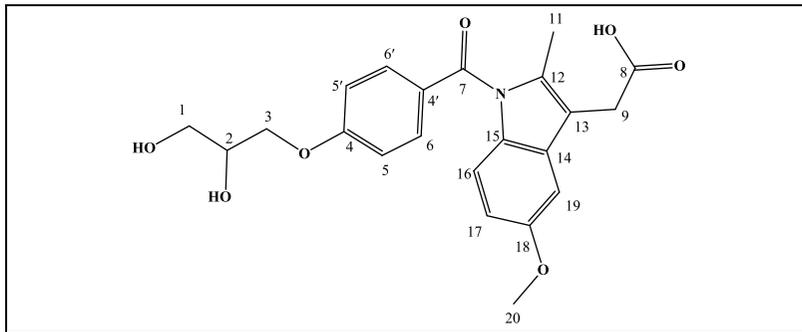
تم سحب طيف الطنين النووي البروتوني  $^1\text{H-NMR}$  لـ "MGI" باستخدام مذيب الكلوروفورم المديتر.



الشكل (3): طيف  $^1\text{H-NMR}$  للنتائج "MGI" (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ,  $\delta_{\text{TMS}} = 0 \text{ ppm}$ ).

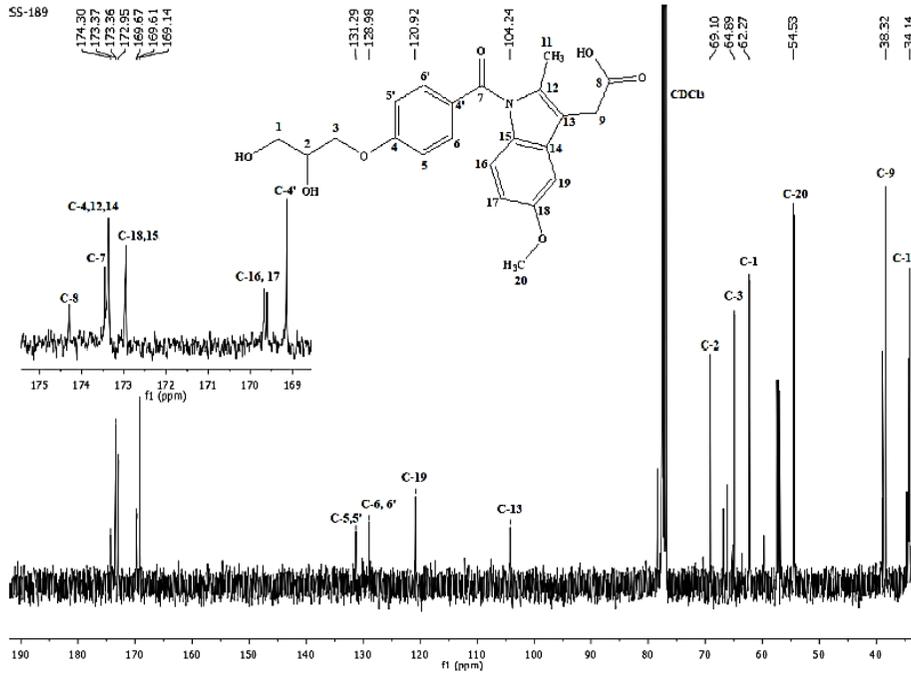
ويظهر الجدول التالي تفسير الطيف النووي المغناطيسي البروتوني لـ "MGI":

الجدول (3): تفسير طيف الطنين النووي المغناطيسي البروتوني لـ "MGI":



نوع ذرة الهيدروجين	$^1\text{H-NMR}$ [ $\delta$ , PPM]	No.
اليقاتية	4.00-4.07 (d t, 2H $J^3=12$ , $J^4=4$ )	1
اليقاتية	3.11-3.24 (p, 1H $J^3=16$ )	2
اليقاتية	4.21-4.24 (d, 2H, $J=12$ )	3
عطرية	7.36-7.34 (d, 4H, $J=8$ )	17-16-5',5
عطرية	7.91-7.94 (d, 2H, $J=12$ )	6',6
اليقاتية	2.91 (S, 2H)	9
اليقاتية	1.99 (S, 3H)	11
عطرية	7.29 (S, 1H,)	19
اليقاتية	2.25 (S, 3H)	20
غولية	5.19 (S, 1H)	-OH

كما تم سحب طيف الطنين النووي الكربوني  $^{13}\text{C-NMR}$  لـ "MGI" باستخدام مذيب الكلوروفورم المديتر، حيث يوضح الطيف التالي وجود 22 ذرة كربون.



الشكل (4): طيف  $^{13}\text{C-NMR}$  للنواتج "MGI" (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ,  $\delta_{\text{TMS}} = 0$  ppm). ويوضح الجدول التالي انزياح ذرات الكربون في الطيف للمركب:

الجدول (4): تفسير طيف الطنين النووي المغناطيسي الكربوني لـ "MGI":

رقم ذرة الكربون	الانزياح الكيميائي ppm	رقم ذرة الكربون	الانزياح الكيميائي ppm
1	62.27	8	174.30

38.32	9	69.10	2
34.14	11	64.89	3
104.24	13	173.36	14،12،4
172.95	18،15	169.14	4'
120.92	19	131.29	5'، 5
54.53	20	129.98	6'،6
169.61	16،17	173.37	7

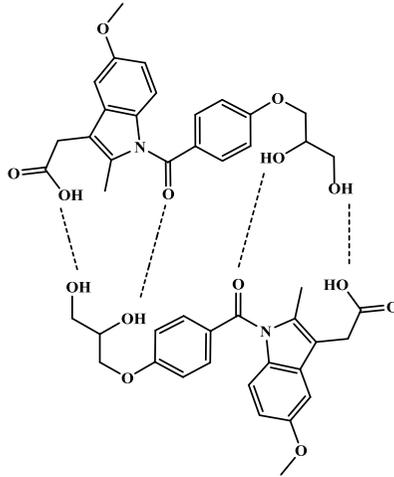
### ثانياً: دراسة الخصائص والتطبيقات:

تم تحضير محلول كلوروفورمي من ناتج التفاعل السابق للناتج المُحضر "MIG" بتركيز 0.05 gr/10mL، بعدها تم تحديد بعض الخصائص الفيزيائية حيث تم قياس درجة اللزوجة الكيناميكية باستخدام مقياس أوستفالد والذي يعتمد على تأثير الجاذبية الأرضية في سير طبقات المحلول، وبتطبيق العلاقة (\*) نحصل على اللزوجة الكيناميكية، كما تمّ قياس درجة الكثافة من خلال تحديد وزن حجم مُحدّد بدقة من المحلول السابق وذلك باستخدام مقياس بكنومتر، إضافة إلى تحديد درجة العكارة باستخدام جهاز قياس العكارة، حيث يوضح الجدول الآتي قيم بعض الخصائص الفيزيائية التي تمّ تحديدها.

الجدول (5): يظهر نتائج دراسة الخصائص الفيزيائية للمركب الناتج والإندوميتاسين.

العينة	اللزوجة "St"	الكثافة gr/mL	درجة العكارة (FNU)	حرف الضوء المستقطب [ $\alpha$ ] <sub>25</sub> <sup>D</sup>
"MIG"	0.6590	1.438	117	-200
الإندوميتاسين	0.6087	1.205	56	0

يُلاحظ من قيم الجدول السابق إلى أنّ المحلول الكلوروفورمي للعينة المُحضّرة يعطي محلول لزج ويُعلّل ذلك بسبب تشكّل الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الإيثر المُحضّر "MIG" ممّا يعيق تغلغل جزيئات المذيب القطبية وإحاطتها للجزيئية، حيث يوضح الشكل التالي الروابط الهيدروجينية المُتشكّلة بين جزيئات الإيثر المُحضّر "MIG".



الشكل (5): الروابط الهيدروجينية المُتشكّلة بين جزيئات الإيثر المُحضّر "MIG".

#### 5- الاستنتاجات:

- تم اصطناع أحادي الإيثر المختلط انطلاقاً من الإندوميثاسين كمركب دوائي مع الغليسول الذي يُعد متوافر ورخيص الثمن، كما حُدّدت بنى النواتج بالطرائق الطيفية الحديثة.
- تم استخدام فائض محدد من الغليسول "عشرة أضعاف" كمذيب مناسب لوسط التفاعل إضافة بوصفه مادة متفاعلة، إذ يعتبر الغليسول مذيب صديق للبيئة قابل للتحلل الحيوي ويسهل فصله من وسط التفاعل

- تم التوصل إلى أن استخدام حفاز ثالثي بوتوكسيد الصوديوم بوسط أساسي من رباعي بوتيل هيدروكسيد الامونيوم قد أعطى النتائج المطلوبة من انتقائية عالية ومردود مرتفع.
- تم تحديد بعض الخصائص الفيزيائية "للزوجة الكيناميكية، درجة العكارة، الكثافة" للمحاليل المائية للإستر الناتج.

#### 6- المراجع:

---

- [1] -Tan HW, Aziz AA, Aroua MK. Glycerol production and its applications as a raw material: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013 Nov 1;27:118-27.
- [2] - Wolfson A, Dlugy C, Shotland Y. Glycerol as a green solvent for high product yields and selectivities. Environmental Chemistry Letters. 2007 May;5(2):67-71.
- [3] - Pagliaro M, Rossi M. Glycerol: properties and production. The future of glycerol. 2010:20-1.
- [4] - Ayoub M, Abdullah AZ. Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012 Jun 1;16(5):2671-86.
- [5]- Beltrán-Prieto JC, Kolomazník K, Pecha J. A review of catalytic systems for glycerol oxidation: alternatives for waste valorization. Australian Journal of Chemistry. 2013 Jun 11;66(5):511-21.
- [6] - Sun D, Yamada Y, Sato S, Ueda W. Glycerol hydrogenolysis into useful C3 chemicals. Applied Catalysis B: Environmental. 2016 Sep 15;193:75-92.
- [7] - Katryniok B, Paul S, Dumeignil F. Recent developments in the field of catalytic dehydration of glycerol to acrolein. Acs Catalysis. 2013 Aug 2;3(8):1819-34.
- [8] - M. Keshe, J. Merza, A. Karam, (2016) Studying the Optimum Reaction Conditions for Organic Esterification of Glycerol to Benzoic Acid and Some Devices by Using Ecofriendly Media, Chemistry and Materials Research, Vol.8, No.1, P 48-54.

- [9] - Ebadipour N, Paul S, Katryniok B, Dumeignil F. Alkaline-based catalysts for glycerol polymerization reaction: a review. *Catalysts*. 2020 Sep;10(9):1021.
- [10] - Chiosso ME, Casella ML, Merlo AB. Synthesis and catalytic evaluation of acidic carbons in the etherification of glycerol obtained from biodiesel production. *Catalysis Today*. 2021 Jul 15;372:107-14.
- [11] - Ngwenya BZ, Foster DM. Enhancement of antibody production by lysophosphatidylcholine and alkylglycerol. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 1991 Jan;196(1):69-75.
- [12] - Pedrono F, Martin B, Leduc C, Le Lan J, Saiag B, Legrand P, Moulinoux JP, Legrand AB. Natural alkylglycerols restrain growth and metastasis of grafted tumors in mice. *Nutrition and cancer*. 2004 Jan 1;48(1):64-9.
- [13] - Haynes MP, Buckley HR, Higgins ML, Pieringer RA. Synergism between the antifungal agents amphotericin B and alkyl glycerol ethers. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 1994 Jul 1;38(7):1523-9.
- [14]- Leschke M. A multifunctional ingredient for leave on cosmetics. *Cosmetic and Science Technology*. 2006:186-93.
- [15]-Svensson M, Blute I, Kronberg B, Unelius R. Phase behaviour of alkyl glycerol ether surfactants. *Tenside Surfactants Detergents*. 1998;35(3):207-12.
- [16]- Andersen KE. Ethylhexylglycerin—a contact allergen in cosmetic products. *Dermatitis*. 2012 Nov 1;23(6):291.
- [17]-Stabile RG, Dicks AP. Semi-microscale Williamson ether synthesis and simultaneous isolation of an expectorant from cough tablets. *Journal of chemical education*. 2003 Mar;80(3):313.
- [18] - Day RO, Graham GG. Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs). *Bmj*. 2013 Jun 27;346.
- [19]-Ricciotti E, FitzGerald GA. Prostaglandins and inflammation. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*. 2011 May;31(5):986-1000.

- [20]-Bindu S, Mazumder S, Bandyopadhyay U. Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and organ damage: A current perspective. *Biochemical pharmacology*. 2020 Jul 10;114:147.
- [21] - Lucas S. The pharmacology of indomethacin. Headache: The Journal of Head and Face Pain. 2016 Feb;56(2):436-46.
- [22] -O'Brien M, McCauley J, Cohen E. Indomethacin. In *Analytical profiles of drug substances 1984 Jan 1 (Vol. 13, pp. 211-238)*. Academic Press..
- [23]-Summ O, Evers S. Mechanism of action of indomethacin in indomethacin-responsive headaches. *Current pain and headache reports*. 2013 Apr 1;17(4):327.
- [24]-Yin N, Guo X, Sun R, Liu H, Tang L, Gou J, Yin T, He H, Zhang Y, Tang X. Intra-articular injection of indomethacin–methotrexate in situ hydrogel for the synergistic treatment of rheumatoid arthritis. *Journal of Materials Chemistry B*. 2020;8(5):993-1007.
- [25] - Nalamachu S, Wortmann R. Role of indomethacin in acute pain and inflammation management: a review of the literature. *Postgraduate medicine*. 2014 Jul 1;126(4):92-7.
- [26]-Suleyman H, Albayrak A, Bilici M, Cadirci E, Halici Z. Different mechanisms in formation and prevention of indomethacin-induced gastric ulcers. *Inflammation*. 2010 Aug;33(4):224-34.
- [27] - Fael H, Demirel AL. Indomethacin co-amorphous drug-drug systems with improved solubility, supersaturation, dissolution rate and physical stability. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021 May 1;600:120448.

## تخفيض COD من مياه صرف معاصر الزيتون

### باستخدام كاشف فنتون

مريم العساف الزامل<sup>1</sup> د. محمود عامر<sup>2</sup>

#### المخلص

أستخدم في هذا البحث كاشف فنتون ( $H_2O_2/Fe^{2+}$ ) لإزالة الملوثات العضوية من المياه الملوثة الناتجة عن صرف معاصر الزيتون وذلك من خلال تعيين COD .  
وُدُرِس تأثير مجموعة من العوامل لإزالة COD مثل: pH الوسط، درجة الحرارة، تركيز كل من  $H_2O_2$  و  $Fe^{2+}$ ، حيث بلغت نسبة إزالة COD القيمة %72 عند الشروط  
( $H_2O_2/Fe^{2+}$ ) = 16.2، T=30 °C ، pH=3.5

**كلمات مفتاحية:** تفاعل فنتون، COD، OMW.

<sup>1</sup>. طالبة ماجستير كيمياء فيزيائية - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة البعث.

<sup>2</sup>. أستاذ مساعد في قسم الكيمياء - كيمياء فيزيائية - كلية العلوم - جامعة البعث.

# Reduction of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent

## COD reduction from olive mill wastewater using Fenton reagent

Maryam<sup>1</sup>, Dr.MAHMOOD AMER<sup>2</sup>

### Abstract

In this research, the Fenton Detector ( $H_2O_2/Fe^{2+}$ ) was used to remove organic pollutants from contaminated water from the discharge of olive presses by assigning COD.

He studied the effect of a range of factors to remove COD such as: PH medium, temperature, concentration of both  $Fe^{2+}$  and  $H_2O_2$ , where the value COD removal rate was 72% at  $PH=3.5$ ,  $T=30$  oC,  $(H_2O_2/ Fe^{+2}) = 16.2$

**Keywords:** Fenton process, Chemical Oxygen Demand(COD), OMW

---

1.Master of physical chemistry –Chemistry department-faculty of science- Al,Baath University

2. Assistant Professor in chemistry- physical chemistry - faculty of science - Al,Baath University

## 1 = مقدمة:

يعتبر الماء من أهم المصادر لاستمرار الحياة، ولقد ازدادت عمليات تلوث المياه بشكل عام نتيجة النشاط البشري المتزايد، مما دعى العديد من دول العالم لفرض قوانين وتشريعات من أجل المحافظة على هذه المصادر.

ويؤثر النشاط الصناعي بشكل كبير في تلوث المياه نتيجة إطلاق العديد من الملوثات الناتجة عن الكثير من المصانع في مصادر المياه، وقد بذلت محاولات عدة من أجل الحفاظ على نقاوة المياه [1].

حاول العديد من الباحثين توفير طرائق معالجة للمياه بتقنيات سهلة وذات كلفة اقتصادية متاحة.

تعاني دول حوض البحر الأبيض المتوسط من فترات جفاف شديدة وبالتالي مشاكل جدية مع مصادر المياه، تعاني هذه الدول مشاكل زراعية وخاصة في الزراعات الصناعية مثل معاصر الزيتون والتي تحتاج لكميات كبيرة من المياه وتطلق ملايين الاطنان من المياه الملوثة الى الوسط مما يسبب تلوثاً خطيراً للبيئة.

تحتوي مياه معاصر زيت الزيتون (Olive mill wastewaters) OMW ع كميات كبيرة من الملوثات وخاصة العضوية منها وتصل قيمة هذه الملوثات في بعض الاحيان من خلال قيمة COD الى 200 g/l [2-3].

في عام (2001) قام الباحث بيلتران (Beltran) وآخرون بدراسة حركية نموذجية لأكسدة عشر مركبات فينولية باستخدام كاشف فنتون وتم تحديد ثوابت السرعة لانحلال هذه المركبات في كاشف فينتون كمرحلة اولى وثوابت السرعة لتفاعلات الجذر الهيدروكسيلي مع تلك المركبات الفينولية كمرحلة ثانية [4].

كما تمت عام 2018 دراسات حركية لتفاعل تحلل NBB (أزرق النفطول الأسود) باستخدام تفاعل أكسدة الفنتون بواسطة طيف الأشعة فوق البنفسجية والمرئية، حيث تم

تتبع تركيز NBB بواسطة UV-VIS، وضبطت تراكيز  $H_2O_2$  و  $FeSO_4$  وقيم الـ pH، حيث بينت نتائج الدراسة بأن التفاعل من المرتبة الأولى وقيمة طاقة تنشيط التفاعل  $[5].6.0 \pm 7 \text{ kJ mol}^{-1}$

عام 2019 استخدم كاشف فنتون المكون من الماء الاوكسجيني وبلورات أوكسيد الحديد النانوية لأكسدة الملونات (صبغة بسمارك) (Bismarck dye (BD) في مياه صرف مصنع الجينز بتأثير أشعة الشمس (بشكل طبيعي) وبشكل صناعي بتأثير الأشعة فوق البنفسجية، التي أدت إلى إزالة 32-60% من الصبغة الملوثة خلال 60 دقيقة من التشعيع، ودرست حركية هذا التفاعل التي بينت أن هذا التفاعل من المرتبة الثانية وطاقة تنشيطه  $[6].1.3 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

## 2- أهمية و هدف من البحث:

تكمن أهمية البحث في استخدام طريقة تجريبية لمحاولة التخلص من الملوثات العضوية في مياه معاصر زيت الزيتون وبالتالي تخفيض التلوث لهذه المياه الى الحد الأدنى. ويهدف هذا البحث الى تخفيض الحمولة العضوية لمياه معاصر زيت الزيتون OMW من خلال:

- ❖ تحديد قيمة COD للمياه قبل وبعد المعالجة.
- ❖ تحديد بعض الشروط المثلى لاستخدام طريقة فنتون في معالجة المياه:
  - (1) pH الوسط
  - (2) ودرجة الحرارة
  - (3) تركيز الكاشف

### 3- الجزء العملي وطرائق العمل:

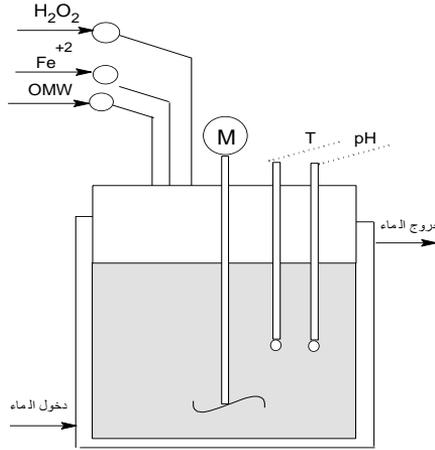
#### 3-1- المواد المستخدمة:

- ماء أوكسجيني تركيزه (35% wt).
- كبريتات الحديدي سباعية الماء  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ .
- هيدروكسيد الصوديوم NaOH.
- حمض الكبريت المركز  $H_2SO_4$ .
- مياه صرف ناتجة عن معاصر زيت الزيتون (OMW).
- جهاز قياس pH.
- حمام مائي (تروم ستات) يحوي فتحتين لدخول وخروج الماء ومزود بخلاط وميزان حرارة وسخان كهربائي.
- بيشر زجاجي سعة 1000ml.

#### 3-2 - طريقة العمل:

- استخدمت في هذه الدراسة مياه عادمة ناتجة عن معصرة زيتون تقليدية تعمل بالطريقة الكلاسيكية وهي بلون بني محمر داكن.
- اخضعت العينة (500ml) التي تم أخذها من المعصرة مخبرياً مباشرة لعملية ترقيد لمدة 48 ساعة، لفصل المواد الصلبة العالقة في المياه ومن ثم ترشيح المياه ، وحفظت المياه في أوعية زجاجية مغلقة وفي مكان عاتم وأخضعت للتجارب التالية:
  - تم تحديد قيمة pH المياه المستخدمة فكانت  $PH=4-5$  .
  - استخدم من أجل اجراء التجارب بيشر زجاجي سعة 1000 ml موضوع في حمام مائي مزود بسخان وفتحتين لدخول وخروج الماء من اجل التحكم بدرجة

- الحرارة (ترموستات) الشكل (1)، وعاء حجم الماء المستخدم من المياه الملوثة 500 ml بعد التمديد وهذا الحجم تم استخدامه في التجارب العملية.
- تم التحكم بقيم pH باستخدام محاليل 0.1M من ماءات الصوديوم وحمض الكبريت، وضبطت درجة الحرارة من خلال مقياس موجود في الحمام المائي وأضيف الى محلول مياه الصرف (OMW) كميات محددة من الماء الأوكسجيني  $H_2O_2$  ومحلول ايونات الحديد الثنائي مع التحريك المستمر، وتعتبر لحظة إضافة الماء الأوكسجيني بداية التفاعل.
  - تم اجراء قياسات تغير المتطلب الكيميائي من الأوكسجين COD بتابعية الزمن وذلك باستخدام طريقة التهضيم باستخدام ثاني كرومات البوتاسيوم وفقاً للطريقة المقترحة بالمرجع [10].
  - بلغت قيمة COD في عينة المياه الملوثة قيمة  $COD_0 = 34 \text{ g/l}$  قبل المعالجة.



الشكل (1): الترموستات المستخدم في اجراء التجربة

#### 4- النتائج والمناقشة:

#### 1-4- دراسة تأثير تركيز أيونات الحديدي والماء الأوكسجيني على تخفيض قيم COD:

من أجل معرفة كميات الحديد الثنائي والماء الأوكسجيني اللازم استخدامها لتحقيق تخفيض جيد لـ COD ، أجريت تجارب منفصلة باستخدام تراكيز محدودة من الماء الأوكسجيني وأيونات  $Fe^{+2}$ ، والتي أضيفت مباشرة الى 500 ml من مياه المعصرة المحضرة سابقاً ومع التحريك المستمر وذلك عند الدرجة  $20^{\circ}C$  واستمرت التجربة لمدة 30 دقيقة وكانت النتائج وفق الجدول (1) التالي:

الجدول (1): تغيرات قيم COD بتغير تركيز كل من الماء الأوكسجيني و أيونات الحديدي

[CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] mol/l	[Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O] mol/l				
	0.01	0.03	0.06	0.12	0.3
	COD <sub>conv</sub> %				
0.176	58.4	63.4	62.3	59.5	58.2
0.486	64.3	72.2	66.3	65.1	66.3
0.529	65.2	71.6	67.4	66.5	67.3
0.882	66.1	71.5	66.4	65.3	67.2
2.0	66.3	71.0	65.8	66.6	68.1

تم تحديد نسبة COD التي ازيلت عند قيمة pH=3.5 وبعد انتهاء التجربة وذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$COD_{CONv}\% = \frac{COD_0 - COD_f}{COD_0} \times 100 \quad (1)$$

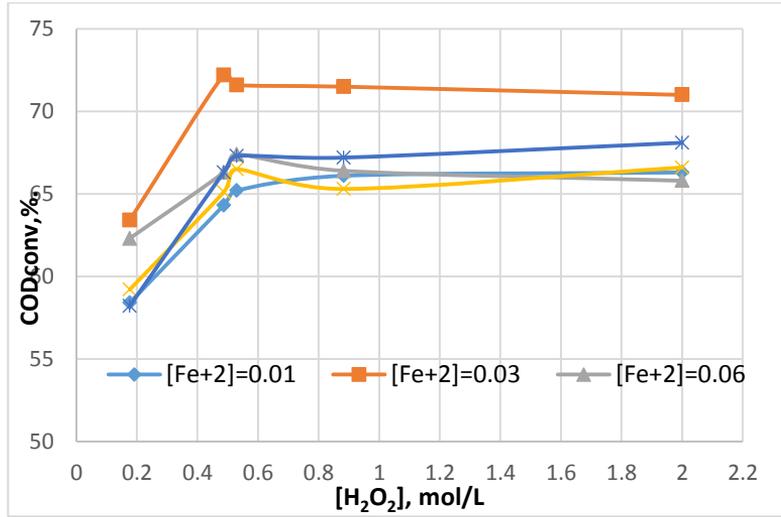
حيث:

$COD_0 = 34$  g/L: كمية COD الابتدائية الموجودة في المحلول المائي من OMW.

$COD_f$ : قيمة COD بعد نهاية التجربة.

COD<sub>conv</sub>: قيمة COD المتحولة (المزالة).

و يبين الشكل (2) التالي تغيرات COD بدلالة تغير تركيز كل من  $H_2O_2$  و  $Fe^{2+}$  :



الشكل (2): تغيرات COD بدلالة تغير تركيز كل من  $H_2O_2$  و  $Fe^{2+}$  :

لوحظ من الشكل السابق و الجدول (1):

1. أن استخدام كواشف فنتون  $H_2O_2$  و  $Fe^{2+}$  بشكل منفصل لا يؤدي الى تخفيض الـ COD بشكل فعال وبالتالي لا يمكن استخدام ذلك من أجل معالجة المياه العادمة الناتجة عن معاصر صرف الزيتون.
2. أفضل تخفيض للـ COD يحصل عندما تكون  $CH_2O_2/Fe^{2+}=16.2$  حيث تصل نسبة التخفيض إلى 72.2% ، وسوف نعتمد هذه النسبة في جميع التجارب اللاحقة.

3. مع ازدياد تركيز  $Fe^{+2}$  يطهر التأثير السلبي على تخفيض الـ COD، ويمكن ان يعزى ذلك الى الية تفاعل فنتون التي يمكن ان تتغير، بالإضافة لإمكانية حدوث تفاعلات جانبية تؤثر في هذه الآلية وازدياد تركيز البيروكسيد يؤدي لازدياد الجذور الحرة  $OH^{\cdot}$  التي يمكن ان تتعرض الى عملية كبح (استهلاك) وأضعاف الفعالية [7].

#### 4-2- دراسة تأثير pH الوسط على تخفيض قيم COD:

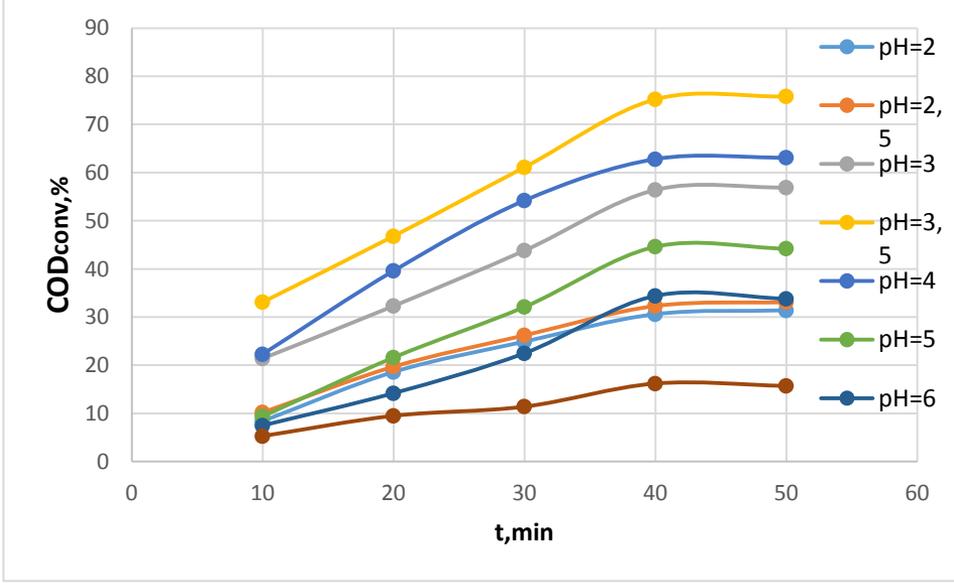
تعد قيمة pH المحلول من التغيرات الهامة التي تلعب دوراً اساسياً في التحكم بعمليات إزالة الملوثات؛ إذ تتحكم قيمة الـ pH بإنتاج جذور الهيدروكسيل  $OH^{\cdot}$  وبتشكيل أيونات الحديد [8].

ثم تغيير قيمة pH لهذه المحاليل ضمن المجال  $pH= 2-8$  باستخدام محاليل 0.1 M لكل من هيدروكسيد الصوديوم وحمض الكبريت باستخدام الشروط نفسها في التجربة السابقة باستثناء الزمن، وحددت قيم الـ COD وفق العلاقة (1) (انظر الجدول (2)).

#### الجدول (2): تأثير pH الوسط والزمن في تخفيض قيم COD

pH	2	2.5	3	3.5	4	5	6	8
T(min)	COD <sub>conv</sub> %							
10	8.4	10.2	21.4	33.1	22.3	9.4	7.5	<b>5.3</b>
20	18.6	19.7	32.3	46.8	39.6	21.6	14.2	<b>9.5</b>
30	24.9	26.2	43.8	61.1	54.2	32.1	22.5	<b>11.4</b>
40	30.6	32.3	56.4	75.2	62.8	44.6	34.4	<b>16.2</b>
50	31.4	33.1	56.9	75.8	63.1	44.2	33.8	<b>15.7</b>

و يوضح الشكل (3) التالي تغيرات الـ COD بدلالة تغير PH الوسط عند  $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
 $:[\text{H}_2\text{O}]/[\text{Fe}^{+2}] = 16.2$



الشكل (3): تأثير pH الوسط تخفيض COD  $\text{H}_2\text{O}_2 / [\text{Fe}^{+2}] = 16.2, T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

يبين الشكل (3) تغير قيم الـ COD بدلالة pH الوسط، ويظهر من هذا الشكل التأثير الواضح لقيمة الـ pH في تخفيض COD، نتيجة تأثير ذلك في تفاعل أيونات الحديد الثنائي  $\text{Fe}^{+2}$  مع الماء الأوكسجيني  $\text{H}_2\text{O}_2$ ، و يعزى ذلك لتشكيل المعقد  $[\text{Fe}^{+2}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+2}$  الذي يتفاعل ببطء مع الماء الأوكسجيني مقارنة مع المعقد  $[\text{Fe}(\text{OH})_9(\text{H}_2\text{O})_5]^{+2}$ ، حيث يمكن ان تحدث عملية حلمهة البيروكسيد في الوسط الحمضي بوجود زيادة من  $\text{H}^+$  والذي يؤدي بدوره لتشكيل ايون البيروكسون  $[\text{H}_3\text{O}_2]^+$  وبالتالي يؤدي لزيادة ثبات البيروكسيد وتناقص فعاليته اتجاه ايونات الحديد  $\text{Fe}^{+2}$ .

[9-10].

كما يوضح الشكل (3) التناقض الحاد في قيم COD عند قيم  $pH > 5$ ، ويمكن ان يعزى ذلك لتشكيل معقدات من هيدروكسيد الحديد وخاصة ترسب الحديد على شكل هيدروكسيد  $Fe(OH)_3$ ، والذي يعيق التفاعل بين ايونات الحديد  $Fe^{+2}$  والماء الاوكسجيني  $H_2O_2$  لتوليد الجذور الحرة  $\cdot OH$  التي تقوم بفعل الاكسدة، ومن جهة أخرى فإن ترسب  $Fe(OH)_3$  يحفز عملية التفكك التلقائي للماء الاوكسجيني إلى الماء والاكسجين الجزيئي لأن الماء الاوكسجيني لا يكون ثابتاً في الأوساط القلوية وبالتالي إضعاف الفعل المؤكسد له [11].

وعند زيادة قيمة pH الى 8 تتشكل معقدات الحديد  $[Fe(OH)_4]$  على شكل قشور عائمة على سطح المحلول، ويمكن أن يترسب الحديد على شكل  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$  ويؤدي ذلك لتناقص تخفيض COD [12-13].

بالنتيجة نلاحظ أن ازدياد قيمة pH تؤدي لزيادة إزالة COD في الوسط الحمضي حتى  $pH=3-4$  وبعد ذلك تتناقص عملية إزالة COD وخاصة الوسط القلوي ويمكن القول إن القيمة الأمثل لـ pH الوسط هي 3.5 وزمن 40min والتي سوف تستخدم في التجارب اللاحقة.

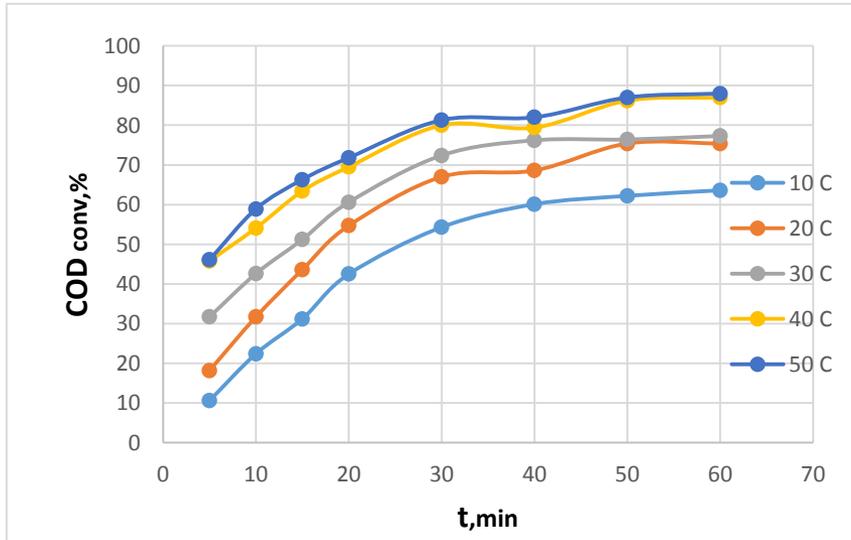
#### 3-4- دراسة تأثير درجة الحرارة على تخفيض قيم COD:

درس تأثير درجة الحرارة ضمن المجال  $10-50^{\circ}C$ ، وزمن من 5-60 min ويوضح الجدول (3) النتائج التي تم الحصول عليها:

الجدول (3): تأثير درجة الحرارة على تخفيض COD عند معالجة المياه الملوثة المدروسة بكاشف فنتون

t,min	COD(conv.) %				
درجة الحرارة	10	20	30	40	50
5	10.6	18.2	31.7	45.8	46.1
10	22.4	31.7	42.6	54.1	58.9
15	31.2	43.6	51.2	63.4	66.3
20	42.5	54.7	60.6	69.5	71.8
30	54.3	67	72.4	80	81.3
40	60.1	68.6	76.2	79.4	82
50	62.2	75.4	76.4	86.2	87
60	63.6	75.4	77.3	87	88

والشكل (4) يوضح تغيرات قيم الـ COD بدلالة درجة الحرارة.



الشكل (4): تأثير درجة الحرارة في تخفيض قيم COD من مياه معاصر الزيتون

لوحظ من الشكل (4):

1. أن درجة الحرارة الأمثل لعملية الازالة هي  $30-40^{\circ}\text{C}$  وعند درجات الحرارة المنخفضة تشير قيم COD الى ان العملية لا تتم بشكل كامل خلال الزمن 60 min، فمن أجل درجة الحرارة  $10^{\circ}\text{C}$  بلغت قيمة تخفيض COD بعد 60 min 63.3%.

2. وتزداد قيمة COD الى 75.4% عند درجة الحرارة  $20^{\circ}\text{C}$  و 77.3% عند الدرجة  $30^{\circ}\text{C}$  لتصل الى قيمة عالية 87%، 88% عند درجة الحرارة  $40^{\circ}\text{C}$ ،  $50^{\circ}\text{C}$  على الترتيب.

3. ان قيم COD المرتفعة عند درجات الحرارة العالية  $40^{\circ}\text{C}$ ،  $50^{\circ}\text{C}$  لا تعبر بالضرورة عن فعالية كاشف فنتون، حيث يتفكك الماء الاوكسجيني عند ذلك الى الاوكسجين الجزيئي والماء وينعكس ذلك على ازدياد تخفيض COD و عند هذه الدرجات المرتفعة تكون كمية الجذور الحرة  $\text{OH}^{\cdot}$  منخفضة وبالتالي يمكن القول ان ارتفاع درجة الحرارة الى ما فوق  $50^{\circ}\text{C}$  يؤدي الى ضعف فعالية تفاعل فنتون وتتوافق هذه النتيجة مع الدراسات المرجعية [15].

#### 5- الاستنتاجات والتوصيات:

- يعمل تفاعل فنتون ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ) بكفاءة جيدة لأكسدة المركبات العضوية (الملوثات) الموجودة في المياه الناتجة عن معاصر الزيتون ويؤدي ذلك لانخفاض قيمة COD لهذه المياه بشكل واضح .
- يزداد تخفيض COD من المياه الملوثة بازياد تركيز كل من  $\text{H}_2\text{O}_2$  و  $\text{Fe}^{+2}$  وذلك الى حد معين.

- بلغ التخفيض في قيم COD قيمة عظمى عند النسبة  $[H_2O_2]/[Fe^{+2}]=16.2$  ووصلت الى 72,4% عند الدرجة  $30\text{ }^\circ\text{C}$  وخلال الزمن 30 min.
- يؤدي ارتفاع درجة الحرارة الى زيادة تخفيض COD، وذلك حتى الدرجة  $30-40\text{ }^\circ\text{C}$  وبعد ذلك تحصل عملية التفكك  $H_2O_2$  بشكل أساسي الى الاوكسجين الجزئي والماء ويتناقص تركيز الجذور الحرة المتولدة
- بلغت القيمة العظمى للتخفيض COD 72.2 عند قيمة  $pH= 3.5$ .

نوصي بما يلي:

- تجميع المياه الناتجة عن معاصر الزيتون وتطبيق نتائج هذه الدراسة لإزالة الملوثات
- تطبيق هذه الدراسة لإزالة الملوثات من المياه الناتجة من مصادر مختلفة مثل الصرف الصحي والمياه الصناعية...الخ.

## 6- المراجع:

- [1]. Domingues, E., Gomes, J., Quina, M. J., Quinta-Ferreira, R. M., & Martins, R.C., (2018). Detoxification of olive mill wastewaters by Fenton's process. *Catalysts*, V. 8, N.(12), P. 662.
- [2]. N. Azbar, A. Bayram, A. Filibeli, A. Muezzinoglu, F. Sengul, A. Ozer, A, (2004) , review of waste management options in olive oil production, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, V. 34 ,P.209–247.
- [3]. Mert, B. K., Yonar, T., Kiliç, M. Y., & Kestioğlu, K. (2010). Pre-treatment studies on olive oil mill effluent using physicochemical, Fenton and Fenton-like oxidations processes. *Journal of hazardous materials*, 174(1-3), 122-128
- [4]. K.I. Hilsabeck, J.L. Meiser, M. Sneha, J.A. Harrison, R.N. Zare, (2019), Nonresonant photons catalyze photodissociation of phenol, *J. Am. Chem. Soc.* V.141, N.2, P.1067–1073
- [5]. Prasse, C, Ford, B, D.K. Nomura, D.L. Sedlak, (2018), Unexpected transformation of dissolved phenols to toxic dicarbonyls by hydroxyl radicals and UV light, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, V. 115 , N.10, P.2311–2316.
- [6] Tony, M.A., Mansour, S.A., (2019), Solar photo-Fenton reagent with nanostructured iron oxide for Bismarck dye oxidation: an Egyptian apparel case study, *International Journal of Environmental Science and Technology*.
- [7] . Marcoss. Lucas, Jose A. Peres, (2009). Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study. *J. of Hazardous Materials*, ,N. 168, P.1253 -1259
- [8] Tarokh Khodadadi; Eisa slogi; samar reza. Martazavi; Hashmatollah Nourmoradi, (2020). Comparison of advanced oxidation methods of Fenton, uv / Fenton and O31 Fenton in

treatment of municipal wastewater. J. Desalination and water treatment, N.206, P.108-115

[9] Yao Y. J. Xu F.F; S Chen M *et al*,(2010). Adsorption behavior of methylene blue on carbon nanobabs. Bioresource Technolog ., N. 101, P. 3040 – 3046

[11]. Bautista, P., Mohedano, A. F., Gilarranz, M. A., Casas, J. A., & Rodriguez, J. J. (2007). Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. *Journal of Hazardous Materials*, N. 143(1-2), P.128-134.

[12] Ugurlu M; Kule I,(2007). Decolourization and removal of some organie.compounds from olive mille wastewater by advanced oxidation processes and lime treatment . Environmental Science and pollution research., N.14, P. 319-325

[13] . Marcoss. Lucas, Jose A. Peres, (2009). Removal of COD from oliv mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study. J.of Hazardous Materials, , N.168, P. 1253 -1259

## تصنيع ونمذجة حساس ضغط طبي قابل للتلامس

### ذو حساسية ومجال ديناميكي ملائمين

الطالب: علي صقر<sup>1</sup>، د. أحمد العبدو<sup>2</sup>، د. عبدالله رستناوي<sup>3</sup>

#### الملخص

في هذا البحث، قمنا بتصميم وتصنيع حساس ضغط سعوي تلامسي ذو حساسية عالية وخطية جيدة ومجال ديناميكي واسع نسبياً من أجل قياس ضغط الدم وضغط التنفس.

وقد وجدنا أن خطية وحساسية الحساس تتعلق بالمجال الديناميكي. وديناميكية الحساس تتعلق بمساحة الصفيحة القابلة للحركة وسماكتها وثابت صلابتها أو مرونتها. وأن عمل ثقب في الصفيحة الثابتة يزيد من المجال الديناميكي للحساس. وأن لصق ورقة عازلة مشبعة بشمع البرافين يزيد من حساسية الحساس. وأنه عندما يعمل الحساس في النمط التلامسي يحسن من خطية الحساس. وكلما كانت مساحة وسماكة الورقة العازلة المشبعة بشمع البرافين أكبر أصبح المجال الديناميكي للحساس أصغر. وأن إضافة طبقة ذات سماحية كهربائية أكبر يجعل الحساس أكثر حساسية. وأنه كلما كانت أبعاد الحساس أصغر كان استهلاك الطاقة الكهربائية أصغر. ونقترح طلي الحساس بالبوليميد ليكون متوافق مع جسم الإنسان كما نقترح عمل نماذج مصغرة مناسبة لبقية التطبيقات الحيوية.

**كلمات مفتاحية:** حساس ضغط سعوي تلامسي، حساسية، خطية، مجال

ديناميكي.

<sup>1</sup> طالب دكتوراه في الإلكترونيات في قسم الفيزياء

<sup>2</sup> أستاذ مساعد في قسم الفيزياء بكلية العلوم - جامعة البعث.

<sup>3</sup> أستاذ في قسم الفيزياء بكلية العلوم - جامعة البعث.

# Fabrication and prototyping of a contactable medical pressure sensor with appropriate sensitivity and dynamic range

Student: Ali Saker<sup>4</sup> Dr. Ahmad Al-Abdo<sup>5</sup>

Dr. Abdullah Rastanawi<sup>6</sup>

## Abstract

In this paper, we designed and manufactured a touch capacitive pressure sensor with high sensitivity, good linearity and relatively wide dynamic range for the measurement of blood pressure and respiratory pressure. We found that the linearity and sensitivity of the sensor are related to the dynamic range. The dynamics of the sensor is related to the area of the movable plate, its thickness, and its rigidity or elasticity constant. Making a hole in the static plate increases the dynamic range of the sensor. Sticking an insulating paper saturated with paraffin wax increases the sensitivity of the sensor. When the sensor operates in the touch mode, the linearity of the sensor improves, and the larger the area and thickness of the paraffin wax insulating paper, the smaller the dynamic range of the sensor. Adding a layer with a greater electrical permittivity makes the sensor more sensitive. And the smaller the sensor dimensions, the smaller the electrical energy consumption. We suggest coating the sensor with polyimide to be compatible with the human body. We also suggest making miniature models suitable for the rest of the biological applications

**Key words:** touch capacitive pressure sensor, sensitivity, linearity, dynamic range.

<sup>4</sup> PhD Student in Electronics

<sup>5</sup> Department of Physics in faculty of science-AL-Baath university.

<sup>6</sup> Department of Physics in faculty of science-AL-Baath university.

## 1. مقدمة

يتسع يوماً بعد يوم بشكل متسارع مجال استخدام حساسات الضغط في تطبيقات التجهيزات الطبية والفضائية والصناعية والتجارية. تقسم حساسات الضغط إلى زميتين رئيسيتين هما حساسات الضغط ذات المبدأ السعوي capacitive وحساسات الضغط ذات المقاومة الانضغاطية piezoresistive. تبين الدراسة المراجعة أن حساسات الضغط ذات المبدأ السعوي هي الأفضل، لأنها تمتلك حساسية وديناميكية أعلى، ولأنها لا تتأثر بشكل كبير مع تغيرات درجة الحرارة، وعدم تأثرها بوجود تلوثات بيئية في مكوناتها، وأن ربطها بواسطة واجهة-بيئية مع بقية أجهزة القياس يتم بشكل أسهل، وتصنيعها يتم بشكل أبسط، كل ذلك فضلاً عن تطبيقاتها الواسعة في الطب الحيوي. ولكن السيئة الوحيدة تكمن في ضيق المجال الديناميكي لتغيرات السعة، حيث يتم عادة حل هذه المشكلة من خلال استخدام مجموعة حساسات تغطي مجالات مختلفة. وقد اقترح المرجع [1] حل هذه المشكلة بإدخال غاز ذو سماحية كهربائية عالية في حجرة أو تجويف الحساس.

إن اقتراح إدخال أي غاز ذو سماحية كهربائية عالية في تجويف الحساس بدلاً من الهواء سوف يحسن من السعة، وبالتالي في الحساسية السعوية، لكنه من المستبعد أن يحسن المجال الديناميكي للحساس، فضلاً عن أن استخدام الغاز يواجه بالعديد من المشاكل التقنية. حيث إن ذلك يتطلب منا عمل إغلاق محكم دائم على الغاز المختار البديل للهواء، مما يجعل ضغط المقاس للحساس هو ضغط تفاضلي. وهذا ما يقلل من ديناميكية حركة الغشاء (أو الصفيحة القابلة للحركة)، وبالتالي يقلل من تغيرات السعة، ويقلل من الحساسية السعوية. أي أن الحساسية تزداد من ناحية وتتناقص من ناحية أخرى.

## 2. مشكلة البحث

إن مشكلة الأساس لهذا البحث هي تصميم وتصنيع حساس ضغط سعوي ذو مجال ديناميكي يفي بأغراض التطبيقات الطبية-الحيوية وذو حساسية عالية كافية ذات

معادلة رياضية مستقرة مع الزمن (بمعنى لا يتأثر بالمتغيرات الفيزيائية الأخرى التي يسببها جسم الإنسان والوسط المحيط) أو خطية على الأقل ضمن مجال القياس المطلوب. وأن يكون ذو حجم صغير ومناسب لجسم الإنسان.

### 3. هدف البحث

قمنا في هذا البحث على تطوير نموذج فيزيائي لحساس ضغط سعوي يمكن استخدامه في الحقل الطبي. حيث إن هذا الحساس سوف يشكل أحد وحدات منظومة من الحساسات، التي أنجزنا حتى الآن منها حساسين درجة حرارة وحساس رطوبة لاستحصال الاشارات الحيوية للمرضى المزمين وتسجيلها وارسالها بشكل دوري الى مركز طبي لمراقبتها بشكل دائم، بحيث يحقق النموذج المقترح المتطلبات التالية: استهلاك منخفض للطاقة، ومتآف مع جسم الانسان، وسهل الاستخدام والتنشيط على جسم الإنسان، ومتوافق مع بنية الأجهزة الإلكترونية الحديثة، وله منحنى استجابة مستقر عالي الموثوقية.

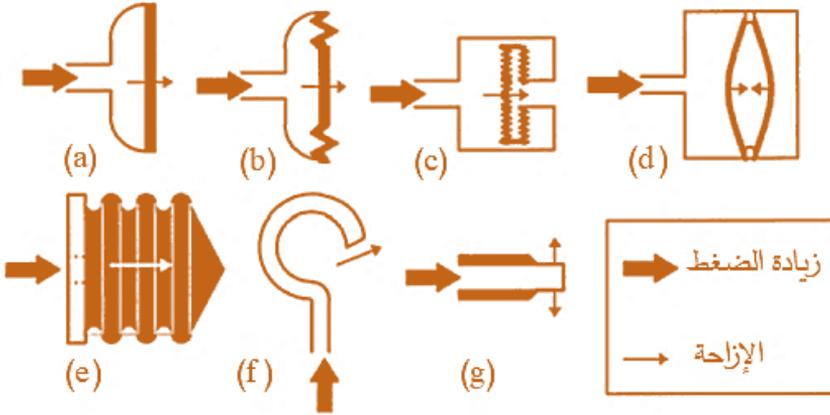
### 4. دراسة مرجعية

#### 1.4. دراسة مرجعية عن حساسات الضغط السعوية

إن حساسات الضغط الممكنة-الميكروية<sup>7</sup> هي نسخ مصغرة من نظيراتها العيانية [2]. يتم عادة تصميم الحساسات القائمة على الغشاء من أجل قياس الانزياح الحاصل على أغشية قابلة-للتشوه deformable diaphragms عندما يطبق إجهاد أو ضغوط خارجية. إن الضغط المرجعي بالنسبة لحساسات الضغط السعوية يمكن أن يكون حجرة محكمة الإغلاق ذات ضغط أو منفذ للضغط ذي قفل قادم من مضخة مثلاً، بحيث يمكن قياس الضغط المطلق أو النسبي. يبين الشكل (1) مقاطعاً عرضية تخطيطية لأغشية حساسات ضغط نموذجية عيانية. كما يبين أن للأغشية شكلاً عشوائياً عندما يتم النظر إليها من الأعلى، لكن إذا ما نظر إليها من اليمين فسيلاحظ بأن لها شكلاً مربعاً

<sup>7</sup> حساسات ضغط مصغرة يتم تصنيعها بواسطة مكثات التصنيع الميكروي.

أو دائرياً. لكن رغم ذلك إن كافة هذه الأشكال للأغشية تتصرف بأشكال متشابهة من أجل أي إجهاد أو ضغط معطى يتم تطبيقه عليها.



**الشكل (1):** حساسات ضغط سعوية عيانية نموذجية: (a) حساس ضغط سعوي ذو غشاء بسيط، (b) حساس ضغط سعوي ذو غشاء متموج، (c) حساس ضغط سعوي كبسولي، (d) حساس ضغط سعوي ذو غشاءين، (e) حساس ضغط سعوي منفاخي (f) حساس ضغط سعوي ذو أنبوية معقوفة أو بوردون Bourdon، (g) حساس ضغط سعوي ذو أنبوية مستقيمة (مقتبس من المرجع [2]).

#### 1.1.4.. حساس الضغط المطلق

يبين **الشكل (2)** رسماً تخطيطياً لبنية حساس ضغط مطلق سعوي ذي صفيحتين متوازيتين. إن سعة هذا الحساس تعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

حيث  $C$  هي سعة المكثفة المستوية، و  $\epsilon_0$  هي السماحية الكهربائية للخلاء، و  $\epsilon_r$  هي السماحية الكهربائية النسبية للوسط العازل في الحجرة بين اللبوسين، و  $A$  هي المساحة الفعالة من سطح اللبوس، و  $d$  هي المسافة الفاصلة بين اللبوسين؛ أي الصفيحة أو الغشاء العلوي والصفيحة السفلية.



**الشكل (2):** رسم تخطيطي مبسط لبنية حساس ضغط سعوي (مقتبس من المرجع [3]).

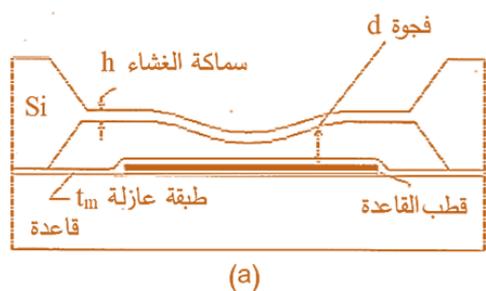
تتأقش المراجع [4-11] العديد من التصاميم لحساسات ضغط سعوية تقيس ضغوط مطلقة. حيث تشمل بنية الحساس على حجرة ذات ضغط مرجعي (ضغط مطلق أقل من 1 mTorr) مغلقة بإحكام بواسطة غشاء مرن يمكنه أن يتحمل ضغوط شديدة وعلى صفيحة ناقلة موازية سفلية تكون على طرف الحجرة المقابل للغشاء الذي يكون عادة ناقل أو مطلي عليه طبقة ناقلة.

يتسبب الاختلاف بين الضغطين الخارجي المرجعي والضغط الداخلي بتشوه الغشاء، مما يؤدي إلى تغير في سعة هذه المكثفة نتيجة لتغير المسافة الفاصلة بين الغشاء المرن الناقل والصفيحة السفلية الثابتة. ولذلك، فإن سعة المكثفة تتغير مع تغير الضغط الخارجي. وبالتالي، فإنه بتعيين أو قياس سعة المكثفة يمكن تعيين الضغط الخارجي المطبق على الغشاء [6].

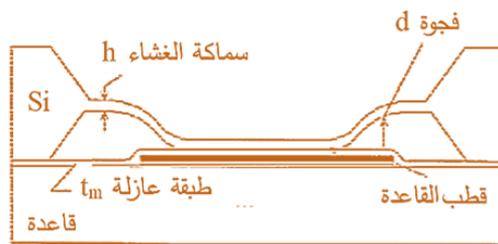
يمتاز حساس الضغط المطلق بأنه يمتلك حساسية عالية، إلا أنه ذو مجال ديناميكي dynamic range صغير نسبياً. يمكن تحسين المجال الديناميكي بواسطة ما يسمى تقنية المكثفة الكهروساكنة المساعدة electrostatic servo capacitor technique [8]. في حساسات الضغط المطلق، على الأغلب يبقى الجزء الأكبر من مساحة الغشاء في حالة مستوية [9] بينما يكون الجزء المركزي من مساحة الغشاء فقط هو الجزء المتحرك أو المتشوه [8]، [10-11]. وإن ما يميز حساسات الضغط المطلق ذوات الإغلاق المحكم على الخلاء هي أنه يتم فيها إلغاء تأثير تمدد الغاز المحصور مع تغير درجات الحرارة [11].

#### 2.1.4. حساس ضغط السعوي ذي النمط التلامسي

على العموم في حساسات الضغط السعوية عند تطبيق ضغوط على الحساس يكون الضغط المطبق متناسباً مع مربع السعة. ولذلك، لا تكون استجابة حساسات الضغط السعوية خطية. إلا أنه تم تطوير حساس ضغط سعوي ذي نمط تلامسي ناعم ذو شكل قطع مكافئ وتجويف تقعري donut cavity [12].



(a)



(b)

**الشكل (3):** رسم تخطيطي لمبدأ حساس الضغط ذي النمط التلامسي (a) حساس من النمط الاعتيادي في حالة تشغيل (b) حساس من النمط التلامسي في حالة تشغيل (مقتبس من المرجع [13]).

يستخدم في هذا الحساس غشاء من البوليميد من أجل زيادة الحساسية السعوية. وبحسب المناقشات الواردة في المراجع [12]، [13-16] يمكن لحساس الضغط السعوي ذو النمط التلامسي (حيث يتلامس الغشاء عند التشغيل مع الصفيحة السفلية الثابتة الناقلة) أن ينتج علاقة شبه خطية بين الضغط المطبق وسعة الحساس. يبين الشكل (3) رسماً تخطيطياً لحساس ضغط من النمط التلامسي وحساس من النمط الاعتيادي وهما في حال تشغيل، أي في حالة تطبيق ضغط على الغشاء.

يتم إعادة تصميم معظم حساسات الضغط السعوية ذات النمط التلامسي ، كما هو مبين تخطيطياً في الشكل (4)، بوضع نتوء bossed عازل في أسفل الغشاء العلوي.



**الشكل (4):** رسم تخطيطي مبسط لحساس الضغط السعوي ذي الغشاء المنتئ مركزياً (معمول له نتوء مركزي) [17].

### 3.1.4. حساس الضغط التفاضلي السعوي (CDPS)

إن حساس الضغط التفاضلي السعوي Capacitive Differential Pressure Sensor (CDPS) هو حساس يستخدم فرق الضغط بين الضغط المراد قياسه والضغط المرجعي، وبالتالي فهو يقيس السعة الناتجة عن انحراف الغشاء العائد إلى فرق الضغط [2] و [17-25]. إن حجرة أو تجويف هذا الحساس تكون مملوءة بضغط مرجعي لغاز تم احكام السد عليه بواسطة الغشاء. إن ما يميز هذا النوع من الحساسات السعوية هو أنها قادرة على قياس ضغوط أدنى أو أعلى من الضغط المرجعي (الضغط في الحجرة). فعندما يكون ضغط المطبق الخارجي أدنى من الضغط المرجعي، فإن الغشاء ينحرف باتجاه الخارج، فتزداد المسافة بين الغشاء والصفيحة الناقلة السفلية، مما يؤدي لتناقص السعة المقاسة، والعكس بالعكس. إن البنية التخطيطية لـ CDPS مبينة في الشكل (5).



**الشكل (5):** رسم تخطيطي مبسط لمبدأ بنية CDPS (مقتبس من [19]).

#### 4.1.4. حساس الضغط السعوي للتطبيقات الطبية-الحيوية

تكتسب تقانة حساسات الضغط السعوية أهمية متزايدة في التطبيقات الطبية الحيوية بسبب الحساسية والاستجابة الديناميكية dynamic response العاليتين نسبياً [26-31]. حيث أن المواد البوليمرية هي المواد المفضلة على الأغلب في الحساسات بسبب خاصية التوافق الحيوي biocompatibility مع جسم الإنسان. يناقش المرجعين [27] و [29] حساس ضغط من هذا النوع مصنع ميكروبياً وقابل للزرع داخل العين Microfabricated implantable intraocular pressure sensor وقد تم التتويه انه يمكن استخدام هذا الحساس أيضاً إلى أن هذا الحساس يمكن استخدامه لمراقبة نشاط الرحم (الجنين) في المنزل من خلال استخدام واجهة-بينية لاسلكية wireless interface. وقد اقترح المرجعين [28] و [30] حساساً سعويّاً رقمي بيني Interdigitized capacitive sensor لتطبيقه من أجل مراقبة الأطفال الذين أجريت لهم عمليات جراحية لتطبيقه من أجل تشخيص وظائف الرئة.

#### 5.1.4. حساس الضغط السعوي المضبوط الكهروساكن

يتميز حساس الضغط السعوي المحكم السد على خلاء بحساسيته العالية، إلا أنه يفتقر إلى مجال ديناميكي واسع، نظراً لأن السعة فيه تتعين فقط من خلال المسافة الفاصلة بين القطبين (صفيحتين). حيث يتم تطبيق جهد كهربائي عالي نسبياً بين الصفيحتين المتوازيتين من أجل توليد قوة كهروساكنة، وهذا الإجراء هو ما يزيد، بحسب المناقشات الواردة في المراجع [32-34]، من حساسية الحساس.

#### 6.1.4.. حساس الضغط السعوي المنشط بالكهرباء الانضغاطية

لقد تم تصميم وتصنيع وتعيين ميزات مكثفة قابلة للضبط منشطة بالكهرباء الانضغاطية بواسطة (MEMS) Micro Electro Mechanical System من أجل تحسين المجال الديناميكي للحساس من خلال جعل الركيزة بلورة انضغاطية. وقد

تم تقديم تقرير بالنتائج لأعلى نسبة ضبط سعوية من 0.46 pF إلى 10.02 pF من أجل جهد ضبط قدره 35 V [2].

#### 7.1.4. حساس ضغط سعوي ذو قيادة مشطية

هنالك حساس سعوي ذو قيادة مشطية ممكن ميكروياً Micromachined comb drive capacitive sensing يستخدم بشكل واسع في العديد من مقاييس التسارع الممكنة-الميكروية micromachined accelerometers وفي دارات ضبط الترددات اللاسلكية MEMS RF tuning circuits. إن الميزة الرئيسية لهذه البنية هي أنها تعطي تغيراً كبيراً في السعة لكل وحدة إزاحة. وقد تم اقتراحها على أنها ملائمة للتطبيق من أجل مراقبة الأطفال الذين أجريت لهم عمليات جراحية [28] بسبب حساسيتها العالية ومجالها الديناميكي الواسع نسبياً. إن أحد تصاميم الوحدة المقادة مشطياً هي أنها تتألف من غشائين علوي وسفلي مع قطب كهربائي مشطي-متداخل كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (6): رسم تخطيطي لبنية الصفائح المشطية لحساس ضغط تفاضلي سعوي (CDPS) (مقتبس من المرجع [3]).

إن ما يميز هذا النوع من الحساسات زيادة حساسية الضغط السعوي التفاضلي من خلال زيادة سعة الحساس التي تزداد مع زيادة المساحة الفعالة للصفحتين ذواتا المشطين المتداخلين.

## 2.4. دراسة مرجعية عن تصنيع حساسات الضغط السعوية

تستلزم تقانة أو عمليتي التصنيع العياني أو الميكروي إجراء العديد من المعالجات الفيزيائية أو الكيميائية للمواد الداخلة في تصنيع الحساس. لذلك يجب أن يكون المصمم أو المصنع على معرفة واسعة بالتقانات المختلفة المستخدمة في التصنيع مثل الطباعة الحجرية الضوئية photolithography من أجل تشكيل النموذج، وزرع الأيونات Ion implantation من أجل تغيير الخصائص الكهربائية للمادة، وإجراء عملية الأكسدة من أجل العزل الكهربائي وإنشاء نافذة عملية process window، وترسيب البخار الكيميائي chemical vapor deposition من أجل تطوير فلم رقيق ذو بنية-ميكروية، والترسيب الفيزيائي للبخار physical vapor deposition من أجل عمل فيلم سميك، باستخدام مكننة-ميكروية سطحية وعميقة من خلال الحفر الرطب أو الجاف.

### 1.2.4. تصنيع الغشاء السيليكوني

يستخدم الكثير من حساسات الضغط السعوية أغشية من السيليكون والبولي-سيليكون. ويستخدم السيليكون أحادي-التبلور في عملية المكننة-الميكروية العميقة bulk micromachining. ويتم تحقيق ذلك باستخدام قناع ملائم مع عملية تلميش (الحفر-النميش) KOH etchant [8] و [10-11] و [35-37]. وقد اعتمدت كذلك عملية المكننة-الميكروية السطحية من أجل تصنيع الغشاء من البولي-سيليكوني.

### 2.2.4. حساس الضغط السعوي الخزفي

من أجل حساسات ضغط يمكن استخدامها عند درجات الحرارة العالية، تقترح المراجع [38-40] أن يتم زرع أغشية خزفية من كبريد السيليكون (SiC) على سطح قاعدة (أو ركيزة أو رقاقة) سيليكونية. ثم يتم صقل هذه الأغشية بطريقة التلميع الميكانيكي الكيميائي (CMP) Chemical Mechanical Polishing لإزالة خشونة السطح. ويتم ربط الأغشية بركيزة التجويف عن طريق تسخين المجموع إلى  $1000^{\circ}\text{C}$ . ثم يتم تلدينها عند درجة حرارة الغرفة. ثم تتم إزالة القاعدة (الركيزة) السيليكونية باستخدام مذيب مناسب

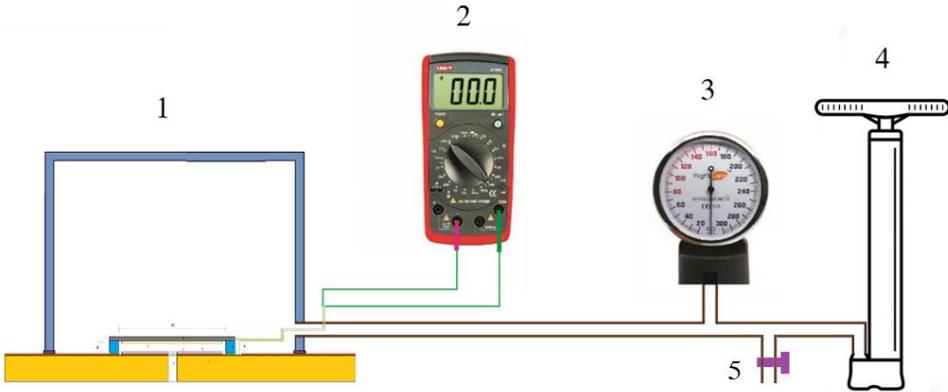
TMAH. تُستخدم أيضاً تقنية الشاشة المطبوعة Screen printed technology في تصنيع أغشية خزفية مشابهة [39].

### 3.2.4. تصنيع غشاء بوليميدي

لقد استخدمت مادة البوليميد polyimide في الأعمال الحديثة على نطاق واسع كمادة غشاء [12]، [15]، [22-23]، [41]. لكونها تتمتع باستقرارية ميكانيكية عالية وحرارية جيدة تصل إلى 450°C. كما أنها تتمتع بالتصاقية adherence جيدة مع المواد المرسبة عليها deposited برابطة ايبوكسية epoxy bonding. وهذه المراجع تعتبر هذه الأغشية من أفضل الخيارات من أجل التطبيق الطبي-الحيوي بسبب التوافق الحيوي وامتلاك الحساسات المستخدمة على حساسية عالية.

### 5. أجهزة القياس

لقد قمنا باختبار العديد من النماذج المصممة من قبلنا من أجل تطوير حساس سعوي صالح للقياسات الحيوية-الطبية ذو مجال ديناميكي واسع وحساسية عالية وشبه خطي وذو حجم صغير ملائم للتطبيقات الحديثة. يبين الشكل (7) المنظومة المصممة التي استخدمناها لاختبار عمل نماذج حساسات ضغط سعوية مصممة. ويبين الشكل (8) صورة ضوئية للمنظومة المصممة لاختبار عمل نماذج حساسات الضغط المصممة عند إجراء أحد الاختبارات.



**الشكل (7):** رسم تخطيطي للمنظومة المصممة من أجل اختبار عمل نماذج حساسات الضغط المصممة. 1. حجرة ضغط محكمة الإغلاق يوضع في داخلها الحساس لتطبيق مجال واسع من الضغوط على صفيحته العلوية، 2. مقياس سعة رقمي ملائم، 3. مقياس ضغط عياري لقياس الضغط المرجعي المطبق على الحساس، 4. مضخة هواء ذات صمام عدم رجوع من أجل رفع الضغط في الحجرة، 5. بزال للتفتيت لتخفيف الضغط في الحجرة.



**الشكل (8):** صورة ضوئية للمنظومة المصممة لاختبار عمل النماذج المصممة لحساسات الضغط السعوية.

## 6. النتائج والمناقشة

لقد تبين لنا من خلال القياسات على النماذج الاختبارية الأولية المصممة أن مشكلة الخطية، من أجل صفيحة قابلة للحركة معينة، تتعلق بالمجال الديناميكي للحساس

(مجال حركة الصفحة العلوية  $\Delta d$ )، فكلما كان المجال الديناميكي أصغر اقتربت العلاقة بين السعة المقاسة للحساس والضغط الخارجي المطبق من الخطية، وتتعلق الديناميكية بالتحديد بالتغير النسبي للبعد بين صفيحتي الحساس  $\Delta d/d$  (المجال الديناميكي النسبي)، ولذلك من أجل زيادة المجال الديناميكي عمدنا إلى تصغير البعد بين الصفيحتين بتقليل سماكة الجدار  $d$ . لأنه كلما قل البعد بين الصفيحتين كلما تحسنت الخطية. ومن ناحية ثانية، عند تقليل سماكة الجدار يصبح الحساس من النمط التلامسي، ورغم أن ذلك يقلل من المجال الديناميكي  $d\Delta$  ومن الحساسية إلا أنه يحسن كثيراً من الخطية. يتعلق المجال الديناميكي أيضاً بسماكة الصفحة القابلة للحركة، فكلما كانت الصفحة القابلة للحركة أرق كان المجال الديناميكي أكبر وكانت الحساسية أكبر. إن مشكلة العوامل المتعاكسة كانت تتطلب منا إيجاد موازنة بين سماكة الجدار وسماكة الصفحة القابلة للحركة بحيث تكون الحساسية والخطية عالية قدر الإمكان. علماً أنه كلما قلت سماكة الجدار قل المجال الديناميكي وقلت الحساسية لكن تحسنت الخطية. وهنا يجب أن نشير إلى أن الحساس ذي النمط التلامسي الحاوي على النتوء الملتصق بالصفحة القابلة للحركة يتسبب بتقليل ديناميكية الصفحة، وكلما كانت مساحة النتوء أكبر قلت الديناميكية أكثر، وأيضاً كلما زادت سماكة النتوء قل المجال الديناميكي، وهذه المشكلة تتطلب منا الموازنة بين سماكة النتوء ومساحته، وبالتالي كان الاختيار أن تكون مساحته وسماكته أكبر ما يمكن شريطة أن يكون النتوء من مادة مرنة قدر الإمكان وعازلة وذات سماحية كهربائية عالية من أجل تعويض الحساسية فوق اختيارنا على ورق مشمع بشمع البرافين.

أن المجال الديناميكي للحساس، من أجل مادة معينة للصفحة العلوية القابلة للحركة، يتزايد مع زيادة مساحة الصفحة، فكلما كان نصف قطر الصفحة القابلة للحركة أكبر كان المجال الديناميكي أكبر. ويتزايد عكساً مع زيادة سماكة الصفحة القابلة للحركة، فكلما كان الصفحة القابلة للحركة أرق كلما كان المجال الديناميكي أكبر. لكن لما كان من أهدافنا أن يكون الحساس ذو أبعاد صغيرة نسبياً خاصة من حيث المساحة

كان يؤدي الى تقليل المجال الديناميكي، وبالتالي من الحساسية. ولذلك كان من المفروض إيجاد صفيحة من مادة أكثر مرونة فوقع اختيارنا على صفائح الألمنيوم والستاليس ستيل. حيث إن المجال الديناميكي للحساس يتعلق أيضاً بنوع مادة الصفيحة القابلة للحركة، فكلما كانت المادة ذات عامل صلابة أقل، كلما كان المجال الديناميكي أكبر.

إذاً من أجل تحسين المجال الديناميكي كان من الواجب علينا أن نختار بعناية كل من سماكة الصفيحة المتحركة وسماكة الجدار العازل، ونوع المادة (ثابت الصلابة) بحيث يكون الحساس خطي قدر المستطاع وأن يكون ذو حساسية عالية وصغيراً وفقاً لما تتطلبه القياسات الطبية الحيوية للضغوط.

فضلاً عن ذلك يمكن زيادة المجال الديناميكي للحساس بالتقليل من مقاومة الغاز الداخلي للحساس لحركة الصفيحة القابلة للحركة. وإلغاء تأثير مقاومة الغاز لحركة الصفيحة قمنا بعمل ثقب في وسط الصفيحة السفلية لجعل التجويف دوماً عند الضغط الجوي مما يتيح للصفيحة العلوية بمجال حركة أوسع، وبالتالي تزداد كل من ديناميكية وحساسية الحساس.

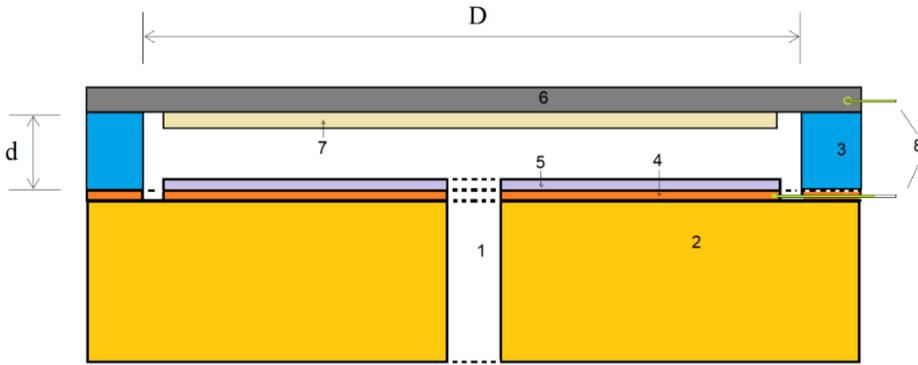
ومن أجل زيادة الحساسية أكثر، قمنا بإضافة طبقة من مادة ذات سماحية كهربائية عالية نسبياً من المواد الرخيصة نسبياً والمتوفرة تجارياً فوق الصفيحة السفلية، فكلما كانت السماحية الكهربائية للمادة المضافة أكبر صارت الحساسية أكبر. وقد وقع اختيارنا بشكل أساس على مادتين هما الغرافيت 33 والزنك 66. مع ملاحظة أن هنالك مواد رخيصة أيضاً ذات سماحية كهربائية أكبر يمكن أن تزيد من الحساسية بشكل هائل إلا أنها للأسف غير متوفرة تجارياً بسبب الحظر.

إن حساسية الحساس تتعلق بشكل أساسي بديناميكيته، فكلما كان المجال الديناميكي النسبي أكبر كلما كانت الحساسية السعوية أكبر، حيث تمثل الحساسية السعوية التغير النسبي للسعة من أجل كل وحدة ضغط  $\Delta C/CP$ ، حيث  $C$  هي السعة و

$P$  هو الضغط المطبق. عندما تكون الحساسية السعوية للحساس ثابتة على كامل مجال الضغوط المطبقة، فإن العلاقة بين السعة المقاسة للحساس والضغط الخارجي المطبق تكون خطية إلى حد كبير.

أما من ناحية تصغير حجم الحساس، فإن الغاية أولاً تكمن في كما ذكرنا وفقاً لما تتطلبه القياسات الطبية الحيوية للضغوط، وثانياً من أجل تقليل استهلاك الطاقة. ومن أجل حل مشكلة التوافق الطبي الحيوي للحساس مع جسم الإنسان، فإننا نقترح طلي الحساس بطبقة رقيقة من البوليميد.

وعلى كل حال أصبح بمقدورنا تصنيع نماذج مختلفة من أجل كافة الضغوط الحيوية. لكننا هنا سوف نقدم نماذج مناسبة لقياس ضغط الدم وضغط التنفس فقط. **يبين الشكل (9)** رسماً تخطيطياً نموذجياً للحساس الضغط المطلق السعوي القابل للتلامس المصمم من قبلنا والذي جرى اختبار صلاحيته لقياس ضغط الدم وضغط التنفس.



**الشكل (9):** رسم تخطيطي نموذجي لحساس الضغط السعوي القابل للتلامس المصمم من قبلنا. وهو عبارة عن صفيحتين دائريتين متوازيتين يفصل بينهما ثلاثة مواد. المادة الأولى هي النتوء وهو ورقة مشبعة بشمع البرافين، والمادة الثانية هي الهواء، والمادة الثالثة هي مادة يمكن استبدالها بمادة ذات سماحية كهربائية أكبر من أجل زيادة الحساسية أكثر فأكثر. حيث 1. فتحة لجعل الضغط في تجويف الحساس ثابت عند الضغط الجوي من أجل زيادة

ديناميكية الصفيحة العلوية، 2. قاعدة أو ركييزة حاملة من الفيبر المُنحس يركب عليها الحساس، 3. جدار عازل كهربائي بين صفيحتي الحساس وهو عبارة عن حلقة من شريط لاصق بجهتين ذات سماكة  $d = 0.0002 \text{ m}$ ، 4. طبقة نحاسية على الفيبر تلعب دور صفيحة سفلية للحساس، 5. مادة عازلة ذات ثابت عزل كبير نسبياً مثل الغرافيت 33 أو الزنك 66، 6. الصفيحة العلوية للحساس القابلة للحركة تحت تأثير الضغط الخارجي المقاس وهي على شكل دائرة قطرها  $D = 0015 \text{ m}$  (من الألمنيوم أو الستانلس ستيل)، ويمكن استبدالها بأي صفيحة ذات مواصفات أفضل، 7. مادة عازلة هي ورق مشبع بشمع البرافين لزيادة سعة الحساس وللعزل بين الصفيحتين في حال التشغيل عند التلامس وهي مادة مرنة لا تعيق حركة الصفيحة العلوية، 8. قطبين (سلكين نحاسيين موصولين إلى الصفيحتين).

يبين **الجدول (1)** نتائج اختبار ثلاثة حساسات ضغط نموذجية فقط، كما يبين صلاحية هذه الحساسات من أجل القياسات الحيوية الطبية كضغط الدم وضغط التنفس. وهي تختلف عن بعضها من حيث الأبعاد والمواد المؤثرة على المجال الديناميكي والحساسية السعوية والخطية، التي تتعلق بشكل أساسي بحجم ونوع الصفيحة القابلة للحركة (الغشاء) ونوع وسماكة المواد العازلة الموضوعية بين صفيحتي الحساس وبسماكة الجدار العازل.

**الجدول (1):** نتائج قياس سعة من أجل ثلاثة حساسات تم الإشارة إليها في الجدول ب 1 و 2 و 3 على الترتيب.

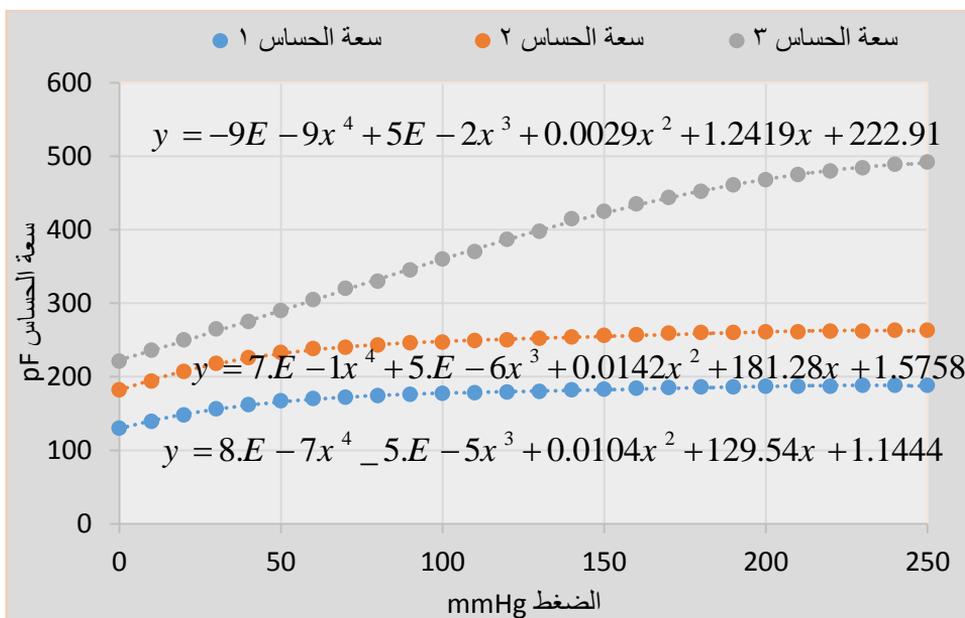
رقم الحساس	1	2	3
العازل	هواء+ورق مشبع بشمع البرافين	هواء+ورق مشبع بشمع البرافين+غرافيت 33	هواء+ورق مشبع بشمع البرافين+زنك 66
نوع وسماكة الصفيحة المتحركة	ألمنيوم 0.15 mm	ألمنيوم 0.15 mm	فولاذ مطلي بالكروم 0.3 mm

تصنيع ونمذجة حساس ضغط طبي قابل للتلامس ذو حساسية ومجال ديناميكي ملانمين

الضغط المرجعي mmHg	سعة مكثفة الحساس 1 pF	سعة مكثفة الحساس 2 pF	سعة مكثفة الحساس 3 pF
0	131	182	221
10	139	194	236
20	148	207	250
30	156	218	265
40	162	226	275
50	167	233	290
60	170	238	305
70	172	240	320
80	174	243	330
90	176	246	345
100	177	247	360
110	178	249	370
120	179	250	387
130	180	252	398
140	182	254	415
150	183	256	425
160	184	257	435
170	185	259	444
180	186	260	452
190	186	260	461
200	187	261	468
210	187	261	475
220	187	262	480

230	188	262	484
240	188	263	489
250	188	263	492

ويبين الشكل (10) رسماً بيانياً لسعة الحساس كتابع لقياس الضغط العياري المرجعي المطبق على الحساس من أجل الحساسات الثلاثة.

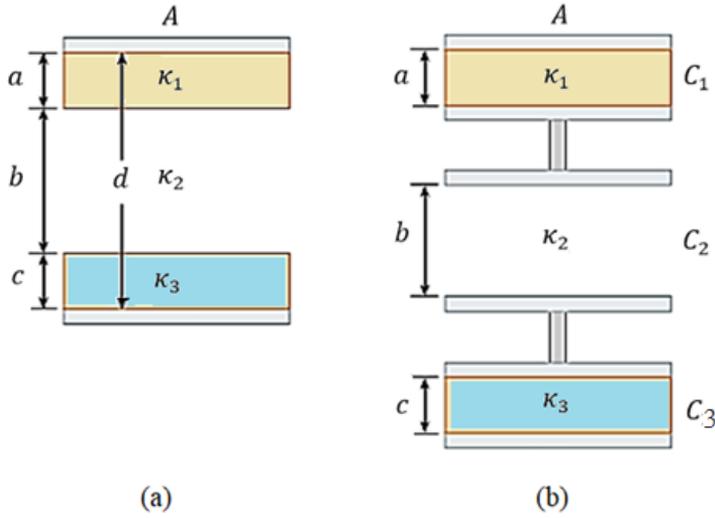


الشكل (10): سعة الحساس كتابع للضغط العياري المرجعي.

الشكل (10) يبين أن الحساس رقم 2 بطبقة الغرافيت 33 ذو حساسية أفضل من الحساس رقم 1 (بدون زنك او غرافيت) وأن الحساس رقم 3 بطبقة الزنك 66 ذو حساسية أفضل من الحساسين الآخرين. وأن الحساسين 1 و 2 يمتلكان مجالاً خطياً من أجل ضغوط أكبر من 60 mmHg. وأن الحساس 3 يمتلك مجالاً خطياً تقريباً من أجل ضغوط أقل من 200 mmHg. كما يبين بوضوح إمكانية تطبيق الحساس لقياس ضغط الدم وضغط التنفس.

## 1.6. نمذجة حساسات الضغط

يمكن نمذجة أيًا من حساسات الضغط المصمم من قبلنا والمبين تخطيطياً في الشكل (11) كمكثفة ذات صفيحتين معدنيتين دائريتين متوازيتين مساحة كل من لبوسها  $A = \pi(D/2)^2$ ، حيث  $D$  هو قطر اللبوس. وهذه المكثفة يمكن تصورها، من أجل الحساس رقم 1، على أنها مكونة من مكثفتين موصولتين على التسلسل. من أجل الحساسين رقم 2 و 3 يمكن تصورها على أنها مكونة ثلاث مكثفات موصولة على التسلسل كما هو مبين في الشكل (11-b)، وذلك نظراً لأن الفاصل  $d$  بين الصفيحتين يتكون من ثلاث مواد هي ورق مشبع بشمع البرافي، هواء، مادة عازلة مختبرة قابلة للتبديل. حيث أن سماكات هذه المواد هي  $a$  و  $b$  و  $c$  على الترتيب، وثوابت العزل لها هي  $K_{tot.1}$  و  $K_{tot.2}$  و  $K_{tot.3}$  على الترتيب.



**الشكل (11): (a)** حساس سعوي ذو صفيحتين متوازيتين دائريتين مساحة كل منهما  $A$ ، والمسافة الفاصلة بينهما  $d$  هي عازل وهواء وعازل ثان سماكتها  $a$  و  $b$  و  $c$  على الترتيب، وثوابت العزل لها  $K_{tot.1}$  و  $K_{tot.2}$  و  $K_{tot.3}$  على الترتيب. **(b)** تتكون الدارة المكافئة للمكثفة من مكثفتين موصولتين على التسلسل.

لقد تم قياس السعات للحساسات الثلاثة في وضع عدم التشغيل (الضغط المرجعي صفراً) وهي مبينة في **الجدول (1)**. واعتماداً عليها وعلى البيانات التقنية المبينة في

الجدول (2) تم حساب ثوابت العزل لها  $K_{tot.1}$  و  $K_{tot.2}$  و  $K_{tot.3}$  باستخدام العلاقات

$$C_{tot.1} = \varepsilon_0 K_{tot.1} \frac{A}{a + b = 0.0002 \text{ m}}$$

$$C_{tot.2} = \varepsilon_0 K_{tot.2} \frac{A}{a + b' + c' = 0.0002 \text{ m}}$$

$$C_{tot.3} = \varepsilon_0 K_{tot.2} \frac{A}{a + b'' + c'' = 0.0002 \text{ m}}$$

وقد أدرجت في الصف الأخير من الجدول (2). حيث  $\varepsilon_r = \varepsilon_0 \varepsilon_r = \varepsilon_0 K$ .

relative permittivity هي السماحية الكهربائية النسبية للخلاء  $\varepsilon_0 = 8.8541878176 \dots \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$

vacuum permittivity، و  $\varepsilon_r$  هي السماحية الكهربائية النسبية relative

permittivity للمادة. و  $K$  ثابت العزل. وإن ثابت العزل للهواء هو  $K_{air} \approx$

.1.000006 F/m

الجدول (2): بيانات تقنية للحساسات الثلاثة.

رقم الحساس	الحساس 1	الحساس 2	الحساس 3
نوع وسماكة الصفيحة القابلة للحركة	ألمنيوم 0.15 mm	ألمنيوم 0.15 mm	فولاذ مطلي بالكروم 0.3 mm
العازل والمادة ذات السماحية العالية نسبياً	هواء+ورق مشبع بشمع البرافين	هواء+ورق مشبع بشمع البرافين+غرافيت 33	هواء+ورق مشبع بشمع البرافين+زنك 66
قطر الصفيحة m	0.015	0.015	0.015
مساحة الصفيحة m <sup>2</sup>	0.000176625	0.000176625	0.000176625
البعد بين الصفيحتين m	0.0002	0.0002	0.0002
سعة المكثفة pF	100	150	190
السعة الكلية الحساس مع أسلاك	131	181	221

تصنيع ونمذجة حساس ضغط طبي قابل للتلامس ذو حساسية ومجال ديناميكي ملانمين

التوصيل pF			
سعة أسلاك التوصيل pF	31	31	31
السعة الكلية للحساس pF	100	150	190
ثابت العزل F/m	1.13234E-10	1.69851E-10	2.15145E-10

(1) وفقاً لهذا النموذج، من أجل الحساس 1 الذي فيه الفاصل بين الصفيحتين هو

ورق مشبع بشمع البرافين والهواء، فإن ثابت العزل الكلي يكون:

$$\kappa_{\text{tot.1}} = \kappa_1 + \kappa_2 = \kappa_{\text{pra.}} + \kappa_{\text{air}}$$

وبما أن ثابت العزل للهواء  $\kappa_{\text{air}}$  معلوم فيمكن من هذه العلاقة حساب ثابت العزل

للورق المشبع بشمع البرافين  $\kappa_{\text{pra.}}$ .

وإن السعة الكلية المكافئة للحساس 1 تكون:

$$\frac{1}{C_{\text{tot.1}}} = \frac{1}{C_{\text{pra}}} + \frac{1}{C_{\text{air}}} = \frac{1}{\kappa_{\text{pra.}} \frac{\epsilon_0 A}{a}} + \frac{1}{\kappa_{\text{air}} \frac{\epsilon_0 A}{b}} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{C_{\text{tot.1}}} = \frac{a}{\kappa_{\text{pra.}} \epsilon_0 A} + \frac{b}{\kappa_{\text{air}} \epsilon_0 A}$$

حيث  $a$  هي سماكة الورق المشبع بالبرافين، و  $b$  هي سماكة الطبقة الهوائية في

الحساس 1. وبما أن  $b = 0.0002 - a$ ، فإنه يكون لدينا:

$$\frac{1}{C_{\text{tot.1}}} = \frac{a}{\kappa_{\text{pra.}} \epsilon_0 A} + \frac{0.0002 - a}{\kappa_{\text{air}} \epsilon_0 A}$$

وفي هذه العلاقة مجهول واحد هو سماكة الورق المشبع بشمع البرافين  $a$ ، وبالتالي

يمكننا حسابها.

(2) ووفقاً أيضاً لهذا النموذج، من أجل الحساس 2 الذي فيه الفاصل بين الصفيحتين هو ورق مشبع بشمع البرافين والهواء ومادة ثالثة هي الغرافيت 33، فإن ثابت العزل الكلي يكون:

$$\kappa_{\text{tot.1}} = \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 = \kappa_{\text{pra.}} + \kappa_{\text{air}} + \kappa_{\text{gra.}}$$

وبما أن ثابت العزل للهواء  $\kappa_{\text{air}}$  وثابت العزل للورق المشبع بشمع البرافين  $\kappa_{\text{pra.}}$

معروفين، فإنه يمكن من هذه العلاقة حساب ثابت عزل الغرافيت 33

$$\cdot \kappa_{\text{gra.}}$$

وإن السعة الكلية المكافئة للحساس 2 تكون:

$$\frac{1}{C_{\text{tot.1}}} = \frac{1}{C_{\text{pra}}} + \frac{1}{C_{\text{air}}} + \frac{1}{C_{\text{gra.}}} = \frac{1}{\kappa_{\text{pra.}} \frac{\epsilon_0 A}{a}} + \frac{1}{\kappa_{\text{air}} \frac{\epsilon_0 A}{b'}} + \frac{1}{\kappa_{\text{gra.}} \frac{\epsilon_0 A}{c'}} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{C_{\text{tot.1}}} = \frac{a}{\kappa_{\text{pra.}} \epsilon_0 A} + \frac{b'}{\kappa_{\text{air}} \epsilon_0 A} + \frac{c'}{\kappa_{\text{gra.}} \epsilon_0 A}$$

حيث  $a$  هي سماكة الورق المشبع بالبرافين وقد أصبحت معروفة، و  $b'$  هي سماكة الطبقة الهوائية في الحساس 2. وبما أن  $b' = 0.0002 - a - c'$ ، فإنه يكون لدينا:

$$\frac{1}{C_{\text{tot.1}}} = \frac{a}{\kappa_{\text{pra.}} \epsilon_0 A} + \frac{0.0002 - a - c'}{\kappa_{\text{air}} \epsilon_0 A} + \frac{c'}{\kappa_{\text{gra.}} \epsilon_0 A}$$

وفي هذه العلاقة مجهول واحد هو سماكة طبقة الغرافيت 33  $c'$ ، وبالتالي يمكننا

حسابها.

(3) ووفقاً لهذا النموذج أيضاً، من أجل الحساس 3 الذي فيه الفاصل بين

الصفيحتين هو ورق مشبع بشمع البرافين والهواء ومادة ثالثة هي الزنك 66، فإن ثابت العزل الكلي يكون:

$$\kappa_{\text{tot.1}} = \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 = \kappa_{\text{pra.}} + \kappa_{\text{air}} + \kappa_{\text{zan.}}$$

وبما أن ثابت العزل للهواء  $\kappa_{air}$  وثابت العزل للورق المشبع بشمع البرافين  $\kappa_{pra}$  معروفين، فإنه يمكن من هذه العلاقة حساب ثابت العزل للزنك 66

$$\cdot \kappa_{zan.}$$

وإن السعة الكلية المكافئة للحساس 2 تكون:

$$\frac{1}{C_{tot.1}} = \frac{1}{C_{pra}} + \frac{1}{C_{air}} + \frac{1}{C_{zan.}} = \frac{1}{\kappa_{pra} \frac{\epsilon_0 A}{a}} + \frac{1}{\kappa_{air} \frac{\epsilon_0 A}{b''}} + \frac{1}{\kappa_{zab.} \frac{\epsilon_0 A}{c''}} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{C_{tot.1}} = \frac{a}{\kappa_{pra} \epsilon_0 A} + \frac{b''}{\kappa_{air} \epsilon_0 A} + \frac{c''}{\kappa_{gra.} \epsilon_0 A}$$

حيث  $a$  هي سماكة الورق المشبع بالبرافين وقد أصبحت معروفة، و  $b'$  هي سماكة الطبقة الهوائية في الحساس 3. وبما أن  $b'' = 0.0002 - a - c''$ ، فإنه يكون لدينا:

$$\frac{1}{C_{tot.1}} = \frac{a}{\kappa_{pra} \epsilon_0 A} + \frac{0.0002 - a - c''}{\kappa_{air} \epsilon_0 A} + \frac{c''}{\kappa_{gra.} \epsilon_0 A}$$

وفي هذه العلاقة مجهول واحد هو سماكة طبقة الزنك 66  $c''$ ، وبالتالي يمكننا حسابها.

### الإستنتاجات

1- تتعلق خطية وحساسية حساس الضغط السعوي بالمجال الديناميكي للحساس، فكلما كان المجال الديناميكي أوسع كلما كانت الحساسية أكبر، لكن كانت الخطية أسوء.

2- تتعلق ديناميكية الحساس بمساحة الصفيحة القابلة للحركة وسماكتها وثابت صلابتها أو مرونتها. وأن عمل ثقب في الصفيحة الثابتة يزيد من المجال الديناميكي لحساس الضغط.

3- إن لصق ورقة عازلة مشبعة بشمع البرافين يزيد من حساسية حساس الضغط.

4- وإن كون سماكة الجدار العازل صغيرة نسبياً يجعل حساس الضغط يعمل في النمط التلامسي، وهذا يحسن من خطية حساس الضغط السعوي.

5- وكلما كانت مساحة وسماكة النتوء أكبر أصبح المجال الديناميكي لحساس الضغط السعوي أصغر.

6- إن إضافة طبقة ذات سماحية كهربائية أكبر يجعل حساسية الضغط لحساس الضغط السعوي أكبر.

7- إن تصغير أبعاد الحساس يقلل من استهلاك الطاقة الكهربائية.

## 8. الاقتراحات

1- إجراء تعديلات في أبعاد مكونات الحساس من أجل استخدامه في تطبيقات أخرى طبية وغير طبية.

2- طلي الحساس بطبقة رقيقة من البوليميد أو أي مادة أخرى بحيث يمكن استخدامه من أجل قياسات الضغوط الداخلية مثل ضغط الجنين.

3- نقترح استبدال الزنك 66 بمادة ذات سماحية أكبر ليصبح الحساس ملائم لتطبيقات صناعية وفضائية وطبية أخرى.

## REFERENCES

- [1] ESWARAN, P.; MALARVIZHI, S. MEMS capacitive pressure sensors: a review on recent development and prospective. 2013.
- [2] W. P. Eaton and J. H. Smith, "Micromachined pressure sensors: review and recent developments", *Smart Materials and Structures*, vol. 6, pp. 530–539, 1997.
- [3] P. Eswaran, S. Malarvizhi, "Modeling of MEMS Capacitive Differential Pressure Sensor", *Proceedings of 2013 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2013]*, Noorul Islam University, Kanyakumari, India, pp. 699 -702, 21-22 March 2013.
- [4] Vance d A. Browne, George E Kochanek, "Capacitance pressure sensor", United States patent 4523474, pp. 1-6, June 18, 1985.
- [5] W. P. Eaton, Bevan D, James H smith, "Capacitance pressure sensor", US patent 6012336, pp. 1-14, January 11, 2000.
- [6] Keith.W, golker, Thomas E. Hendrikson Charles C, Hung, "High sensitivity variable capacitive Transducer", United States patent 4420790, pp. 1-5, December 13, 1983.
- [7] Yuelin Wang and M. Esashi, "A Novel Electrostatic Servo Capacitive Vacuum Sensor", *1997 International Conference on Solidstate Sensors and Actuators*, Chicago, pp.1457-1460, June 16-19, 1997.
- [8] Fang He, Qing-An Huang, Ming Qin, "A silicon directly bonded capacitive absolute pressure sensor", *Sensors and Actuators A* 135, pp.507–514, 2007.
- [9] Hussam Eldin A. Elgamel, "A simple and efficient technique for the simulation of capacitive pressure transducers", *Sensors and Actuators* 77 pp.183–186. 1999.
- [10] Aziz Ettouhami, Nouredine Zahid, Mourad Elbelkacemi, "A novel capacitive pressure sensor structure with high sensitivity

- and quasi-linear response”, *C. R. Mecanique* 332, pp. 141-146, 2004.
- [11] Abhijeet V. Chavan, and Kensall D. Wise, “Batch-Processed Vacuum-Sealed Capacitive Pressure Sensors”, *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 10, No. 4, pp.580-587, December 2001.
- [12] Jaehyeong Han and Mark A. Shannon, “ Smooth Contact Capacitive Pressure Sensors in Touch- and Peeling-Mode Operation”, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 9, no. 3, pp. 199-207, March 2009.
- [13] Wen H. Ko, Qiang Wang, “Touch mode capacitive pressure sensors”, *Sensors and Actuators*, 75, pp. 242–251, 1999.
- [14] Qiang Wang, Wen H. Ko, “Modeling of touch mode capacitive sensors and diaphragms”, *Sensors and Actuators A*, 75, pp. 230– 241, 1999.
- [15] Jaehyeong Han, Junghoon Yeom, Junghyun Lee, Mark A. Shannon, Richard I. Masel, “Smooth Contact Mode Capacitive Pressure Sensor with Polyimide Diaphragm”, *Proceedings of IEEE Sensors Conference*, pp. 1468-1471, 28-31 October 2007.
- [16] Wen H. KO, Qiang Wang, “Touch Mode Capacitive Pressure Sensors For Industrial Applications”, *Proceedings, IEEE., Tenth Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems*, pp. 284-290, 26-30 January 1997.
- [17] P. Eswaran, S. Malarvizhi, “Sensitivity Analysis on MEMS Capacitive Differential Pressure Sensor with Bossed Diaphragm Membrane”, *Proceedings of 2012 International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS)*, Karunya University, Coimbatore, India, 15th & 16th, pp. 705-709, March, 2012.
- [18] Leslie B Wilner, Polo alto, Calif, “Differential capacitive transducer and method of marking” US patent 4825335, pp. 1-19, April 25, 1989.

- [19] P. Eswaran, S. Malarvizhi, "Simulation Analysis of MEMS Based Capacitive Differential Pressure Sensor for Aircraft Application", *Advanced Materials Research*, Vols. 403-408, pp.4152-4156, 2012. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.403-408.4152, 2012.
- [20] P. Eswaran, S. Malarvizhi, "Design Analysis of MEMS Capacitive Differential Pressure Sensor for Aircraft Altimeter", *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, Vol. 2, No. 1, pp.14-20, January 2012.
- [21] P. Eswaran, S. Malarvizhi, "Modeling and Analysis of High Sensitive MEMS Capacitive Differential Pressure Sensor with Polyimide Diaphragm", *Advanced science letters*, Vol. 19, No.12, pp. 3449-3453, December 2013.
- [22] P. Eswaran, S. Malarvizhi, "Modeling of High sensitive MEMS differential Capacitive Pressure Sensor with Polymer diaphragm Membrane", *Proceedings of the 9th Nanomechanical sensing workshop NMC 2012, IIT Bombay Mumbai, India*, pp.153-154, 6th to 8th June 2012.
- [23] P. Eswaran, S. Malarvizhi, "Microcapacitive Differential Pressure Sensor Diaphragm Modelling using MATLAB", *Proceedings of 2013 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2013]*, Noorul Islam University, Kanyakumari, India, pp. 725-729, 21-22 March 2013.
- [24] Zhang.Y, Howver.R, Gogoi.B and Yazdi, "A High-Sensitive Ultra Thin MEMS Capacitive Pressure sensor", *Proceedings of 16<sup>th</sup> International Conference on Solid state sensors, Actuators and Microsystems conference (Transducers) 2011*, pp 112 – 115, 5-9 June 2011.
- [25] C. Pedersen, S. T. Jesperseny, J. P. Krog, C. Christensen, E. V. Thomseny Grundfos, Poul Due Jensens Vej, "Combined Differential and Static Pressure Sensor based on a Double-

- Bridged Structure”, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 5, Issue: 3 pp. 446 – 454, June 2005.
- [26] Lamyamba yambem, Murat Kaya yapici, Junzou, “A New wireless sensor system for Smart diapers”, *IEEE Sensor Journal*, Vol. 8, No. 3, pp. 238-239, March 2008.
- [27] Po-Jui Chen, IEEE, Damien C. Rodger, Saloomeh Saati, Mark S. Humayun, Yu-Chong Tai, “Microfabricated Implantable Parylene-Based Wireless Passive Intraocular Pressure Sensors”, *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 17, NO. 6, pp. 1342-1351, December 2008.
- [28] Duck-Bong Seo, Robin Shandas, “ Design And Simulation Of A MEMS-Based Comb-Drive Pressure Sensor For Pediatric Post-Operative Monitoring Applications”, *Proceeding of 2003 Summer Bioengineering Conference*, Sonesta Beach Resort in Key Biscayne, Florida pp. 1239-1240, June 25-29, 2003.
- [29] Han-Chang Wu, Shuenn-Tsong Young, and Te-Son Kuo, “A Low-Cost Pressure Sensor for Maternal Uterine Activity Monitoring”, *Proceedings of the 17th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2000. IMTC 2000*. Vol. 2, pp. 707 - 709, 2000.
- [30] Anton F. P. Van Putten, Michael J. A. M. van Putten, Maurice H. P. M. van Putten, Pascal F. A. M. Van Putten , “Multisensor Microsystem for Pulmonary Function Diagnostics”, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 2, no. 6, pp. 636-641, December 2002.
- [31] Kerstin E. Babbitt, Lynn Fuller, Bradley Keller, “A Surface Micromachined Capacitive Pressure Sensor for Biomedical Applications”, *Proceedings of the Twelfth Biennial University / Government/Industry Microelectronics Symposium*, pp. 150 – 153, 20-23 July 1997.
- [32] Yuelin Wang and M. Esashi, “A Novel Electrostatic Servo Capacitive Vacuum Sensor”, *Proceedings of 1997 International Conference on Solid-state Sensors and Actuators*, Chicago, pp. 1457-1460, 16-19 June 1997.

- [33] Adriana Cozma, Robert Puers, “Electrostatic actuation as a self-testing method for silicon pressure sensors”, *Sensors and Actuators A* 60, pp. 32-36, 1997.
- [34] Guchuan Zhu, Lahcen Saydy, Mehran Hosseini, Jean-François Chianetta, and Yves-Alain Peter, “A Robustness Approach for Handling Modeling Errors in Parallel-Plate Electrostatic MEMS Control”, *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 17 , Issue: 6 pp. 1302 – 1314, Dec. 2008.
- [35] Yong s lee, kensall D. wise, “A batch fabricated silicon capacitive pressure transducer with low temperature sensitivity”, *IEEE transactions on Electron Devices*, Vol, 29, No.1, pp. 42-49, January 1982.
- [36] Orhan Akbar, Tay fun Akin, Khalil Nijafi, “A wireless batch sealed capacitive pressure sensor”, *Sensor and Actuator A*, Vol. 95, pp. 29-38, 2001.
- [37] Gary K. Fedder, “MEMS Fabrication”, *Proceedings of International Conference on Test Conference, (ITC 2003)*, Sept. 30-Oct. 2, 2003 Vol. 1 pp. 691 – 698, 2003.
- [38] Darrin J. Young, Jiangang Du, Christian A. Zorman, Wen H. Ko, “High-Temperature Single-Crystal 3C-SiC Capacitive Pressure Sensor”, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 4, No. 4, pp. 464-469, August 2004.
- [39] C. B. Sippola and C. H. Ahn, “A Ceramic Capacitive Pressure Microsensor with Screen-Printed Diaphragm”, *Proceedings of IEEE Sensor conference*, , pp. 1271-1274, October 30-November. 3, 2005.
- [40] Noel N. Nemeth , Osama Jadaan, Joseph L. Palko , Jay S. Mitchell , Christian A. Zorman , “Structural Modeling and Probabilistic Characterization Of MEMS Pressure Sensor Membranes”, *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 17, No. 2, pp.453-458, April 2008.

- [41] Sung-pil chang, Geong bong lee, Mark G Allen, “Robust capacitive pressure sensor array”, *Sensors and Actuators A*, Vol. 101, pp. 231-238, 2002.

