

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 31

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

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

ISSN: 1022-467X

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

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	اسم الباحث	اسم البحث
30-11	أ.د محمد سلامة أ.د مصطفى الموالي م. احمد خضر	دراسة عددية لتحليل تركيز الإجهادات عند رأس شق ذي أبعاد مختلفة وزوايا متعددة في صفيحة معدنية باستخدام طريقة العناصر المنتهية <i>FEM</i>
52- 31	د. أسامة محمود	تحسين سعة الوصلة الصاعدة لشبكة نفاذ متعدد غير متعامد مع طائرة بدون طيار
74-53	د. بسام القسام	تصميم وتحليل عددي لفوهة دي لافال "مقاربة متباعدة" لتسريع الجريان للسرعات فوق الصوتية
124-75	المهندس: أسامة ديب	نمذجة ومحاكاة مستقبل راديوي يعمل في بيئة تتضمن إشارات تداخل جمعي معقدة باستخدام مزيج غوسي جمعي

دراسة عددية لتحليل تركيز الإجهادات عند رأس شق ذي أبعاد مختلفة وزوايا متعددة في صفيحة معدنية باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM

أ.د. محمد سلامة⁽¹⁾ أ.د. مصطفى الموالي⁽²⁾ م. احمد خضر⁽³⁾

الملخص

جرى في هذا البحث دراسة تأثير طول الشق في قيمة الإجهاد الأعظم عند رأسه إضافة إلى دراسة تغير الانتقال δ مع تغير طول الشق، وذلك لصفيحة من حديد الصب من النوع Austempered Ductile Iron (ADI) مطبق عليها إجهاد شد مقداره MPa $\sigma = 172$ ، ويفرض احتوائها على شق أفقي بطول 0.2mm ويتابع انتشاره بشق طوله 0.3 mm وبزوايا ميول شق مختلفة θ تتراوح بين 0° و 90° ، إذ اقترح نموذجين من الشقوق: الأول مركزي والثاني جانبي، وجرى توصيف هذين النموذجين وفقاً لبرنامج ANSYS. وجدنا أن مسار الشق ينحرف بزوايا مطابقة لزوايا الحبيبية، ولذلك فإن زاوية ميل الشق θ لها تأثير مباشر على قيمة الإجهاد الأعظم. كما بينت الدراسة أن الانتقال يكون ثابتاً حتى عند طول شق مركزي 0.1 mm وعند طول شق جانبي 0.05 mm وبعد تواتر تلك القيم لهذه الشقوق نلاحظ تزايد سريع لمقدار الانتقال بزيادة طول الشق، وهذا يعني أنه في بداية نمو الشق تكون زاوية رأس الشق صغيرة جداً وبالتالي تزداد قيمة الإجهاد الأعظم بشكل كبير. وباستمرار زيادة طول الشق فإن الانتقال يزداد بشكل كبير بعلاقة غير خطية، وبالتالي تزداد زاوية رأس الشق ويزداد نصف قطر رأس الشق، وهذا بدوره يقلل من قيمة الإجهاد الأعظم عند رأس الشق.

كلمات مفتاحية: طول الشق، زاوية ميل الشق، طريقة العناصر المنتهية FEM،

ANSYS

- (1) أستاذ دكتور في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق - دمشق سوريا.
- (2) أستاذ دكتور عميد كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق - دمشق سوريا.
- (3) طالب دكتوراه - قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - دمشق سوريا.

A Numerical Study to analyze the stress concentration at the crack tip with different dimensions and angles using the Finite Element Method FEM

Mohammad Slamh⁽¹⁾ Mostfa Almoalde⁽²⁾ Ahmad khder⁽³⁾

Summary

The effect of crack length on the value of the ultimate stress at the crack tip in addition to the displacement change δ with the change of the crack length, for a plat from cast iron type ADI (Austempered Ductile Iron). Two types of cracks were supposed the first is central and the second is sidely, These two types were described according to the ANSYS program, and by assuming a plate with the same previous dimensions applied with tensile stress $\sigma = 172$ MPa, and assuming that it contains a horizontal crack length 0.2 mm and continues to spread with a crack length 0.3mm with different angles θ ranging from 0° to 90° . The crack has a direct effect on the value of the maximum stress. This study showed that the transition is constant even at a central crack length 0.1 mm and at a sidely crack length 0.05 mm. After the frequency of those values of these cracks, We noticed a rapid increase in the amount of transmission with an increase in the crack length, which means that at the beginning of the crack growth, the angle of the crack tip is very large and therefore the value of the maximum stress increases suddenly, and as the length of the crack continues to increase, the transition increases dramatically In a non-linear relationship, and consequently the angle of the crack tip increases and the radius of the crack head increase too. Which in turn reduces the value of the maximum stress at the crack tip.

Key words: crack length, crack inclination angle, Finite Element Method FEM, ANSYS

⁽¹⁾ Professor in Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

⁽²⁾ Professor and Dean Mechanical and Electrical Engineering College , Damascus University, Damascus, Syria..

⁽³⁾ postgraduate student, Mechanical Design Engineering Department, Mechanical and Electric Engineering, Damascus University, Damascus, Syria

1- مقدمة Introduction

يمكن دراسة تركيز الاجهادات وتحليلها عند رأس شق بالطريقة العددية، وذلك عن طريق تقطيع (Mesh) الشكل المدروس إلى أجزاء صغيرة جداً (التشبيك)، والحصول على نتائج عند العقد التي تربط هذه الأجزاء. ويمكن استخدامها في أشكال معقدة للغاية خاضعة لحمولات ستاتيكية أو ديناميكية. وتعد طريقة سريعة المقارنة مع الطريقة التحليلية، إلا أنها تتطلب حاسب متطور (سريع) الطرائق العددية مثل طريقة الفروق المنتهية FDM أو طريقة الحجوم المنتهية FVM (وهي مناسبة لدراسة الموائع وهي أقدم طريقة وتعتبر أفضل الطرق في دراسة ميكانيك الموائع) أو طريقة العناصر المنتهية FEM (تستخدم لجميع فروع الميكانيك وفي جميع العلوم الهندسية وهي الأكثر انتشاراً كما تستخدم في الحسابات الخطية واللاخطية) أو طريقة العناصر المحدودة BEM وتعد أحدث من جميع الطرائق السابقة وتستخدم في حالات خاصة ومحددة [1].

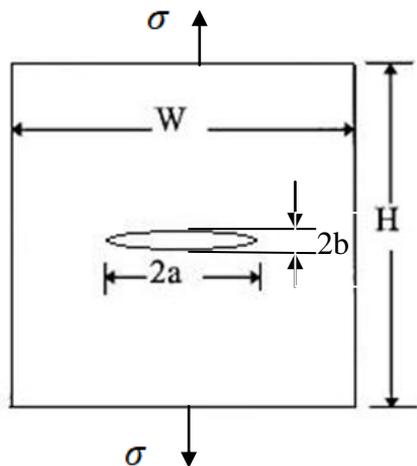
قام العالم غريفيث (Griffith) في عام 1921 بنشر نظريته الهامة، والتي تتعلق بانهياب المواد الصلبة، وبيّن من خلال نتائجه الرائدة في هذا المجال تأثير أبعاد الشق في متانة الأجسام الصلبة [2].

وبيّن فيما بعد مجموعة من الباحثين: تودهنتر وبيرسون (Todhunter & Person) ولويد (Lloyd) ولوبلانك (Le Blank) أن متوسط قيم المتانة للأسلاك الحديدية القصيرة أعلى من قيم مثيلتها للأسلاك الطويلة المتمتعة بالقطر نفسه [3].

أجرى كل من الباحثين إيروين (Irwin) وأروان (Orwan)، وبشكل منفصل، تعديلاً لعلاقة غريفيث، ولتشمل العلاقة المعدلة جميع المواد التي ينحو سلوكها منحى الخضوع (أو الانسياب اللدن)، ولتأخذ هذه المعادلة الشكل التالي [4]:

$$\sigma_f = \left(\frac{2E(\gamma_s + \gamma_p)}{\pi a} \right)^{1/2} \quad (1)$$

حيث: a نصف طول الشق γ_s العمل المرن في واحدة المساحة γ_p العمل اللدن في واحدة المساحة وذلك للسطح الناتج عن عملية التصدع، وكما لاحظ العالمان إن مقدار γ_p أكبر بكثير من مقدار γ_s .



الشكل (1) أبعاد الشق والاجهاد المطبق على الصفيحة

ولقد بين إنجلز (Inglis) أن قيم الإجهاد الأعظم تكون عند نقطة النهاية للمحور الرئيس (الأكبر)، وتُعطى قيمه من خلال المعادلة التالية [5]:

$$\sigma_{max} = \sigma \left(1 + \frac{2a}{b}\right) \approx 2\sigma \sqrt{\frac{a}{\rho}} \quad (2)$$

حيث: σ - الإجهاد المطبق في اللانهاية عمودياً على المحور الرئيس للثقوب، $2a$ و $2b$: هي طول كل من المحور الرئيس ومثيله الثانوي للثقوب الإهليلجي (القطع الناقص)، ρ - نصف قطر الإنحناء في نهايات المحور الرئيس للقطع الناقص. جرى في هذه الدراسة اعتماد طريقة العناصر المنتهية (Finite Element Method) FEM لتحديد قيم الإجهاد الأعظم عند رأس الشق وكذلك دراسة العوامل المؤثرة في الإجهاد الأعظم وشروط انتشار تلك الشقوق.

نفرض حالة الحديد الصلب ADI ذي معامل يونغ $E=175 \text{ GPa}$ ومعامل بواسون 0.3 وحد خضوع $\sigma_y=520 \text{ MPa}$ وذو تركيب كيميائي حسب الجدول (1) [2]

الجدول (1) التركيب الكيميائي للحديد الصب (ADI (Austempered Ductile Iron

Element	C	Si	Mn	S	P	Mg	Cu	Cr	Mo	Ni
Weight (%)	3.68	2.54	0.19	0.001	0.038	0.045	0.61	0.03	0.25	0.82

2- هدف البحث

تتجلى أهمية البحث لدراسة استخدام النمذجة العددية على نشوء وتركيز الاجهادات الناجمة عن وجود التشققات الميكروية المتأصلة في المعادن وبالتالي مدى قابلية تلك الشقوق للانتشار في المعدن وحدوث الانهيار وخروج الآلة المصنعة خارج الخدمة.

3- طريقة البحث وأدواته

اعتمدت في هذا البحث طريقة النمذجة العددية بطريقة العناصر المنتهية FEM [7] لتحديد قيم الإجهاد الأعظمي عند رأس الشق وكذلك دراسة العوامل المؤثرة في الإجهاد الأعظم وشروط انتشار تلك الشقوق وفق المنهجية التالية:

- التعريف بطريقة العناصر المنتهية.
- العوامل المتعلقة بالشقوق والمؤثرة في تركيز الاجهادات.
- الاستنتاجات والمقترحات.

4- العوامل المؤثرة على الشقوق

هناك عوامل كثيرة تؤثر على قيم الإجهادات عند رأس الشق وطريقة انتشار الشق واتجاه الانتشار وأهم هذه العوامل: طول الشق وزاوية ميله ومقدار الإجهاد الخارجي المطبق.

4-1- طول الشق:

ولدراسة تأثير طول الشق في الحديد الصب على قيمة الإجهاد الأعظم عند رأس الشق بالإضافة إلى دراسة تغير الانتقال δ مع تغير طول الشق تم فرض نوعين من الشقوق الأول مركزي والثاني جانبي، وجرى توصيف هذين النوعين وفقاً لبرنامج ANSYS [4]. يبين الجدولان (2) (3) قيم الإجهاد والانتقال مع تغير طول الشق a ،

ويوضح الشكل (2) تغير الإجهاد الأعظم σ_{max} بتغيير طول الشق بالنسبة للشق المركزي وبين الشكل (3) تغير الإجهاد الأعظم σ_{max} بتغيير طول الشق بالنسبة للشق الجانبي a. يلاحظ بان قيمة الإجهاد الأعظم تزداد بزيادة طول الشق بسلوك خطي وبإضافة خط الاتجاه للنقاط التي تم الحصول عليها ورسمها تم الحصول على علاقة الإجهاد الأعظم عند رأس الشق كتابع لتغير طول الشق التالية:

$$\sigma_{max} = 12001 \times a + 994.8 \quad (3)$$

حيث يقدر الإجهاد هنا بوحدة MPa وطول الشق بوحدة mm كذلك بالنسبة للشق الجانبي فان السلوك خطي أيضاً كما هو واضح من الشكل (3) ويمكن تمثيل هذا السلوك بالعلاقة:

$$\sigma_{max} = 13347 \times a + 1126 \quad (4)$$

من العلاقة (3) نجد أن قيمة الإجهاد الأعظم عند طول الشق $a = 0$ تساوي تقريباً 995MPa هذه القيمة أكبر بكثير من الإجهاد المطبق $\sigma_{app} = 172$ MPa وبالتالي تعتبر هذه العلاقة غير صالحة عند عدم وجود أي شق وبمجرد ظهور شق صغير جداً من حيث الطول يزداد الإجهاد عند رأس الشق وبزيادة الطول في المراحل الأولى (القريبة من الصفر) تكون الزيادة في σ_{max} كبيرة وغير خطية كما هو ملاحظ من القيم الأربع الأولى عدا الصفر، وتكون العلاقة خطية عند قيم أكبر لطول الشق a، حيث يمكن تطبيق العلاقة السابقة، وهذا ما يفسر انتشار الشق بشكل سريع بمجرد ظهور شق صغير جداً، وكذلك الأمر بالنسبة لحالة الشق الجانبي أي العلاقة (4) [8].

وبمقارنة العلاقتين (3) و (4) نلاحظ بأن تزايد الإجهاد الأعظم σ_{max} عند رأس الشق بالنسبة للشق الجانبي أكبر من حالة الشق المركزي الشكل (4). يستنتج من هذا أن الشقوق الجانبية أكثر خطورة في حالة تواجدها ولذلك يجب أن تكون الأسطح الخارجية والجوانب (الحواف) بالنسبة للقطع المعدنية ذات نعومة عالية لتجنب وجود شقوق سطحية ناتجة عن خشونة السطح أو تغيير المقطع، وبالتالي التقليل من تركيز الإجهاد فيها.

أما بالنسبة لتغير الانتقال عند بداية الشق مع طول الشق بالنسبة لنمطي الشق (المركزي والسطحي) فهو موضح في الشكل (5) بالنسبة للشق المركزي و الشكل (6) بالنسبة للشق

السطحي المزدوج (من طرفي الصفيحة) حيث يلاحظ أن التغير غير خطي في الحالتين ويعطى بالنسبة لشق مركزي بالعلاقة التالية:

$$\delta = 4 \times 10^{-6} a^2 - 6 \times 10^{-7} a + 1 \times 10^{-6} \quad (5)$$

حيث يقدر الانتقال وطول الشق بوحدة mm

وبالعلاقة التالية بالنسبة للشق السطحي المزدوج:

$$\delta = 6 \times 10^{-6} a^2 - 3 \times 10^{-7} a + 1 \times 10^{-6} \quad (6)$$

حيث يلاحظ من قيم الانتقال بالنسبة للشق المركزي الموضحة في الجدولين (2) و(3) والشكلين (5) و(6) بأن الانتقال يكون ثابتاً حتى عند طول شق مركزي 0.10 mm وعند طول شق جانبي 0.05 mm وبعد تلك القيم نلاحظ تزايد سريع لمقدار الانتقال بزيادة طول الشق، وهذا يعني أنه في بداية نمو الشق تكون زاوية رأس الشق صغيرة جداً وبالتالي قيمة الإجهاد الأعظم تزداد بشكل كبير، وباستمرار زيادة طول الشق فإن الانتقال يزداد بشكل كبير في كلا الحالتين بعلاقة غير خطية، وبالتالي تزداد زاوية رأس الشق وينقص نصف قطر رأس الشق وهذا بدوره يقلل من قيمة الإجهاد الأعظم عند رأس الشق كما هو موضح من علاقة تغيير σ_{max} مع طول الشق حيث في البداية تكون الزيادة كبيرة وبعد ذلك يقل معدل نمو الشق في الحالتين.

وبمقارنة مقدار الانتقال في الحالتين يلاحظ بأن الانتقال يسلك السلوك نفسه في كلا الحالتين، ولكن مقدار الانتقال في الشق الجانبي يكون أكبر من حالة الشق المركزي كما هو موضح بالشكل (7). يوضح الشكلان (8) و (9) توزيع الإجهاد عند رأس الشق وفي المناطق المجاورة وكذلك مقدار الانتقال عند بداية الشق في حالي الشق المركزي والجانبي من طرف واحد، كما ويبين الشكل (10) توزيع الإجهاد والانتقال في الصفيحة ذات شقين سطحين طرفيين عند طول شق $a = 0.3$ mm [9].

الجدول (2) تغير قيم الإجهاد الأعظم بتغير طول الشق في الصفيحة ذات شق سطحي مركزي

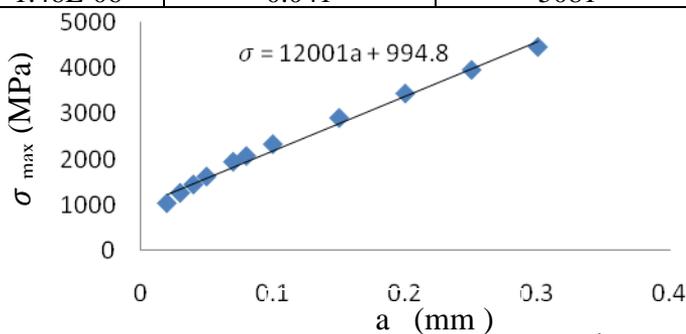
δ (mm)	σ_{min} (MPa)	σ_{max} (MPa)	a (mm)
1.03E-06	45.529	1027	0.02
1.03E-06	64.859	1253	0.03
1.03E-06	61.387	1438	0.04
1.03E-06	44.663	1613	0.05

دراسة عددية لتحليل تركيز الإجهادات عند رأس شق ذي أبعاد مختلفة وزوايا متعددة في صفيحة معدنية باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM

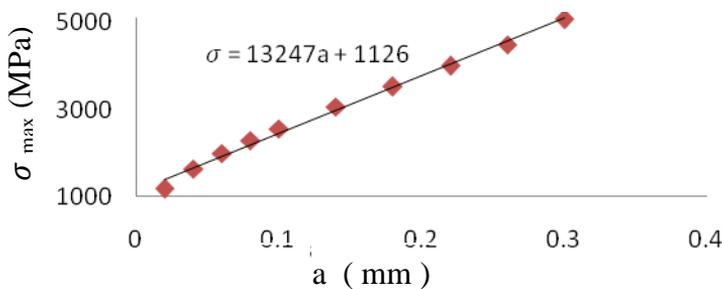
1.03E-06	25.915	1937	0.07
1.03E-06	25.636	2063	0.08
1.03E-06	37.400	2323	0.10
1.06E-06	35.285	2900	0.15
1.11E-06	39.351	3436	0.20
1.18E-06	42.188	3955	0.25
1.28E-06	43.003	4460	0.30

الجدول (3) تغير قيم الإجهاد الأعظم بتغير طول الشق في الصفيحة ذات شقين سطحيين جانبيين

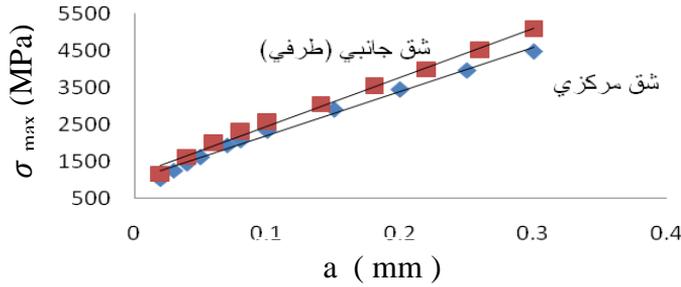
δ (mm)	σ_{\min} (MPa)	σ_{\max} (MPa)	a (mm)
1.01E-06	13.955	1168	0.02
1.01E-06	8.032	1627	0.04
1.02E-06	9.475	1985	0.06
1.02E-06	10.999	2289	0.08
1.04E-06	6.064	2562	0.10
1.09E-06	2.137	3062	0.14
1.15E-06	1.858	3531	0.18
1.24E-06	2.056	4000	0.22
1.33E-06	0.084	4500	0.26
1.46E-06	0.041	5081	0.30



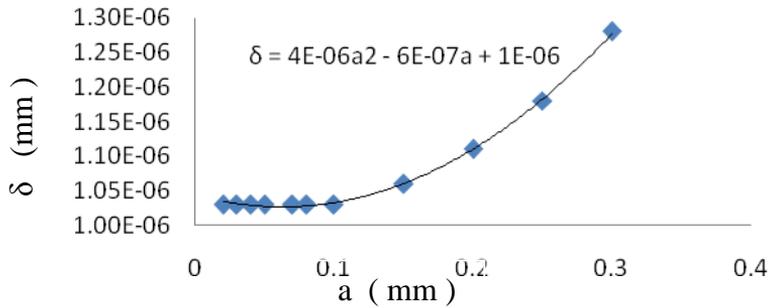
الشكل (2) تغير الإجهاد الأعظم بتغير طول الشق في الصفيحة ذات شق سطحي مركزي



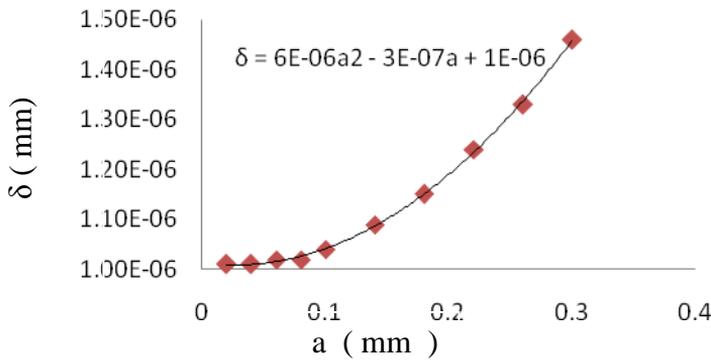
الشكل (3) تغير الإجهاد الأعظم بتغير طول الشق في الصفيحة ذات شقين سطحيين طرفيين



الشكل (4) تغير الإجهاد الأعظم بتغير طول الشق في الصفيحة وفقاً لنوع الشق

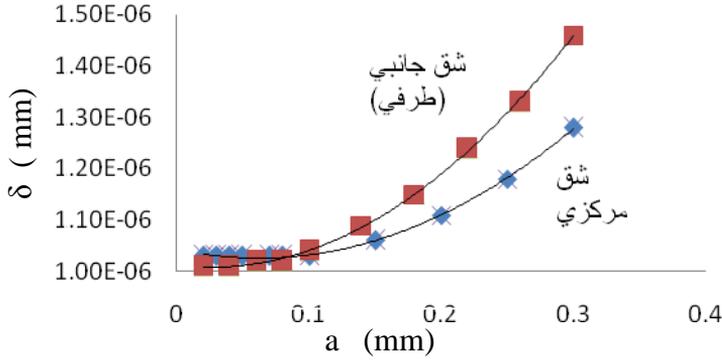


الشكل (5) تغير الانتقال بتغير طول الشق في الصفيحة ذات الشق مركزي

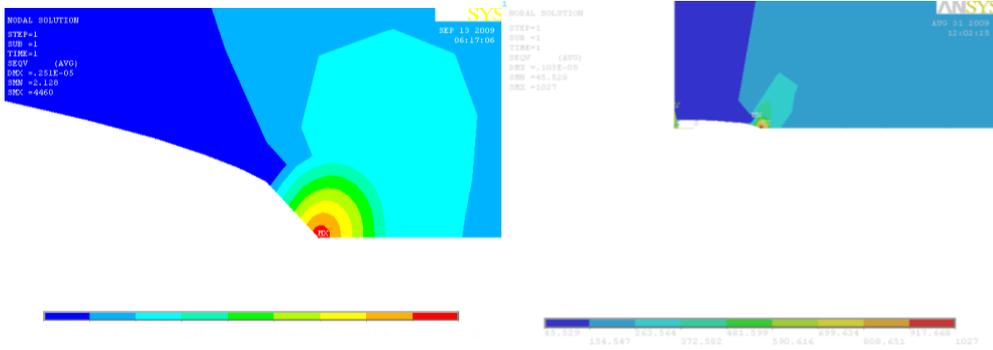


الشكل (6) تغير الانتقال بتغير طول الشق في الصفيحة ذات شقين سطحيين طرفيين

دراسة عددية لتحليل تركيز الإجهادات عند رأس شق ذي أبعاد مختلفة وزوايا متعددة في صفيحة معدنية باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM

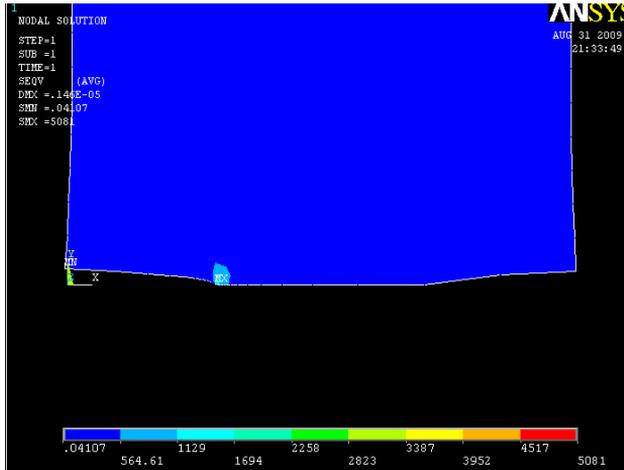


الشكل (7) تغير الانتقال بتغير طول الشق في الصفيحة وفقاً لنوع الشق



الشكل (9) قيمة الإجهاد والانتقال عند طول شق $a=0.3\text{mm}$ في الصفيحة ذات الشق المركزي

الشكل (8) قيمة الإجهاد والانتقال عند طول شق $a=0.3\text{mm}$ في الصفيحة ذات شق سطحي مركزي



الشكل (10) قيمة الإجهاد والانتقال عند طول الشق $a = 0.3 \text{ mm}$ في الصفحة ذات شقين سطحين طرفيين

4-2- زاوية ميل الشق θ :

بشكل عام عند انتشار الشق ضمن المواد فإنه يسير عبر الحبيبات وكذلك على حدود الحبيبات، ويكون الانتشار على حدود الحبيبات في حالة المواد القصيفة حيث الشكل الحاد لحواف الحبيبات مما يسهل انتشار الشق وحسب طبيعته وشكل الحبيبات فإن مسار الشق ينحرف بزوايا مطابقة لزوايا الحبيبة، ولذلك فإن لزاوية ميل الشق θ تأثير مباشر في قيمة الإجهاد الأعظم، ولمعرفة ذلك التأثير نفترض من الحديد الصب ADI ذات أبعاد $(100 \times 100 \text{ mm})$ وثخانة (8.5 mm) مطبق عليها إجهاد شد مقداره $\sigma_{app} = 172 \text{ MPa}$ ، وبفرض احتوائها على شق أفقي بطول 0.20 mm ويتابع انتشاره بشق ذي طول 0.3 mm وبزوايا مختلفة تتراوح بين 0° و 90° حسب الجدول (4) وعند كل زاوية جرى حساب قيمة الإجهاد الأعظم σ_{max} والإجهاد الأصغري σ_{min} وكذلك مقدار الانتقال δ . يمثل الشكل (11) تغيير الإجهاد الأعظم σ_{max} مع تغيير الزاوية θ . يلاحظ من الشكل أن قيمة الإجهاد الأعظم تتناقص بزيادة الزاوية θ ، أي بمعنى أن قيمة الإجهاد تنقص وذلك عند وصول الشق لحواف حبيبة جديدة فيما لو كان الشكل كروياً مثلاً أي زاوية أكبر لانحراف مسار الشق، وعند وصول ذلك الشق إلى حبيبة أخرى تالية فإن الإجهاد يمكن أن ينقص أيضاً، أو يتوقف انتشار الشق ولذلك فإن المعادن ذات

البنية البلورية الناعمة وحببيات شبه كروية ذات قدرة أكبر على تحمل الإجهادات الديناميكية المفاجئة على عكس المعادن ذات البنية الخشنة والحببيات المدببة كما في حالة الحديد الصب ذي الصفائح السمنتيتيه [9].

جدول (4) تغيير الإجهاد الأعظم والأصغر والانتقال δ مع تغيير زاوية الشق θ

δ (mm)	σ_{\min} (MPa)	σ_{\max} (MPa)	θ°
6.42E-06	0.021	9650	0
6.77E-06	1.44E-09	10692	5
7.07E-06	3.53E-08	11050	10
7.52E-06	7.15E-04	11413	15
7.12E-06	6.81E-04	11250	20
6.76E-06	0.0207	10500	30
5.63E-06	0.02087	8640	45
4.06E-06	0.0128	6312	60
3.25E-06	0.0081	4809	70
2.61E-06	0.00465	3450	80
2.12E-06	0.02229	2296	90

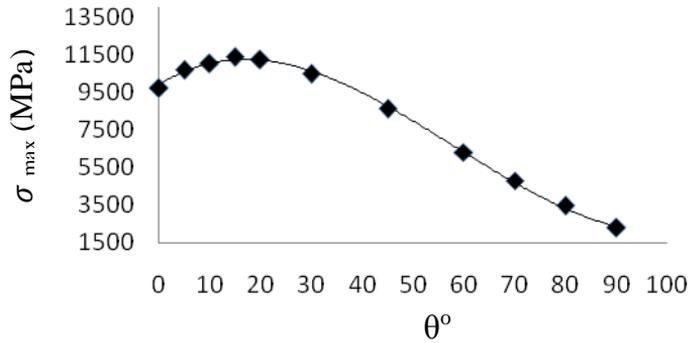
نجد أن العلاقة بين الانتقال والزاوية هي علاقة من الدرجة الثالثة :

$$\delta = 2 \times 10^{-11} \theta^3 - 4 \times 10^{-9} \theta^2 + 1 \times 10^{-7} \theta + 6 \times 10^{-6} \quad (7)$$

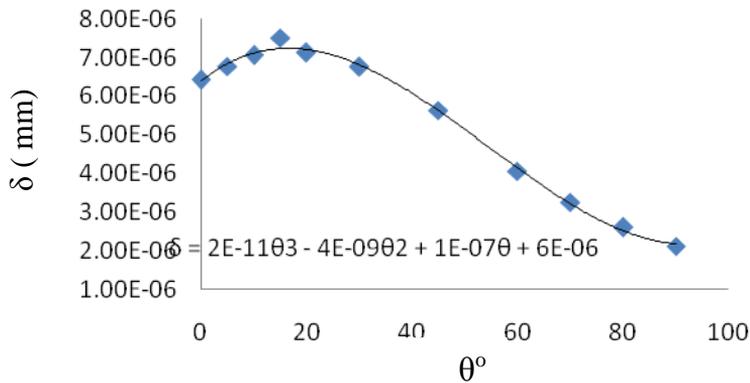
حيث θ زاوية ميل الشق مقدرة بالدرجة والانتقال δ بوحدة mm.

يلاحظ من الشكل (12) أن الانتقال ينخفض مع زيادة θ ، أي عند تطبيق إجهاد خارجي فإنه يحصل تشكيل لدن موضعي بالإضافة إلى ظاهرة التباعد بين الحبيبات. قيمة الإجهاد الأعظم موضحة في الشكل (13) عند زاوية ميل للشق $\theta = 15^\circ$ ، بالنسبة للحالة المدروسة فإن الانتقال وعملية التشبيك موضحة في الشكل (14) عند القيمة نفسها لزاوية ميل الشق. أما الشكل (15) فيوضح تدرج قيمة الإجهاد الأعظم عند رأس الشق عند زاوية ميل للشق $\theta = 15^\circ$ ، حيث يلاحظ بأن أكبر قيمة للإجهاد عند رأس الشق وتبلغ حوالي 11413 (MPa) وتتنخفض هذه القيمة بالابتعاد عن الرأس، وبزيادة زاوية ميل للشق

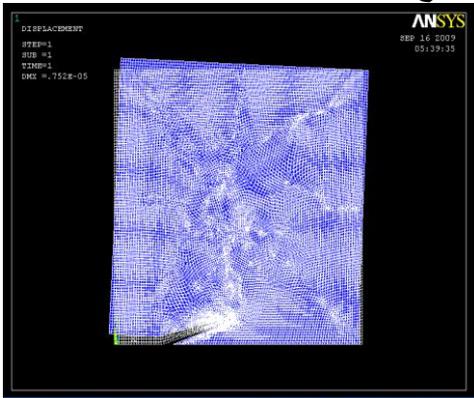
$\theta=45^\circ$ يلاحظ بأن الإجهاد الأعظم انخفض إلى (8640 MPa) كما هو موضح في الشكل (16) ولكن بالسلوك السابق نفسه حيث ينخفض الإجهاد بالابتعاد عن رأس الشق [10].



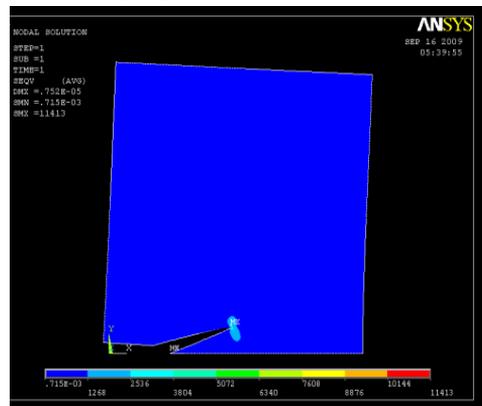
الشكل (11) تغير الإجهاد الأعظم مع زاوية ميل الشق



الشكل (12) تغير الانتقال مع زاوية ميل الشق

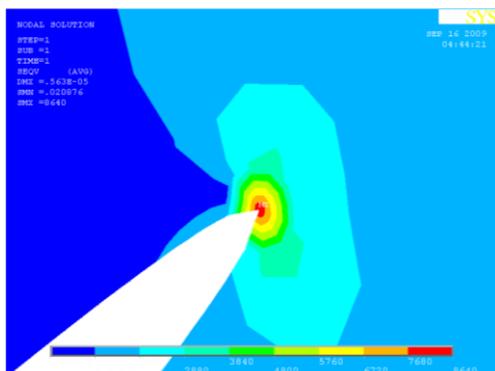


الشكل (14) التشبيك والانتقال عند زاوية ميل



الشكل (13) الإجهاد عند زاوية ميل

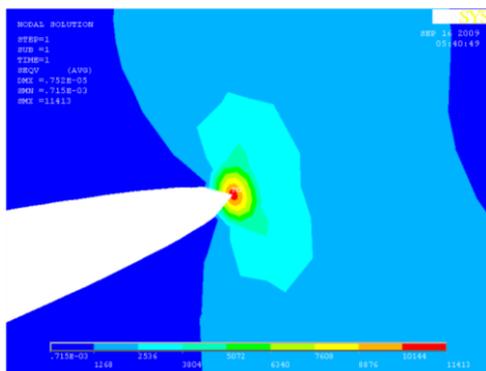
الشق 15°



الشكل (16) الإجهاد عند زاوية ميل

الشق 45°

الشق 15°



الشكل (15) الإجهاد عند زاوية ميل

الشق 15°

5-3- تغيير الإجهاد عند رأس الشق مع تغيير الإجهاد الخارجي المطبق:

يبين الجدول (5) قيم الإجهاد عند رأس الشق، وذلك عند قيم مختلفة للإجهاد خارجي والتي تم الحصول عليها بحيث يتراوح الإجهاد المطبق بين 10 MPa إلى 620 MPa مطبق، ويبين الشكل (17) هذه العلاقة، حيث نلاحظ أنه عند قيم إجهاد مطبق أقل من إجهاد حد الخضوع $\sigma_y=310$ MPa أن العلاقة خطية بين الإجهاد عند رأس الشق والإجهاد الخارجي المطبق كما هو موضح بالشكل (18) وهذه العلاقة هي:

$$\sigma_{\max} = 12.08 \sigma_{\text{app}} + 0.042 \quad (8)$$

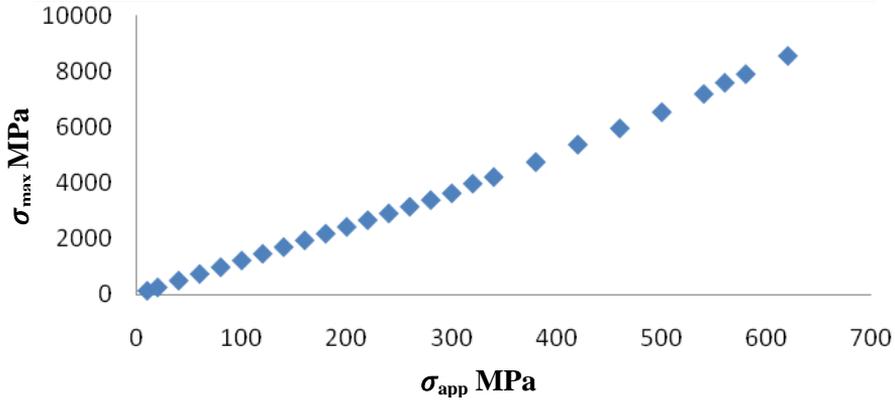
أما بعد تجاوز الإجهاد المطبق إجهاد حد الخضوع فإن العلاقة تصبح غير خطية ومن الدرجة الثانية كما هو موضح بالشكل (19) وهذه العلاقة هي:

$$\sigma_{\max} = 0.006 (\sigma_{\text{app}})^2 + 9.257 \sigma_{\text{app}} + 289.4 \quad (9)$$

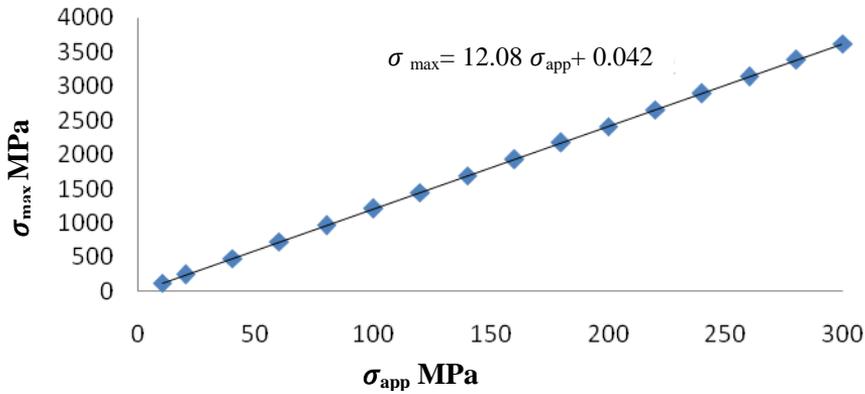
وكما في الحالات السابقة يلاحظ بأن الإجهاد يكون أعظماً عند رأس الشق وينخفض تدريجياً بالابتعاد عن رأس الشق كما هو مبين في الشكل (20) الذي يمثل تدرج الإجهاد بدءاً من رأس الشق عند تطبيق إجهاد خارجي مقداره 220 MPa وكذلك الشكل (21) عند تطبيق إجهاد خارجي مقداره 500 MPa [11].

الجدول (5) تغيير الإجهاد عند رأس الشق عند تغيير الإجهاد الخارجي

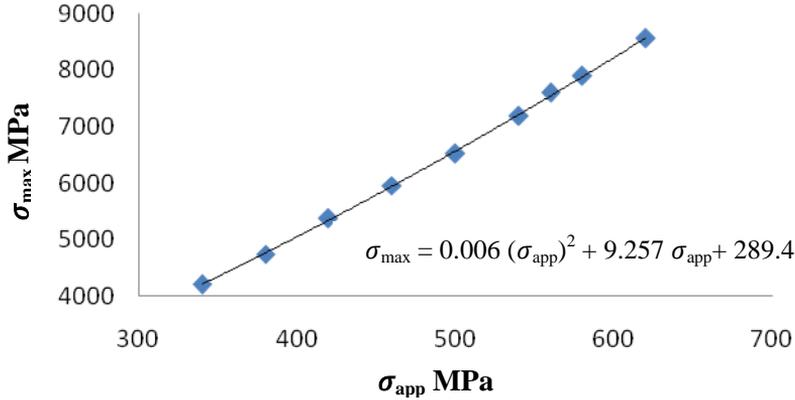
σ_{\max} MPa	σ_{app} MPa	σ_{\max} MPa	σ_{app} MPa	σ_{\max} MPa	σ_{app} MPa
4746	380	2174	180	120.8	10
5374	420	2416	200	241.6	20
5957	460	2658	220	483.2	40
6523	500	2899	240	724.8	60
7193	540	3141	260	966.4	80
7595	560	3382	280	1208	100
7906	580	3624	300	1450	120
8560	620	3970	320	1691	140



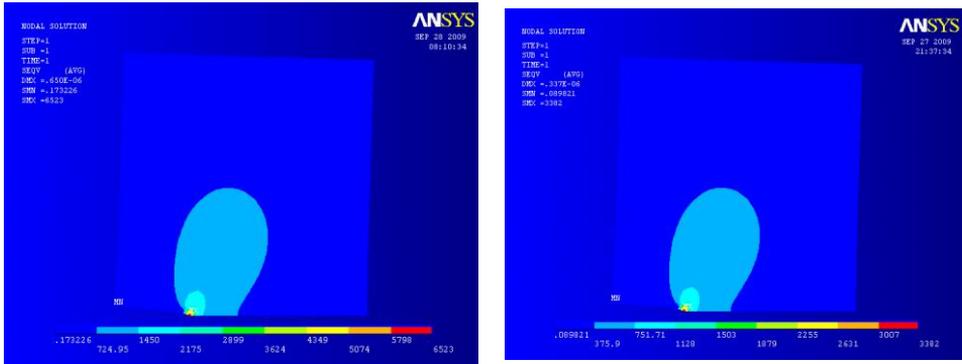
الشكل (17) العلاقة بين الإجهاد عند رأس الشق والإجهاد المطبق



الشكل (18) العلاقة الخطية بين الإجهاد عند رأس الشق والإجهاد المطبق (قبل تطبيق إجهاد قيمته أقل من $\sigma_y=310\text{MPa}$)



الشكل (19) العلاقة اللاخطية بين الإجهاد عند رأس الشق والإجهاد المطبق (بعد تطبيق إجهاد قيمه أعلى من $\sigma_y=310\text{MPa}$)



الشكل (21) قيمة الإجهاد عند رأس الشق

بتطبيق إجهاد ($\sigma_{app}=500\text{MPa}$)

الشكل (20) قيمة الإجهاد عند رأس الشق

بتطبيق إجهاد ($\sigma_{app}=220\text{MPa}$)

5- الاستنتاجات:

1. أن الشقوق الجانبية أكثر خطورة في حالة تواجدها، ولذلك يجب أن تكون الأسطح الخارجية والجوانب (الحواف) بالنسبة للقطع المعدنية ذات نعومة عالية لتجنب وجود شقوق سطحية ناتجة عن خشونة السطح أو تغيير المقطع وبالتالي التقليل من تركيز الإجهاد فيها.

2. تكون زاوية رأس الشق في بداية نمو الشق صغيرة جداً، وبالتالي تزداد قيمة الإجهاد الأعظم بشكل كبير، وباستمرار زيادة طول الشق فإن الانتقال يزداد بشكل كبير في كلا الحالتين بعلاقة غير خطية، وبالتالي تزداد زاوية رأس الشق وينقص نصف قطر رأس الشق وهذا بدوره يقلل من قيمة الإجهاد الأعظم عند رأس الشق كما هو موضح من علاقة تغيير σ_{max} مع طول الشق حيث في البداية تكون الزيادة كبيرة وبعد ذلك يقل معدل نمو الشق في الحالتين المدروستين.

3. إن المعادن ذات البنية البلورية الناعمة والحببيات شبه الكروية ذات قدرة أكبر على تحمل الإجهادات الديناميكية المفاجئة على عكس المعادن ذات البنية الخشنة وحببيات مدببة كما في حالة حديد الصب ذي الصفائح السمنتيتية، وذلك نتيجةً لدراسة زاوية ميل انتشار الشق.

4. إن العلاقة خطية بين الإجهاد عند رأس الشق والإجهاد الخارجي المطبق، والذي تكون قيمه أقل من حد الخضوع، وتصبح غير خطية بعد تجاوز قيمة حد الخضوع.

المقترحات

دراسة العوامل الأخرى التي تؤثر في انتشار الشقوق مثل: درجات الحرارة والتركيب الكيميائي وتوافر شوائب في المعادن أو سبائكها.

References

- 1- Rust, W./ Schweizerhof, K.: Finite element limit load analysis of thin-walled structures by ANSYS (implicit), LS-DYNA (explicit) and in combination, Thin-Walled Structures 41 (2003).
- 2- Griffith, A. A. (1921), "The phenomena of rupture and flow in solids" (PDF), Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 221, 198–163.
- 3- E. Erdogan (2000) Fracture Mechanics, International Journal of Solids and Structures, 37, pp. 171–183.
- 4- Orowan, E., 1949. Fracture and strength of solids. Reports on Progress in Physics XII, 185–232.
- 5- T.L. Anderson (1995). Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications. CRC Press. ISBN 978-0849316562.
- 6- Eric, O.; Rajnovic, D.; Zec, S.; Sidjanin, L.; Jovanovic, M.T. Microstructure and fracture of alloyed austempered ductile iron. Mater. Charact. 2006, 57, 211–217.
- 7- Geng JP, Tan KBC, Liu GR (2001) Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of literature. J Prosthet Dent P 998.
- 8- D.Richard W.Hertzberg fourth edition "Deformation And Fracture Mechanics Of Engineering Materials" New Jersey P 785.
- 9- Marco Giglio and Andrea Manes, " Crack Propagation in Aluminum-Nomex Panels: Experimental and Numerical Approach.", The Arsbian Journal for Science and Engineering, Vol.31, December 2006.
- 10- – XIN L., 2005- Finite Element Analyses of Residual Stresses Generation During Spot Welding And Its Affect On Fatigue Behavior of Spot Welded Joint, *University of Missouri ,Columbia*, 11 .
- 11- Babuřska I, Miller AD (1984) "The post-processing approach in the finite element method, II: the calculation of stress intensity factors", Int. J. Num. Methods in Eng. 20: 1111–1129.

تحسين سعة الوصلة الصاعدة لشبكة نفاذ

متعدد غير متعامد مع طائرة بدون طيار

الباحث المهندس أسامة محمود

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

المخلص

يعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA تقنية نفاذ راديوي جديدة لشبكات الجيل الخامس حيث يمكن استخدام الطائرات بدون طيار UAVs كمحطات قاعدة جوية لدعم الشبكات الخلوية الأرضية داخل المناطق المزدحمة أو المنكوبة من الكوارث. يدرس هذا البحث إرسال الوصلة الصاعدة بين عدة مستخدمين أرضيين وطائرة بدون طيار وذلك من خلال الأمثلة المشتركة لموقع الطائرة والاستطاعة المخصصة في NOMA من أجل تحسين السعة. يُحدد الموقع الأمثل للطائرة من خلال إيجاد القيمة الصغرى لفقد المسار الكلي للوصلة بين المستخدمين والطائرة، ومن ثم تقديم خوارزمية جديدة لإيجاد أفضل معاملات استطاعة يتحقق عندها أعلى مجموع معدل نقل معطيات. بينت نتائج المحاكاة أن المخطط المقترح يحقق أعلى سعة مقارنةً مع طريقة أخرى عشوائية لتخصيص الاستطاعة في NOMA ومخططي OMA بتوزيع أمثلي وتقليدي للموارد الطيفية من أجل توضع ثابت للمستخدمين. كذلك يتفوق أداء متوسط مجموع المعدل في المخطط المقترح مقارنةً مع المخططات الأخرى من أجل مواقع مختلفة للمستخدمين.

الكلمات المفتاحية: النفاذ المتعدد المتعامد، النفاذ المتعدد غير المتعامد، حذف التداخل

التتابعي، تخصيص الموارد، تخصيص الاستطاعة، فقد المسار.

Improving the uplink capacity of a NOMA-UAV network

Abstract

Non-orthogonal multiple access (NOMA) is a new radio access technology for 5G networks in which unmanned aerial vehicles (UAVs) can be used as flying base stations to support terrestrial cellular networks within crowded or disaster-damaged areas. This paper studies the NOMA uplink transmission between multiple ground users and one UAV. The location of the UAV and NOMA power allocation (PA) are jointly optimized to improve the performance of the maximum sum rate. The optimal location for UAV can be achieved by minimizing the total path loss from users to the UAV. Then we proposed a new algorithm to find the optimal power allocations in the NOMA scheme to maximize the sum rate. The proposed algorithm was compared with a random NOMA power allocation scheme and optimal resource allocation OMA scheme, in addition to the conventional OMA. The simulation results showed that the proposed algorithm achieves a higher sum rate compared to the others in terms of fixed locations of ground users. For different locations of ground users, the proposed scheme outperforms the other schemes, and the average sum rate can be improved.

Keywords: Orthogonal multiple access, non-orthogonal multiple access, successive interference cancellation, resource allocation, power allocation, path loss.

1. مقدمة:

اقتصرت تطبيقات الطائرات بدون طيار (Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) في البداية على الاستخدام في المجال العسكري بهدف تقليل الخسائر في العنصر البشري، حيث يتم قيادتها عن بعد أو بشكل ذاتي من خلال برمجيات خاصة فيها دون تدخل بشري (دون طيار بشري). وبسبب التطور التكنولوجي المتزايد الذي ساهم في تخفيض التكلفة والحجم، انتشرت تطبيقات الطائرات المسيرة في المجال المدني بكثرة ومنها: مراقبة الطقس، البحث والإنقاذ، الاستشعار عن بعد، والتتبع الجوي لأنظمة الاتصالات الخلوية [1]. تمتلك الطائرات بدون طيار مرونة عالية في نشرها عند الاستخدام الطارئ مقارنةً مع المحطات الأرضية الثابتة، وتتميز بقدرتها على الحركة العالية في فضاء ثلاثي الأبعاد (3D) 3 Dimensional، وهذا ما يساهم في رفع احتمالية خط النظر Line Of Sight (LOS) لقنوات الاتصالات اللاسلكية بين مختلف العقد الشبكية. [2]

يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA إحدى تقنيات النفاذ الراديوي الواعدة في شبكات الجيل الخامس (5G) Fifth Generation للأجهزة الخلوية من أجل تحسين الفعالية الطيفية وتوفير استهلاك الطاقة وتأمين التغطية لعدد كبير من المستخدمين مقارنةً مع النفاذ المتعدد المتعامد (OMA) Orthogonal Multiple Access [3].

يساهم النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA في تحسين الأداء لشبكات اتصالات لاسلكية تتضمن طائرات مسيرة، حيث يمكن استخدام الطائرة بدون طيار كمحطة قاعدية Base Station (BS) جوية في الشبكات الخلوية لتأمين التغطية لعدد من المستخدمين المتواجدين ضمن منطقة مكتظة أو ضمن مناطق منكوبة في حالة الكوارث الطبيعية التي يصعب فيها الحفاظ على المحطات القاعدية الثابتة أو لا تستطيع المحطات المتواجدة تلبية متطلبات العدد الكبير من المستخدمين [4]- [11].

2. أبحاث ودراسات مرجعية

تناولت العديد من الأبحاث النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA كتقنية واعدة لتحسين أداء أنظمة الاتصالات اللاسلكية الخاصة بالطائرات بدون طيار في تطبيقات وسيناريوهات مختلفة لتحقيق غايات متنوعة. ومع الانتشار الواسع لتطبيقات استخدام الطائرة في شبكات الجيل الخامس للأنظمة الخلوية النقالة بهدف دعم عدد كبير من المستخدمين وتحسين التغطية، تم التوجه لتطوير تقنيات النفاذ المتعدد واستخدام غير المتعامد منها في الوصلة الهابطة بين الطائرة وعدة مستخدمين أرضيين. ففي [4] قدم الباحثون حل لمشكلة انخفاض مستوى الأمان الناتج عن الإرسال العالي لمستخدم القناة الأضعف والاحتمالية العالية لخط النظر (Line Of sight(LOS بين الطائرة والمستخدمين في إرسال الوصلة الهابطة، حيث ساهمت تقنية NOMA في ضمان أمن المستخدم من خلال التخصيص الأمثل للاستطاعة المرسله من المحطة لكل مستخدم مع مسار دائري للطائرة بهدف تحقيق أعلى مجموع معدل Sum Rate ممكن. كذلك ساهم مخطط NOMA في تكبير الحد الأدنى لمعدل نقل المعطيات الآمن ضمن قيود جودة الخدمة والحركية العالية للمستخدمين الأرضيين في إرسال الوصلة الهابطة للطائرة، وذلك من خلال الأمثل المشترك لمعاملات الاستطاعة والمسار وجدولة المستخدم.[5]

في [6] بينت النتائج فعالية NOMA بإمكانية تحقيق سعة كلية للوصلة الهابطة تفوق تلك المحققة في OMA وذلك من خلال التخصيص الأمثل لمعاملات الاستطاعة والموقع المثالي للطائرة بما يحقق معدل جودة الخدمة المطلوب لكل مستخدم ويكون متوسط فقد المسارات (Path Loss (PL بين الطائر والمستخدمين عنده أصغرياً. كذلك أثبتت الدراسة في [7] أنه يمكن لتقنية NOMA تقليل استهلاك الطاقة وتحقيق أعلى مجموع سعة عالي من خلال إيجاد الارتفاع الأمثل للطائرة في حالة وجود مستخدمين اثنين في سيناريو الوصلة الهابطة. ضمن سيناريو مشابه لما سبق، أظهر البحث [8]

قدرة NOMA على تحقيق معدلات نقل أعلى من OMA ضمن زمن محدد من خلال الأمثلة المشتركة لمعاملات الاستطاعة ومسار الطائرة بدون طيار من أجل إرسال الوصلة الهابطة.

قدم الباحثون في [9] دراسة لنموذج وصلة هابطة من محطة قاعدية أرضية إلى عدة مستخدمين أرضيين عبر طائرة بدون طيار تُستخدم كوسيط جوي لتقليل المعطيات بين المحطة والمستخدمين، وذلك بالاعتماد على تقنية NOMA التي ساهمت وفقاً للنتائج في تخفيض استهلاك الاستطاعة المستهلكة في الطائرة مع المحافظة على معدلات جودة الخدمة المطلوبة وذلك من خلال النشر الأمثل Optimum Placement للطائرة، حيث يتم اختيار موقع الطائرة بحيث تتحقق معدلات الإرسال المطلوبة عند أصغر قيمة للاستطاعة. كذلك بينت النتائج في [10] فعالية استخدام تقنية NOMA في أنظمة جهاز لجهاز (D2D) Device To Device التي تساعد في تأمين التغطية لمستخدم ضمن منطقة غير مخدمة أو بعيدة عن مجال الإرسال للمحطة القاعدية.

استخدم الباحثون في [11] مخطط NOMA من أجل تحسين فعالية الطاقة وعدالة الإنتاجية بشكل مشترك لاتصالات الوصلة الهابطة ضمن قيود متطلبات جودة الخدمة وقيود الاستطاعة المتاحة في الطائرة التي تُعتبر كمحطة قاعدية جوية. لتحقيق هذا الهدف اقترح الباحثون تصنيف أجهزة المستخدمين تبعاً لظروف قنواتهم (اعتبار الخفوت واسع النطاق Large-scale fading وتجاهل أثر الخفوت ضيق النطاق Small-scale fading) إلى مجموعتين: المجموعة الأولى تتوزع بشكل قريب من المركز ضمن دائرة صغيرة، والثانية تتوزع بشكل قريب من الحافة خارج الدائرة الصغيرة.

درست الأبحاث المذكورة أعلاه فعالية تطبيق النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA في إرسال الوصلة الهابطة لشبكة اتصالات لاسلكية بمساعدة طائرة بدون طيار، لذلك يهتم

هذا البحث بدراسة تقنية NOMA في إرسال الوصلة الصاعدة ضمن هذه الشبكة بهدف تحقيق أعلى مجموع معدل نقل معطيات. يقدم البحث تعريف للمسألة المطروحة لتكبير السعة الكلية ضمن قيود متطلبات جودة الخدمة لكل مستخدم والحد الأعلى المسموح لاستطاعة أجهز المستخدمين وذلك من خلال الأمثلة المشتركة لموقع الطائرة ومعاملات استطاعة إرسال المستخدمين. بسبب صعوبة حل المسألة غير المحدبة non-convex، تم بدايةً تحديد الموقع المناسب للطائرة بحيث يتحقق عنده أصغر فقد مسار كلي من المستخدمين إلى الطائرة. ومن ثم يتحقق أعلى مجموع سعة من خلال تخصيص معاملات الاستطاعة. تُستخدم بيئة ماتلاب MATLAB لاستخلاص النتائج وتقييم أداء النظام والمقارنة بين NOMA و OMA ، حيث يساهم البحث في تحسين أداء السعة لشبكة اتصالات لاسلكية NOMA بمساعدة طائرة بدون طيار UAV في إرسال الوصلة الصاعدة.

3. نموذج النظام وصياغة المسألة

1.3. نموذج النظام

لنعتبر الشبكة اللاسلكية المبينة في الشكل 1 والمؤلفة من طائرة واحدة UAV بجناح دوار متوضعة على ارتفاع ثابت H لتأمين التغطية وتقديم الخدمات لعدد من المستخدمين لا يتجاوز N بالاعتماد على النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA. نفرض أن الطائرة وكل جهاز من أجهزة المستخدمين مجهزين بهوائي واحد فقط، وأن أثر الخفوت ضيق النطاق small-scale fading مهمل، بينما يُنمذج تأثير الخفوت واسع النطاق large-scale fading بين الطائرة والمستخدم رقم n من خلال فقد المسار (PL) بالعلاقة التالية: [12]

$$PL_n(dB) = 10\alpha \log_{10}(d_n), 1 \leq n \leq N, \quad (1)$$

حيث PL_n فقد المسار بين الطائرة والمستخدم رقم n ، α أس فقد المسار path loss exponent، و d_n المسافة بين الطائرة والمستخدم رقم n والذي يُعطى بالصيغة التالية: [7]

$$d_n = \sqrt{H^2 + (X_u - x_n)^2 + (Y_u - y_n)^2}, \quad (2)$$

حيث $H(meters)$ إرتفاع الطائرة مقاس بالمتر، وتمثل (X_u, Y_u) موقع الطائرة في المستوي الأفقي، بينما تمثل (x_n, y_n) إحداثيات المستخدم رقم n في المستوي الأفقي. وبالتالي يُعطى معامل ربح القناة h_n بين الطائرة والمستخدم رقم n كما يلي:

$$h_n = (d_n)^{-\alpha}, \quad 1 \leq n \leq N, \quad (3)$$

حيث d_n المسافة بين الطائرة والمستخدم رقم n والمعطى بالعلاقة (2). نفرض أن معاملات ربح القناة متماثلة بين الوصلتين من طائرة إلى مستخدم وبالعكس من مستخدم إلى طائرة، وأنها معروفة بشكل كامل لدى الطائرة والأجهزة وأن المستخدم الأول هو الأبعد الذي يملك أضعف قناة أي معاملات القناة تُحقق: $0 < |h_1|^2 \leq \dots \leq |h_N|^2$.

تتمثل الوصلة الصاعدة الوصلة بقناة الاتصال من المستخدمين الأرضيين إلى الطائرة Ground To Air (G2A)، حيث يُرسل كل مستخدم رموزه المعدلة باستطاعة يتم ضبطها تبعاً لربح قنواته بحيث لا تتجاوز الاستطاعة المتاحة لكل جهاز مستخدم والتي نفرضها P_{max} متساوية من أجل جميع المستخدمين. تتراكم إشارات المستخدمين المرسله باستطاعة مختلفة عبر قنواتهم الخاصة عند المستقبل Successive Interference Cancellation(SIC)، وتُكتب الإشارة المستقبلية r عند الطائرة كما يلي:

$$r = \sum_{n=1}^N \sqrt{P_n} h_n s_n + w, \quad (4)$$

حيث h_n معامل القناة بين الطائرة والمستخدم رقم n والمعطى بالعلاقة (3)، P_n استطاعة إرسال المستخدم رقم n بحيث $P_n \leq P_{max}$ ، s_n الرمز المرسل من المستخدم رقم n حيث $|s_n|^2 = 1$ من أجل $n = 1, 2, \dots, N$ ، وتمثل w ضجيج أبيض جمعي غاوسي (AWGN) بمتوسط صفري وتشتت σ^2 أي $w \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$.

يعمل مستقبل الطائرة على فصل إشارات المستخدمين من أجل كشف وتقدير الرموز المرسله وذلك بتطبيق خوارزمية حذف التداخل التتابعي SIC تبعاً لشروط قنوات المستخدمين، حيث يبدأ المستقبل بكشف إشارة المستخدم رقم N (الذي يملك أعلى ربح قناة) ويعالج إشارات المستخدمين الآخرين كضجيج. يقوم المستقبل بحذف التداخل الناتج عن إشارة المستخدم رقم N ومن ثم كشف إشارة المستخدم رقم $N - 1$ وحذف التداخل الناتج عنها أيضاً، وهكذا وصولاً إلى إشارة المستخدم رقم 1. بالتالي يمكن تمثيل نسبة الإشارة المستقبلية للتداخل والضجيج $SINR_n$ من أجل المستخدم رقم n كما يلي:

$$SINR_n = \frac{P_n |h_n|^2}{\sum_{k=1}^{n-1} P_k |h_k|^2 + \sigma^2}, \quad (5)$$

حيث h_n معامل القناة بين الطائرة والمستخدم رقم n والمعطى بالعلاقة (3)، P_n استطاعة إرسال المستخدم رقم n بحيث $P_n \leq P_{max}$ ، و σ^2 تشتت الضجيج. وبالتالي يكون معدل الإرسال للمستخدم رقم n في الوصلة G2A كالآتي:

$$R_n = \log_2(1 + SINR_n), \quad (6)$$

يمثل مجموع معدل نقل المعطيات $\sum_{n=1}^N R_n$ الفعالية الطيفية (bps/Hz) المحققة في الوصلة الصاعدة المعتمدة على NOMA والذي يُحسب كما يلي:

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=1}^N R_n &= \sum_{n=1}^N \log_2(1 + SINR_n) = \log_2 \prod_{n=1}^N \frac{\sum_{k=1}^n P_k |h_k|^2 + \sigma^2}{\sum_{k=1}^{n-1} P_k |h_k|^2 + \sigma^2} \\
 &= \log_2 \left(\frac{\sum_{k=1}^N P_k |h_k|^2 + \sigma^2}{\sum_{k=1}^{N-1} P_k |h_k|^2 + \sigma^2} \times \frac{\sum_{k=1}^{N-1} P_k |h_k|^2 + \sigma^2}{\sum_{k=1}^{N-2} P_k |h_k|^2 + \sigma^2} \times \dots \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{\sum_{k=1}^2 P_k |h_k|^2 + \sigma^2}{P_1 |h_1|^2 + \sigma^2} \times \frac{P_1 |h_1|^2 + \sigma^2}{\sigma^2} \right) \\
 &= \log_2 \left(\frac{\sum_{k=1}^N P_k |h_k|^2 + \sigma^2}{\sigma^2} \right) \\
 &= \log_2 \left(1 + \frac{\sum_{k=1}^N P_k |h_k|^2}{\sigma^2} \right), \tag{7}
 \end{aligned}$$

حيث h_k معامل القناة بين الطائرة والمستخدم رقم k والمعطى بالعلاقة (3)، P_k استطاعة إرسال المستخدم رقم k بحيث $P_{max} \geq P_k$.

2.3. صياغة المسألة

بهدف الحصول على أعلى مجموع معدل معطى بالعلاقة (7)، يتم الاختيار المشترك لموقع ومعاملات الاستطاعة المثلى وفق المسألة التالية:

$$\max_{P_n, X_u, Y_u} \sum_{n=1}^N R_n, \tag{8a}$$

$$\begin{cases}
 R_n \geq r_{min}, & (8b) \\
 P_n \leq P_{max}, & (8c) \\
 \min\{x_n\} \leq X_u \leq \max\{x_n\}, & (8d) \\
 \min\{y_n\} \leq Y_u \leq \max\{y_n\}, & (8e) \\
 1 \leq n \leq N
 \end{cases}$$

حيث R_n معدل نقل المعطيات المعطى بالعلاقة (6)، الحد الأدنى لمعدل نقل المعطيات لكل مستخدم الذي نفرضه متساوي من أجل جميع المستخدمين، P_n استطاعة إرسال المستخدم رقم n ، P_{max} الاستطاعة العظمى المتاحة للإرسال، (x_n, y_n) إحداثيات المستخدم رقم n في المستوي الأفقي و (X_u, Y_u) موقع الطائرة في المستوي الأفقي. إن المسألة (8) غير محدبة من الصعب حلها لذلك يتم في المرحلة الأولى إيجاد الموقع الأمثلي للطائرة من خلال تصغير فقد المسار الكلي $\sum_{n=1}^N PL_n$ ، حيث PL_n فقد المسار بين الطائرة والمستخدم رقم n المعطى بالعلاقة (1). يُعطى الموقع المثالي للطائرة في هذه الحالة كالآتي: [6]

$$(X_u, Y_u) = \left(\sum_{n=1}^N \frac{x_n}{N}, \sum_{n=1}^N \frac{y_n}{N} \right), \quad (9)$$

بالتالي يمكن إعادة صياغة المسألة (8) مع استخدام العلاقة (7) كما يلي:

$$\max_{P_n} \sum_{n=1}^N P_n |h_n|^2, \quad (10a)$$

$$s. t. \begin{cases} R_n \geq r_{min}, & (10b) \\ P_n \leq P_{max}, & (10c) \\ 1 \leq n \leq N \end{cases}$$

حيث R_n معدل نقل المعطيات المعطى بالعلاقة (6)، الحد الأدنى لمعدل نقل المعطيات لكل مستخدم، P_n استطاعة إرسال المستخدم رقم n ، و P_{max} الاستطاعة العظمى المتاحة للإرسال. نلاحظ أن المسألة المطروحة أصبحت البحث عن التخصيص الأمثل لمعاملات الاستطاعة ضمن قيود جودة الخدمة المطلوبة واستطاعة الإرسال العظمى المتاحة للأجهزة.

4. تخصيص الاستطاعة

إن تحقيق أعلى مجموع معدل يمكن أن يتم من خلال وضع $P_n = P_{max}, \forall n \in \{1, 2, \dots, N\}$ ، لكن هذا الحل قد لا يحقق القيد (10b)، الذي يمكن أن إعادة صياغته: $P_n \geq P_n^{min}$ حيث الحد الأدنى لاستطاعة الإرسال المطلوبة للمستخدم رقم n لتحقيق معدل الإرسال المطلوب. ويعطى كما يلي:

$$P_n^{min} = \frac{(2^{r_{min}} - 1)}{|h_n|^2} \left(\sum_{n=1}^{n-1} P_n |h_n|^2 + \sigma^2 \right), \quad (11)$$

بالتالي لحل المسألة (10) يجب أن تكون P_{max} كبيرة كفاية للتأكد من أنها ترضي الحد الأدنى من الاستطاعة المطلوبة لكل مستخدم، أي تحقق ما يلي:

$$P_{max} \geq \max\{P_n^{min}, 1 \leq n \leq N\}, \quad (12)$$

حيث P_n^{min} الحد الأدنى لاستطاعة الإرسال المطلوبة للمستخدم رقم n والمعطى بالعلاقة (11).

نلاحظ من العلاقتين (5) و(6) أن معدل النقل R_n للمستخدم رقم n يرتبط بمعاملات الاستطاعة المخصصة للمستخدمين $1, 2, \dots, n-1$ إضافة إلى الاستطاعة P_n ، حيث يزداد المعدل بتناقص $\{P_k, 1 \leq k \leq n-1\}$ وزيادة P_n . أي أن معدلات النقل R_n من أجل $1 \leq n \leq N-1$ لا تتأثر بالاستطاعة P_N المخصصة للمستخدم رقم N ، وبالتالي يمكن وضع $P_N = P_{max}$. كذلك تزداد معدلات النقل للمستخدمين $1 \leq n \leq N$ بتخفيض الاستطاعة P_1 المخصصة للمستخدم الأول. بالاعتماد على ما سبق، يمكن إعادة صياغة المسألة (10) كالتالي:

$$\max_{P_n} \sum_{n=1}^N P_n |h_n|^2, \quad (13a)$$

$$s. t. \begin{cases} P_n^{min} \leq P_n \leq P_{max}, 1 \leq n \leq N-1, \\ P_N = P_{max} \end{cases} \quad (13b)$$

1.4. خوارزمية الحل المقترحة

من أجل إيجاد الحل الأمثل للمسألة (13) يتم تطبيق الخوارزمية المبينة في الجدول I. في البداية يتم التأكد من أن P_{max} تحقق العلاقة (12) من خلال حساب القيم $\mathbf{P}^{(min)} = [P_1^{min}, \dots, P_n^{min}, \dots, P_N^{min}]$ من العلاقة (11)، ففي حال الإيجاب يتم البحث عن الحل الأمثل $\mathbf{P}^{(opt)}$ للمسألة (13) الذي يُكتب بالصيغة التالية:

$$\mathbf{P}^{(opt)} = [P_1^{(opt)}, \dots, P_{N-1}^{(opt)}, P_{max}], \quad (14)$$

حيث $P_k^{(opt)}$ استطاعة الإرسال للمستخدم رقم k من أجل $1 \leq k \leq N-1$ وتكتب كما يلي:

$$P_k^{(opt)} = P_{max} - m \frac{P_{max} - P_k^{min}}{M}, 0 \leq m < N, \quad (15a)$$

$$P_k^{min} \leq P_k^{(opt)} \leq P_{max}, 1 \leq k < N, \quad (15b)$$

حيث N عدد المستخدمين، P_{max} الاستطاعة العظمى المتاحة للإرسال، P_k^{min} الحد الأدنى لاستطاعة الإرسال المطلوبة للمستخدم رقم k والمعطى بالعلاقة (11)، و M طول المجال المطلوب $[P_k^{min}, P_{max}]$ الذي نفرضه متساوي من أجل $1 \leq k < N$.

تهدف الخوارزمية المقترحة إلى إيجاد $\mathbf{P}^{(opt)}$ انطلاقاً من القيم البدائية $\mathbf{P}^{(0)} = [P_1^{(0)}, \dots, P_N^{(0)}]$ الموافقة لقيمة $m = 0$ حيث $P_n^{(0)} = P_{max}, \forall 1 \leq n \leq N$ وتكون $k = 1$ في الحالة البدائية. تُحسب معدلات النقل $\mathbf{R}^{(0)} = [R_1^{(0)}, \dots, R_n^{(0)}, \dots, R_N^{(0)}]$

الموافقة لقيم الاستطاعة في $P^{(0)}$ من العلاقة (6). فإذا كان أصغر معدل يحقق الحد الأدنى لجودة الخدمة لكل مستخدم، أي $r_{min} \leq \min R^{(0)}|_{P^{(0)}}$ ، فإن أفضل حل للمسألة (13) يكون $P^{(opt)} = P^{(0)}$ ومن ثم يتم إيقاف الخوارزمية.

وعندما يكون أصغر معدل أقل من الحد الأدنى المطلوب لكل مستخدم أي $r_{min} > \min R^{(0)}|_{P^{(0)}}$ ، يتم تحديث $P^{(0)}$ من خلال حساب الاستطاعة المخصصة للمستخدم رقم k (وهي في هذه المرحلة للمستخدم الأول $k = 1$) باستخدام العلاقة (15a) من أجل $m = 1$. يتم حساب $R^{(0)}$ عند $P^{(0)}$ ومقارنة $\min R^{(0)}|_{P^{(0)}}$ مع r_{min} ، فإذا كان أصغر معدل يحقق الحد الأدنى لجودة الخدمة لكل مستخدم يتم إيقاف الخوارزمية ويكون $P^{(opt)} = P^{(0)}$. في الحالة المعاكسة يتم وضع $m = 2$ وإعادة تنفيذ الخطوات السابقة، وهكذا وصولاً إلى $m = M$. بنهاية هذه المرحلة إما أن يتحقق الشرط $r_{min} \leq \min R^{(0)}|_{P^{(0)}}$ عند إحدى قيم m المنتمة إلى المجموعة $\{1, 2, \dots, M\}$ ، أو يتم تخصيص المستخدم الأول بالاستطاعة P_1^{min} وإعادة تكرار الإجراءات السابقة من أجل $k = 2$ ابتداءً من $m = 0$. كذلك عندما تصل m إلى القيمة M بدون تحقق $r_{min} \leq \min R^{(0)}|_{P^{(0)}}$ ، يتم تخصيص المستخدم الثاني بالاستطاعة P_2^{min} وإعادة تطبيق الخطوات السابقة من أجل $k = 3$ ابتداءً من $m = 0$. يتوقف تكرار الإجراءات السابقة عندما يتحقق الحد الأدنى لجودة الخدمة لكل مستخدم ($r_{min} \leq \min R^{(0)}|_{P^{(0)}}$). بفرض أن الخوارزمية تصل إلى الحل الأمثل عند القيم $k_{min} = k$ و $m_{min} = m$ ، بالتالي يمكن كتابة الحل الأمثل للمسألة (10) كالآتي:

$$P_n^{(opt)} = \begin{cases} P_n^{min}, & \text{if } n < k_{min} \\ P_{k_{min}}^{(opt)}|_{m=m_{min}}, & \text{if } n = k_{min} \\ P_{max}, & \text{if } n > k_{min} \end{cases} \quad (16)$$

حيث $P_{k_{min}}^{(opt)}$ الاستطاعة المخصصة للمستخدم رقم والتي تُحسب باستخدام العلاقة (15a) من أجل $m = m_{min}$ ، حيث تمثل k_{min} و m_{min} القيم الصغرى لكل من k و m بالترتيب، والتي تتوقف عندها الخوارزمية ويتحقق $r_{min} \leq \min R^{(0)}|_{P^{(0)}}$ بحيث

$$. 0 \leq m_{min} \leq M \text{ و } 1 \leq k_{min} < N$$

الجدول I: الخوارزمية المقترحة في مخطط NOMA.

Proposed algorithm to maximization sum rate in NOMA scheme
<p>Input: Number of user N, Noise power σ^2, Number of power value M, Maximum available power P_{max}, Minimum required rate per user r_{min}, Channel coefficients h_1, \dots, h_N.</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Compute $P^{(min)}$ based on (11). 2. if $P_{max} \geq \max P^{(min)}$ then continue. else $P^{(opt)} \leftarrow 0$, Stop. end if 3. $P^{(0)} \leftarrow [P_{max}, \dots, P_{max}]$. 6. $k \leftarrow 1$. 7. $m \leftarrow 0$. 8. Compute $P_k^{(0)}$ by (15a) and update $P^{(0)}$. 9. Compute $R^{(0)}$ at $P^{(0)}$ using (6). 10. if $r_{min} \leq \min R^{(0)}$ then $P^{(opt)} \leftarrow P^{(0)}$, Stop. else $m \leftarrow m + 1$. if $m \leq M$ then go to step 8. else $P_k^{(0)} \leftarrow P_k^{min}$, $k \leftarrow k + 1$. if $k < N$ then go to step 7. else $P^{(opt)} \leftarrow P^{(0)}$, Stop. end if end if
<p>Output: Optimal power allocations $P^{(opt)}$.</p>

إن ضمان تقارب الخوارزمية المقترحة والمبينة في الجدول I، إلى الحل مرتبط بأن تحقق الاستطاعة العظمى المتاحة للإرسال P_{max} العلاقة (12) والتي يتم التأكد منها في بداية الخوارزمية. وفي الحالة المعاكسة لا يتم تطبيق باقي الخطوات (من الخطوة الثالثة حتى العاشرة) ويتم اعتبار $\mathbf{P}^{(opt)} = [0, \dots, 0]$.

بهدف المقارنة سيتم تخصيص الاستطاعة لمستخدمي الوصلة الصاعدة بشكل شبه عشوائي انطلاقاً من الحدود الدنيا للاستطاعة كما يلي:

$$\mathbf{P}^{(rand)} = \frac{\mathbf{P}^{(min)} P_{max}}{\max \mathbf{P}^{(min)}} \quad (17)$$

حيث $\mathbf{P}^{(rand)} = [P_1^{rand}, \dots, P_N^{rand}]$ الاستطاعة المخصصة بشكل شبه عشوائي لمستخدمي الوصلة الصاعدة، $\mathbf{P}^{(min)} = [P_1^{min}, \dots, P_N^{min}]$ الحدود الدنيا للاستطاعة والتي تُحسب باستخدام العلاقة (11)، و P_{max} الاستطاعة العظمى المتاحة للإرسال.

2.4. مجموع السعة في OMA

تعتمد أنظمة OMA على تخصيص الموارد المتاحة (الترددية، الزمنية...) بشكل أمثل من أجل تلبية متطلبات جودة الخدمة وتحقيق مجموع معدل نقل أعظمي. بفرض أن جميع مستخدمي الوصلة الصاعدة المعتمدة على OMA يُرسلون إشاراتهم بالاستطاعة العظمى المتاحة P_{max} ، يُعطى معدل النقل لكل مستخدم في OMA كما يلي: [7]

$$R_n^{OMA} = \alpha_n \log_2(1 + \beta_n P_{max} |h_n|^2 / \sigma^2), \quad (18)$$

حيث α_n معامل تخصيص الحزمة الترددية للمستخدم رقم n بحيث $0 < \alpha_n \leq 1$ ، $\sum_{n=1}^N \alpha_n = 1$ ، وتحقق الصيغة التالية: $1, \forall n \in \{1, \dots, N\}$ معامل $\beta_n = 1/\alpha_n$ ، تقبيل استطاعة الضجيج على جزء الطيف الترددي α_n المخصص للمستخدم رقم n ، σ^2 استطاعة الضجيج على كامل الحزمة الترددية المتاحة في النظام، و h_n معامل القناة

بين الطائرة والمستخدم رقم n والمعطى بالعلاقة (3). بالتالي يكون مجموع المعدل $\sum_{n=1}^N R_n^{OMA}$. يُخصص المستخدمون بأجزاء متساوية من الحزمة الترددية في أنظمة

OMA التقليدية أي:

$$\alpha_n = \frac{1}{N}, \quad 1 \leq n \leq N, \quad (19a)$$

$$\beta_n = N, \quad 1 \leq n \leq N, \quad (19b)$$

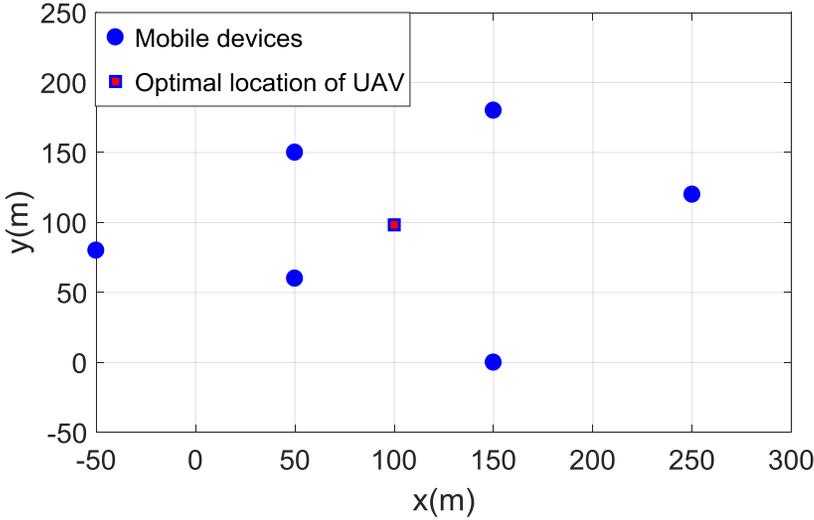
لكن قد لا تحقق المعاملات المعطاة في (19) متطلبات جودة الخدمة من أجل استطاعة إرسال عظمى محددة، أو قد لا يصل مجموع السعة إلى القيمة العظمى الممكن تحقيقه. ويهدف إجراء مقارنة عادلة بين نظام OMA والخوارزمية المقترحة لحل المسألة المشابهة في NOMA المبينة في الجدول I، يتم العمل على إيجاد مجموع السعة الأعظم الممكن تحقيقه في OMA ضمن قيود متطلبات جودة الخدمة لكل مستخدم أي $r_{min} \leq R_n^{OMA}$. في البداية يتم التحقق من أن الاستطاعة P_{max} كبيرة كفاية لتحقيق الحد الأدنى لمعدل النقل المطلوب لكل مستخدم r_{min} . ومن ثم البحث بشكل مستقل عن أصغر قيمة لمعاملات تخصيص الحزمة الترددية $\{\alpha_n^{min} \in]0,1], 1 \leq n \leq N\}$ التي يكون عندها $R_n^{OMA}|_{\alpha_n=\alpha_n^{min}} \geq r_{min}$. بعد هذه المرحلة يتم التأكد من أن $\sum_{n=1}^N \alpha_n^{min} \leq 1$ وفي حال الإيجاب وبالاعتماد على أن $|h_1|^2 \leq \dots \leq |h_N|^2 < 0$ ، يتم تخصيص المستخدم رقم N بالجزء المتبقي من الحزمة الترددية بالإضافة إلى الجزء α_N^{min} ، أي يُعطى التخصيص الأمثل للموارد $\alpha^{(opt)} = [\alpha_1^{(opt)}, \dots, \alpha_N^{(opt)}]$ كما يلي:

$$\alpha_n^{(opt)} = \begin{cases} \alpha_n^{min}, & \text{if } n < N \\ \alpha_N^{min} + 1 - \sum_{n=1}^N \alpha_n^{min}, & \text{if } n = N \end{cases}, \quad (20)$$

حيث N عدد المستخدمين، وتمثل α_n^{min} الحد الأدنى لمعاملات تخصيص الموارد الترددية بحيث تكون $0 < \alpha_n^{min} \leq 1$ من أجل $1 \leq n \leq N$.

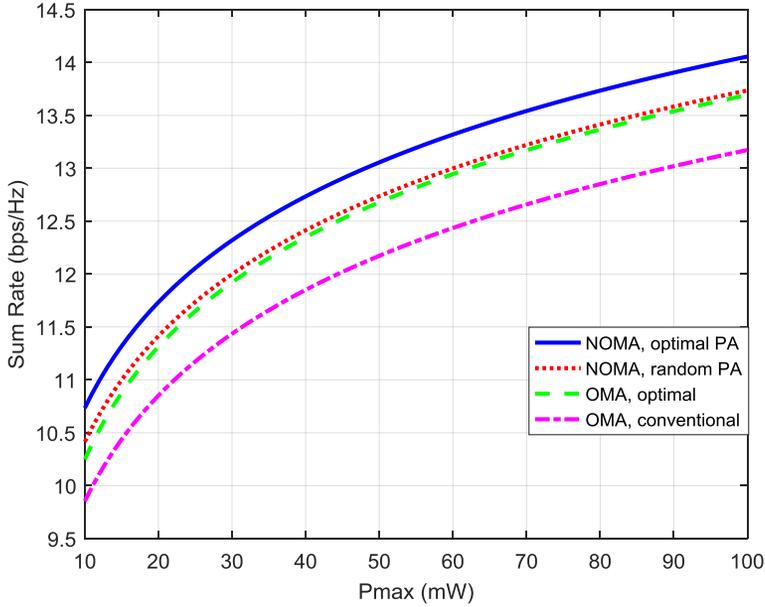
5. نتائج المحاكاة والمناقشة

تُستخدم بيئة ماتلاب لتقييم أداء النظام والمقارنة بين الخوارزميات المذكورة أعلاه. نعتبر $N = 6$ مستخدم منتشرين بشكل عشوائي في المستوى الأفقي كما هو مبين في الشكل (1)، حيث يتم تحديد موقع الطائرة في هذا المستوى باستخدام (9) من أجل تصغير فقد المسار الكلي [6]. يعتمد إرسال الوصلة الصاعدة للنظام على مخطط NOMA من خلال استخدام الترميز التراكمي Superposition Coding (SC) لإشارات المستخدمين المرسل، وحذف التداخل التتابعي SIC في المستقبل.



الشكل (1): مواقع المستخدمين والطائرة في المستوى الأفقي [6].

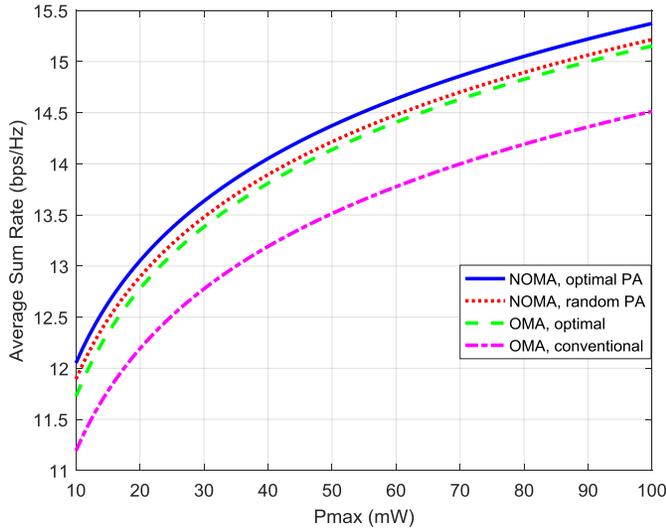
نفرض ارتفاع الطائرة $H = 50m$ ، استطاعة الضجيج $\sigma^2 = 110dBm$ ، أس فقد المسار $\alpha = 2.38$ ، $M = 1000$ ، والحد الأدنى لمعدل نقل المعطيات لكل مستخدم $r_{min} = 1bps/Hz$ بدايةً، تُحسب المسافات $\{d_n, 1 \leq n \leq N\}$ بين الطائرة وجميع المستخدمين من (2)، ومن ثم تقدير معاملات ربح القناة $\{|h_n|^2, 1 \leq n \leq N\}$ لجميع المستخدمين باستخدام (3).



الشكل (2): مقارنة مجموع معدلات النقل في إرسال الوصلة الصاعدة بين NOMA و OMA تبعاً لاستطاعة الإرسال العظمى المتاحة للمستخدمين في حالات التخصيص الأمثل والعشوائي للموارد.

يبين الشكل (2) مقارنة مجموع معدلات النقل الممكن تحقيقه في إرسال الوصلة الصاعدة بين NOMA و OMA عند قيم مختلفة لاستطاعة الإرسال العظمى المتاحة للمستخدمين P_{max} ، وذلك في حالتَي التخصيص الأمثل باستخدام (16) والعشوائي باستخدام (17) للاستطاعة في NOMA والتخصيص الأمثل باستخدام (20) والتقليدي باستخدام (19) للموارد الترددية في OMA. تبين نتائج المحاكاة في الشكل (2) أن مجموع معدلات النقل يتزايد في مختلف حالات NOMA و OMA عندما تزداد استطاعة الإرسال العظمى المتاحة P_{max} . أيضاً نلاحظ من الشكل (2) أن الخوارزمية المقترحة لتخصيص الاستطاعة في إرسال الوصلة الصاعدة لنظام NOMA، تُحقق مجموع معدلات نقل أعلى من باقي الخوارزميات. فمن أجل $P_{max} = 100mW$ يمكن للخوارزمية المقترحة تحسين مجموع المعدلات بمقدار 2.33% مقارنةً بتخصيص الاستطاعة العشوائي في

NOMA، وفعالية بمقدار 2.66% مقارنةً بالتخصيص الأمثل للموارد الطيفية في OMA. أما بالمقارنة مع OMA التقليدي تصل نسبة التحسين إلى 8.94%. يوضح الشكل (3) متوسط مجموع معدلات النقل الممكن تحقيقه في إرسال الوصلة الصاعدة من أجل مواقع مختلفة للمستخدمين في المستوي الأفقي عند قيم مختلفة لاستطاعة الإرسال العظمى المتاحة للمستخدمين P_{max} . يمكن تحسين متوسط مجموع معدلات النقل في إرسال الوصلة الصاعدة، وذلك باستخدام NOMA وفق الخوارزمية المقترحة كما هو مبين في الشكل (3)، حيث نلاحظ أنه من أجل $P_{max} \in [10mW, 100mW]$ ، تتراوح نسبة التحسين الممكنة لمتوسط مجموع معدلات النقل من 1.03% إلى 1.32% مقارنةً بتخصيص الاستطاعة العشوائي في NOMA، ومن 1.45% إلى 2.79% مقارنةً بالتخصيص الأمثل للموارد الطيفية في OMA. وبالمقارنة مع OMA التقليدي تتراوح النسبة من 5.92% إلى 7.67%.



الشكل (3): مقارنة متوسط مجموع معدلات النقل من أجل مواقع مختلفة للمستخدمين في إرسال الوصلة الصاعدة بين NOMA و OMA تبعاً لاستطاعة الإرسال العظمى المتاحة للمستخدمين في حالات التخصيص الأمثل والعشوائي للموارد.

6. الاستنتاجات والتوصيات

قدم هذا البحث حل لمسألة أمثلة تخصيص الاستطاعة وموضع الطائرة المسيرة في إرسال الوصلة الصاعدة بين عدة مستخدمين أرضيين وطائرة بدون طيار بالاعتماد على النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA، وذلك بهدف تعظيم مجموع معدلات نقل المعطيات للمستخدمين. تم حل المسألة المطروحة من خلال تحديد الموقع الأمثل للطائرة الذي يحقق فقد مسار كلي أصغري بين المستخدمين والطائرة، ومن ثم حل مسألة تخصيص استطاعة الإرسال لكل مستخدم بهدف تحقيق أعلى مجموع معدل. أثبتت نتائج المحاكاة فعالية المخطط المقترح في سيناريو استخدام الطائرة بدون طيار كمحطة قاعدية جوية متنقلة في الشبكات الخلوية. يمكن البحث مستقبلاً في إمكانية تطوير الخوارزمية المقترحة بهدف تحسين فعالية الطاقة في النظام.

7. المراجع -

- [1] ZENG, Y. ZHANG, R. and LIM, T 2016 **Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges**, IEEE Communications Magazine, Vol. 54. 36-42.
- [2] ZENG, Y. WU, Q. and ZHANG, R 2019 **Accessing From The Sky: A Tutorial on UAV Communications for 5G and Beyond**, Proceedings of the IEEE , Vol. 107. 2327 – 2375.
- [3] BUDHIRAJA, I. *et al.* 2021 **A Systematic Review on NOMA Variants for 5G and Beyond**, IEEE Access, Vol. 9. 85573-85644.
- [4] XINYING, C. *et al.* 2020 **Secure Transmission via Power Allocation in NOMA-UAV Networks with Circular Trajectory**, IEEE Transactions on Vehicular technology, Vol. 69. 10033 – 10045.

- [5] WANG, H. and ZHANG, X 2020 **UAV Secure Downlink NOMA Transmissions: A Secure Users Oriented Perspective**, IEEE Transactions on Communications, Vol. 68. 5732-5746.
- [6] LIU, X. *et al.* 2019 **Placement and Power Allocation for NOMA-UAV Networks**, IEEE Wireless Communications Letters. Vol. 8. 965 – 968.
- [7] SOHAIL, F. LEOW, Y. and WON, H 2018 **Non-Orthogonal Multiple Access for Unmanned Aerial Vehicle Assisted Communication**, IEEE Access, Vol. 6. 22716-22727.
- [8] LIU, Y. *et al.* 2019 **UAV Communications Based on Non-Orthogonal Multiple Access**, IEEE Wireless Communications, Vol. 26. 52-57.
- [9] JIANG, X. WU, Z. YIN, Z. YANG, Z. and ZHAO, N 2020 **Power Consumption Minimization of UAV Relay in NOMA Networks**, IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 9. 666-670.
- [10] MAHMOUD, S. *et al.* 2019 **On the Outage Probability and Power Control of D2D Underlying NOMA UAV-Assisted Networks**, IEEE Access, Vol. 7. 16525-16536.
- [11] MASARACHIA, A. *et al.* 2020 **Energy-Efficient and Throughput Fair Resource Allocation for TS-NOMA UAV-Assisted Communications**, IEEE Transactions on Communications, Vol. 68. 7156 – 7169.
- [12] KHUWAHA, A 2018 **A Survey of Channel Modeling for UAV Communications**, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 20. 2804-2821.

تصميم وتحليل عددي لفوهة دي لافال "متقاربة" متباعدة" لتسريع الجريان للسرعات فوق الصوتية

الدكتور المهندس: بسام القسام

كلية الهيك - جامعة البعث

ملخص

يهدف هذا العمل لتصميم فوهة دي لافال (متقاربة متباعدة) لتسريع الجريان لسرعات فوق صوتية وإجراء تحليل عددي بنفس الوقت. وضع تصميم أولي للفوهة من خلال طريقة المميزات. كتب البرنامج اللازم في برنامج Matlab للحصول على شكل المقطع المتباعد عند سبع قيم مختلفة لرقم ماخ في المخرج وهي 3، 3.5، 4، 4.5، 5 و 5.5 لتقييم التغيرات في الطول الأصغري للفوهة في المقطع المتباعد منها تبعاً لرقم ماخ عند المخرج، وعند قيمة ثابتة للعنق بارتفاع 0.005m وعرض 0.05m في كافة التصاميم. رسمت مساحة المخرج اللازمة لكل رقم ماخ من 1 حتى 5.5 باستخدام العلاقات الأيزونتروبية واستخدمت للتأكد من مساحة مخرج كل فوهة لكل واحد من أرقام ماخ. تم الحصول على تقدير لنسبة ضغط المخرج باستخدام العلاقات الأيزونتروبية وعلاقات الصدمة العمودية. من نسبة الضغط هذه، أُجري تأكيد إضافي للنتائج الحسابية باستخدام برنامج ANSYS Fluent للفوهة برقم ماخ 5.5 عند المخرج. استخدم كل من نموذج سبالارتالماراس ونموذج $k - \epsilon$ لنمذجة الاضطراب.

كلمات مفتاحية:

فوهة دي لافال، فوق صوتي، طريقة المميزات، اضطراب، تحليل CFD

Dr. Eng. Bassam Alkassam

Abstract.

This work centers on the design of a De Laval (convergent - Divergent) nozzle to accelerate the flow to supersonic or hypersonic speeds and computational analysis of the same. An initial design of the nozzle is made from the method of characteristics. The coding was done in Matlab to obtain the contour of the divergent section for seven different exit Mach numbers viz. 3,3.5,4,4.5,5 and 5.5. To quantify variation in the minimum length of the nozzle divergent section with respect to the exit mach number, a throat of constant height (0.005m) and width (0.05m) was chosen for all the design. The area exit required for each mach no varying from 1 to 5.5 was plotted using isentropic relations and was also used to verify the exit area of the nozzle for each of those mach numbers. An estimate of the exit pressure ratio is obtained by using isentropic and normal shock relations. With this exit pressure ratio, a more refined verification is done by computational analysis using ANSYS Fluent software for a contour nozzle with exit Mach number 5.5. The spalart Allmaras and k-epsilon model were used for turbulence modeling.

Keywords: De Laval Nozzle, Hypersonic, Method of Characteristics, Contour Nozzle, Turbulence, CFD analysis

1- مقدمة:

في الجريان دون الصوتي، عندما تتناقص مساحة الجريان مع اتجاه الجريان، يبدأ الغاز بالتسارع، لكن لا يمكن قول ذلك للجريان فوق الصوتي. لا يمكن زيادة رقم ماخ للجريان لقيمة أكبر من الواحد من خلال قناة متقاربة فقط، فلتلك الحالات التي يلزم فيها تسارع الجريان لسرعة فوق سرعة الصوت لا بد من استخدام فوهة متقاربة متباعدة. تم إثبات ذلك رياضياً (تمت مناقشة التفاصيل في القسم النظري) ووضع تصميم من قبل غوستاف دي لافال سنة 1980. لتسريع الغاز لسرعة فوق سرعة الصوت، يجب أن تقتارب مساحة الجريان حتى الوصول لقيمة دنيا، وهي مساحة العنق حيث يصبح الجريان بسرعة الصوت، ويتبع ذلك قسم متباعد قادر على تسريع الغاز لأرقام ماخ فوق صوتية. تحكم سرعة الفوهة المتقاربة المتباعدة بنسب المساحات والضغط. يمكن الحصول على خصائص الغاز في أي مقطع في الفوهة من خلال نسبة السعات الحرارية النوعية والعلاقات الأيزونتروبية. تبقى نسبة الحرارة النوعية، للغاز المثالي، ثابتة على طول عملية التمدد. يبقى تصميم الجزء المتباعد من الفوهة حاسماً بما أن الغاز المتدفق من العنق سيضطر للابتعاد عن محور الفوهة بهدف التسارع أو التمدد نتيجة زيادة مساحة المقطع ومن ثم لا بد للجريان من أن يعود موازياً مرة أخرى لمحور الفوهة لزيادة كفاءتها في حالة استخدامها في الصواريخ لضمان الحصول على خطوط تيار متوازية فعندما يبتعد عن المحور، يواجه الجريان مروحة تمدد ولكن عندما ينعكس باتجاه نفسه سيواجه سلسلة من الصدمات المائلة. لذا، لا بد من التوصل لتقنية تصميم لإلغاء تأثيرات الصدمات المائلة من خلال مروحة التمدد التي تتشكل عند العنق ومن هذه التقنيات طريقة المميزات MOC.

طريقة المميزات MOC هي إجراء تصميمي يمكن استعماله لتحديد شكل القسم المتباعد من فوهة ثنائية البعد سواء كانت فوهة بشكل جرس متناظر محورياً أو ذات مقطع مستطيل. نتناقش تفاصيل طريقة المميزات في القسم النظري. يجمع هذا القسم المتباعد بعد ذلك مع قسم متقارب والعنق لنمذجة الجريان عند نسبة الضغط المطلوبة. أجريت

المحاكاة العددية من خلال برنامج ANSYS Fluent وتمت المعالجة اللاحقة من خلال .GAMBIT

2. القسم النظري

2.1.1 معادلة دي لافال

يصف هذا الجزء أهمية معادلة دي لافال والتي تشرح وتصف لماذا يتسارع الجريان فوق الصوتي في القسم المتباعد من الفوهة في حين يتباطأ الجريان دون الصوتي في قناة متباعدة.

$$(1-M^2)*dV/V=-dA/A \quad (1)$$

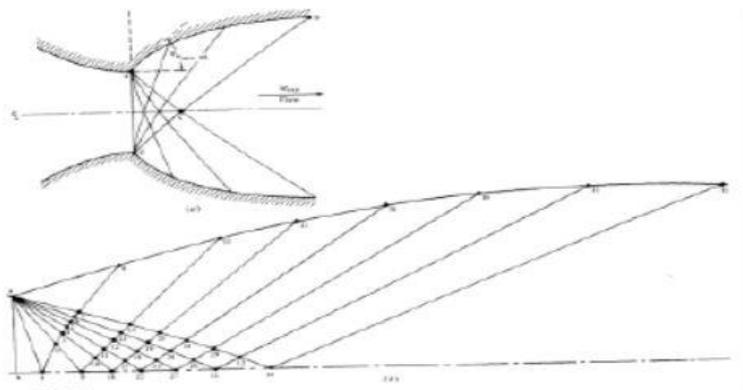
تصف المعادلة (1) التغير في السرعة V نتيجة التغير في مساحة الجريان A ، ومن خلال العلاقة من الواضح أن النتيجة تعتمد على رقم ماخ M للجريان. إن كان الجريان دون صوتي، عندها ($M < 1$) ويصبح الحد المضروب بتغير السرعة موجبا ($1-M^2 > 0$). وبالتالي فالزيادة في المساحة ($dA > 0$) ستؤدي لتناقص في السرعة ($dV < 0$). إن كان الجريان فوق صوتي ($M > 1$) يصبح الحد المضروب بتغير السرعة سالبا ($1-M^2 < 0$). عندها تسبب الزيادة في المساحة ($dA > 0$) زيادة في السرعة ($dV > 0$). وهو العكس تماما مما يحدث في حالة الجريان دون الصوتي. يمكن شرح ذلك بشكل واضح من خلال التغيرات في الكثافة. في الجريان فوق الصوتي، كل من الكثافة والسرعة متغيرين مع تغير المساحة بهدف الحفاظ على مصونية الكتلة ولكن في حالة الجريان دون الصوتي (غير القابل للانضغاط)، تبقى الكثافة ثابتة تقريبا، وبالتالي تؤدي زيادة المساحة لتناقص السرعة بهدف الحفاظ على مصونية الكتلة. في حالة الجريان فوق الصوتي، هناك تغيرين؛ السرعة والكثافة. ويكون التغير في الكثافة كبيرا جدا [1, 2].

2.1.2 طريقة المميزات

طريقة المميزات تقنية رياضية لحل المعادلات التفاضلية الجزئية عدديا. كان لودفيج برانتل وأدولف بوسمان أول من حل مسائل الجريان فوق الصوتي بطريقة المميزات. يصمم القسم المتباعد من الفوهة باستخدام طريقة المميزات. يبني التصميم على العلاقات الأيزونتروبية وتابع تمدد برانتل-ميير. يمكن اعتبار الفوهة مكونة من عدة مناطق

1. منطقة التضيق، والتي يكون فيها الجريان دون صوتي بالكامل.
2. منطقة العنق، ويتسارع فيها الجريان من حالة دون صوتية لسرعة فوق صوتية دنيا.
3. منطقة التمدد الأولي، حيث يزداد ميل جدار الفوهة لقيمة عظمى.
4. منطقة الاستقامة والتي يزداد فيها المقطع العرضي ولكن يتناقص ميل الجدار للصفير.
5. منطقة الاختبار (في حالة تصميم نفق هوائي) والتي يبقى فيها الجريان منتظما ومواز للمحور.

يتسارع الجريان دون الصوتي في المنطقة المتقاربة من القناة للسرعة الصوتية في منطقة العنق. عموما، ينحني الخط الصوتي قليلا. لكن يفترض الخط الصوتي مستقيما ومن بعده تتباعد القناة. لتكن θ_w زاوية جدار القناة نسبة للاتجاه X . يدعى القسم من الفوهة حيث تزداد θ_w بقسم التمدد، وهنا تتولد موجات تمدد وتنتشر عبر الجريان، وتتعكس من الجدار المقابل. تكون نقطة الانعكاس من الجدار حيث $\theta_w = \theta_{wmax}$. بعد نقطة الانعكاس، تتناقص θ_w ، ويصبح الجدار مواز للاتجاه X عند المخرج. الجزء بعد نقطة الانعكاس هو جزء الاستقامة ويصمم خصيصا لإلغاء موجات التمدد المولدة من مقطع التمدد. على سبيل المثال، تتولد موجات تمدد عند العنق وتتعكس عند النقاط 1، 9، 16، 22، 27، 31، و 34 وتلغى عند النقاط 8، 15، 21، 26، 30، 33، و 35 على التوالي. بعد النقاط 34-35 يصبح الجريان منتظما ومتوازيا، عند رقم ماخ المطلوب.



الشكل 1 طريقة المميزات

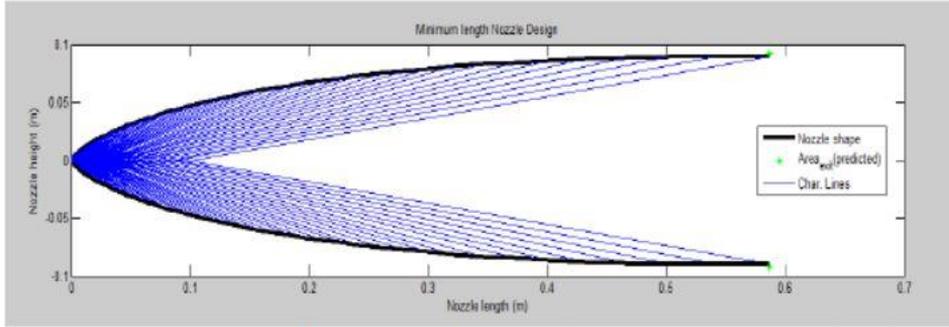
طور برنامج Matlab لطريقة المميزات باستخدام [2] كمرجع أولي. يمكن فهم النظرية الكامنة خلف البرنامج من خلال المرجع [1].

يُرد رسم نتيجة برنامج MATLAB في فقرة النتائج والمناقشة [1, 3, 4, 5, 6, 7].

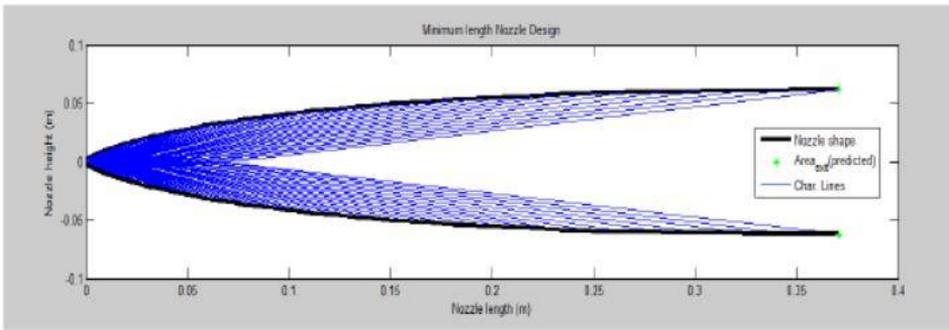
3. النتائج والمناقشة

3.1 شكل الفوهة وخطوط المميزات

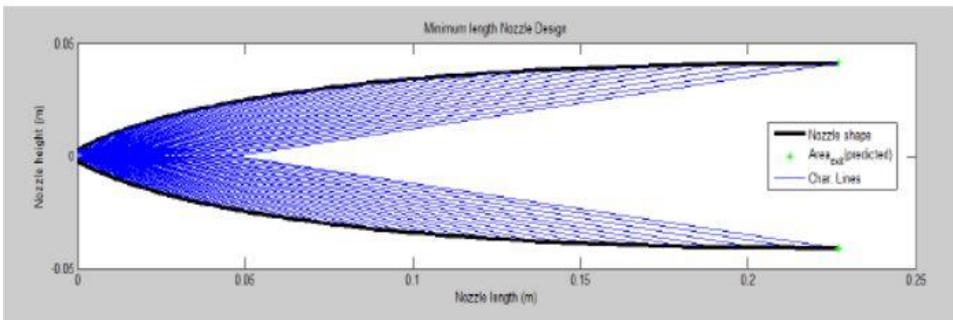
تتحرف خطوط التيار في القسم المتباعد عن المحور ومن بعده، تتحرف باتجاه المحور. يحصل ابتعاد خطوط التيار عند قسم التمدد، في حين يحصل الانحراف باتجاه المحور في قسم الإلغاء أو قسم الاستقامة. يركز تصميم الفوهة هذا على توليد طول أصغر للفوهة من خلال تقليل طول قسم التمدد. لذا، يضغط قسم التمدد تقريبا لنقطة في نهاية العنق. ويكون التحدي الحقيقي في تصميم قسم الاستقامة وهو الأهم بما أنه يساعد في الحصول على جريان منتظم في مخرج الفوهة. رسم منحنى الفوهة باستعمال طريقة المميزات والتي كتبت بشكل برنامج في Matlab لأرقام ماخ مختلفة عند المخرج من 3 حتى 5.5.



الشكل 2 الذي تم الحصول عليه باستعمال طريقة المميزات لفوهة برقم ماخ عند المخرج $M=5.5$

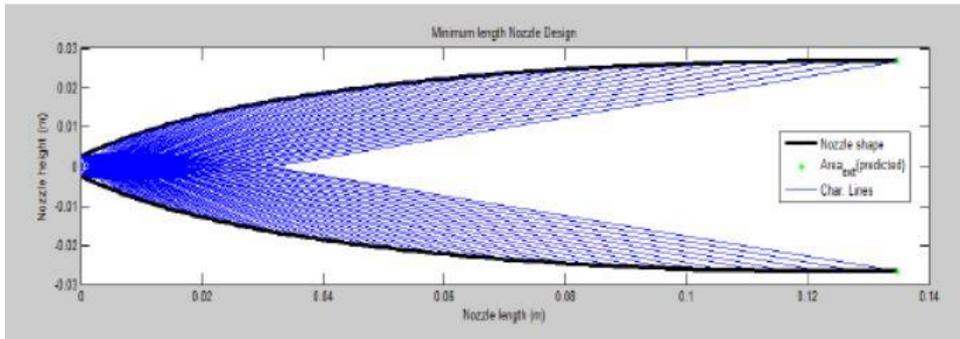


الشكل 3 الذي تم الحصول عليه باستعمال طريقة المميزات لفوهة برقم ماخ عند المخرج $M=5$

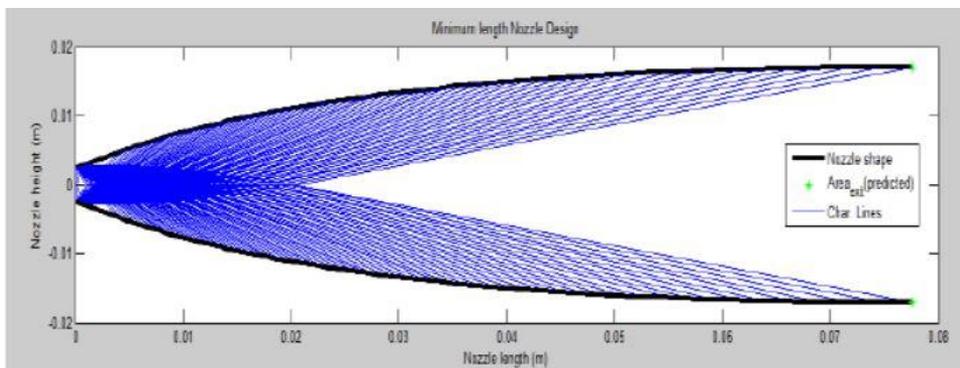


تصميم وتحليل عددي لفوهة دي لافال "متقاربة متباعدة" لتسريع الجريان للسرعات فوق الصوتية

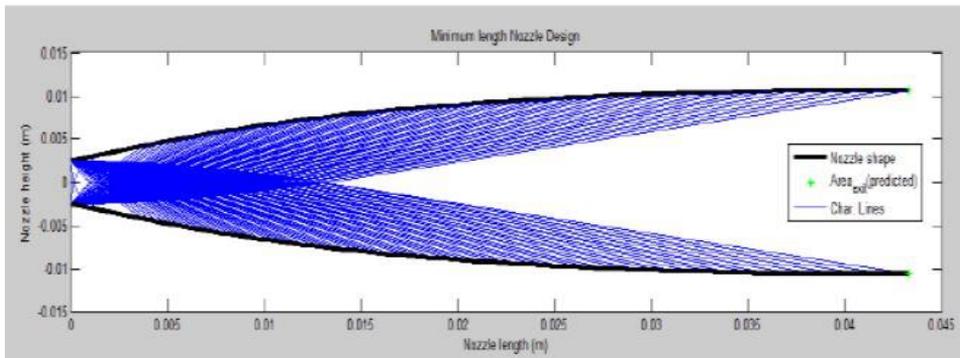
الشكل 4 الذي تم الحصول عليه باستعمال طريقة المميزات لفوهة برقم ماخ عند المخرج $M=4.5$



الشكل 5 الذي تم الحصول عليه باستعمال طريقة المميزات لفوهة برقم ماخ عند المخرج $M=4$



الشكل 6 الذي تم الحصول عليه باستعمال طريقة المميزات لفوهة برقم ماخ عند المخرج $M=3.5$



الشكل 7 الشكل الذي تم الحصول عليه باستعمال طريقة المميزات لفوهة برقم ماخ عند المخرج
M=3

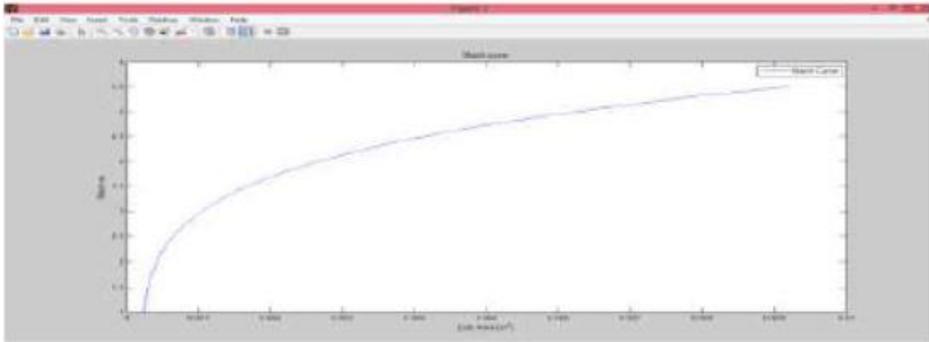
من المخططات أعلاه من الواضح أن طول القسم المتباعد يزداد مع زيادة رقم ماخ للمخرج وأن التغيير في الطول ليس خطيا. يزداد التغيير في الطول بشكل أكبر مع زيادة رقم ماخ للمخرج. يمكن توضيح ذلك من خلال المساحة اللازمة للمخرج والتي لا تتغير بشكل خطي مع رقم ماخ. وبالتالي مع زيادة رقم ماخ لا بد أن يكون التمدد أكبر وبالتالي قسم الاستقامة أطول مما يزيد من طول الفوهة [3].

3.2 المساحة اللازمة لرقم ماخ عند المخرج

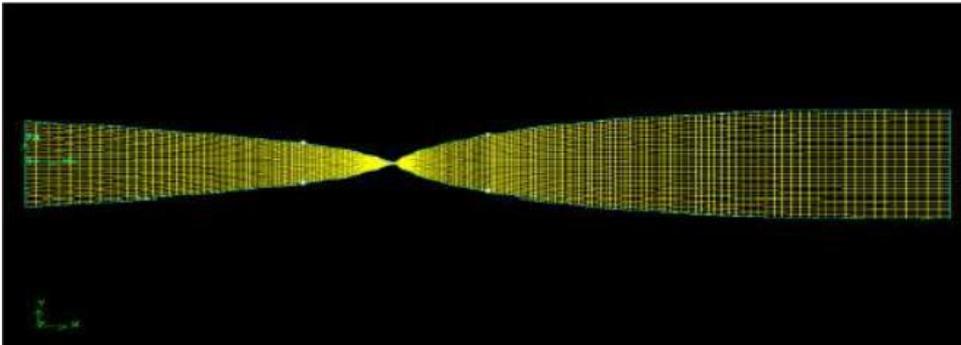
تم حساب المساحة اللازمة على المخرج باستعمال العلاقات الأيزونتروبية بافتراض أن ارتفاع العنق 0.005m وأن عرضه 0.05m. افترضت نفس الأبعاد لكافة الفوهات وذلك لتقييم التغيير في الطول. يوضح هذا المخطط التغيير في مساحة المخرج اللازمة وأنه ليس خطيا تبعا لرقم ماخ. أخذت الفوهة المصممة لرقم ماخ 5.5 لغرض المقارنة [1].

3.3 توليد شبكة الفوهة المتقاربة المتباعدة عند $M_{exit}=5.5$

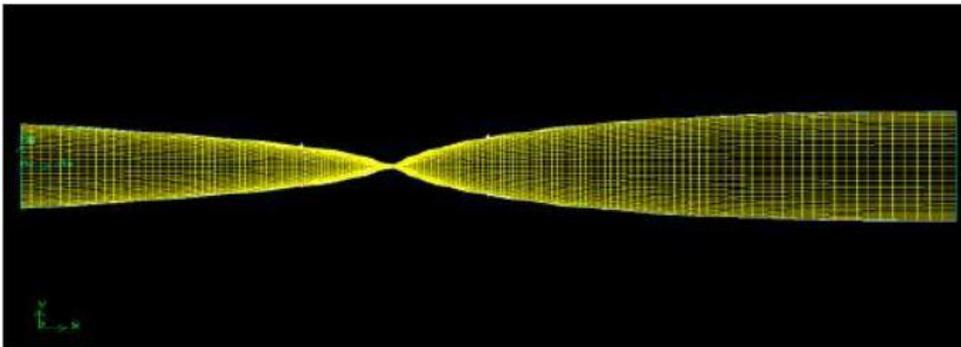
تم توليد الشبكة بمساعدة برنامج gambit. قسم المجال لعدة مجالات فرعية. تم تقطيع الحواف قبل الأوجه للحصول على تحكم أفضل بالشبكة. استخدمت طريقة الخلايا رباعية الأضلاع. ولدت شبكة لزجة لتضمين الطبقة الحدية في كل من الحالات 2D و 3D. فحصت جودة الشبكة أيضا قبل تصدير الملف لبرنامج fluent ووجد أنها جيدة. تم الحصول على شكل الفوهة هذا من خلال طريقة المميزات لرقم ماخ عند المخرج 5.5.



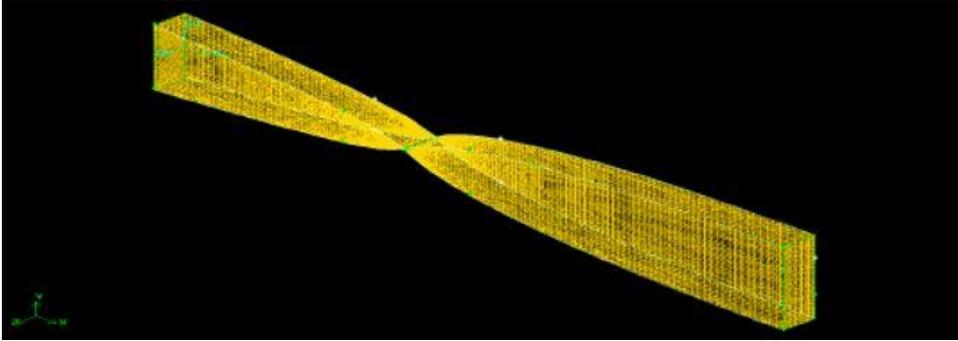
الشكل 8 تغير رقم ماخ مع تغير مساحة المخرج.



الشكل 9 شبكة غير لزجة ثنائية البعد مولدة للفوهة باستخدام GAMBIT.



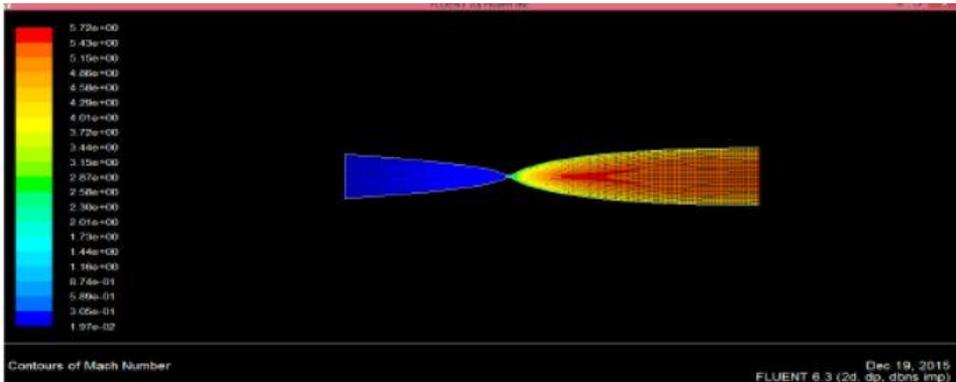
الشكل 10 شبكة لزجة مولدة للفوهة باستخدام GAMBIT.



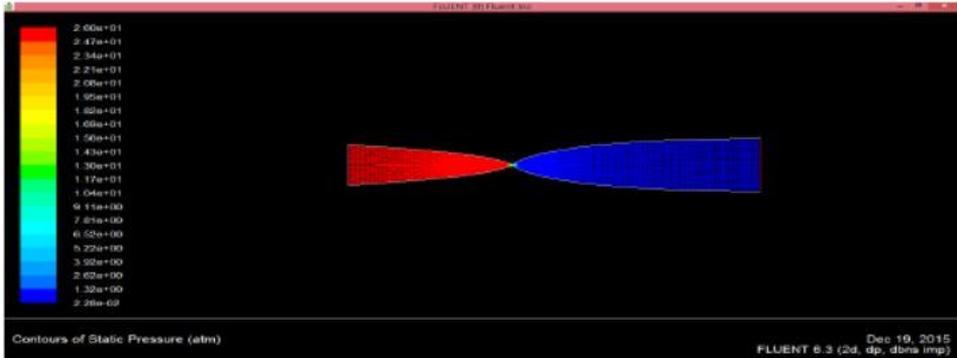
الشكل 11 شبكة 3D مولدة للفوهة باستعمال GAMBIT.

تحليل CFD

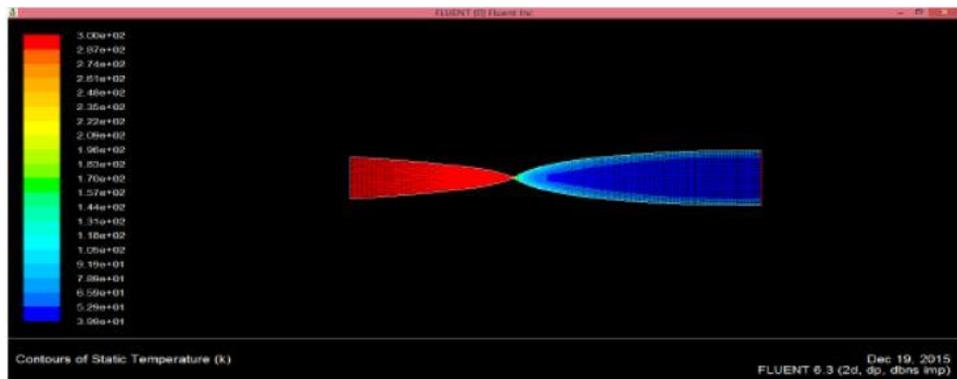
تم استيراد ملف الشبكة للفوهة للحالات الثلاثة أي، 2D غير لزج، 2D لزج، و3D لزج وتم التحليل بشكل منفصل والحصول على النتائج العددية باستعمال برنامج FLUENT. تم التحليل للحصول على مخططات الضغط الستاتيكي، درجة الحرارة الستاتيكية، السرعة ورقم ماخ لكل واحدة من هذه الحالات. الأشكال الأربعة الأولى (أي الشكل 12 إلى 15) هي المخططات التي تدل على جريان 2D غير لزج، والمخططات الأربعة التي تليها (أي الشكل 16 حتى 19) هي الجريان 2D اللزج مع نموذج الاضطراب $k - \varepsilon$.



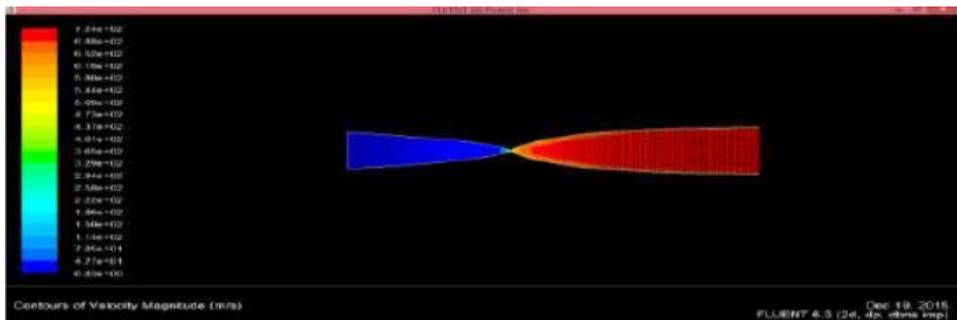
الشكل 12 مخطط رقم ماخ للجريان 2D غير اللزج.



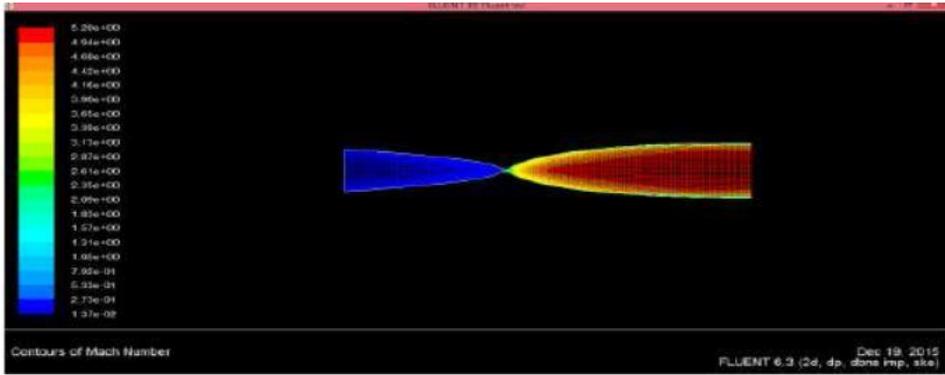
الشكل 13 مخطط الضغط الستاتيكي للجريان 2D غير اللزج



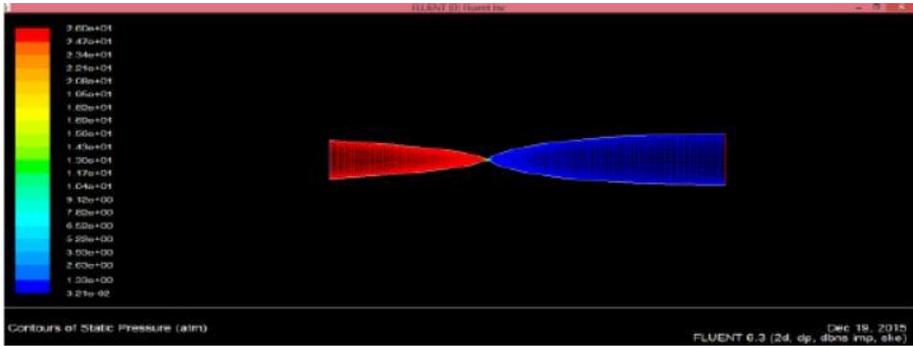
الشكل 14 مخطط درجة الحرارة الستاتيكية للجريان 2D غير اللزج



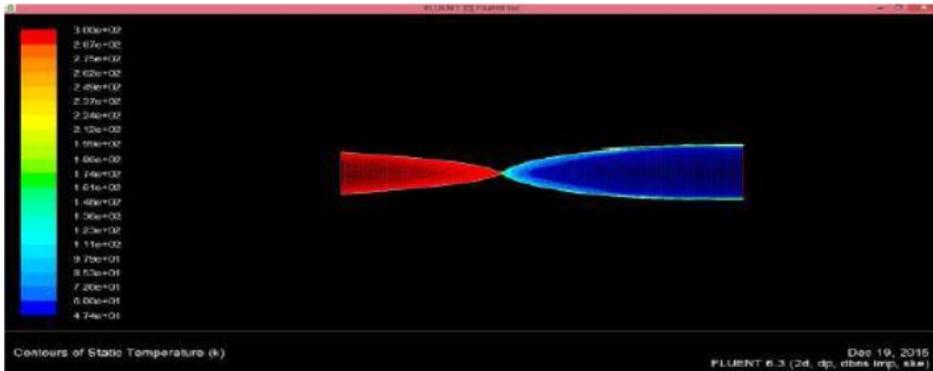
الشكل 15 مخطط السرعة للجريان 2D غير اللزج



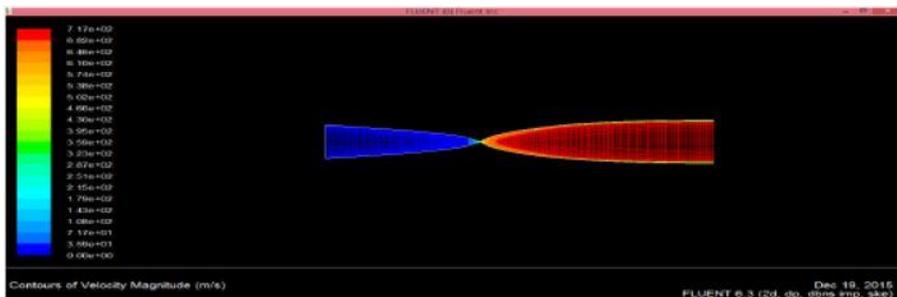
الشكل 16 مخطط رقم ماخ للجريان 2D اللزج.



الشكل 17 مخطط الضغط الستاتيكي للجريان 2D اللزج



الشكل 18 مخطط درجة الحرارة الستاتيكية للجريان 2D اللزج



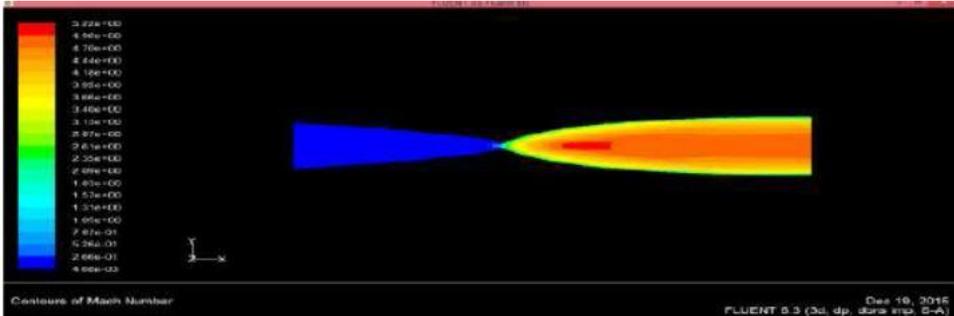
الشكل 19 مخطط السرعة للجريان 2D اللزج

الجدول 1: خصائص المخرج للجريان 2D

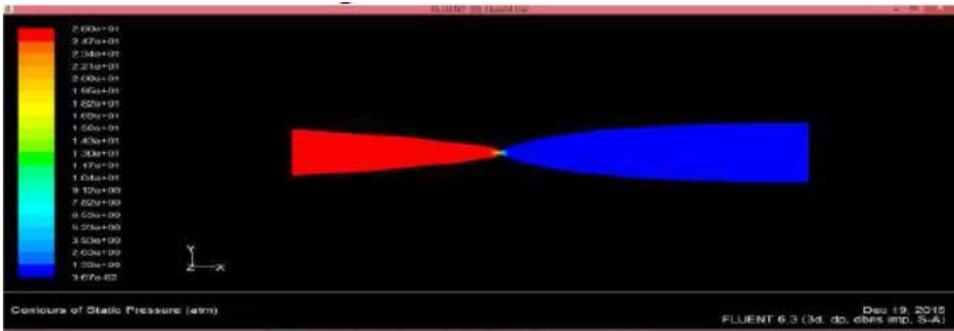
نظري	2D لزج	2D غير لزج	الخصائص على المخرج
5.5	5.2	5.57	رقم ماخ
1	1	1	الضغط الستاتيكي atm
42.5	47.37	39	درجة الحرارة الستاتيكية K
718.73	717.4	723.56	السرعة m/s

يقارن الجدول 1 قيم كافة المتغيرات الأربعة المهمة عند المخرج. وجد أن قيم الجريان 2D غير اللزج الصفحي مقاربة جدا للنتائج النظرية كما هو متوقع. كان الجريان 2D اللزج مع نموذج $k-\epsilon$ للاضطراب مقارب أيضا للحالة غير اللزجة مما يعني أن الفوهة ستستمر بإعطاء رقم ماخ عند المخرج مقارب للقيمة التصميمية عند العمل بنفس نسب الضغط. كان لرقم ماخ والسرعة قيم أقل عند الجدران نتيجة تأثيرات القص في حقل الجريان اللزج وبكلمات أخرى نتيجة شرط عدم الانزلاق عند الجدار. بينما في الجريان غير اللزج، نفترض الزوجة مهملة وبالتالي لا يتم ضمان شرط عدم الانزلاق [8, 9, 10, 11, 12].

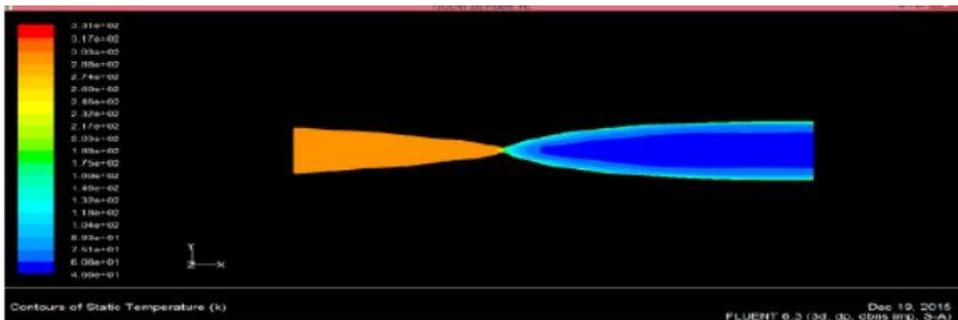
أجري التحليل أيضا للحصول على مخططات الضغط الستاتيكي، درجة الحرارة الستاتيكية، السرعة ورقم ماخ في الجريان 3D. الأشكال الأربعة الأولى (أي الشكل 20 حتى 23) هي للمخططات التي تعبر عن الجريان اللزج 3D باستعمال نموذج سبالارت أماراس للاضطراب وتوضح المخططات في المقطع الوسطي من الفوهة. الأشكال الأربعة التالية (أي الشكل 24 حتى 27) هي للجريان 3D اللزج مع نموذج $k-\epsilon$ للاضطراب وتظهر فيها مناظير أيزومترية للمخططات الناتجة في الجريان 3D وتظهر الأربعة التالية لها الجريان في مقطع متوسط من الفوهة.



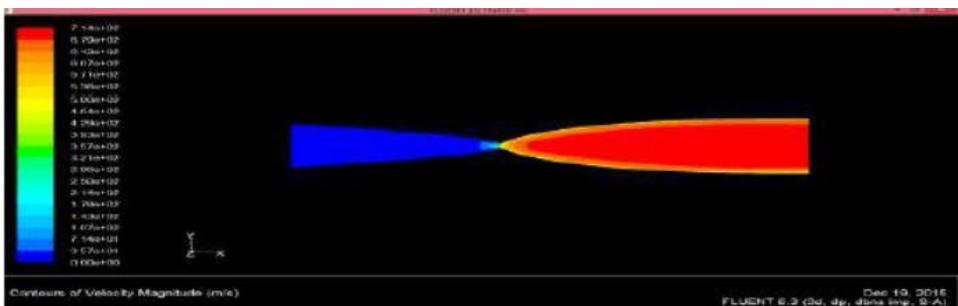
الشكل 20 مخططات رقم ماخ في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج سبالارت أماراس للاضطراب.



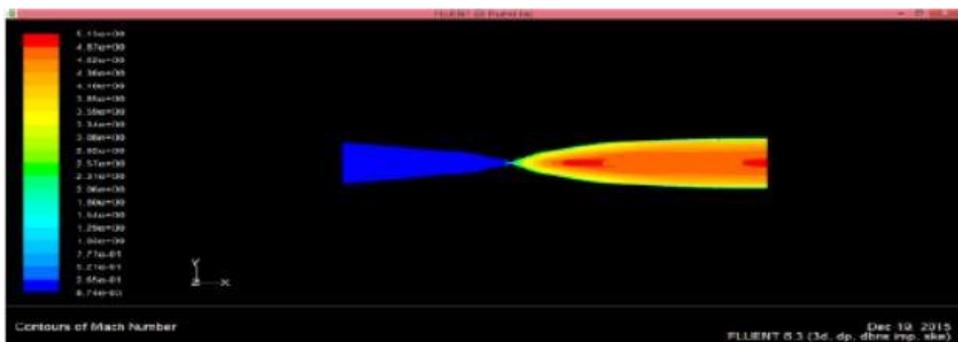
الشكل 21 مخططات الضغط الستاتيكي في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج سبالارت أماراس للاضطراب.



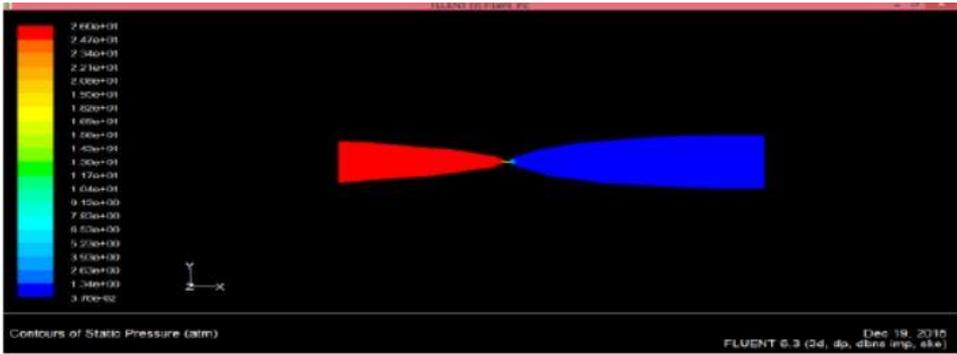
الشكل 22 مخططات درجة الحرارة الستاتيكية في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج سبالارت أماراس للاضطراب.



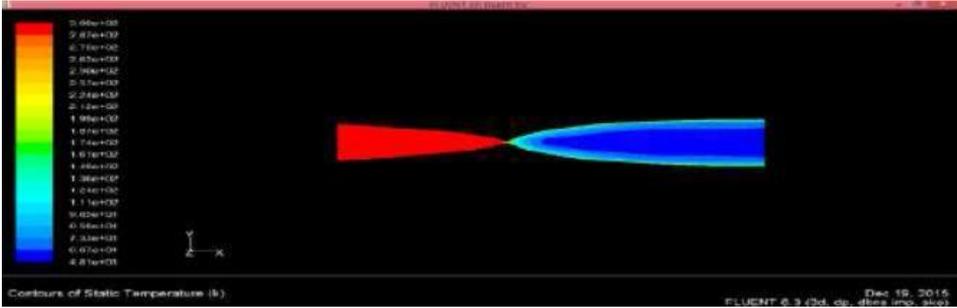
الشكل 23 مخططات السرعة في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج سبالارت أماراس للاضطراب.



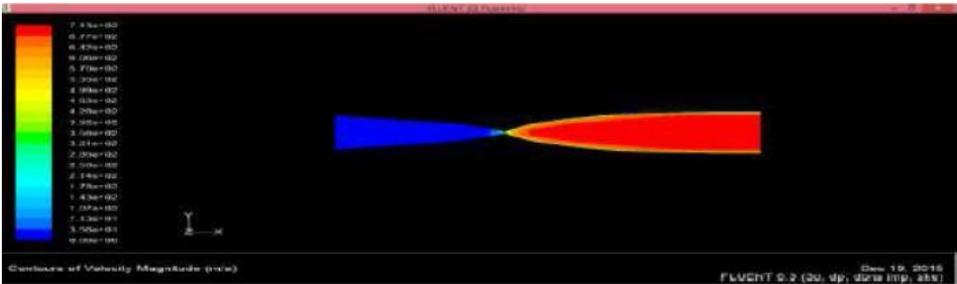
الشكل 24 مخططات رقم ماخ في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج $k-\epsilon$ للاضطراب.



الشكل 25 مخططات الضغط الستاتيكي في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج $k-\varepsilon$ للاضطراب



الشكل 26 مخططات درجة الحرارة الستاتيكية في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج $k-\varepsilon$ للاضطراب



الشكل 27 مخططات السرعة في مقطع متوسط من الفوهة للجريان 3D مع نموذج $k-\varepsilon$ للاضطراب.

الجدول 2: الخصائص على المخرج في التحليل 3D

الخصائص في المخرج	3D S-A	3D K-E	2D لزج
رقم ماخ	5.22	5.12	5.2
الضغط الستاتيكي atm	1	1	1
درجة الحرارة الستاتيكية K	46.59	48.14	47.37
السرعة m/s	714.2	712.9	717.4

يقارن الجدول 2 قيم كافة المتغيرات الأربعة الهامة في المستوي الوسطي للفوهة عند المخرج. حسب القيم عند الخط الوسطي أو المستوي الوسطي حيث افترضت الفوهة غير معرضة لتأثيرات اللزوجة. يوضح هذا المنظور الأيزومثري للمخططات بوضوح السرعة ورقم ماخ وأنها لا تقترب من القيمة التصميمية عند الجدران نتيجة القص الذي يتعرض له الجريان بسبب اللزوجة في الهواء. وجد أن خواص الجريان 3D اللزج مقارنة جدا لنتائج 2D اللزج. وبالتالي يعطي تحليل الجريان 3D اللزج حقيقة أن الفوهة ستستمر بالعمل بشكل قريب من رقم ماخ التصميمي عند المخرج عند العمل بنفس نسب الضغط بغض النظر عن تأثيرات اللزوجة والاضطراب [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

4. الاستنتاجات

تم رسم مخطط القسم المتباعد من الفوهة بنجاح عند أرقام ماخ مختلفة. وجد أن القيم الناتجة لمساحة المخرج قريبة لمساحة المخرج النظرية. وجد من المخططات الناتجة بالحاكاة في fluent وقيم رقم ماخ عند المخرج بأنها قريبة للقيم النظرية وأن الاختلاف البسيط في قيم المحاكاة للجريانات اللزجة يمكن تفسيره بالافتراضات الأيزونثروبية التي

تمت في التحليل النظري. وبما أن نتائج المحاكاة هي نتائج حسابات عددية وليست نتائج تحليلية لا بد من وجود أخطاء في التقريب. يمكن تعميم هذا العمل للفوهات المتناظرة محورياً، ولكن لا بد من استعمال طريقة المميزات المطورة لهذه الجريانات بهدف تصميم هذه الفوهات.

المراجع

- [1] Anderson J. D., *Modern Compressible Flow with Historical Perspective*, 2nd Edition, McGraw-Hill Inc., New York, 1990 page 325 to 331
- [2]
<https://spaceflightsystems.grc.nasa.gov/education/rocket/nozzle.html>
- [3] Britton Olson, *2-D nozzle using the method of characteristics*, Department of Mechanical Engineering, Stanford University
- [4] Md. Hasan Ali, Mohammad Mashud, Abdullah Al Bariand Muhammad Misbah-Ul Islam, *Numerical solution for the design of minimum length supersonic nozzle*, APRNJEAS, vol. 7, no. 5, may 2012
- [5] Nirmith Kumar Mishra ,Dr S Srinivas Prasad, MrAyub Padania, *Modeling & simulation of rocket nozzle*, IJAEGT vol2,Issue 09, September 2018.
- [6] Mohan Kumar G, Dominic Xavier Fernando and R. Muthu Kumar, *Design and optimization of De Lavel Nozzle to Prevent Shock Induced Flow Separation*, Advances in Aerospace Science and Applications Vol. 3, No. 2, 2017.
- [7] A. McCABE, *Design of a supersonic nozzle*, Aeronautical Research Council Reports and Memoranda, 1997
- [8] Ms. B.Krishna Prafulla1, Dr. V. ChittiBabu2 and Sri P. Govinda Rao, *Cfd Analysis of Convergent- Divergent Supersonic Nozzle*, IJCER , Vol 3 Issue 5, May 2017
- [9] Madhu B P ,Vijaya Raghu B, *Numerical Simulation of Supersonic Expansion in Conical and*

Contour Nozzle, IJERT, Vol. 3 Issue 6, June - 2014

[10] GuttiRajeswara Rao, U.S. Ramakanth and A. Lakshman, *Flow Analysis in a Convergent-*

Divergent Nozzle Using CFD, IJRME Vol 1 Issue 2, October-December 2018

[11] Ekanayake, E. M. Sudharshani, *Numerical Simulation of a Convergent Divergent Supersonic*

Nozzle Flow, RMIT University, Melbourne, Australia. July 15, 2016

[12] Kargar Ali, *Numerical analysis of supersonic- subsonic flow in the convergent- divergent*

nozzle along with the shock and comparison with analytical results, Department of Mechanical

Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

[13] Ekanayake E.M.S, Gear J.A and Ding Y, *Numerical simulation of supersonic convergent*

divergent nozzle with divergent angle Variations for under expanded conditions, 17th Astalasian

Fluid Mechanics Conference, Auckland, 5-9 December 2015

[14] K.S. Abdol-Hamid, AlaaElmiligui, Craig A. Hunter and Steven J. Massey, *Three-Dimensional*

Computational Model for Flow in an Overexpanded Nozzle with Porous Surfaces, Eighth

International Congress of Fluid Dynamics & Propulsion, Cairo, Egypt 14-17 Dec 2006

[15] Q. Xiao, H. M. Tsai and D. Papamoschou, *Numerical Investigation of Supersonic Nozzle Flow*

Separation, AIAA Journal, Vol. 45, No. 3, March 2017

[16] KunalPansari, S. A. K. Jilani, *Numerical Investigation of the Perfomance of Convergent*

Divergent Nozzle, IJMER, Vol. 3, Issue. 5, Sep - Oct. 2013

- [17] Bogdan-AlexandruBelega, TrungDuc Nguyen, *Analysis of flow in convergent-divergent rocket engine nozzle using computational fluid dynamics*, INTERNATIONAL CONFERENCE of SCIENTIFIC PAPER AFASES 2015 Brasov, 28-30 May 2015
- [18] Anandrajaperumal, *Computational analysis of de laval nozzle*, Beihang University of Aeronautics & Astronautics ,Beijing, China
- [19] Pardhasaradhi Natta, V.Ranjith Kumar, Dr.Y.V.Hanumantha Rao, *Flow Analysis of Rocket Nozzle Using Computational Fluid Dynamics*, IJERA, Vol. 2, Issue 5, September- October 2016
- [20] C.A. Hunter, *Experimental, Theoretical, and Computational Investigation of Separated Nozzle Flows*, AIAA 98-3107
- [21] Omid JoneydiShariatzadeh, AfshinAbrishamkar, and AliakbarJoneidiJafari, *Computational Modelling of a typical C-D Nozzle and validation by real measured data*, Lappeenranta University of Technology.

نمذجة ومحاكاة مستقبل راديوي يعمل في بيئة تتضمن إشارات تداخل جمعي معقدة باستخدام مزيج غوصي جمعي

المهندس: أسامه ديب

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

الملخص

أدى التطور الكبير في مجال الاتصالات والتنوع في مصادر التداخل إلى ظهور أنواع جديدة ومعقدة من إشارات التداخل التي لا يمكن نمذجتها باستخدام الأدوات الرياضية التقليدية، ولما كان موضوع نمذجة الإشارات حيويًا في مجال تصميم المستقبلات لكونه يحدد شكل وبنية المستقبل، كان لا بد من البحث عن موديل رياضي قادر على نمذجة الإشارات المعقدة. قدمت المزايج الاحتمالية حلاً فعالاً لهذه المشكلة، ولعب المزيج الاحتمالي الغوصي دوراً حيويًا في هذا المجال. قمنا في هذا البحث بعرض نموذج رياضي لمستقبل راديوي للتعامل مع أنواع معقدة من التداخل الجمعي، وقدمنا دراسة تفصيلية يمكن اعتمادها من أجل الدراسة التحليلية لأي مستقبل عند تغيير إشارات التداخل، كذلك قمنا بإجراء محاكاة حاسوبية للموديل المقترح وتمت مقارنة أداء المستقبل الجديد مع المستقبل التقليدي، وأبدى النموذج المقترح تحسناً كبيراً في معدل الخطأ عند العمل في بيئة تتضمن إشارات تداخل معقدة.

الكلمات المفتاحية:

مزيج احتمالي، توزيع غوصي، اختبار الفرضيات، الإحصاء الكافي، معيار بايس.

Modeling and Simulation of RF Receiver Working in The Presence of Additive Complex Interference Signals Using Gaussian Mixture Model (GMM)

Eng. Osama Deeb

Abstract

New types of interference have been introduced nowadays as a result of the huge development in telecommunication systems and the variety in interference sources. Modeling of signals plays vital role in receiver design since the design will change according to the types of interference in the medium where it works. Unfortunately, classical mathematical models cannot be used to model the new complex types of interference, so, it is very important to look for new mathematical models. Mixture models have introduced a great solution for this problem and among them the Gaussian Mixture Model (GMM) plays a vital role. In this paper we proposed a mathematical module for a radio receiver that deals with additive complex interference signals, we also introduced the methodology of analyzing the modeling process so it can be used to design another receiver in another conditions. We also did a computer simulation of the proposed design and compared its performance with traditional module of receiver and the new design showed a good enhancement in error rate term when it works in a medium containing complex interference signals.

Keywords:

Mixture model, Gaussian distribution, hypothesis testing, sufficient statistic, Bayesian criterion, GMM.

1-المقدمة والدراسة المرجعية

يقوم المبدأ الأساسي لكشف ورود إشارة معينة على فكرة استخدام مرشح توافقي ومقارنة خرج هذا المرشح مع عتبة محددة مسبقاً لاتخاذ القرار ب ورود الإشارة المرغوبة من عدمه. تمت أمثله هذا النوع من المستقبلات على أساس أن إشارات التداخل التي تتراكب مع الإشارة المفيدة يمكن نمذجتها على شكل توزيع غوسي، وبالتالي عندما يتواجد هذا المستقبل في بيئة تتضمن مزيجاً من إشارات التداخل العشوائية المعقدة والمتغيرة ذات طبيعة غير غوسية تصبح معالجة المسألة وفق الطرق التقليدية غير فعالة وغير مجدية [1].

تولد نظم الاتصال الحديثة للأنظمة المعقدة ظواهر عشوائية متعددة تنتمي لفضاءات احتمالية متعددة ومتغيرة باستمرار، توصف هذه الظواهر على شكل سيرورات عشوائية. تصبح الأدوات الرياضية التقليدية التي توفرها نظرية الاحتمال عاجزة عن تقديم موديل رياضي بسيط لتوصيف هذه الظواهر العشوائية سواءً لناحية دراسة ممانعة الضجيج أو تحديد الخوارزمية الأمثلية للكشف عن الإشارات الراديوية بوجود هذا التداخل العشوائي المعقد [2]. إن استثمار البنى اللاغوسية في كشف الإشارات يتطلب استخدام بنى رياضية أكثر تعقيداً لمعالجة الإشارة من البنى المستخدمة في خوارزميات الكشف القائمة على النماذج الغوسية التقليدية، وغالباً ما تؤدي هذه الزيادة في التعقيد إلى ربح في مجال حساسية الكاشف. أدى التطور التقني الكبير في مجال معالجة الإشارة إلى توفير الوسائل القادرة على التحقيق العملي لمثل هذه البنى المعقدة وهذا الأمر أعطى زخماً قوياً لتطوير وظهور النماذج اللاغوسية في مسألة كشف الإشارة [1].

حاولت العديد من الدراسات السابقة التصدي لمسألة تلوث الإشارة المفيدة بإشارات تداخل لاغوسي من خلال تقديم العديد من المقاربات، ففي دراسة قدمها [1] نجد لمحة عامة عن الخوارزميات المتبعة في مجال كشف الإشارات وذلك تبعاً لنوع الإشارة، انطلاقاً من إشارة دخل معرفة بشكل كامل مروراً بإشارات عشوائية، ثم إشارات غير منمذجة بشكل كامل، وانتهاءً بإشارات غير منمذجة بشكل مطلق، كما نجد فكرة عن درجة التعقيد لكل

من خوارزميات الكشف ونوع المستقبل الذي يتناسب مع نوع إشارة الدخل. وقد بينت الدراسة أن التنبؤ بأداء وخصائص المستقبل الأمثل يصبح أصعب كلما ازدادت صعوبة نمذجة الإشارة. كذلك تطرقت هذه الدراسة إلى مجموعة من المواضيع البحثية التي ترتبط بشكل عضوي بهذه المسألة والتي يمكن استخدامها في حلها ومنها: معالجة الإشارة اللاخطية nonlinear signal processing، التحليل الإحصائي من الدرجات العليا time-frequency، التمثيل الزمني-الترددية higher order statistical analysis، وأخيراً خوارزميات التعلم باستخدام الشبكات العصبونية learning representations، وalgorithms of neural networks.

وفي دراسة قدمها [3] تمت مناقشة آلية كشف إشارة معرفة بشكل تام بوجود تداخل جمعي ذو تابع كثافة احتمالية f غير معروف. لهذا الغرض تم اقتراح طريقة تكيفية للكشف تقوم على إقحام نواة لتقدير تابع الكثافة الاحتمالية f في كاشف Maximum A Posteriori (MAP). يمكن أن تتم عملية تقدير التابع f بشكل غير مباشر (off-line) باستخدام سلاسل تدريب، أو بشكل مباشر (on-line) أثناء عملية الكشف. في حالة التقدير بشكل غير مباشر تم مقارنة الأداء مع كاشفين من النمط L^1 و L^2 ، حيث أظهرت النتائج أنه عندما يتوافر قدرٌ كبيرٌ نسبياً من سلاسل التدريب يعطي النموذج المقترح أداءً ممتازاً من أجل عدة توزيعات من التداخل، في حين أن الكاشف من النمط L^2 يتعطل عن العمل بوجود توزيعات من النمط Heavy-Tailed Distributions، أما الكاشف من النمط L^1 يعجز أمام التوزيعات ذات الكثافة المنخفضة حول المصدر Little Mass Around the Origin.

قام [4] باستخدام شبكات عصبونية من أجل كشف إشارات محددة بوجود تداخل جمعي لا غوسي، تم تعريف آلية التدريب المقترحة من أجل كشف الإشارات عند نقطة عمل محددة ذات معدل محدد لاحتمال الإنذار الكاذب. تم اختبار عمل البنية المقترحة في بيئة تتضمن عدة أنماط من التداخل اللاغوسي وتم مقارنة أدائها مع مستقبل تقليدي يعتمد على مرشح متوافق Matched Filter وأظهرت النتائج تفوق الشبكة العصبونية على النموذج التقليدي. كما بينت العديد من الدراسات والأوراق البحثية أنه من أجل تطوير

المعارف السابقة في مجال الكشف عن الإشارات الراديوية في حال وجود تداخل معقد عشوائي يمكن استعمال مزيج احتمالي من الظواهر العشوائية (متحولات، أشعة، سيرورات، حقول ...). عشوائية [5]. يعتبر استعمال المزائج الاحتمالية في مجال تقنيات الراديو الإحصائية فعالاً ومفيداً، فبالإضافة إلى إمكانية تمثيل جميع الإشارات وإشارات التداخل الحقيقية بدون أية قيود، فهو يتمتع بخاصية الثبات اتجاه التحويلات الإحتمالية المطبقة على مجموعة التحقيقات للسيرورات العشوائية [6].

في مجال تقنيات الراديو الإحصائية، يولى اهتمام خاص بنوع من المزيج الاحتمالي هو المزيج الغوسي الجمعي Gaussian Mixture Model (GMM). يجمع GMM بين كفاءة المزيج الاحتمالي وسهولة ومرونة التوزيع الغوسي فاتحاً المجال لإمكانية استخدام نتائج نظرية الترابط في معالجة المسائل اللاغوسية. تأتي أهمية استعمال المزيج الغوسي بشكل أساسي من خاصية الاستقلال الخطي للفضاءات الاحتمالية الغوسية [7].

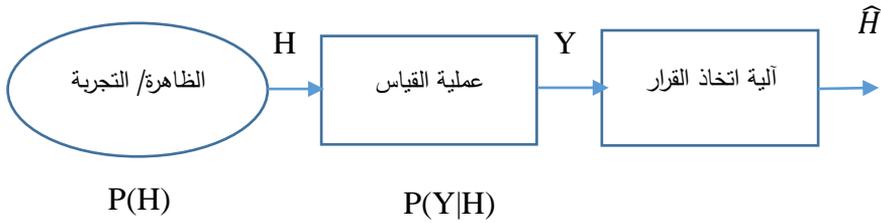
2-الهدف من البحث

نهدف من خلال هذه الدراسة إلى وضع آلية التحليل والتركيب الرياضي لمستقبل راديوي (كاشف إشارة) يعمل في بيئة يتواجد فيها تداخل مكون من مزيج من مركبات مستمرة غير غوسية وأخرى غير مستمرة حيث تمثل المركبات المستمرة على شكل GMM. تتضمن هذه الورقة البحثية الفصول التالية: نعرض في الفصل الثالث الأسس النظرية للخوارزمية المقترحة، إضافة إلى لمحة موجزة عن التوزيع GMM، كذلك نعرض النموذج الرياضي لخوارزمية كشف الإشارة بوجود ضجيج غير غوسي، وفي الفصل الرابع نعرض نتائج المحاكاة الحاسوبية للمستقبل المقترح بعد تنفيذه باستخدام برنامج Matlab ومقارنة هذه النتائج مع مستقبل تقليدي، ثم منقدم في الفصل الخامس الخلاصة والمقترحات.

3-مواد وطرائق البحث

3-1- نظرية اختبار الفرضيات

تتدرج المهمة المطروحة ضمن إطار أعم يسمى نظرية الكشف، أو نظرية اختبار الفرضيات أو نظرية اتخاذ القرار. تتلخص المسألة في الحاجة إلى التنبؤ بحدوث ظاهرة طبيعية معينة H من خلال مراقبة جملة من المقادير القابلة للقياس Y والتي ترتبط بشكل احتمالي مع الظاهرة H ، وبالتالي يتوجب علينا، اعتماداً على قياس هذه المقادير غير الدقيقة بشكل مطلق، أن نبني آلية لاتخاذ القرار لتحديد أي من الفرضيات قد حدث فعلاً. يبين الشكل (1) المكونات الأساسية في نظرية اختبار الفرضيات [8].



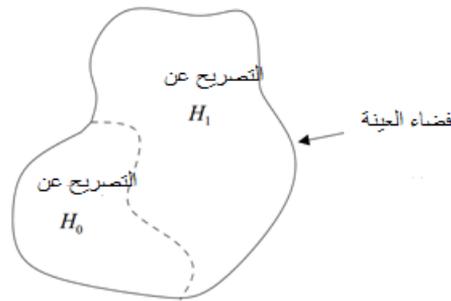
الشكل (1) العناصر الأساسية لمسألة الكشف

نلاحظ من الشكل (1) أن المكونات الأساسية لتوصيف هذا النموذج هي:

- 1- نموذج للعمليات المولدة التي تولد الفرضية H والتي تمثل الظاهرة الطبيعية التي تحدث والتي نرغب بالتنبؤ بحدوثها من خلال مراقبة مجموعة المقادير Y .
- 2- نموذج لآلية المراقبة والقياس $P(Y|H)$ التي تمثل مجموعة المقادير القابلة للقياس والتي يتم جمعها من أجل استخدامها في مرحلة اتخاذ القرار.
- 3- آلية اتخاذ القرار $D(y)$ التي تربط كل مقدار y بقرار معين، هذا القرار يمثل ترجيح حدوث الظاهرة h من ضمن مجموعة الظواهر H بناءً على جملة القياسات التي تم جمعها للمقدار y .

بشكل عام، يمثل العنصران الأول والثاني في هذا النموذج الظاهرة الطبيعية، أي أنهما يحدثان من تلقاء نفسيهما ولا نستطيع التأثير فيهما ولكن نستطيع فقط مراقبتهما وإجراء بعض القياسات عليهما، بينما يعتبر العنصر الثالث، أي آلية اتخاذ القرار، المجال

الأساسي للعمل الهندسي. يمكن لآلية اتخاذ القرار أن تكون محددة أو عشوائية، تعني الآلية المحددة أن نفس القرار يتخذ عند ورود نفس المعطيات، وبشكل أكثر دقة، تعني الآلية المحددة تقسيماً لفضاء العينة إلى مناطق منفصلة وربط كل منطقة بفرضية معينة كما هو مبين في الشكل (2). أما الآلية العشوائية فهي تعني أن قرارين مختلفين يمكن أن ينتجا عن نفس المعطيات، وتتحدد الآلية المتبعة لاتخاذ القرار بناءً على شروط المسألة، بطبيعة الحال سنتعامل خلال هذه الدراسة مع الآليات المحددة فقط.



الشكل (2) الآلية المحدد لاتخاذ القرار كتقسيم لفضاء العينة إلى مناطق منفصلة ممثلة هنا في حالة وجود فرضيتين فقط

3-2- المزيج الغوصي الجمعي GMM

إحدى الظواهر التي نصادفها كثيراً في عالم الاتصالات تتمثل عندما يرد على دخل المستقبل الراديوي تراكم عشوائي جمعي من المركبات العشوائية لعدد منته من الإشارات. إن تصميم الموديل الرياضي الملائم والخوارزمية الأمثلية للمستقبل الذي يعمل ضمن هذه الظروف يعتبر عملاً واقعياً وعلى درجة عالية من الأهمية في الوقت الراهن. إلا أن تعدد الظواهر العشوائية على دخل المستقبل، وانتمائها إلى فضاءات احتمالية متعددة تجعل من المستحيل تمثيلها باستخدام صنف واحد تقليدي من السيرورات العشوائية باستخدام نموذج رياضي بسيط ذو عدد قليل من المعاملات.

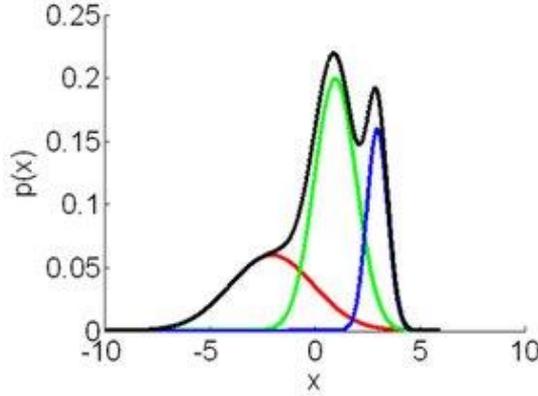
يتزايد الاهتمام في الوقت الراهن بنمط خاص من المزائج الاحتمالية ألا وهو المزيج الغوصي الجمعي GMM. بالتعريف، يتألف فضاء العينة $\{X\}$ (مجموعة التحقيقات

للظاهرة العشوائية X لتوزيع GMM (مؤلف من N مركبة) من مجموعة فضاءات العينة $\{X\}_n$ لهذه المركبات، وبالتالي فإن الكثافة الاحتمالية $\mu[X]$ لهذا التوزيع هي عبارة عن مجموع موزن من الكثافات الاحتمالية الغوصية تختلف فيما بينها بالمعاملات (المتوسط والتشتت).

$$\{X\} = \bigcup_n \{X\}_n, \mu[X] = \sum_n q_n \mathcal{N}_n[X],$$

$$\sum_n q_n = 1, \quad n = \overline{1..N}, N \leq \infty$$

والذي يعد مزيجاً من مركبات غوصية باحتمال ورود q_n لكل منها، الشكل (3) [9].



الشكل (3) رسم توضيحي للتوزيع GMM، الكثافة المطلوب تمثيلها باللون الأسود، تم تمثيلها باستخدام GMM مكون من ثلاث مركبات.

يعرّف المزيج الغوصي الجمعي بشكل تام من خلال شعاع المتوسط، مصفوفة التباين وشعاع الأوزان. وتبعاً لذلك نميز العديد من الأشكال للتوزيع GMM، فمثلاً يمكن أن تكون مصفوفة التباين كاملة أو قطرية. إضافة إلى ذلك، يمكن أن تكون المعاملات فردية أو مشتركة بين جميع المركبات، بمعنى أنه يمكن أن يكون لجميع المركبات نفس مصفوفة التباين أو أن تكون مختلفة. العامل الأساسي في اختيار بنية التوزيع (عدد المركبات، شكل مصفوفة التباين، تشارك المعاملات أو عدمه) هو كمية المعطيات المتوفرة من أجل تقدير معاملات التوزيع. واحدة من أهم المزايا التي يتمتع بها التوزيع GMM هي قدرته على إعطاء تقدير ناعم لأي كثافة احتمالية اعتباطية مهما كان شكلها، علاوة على ذلك فإن مركباته المتعددة تسمح بالتمثيل الدقيق لخاصية تعدد

الأشكال للكثافة المستهدفة [6]. تعتبر خوارزمية Expectation Maximization (EM) من أهم الخوارزميات المستخدمة في مجال تقدير معاملات GMM عند تحديد عدد المركبات المطلوبة، وهي خوارزمية تكرارية تتألف من مرحلتين: مرحلة التوقع وتسمى E-step، ومرحلة التكبير وتسمى M-step [7].

3-3- النموذج الرياضي للمستقبل المقترح

سنحاول في هذا القسم تصميم نموذج رياضي لمستقبل راديوي قادر على كشف ورود إشارة محددة ويعمل ضمن بيئة يتواجد فيها مجموعة إشارات تداخل جمعية مستمرة ومتقطعة بالإضافة إلى الضجيج الحراري، بحيث تحاكي شروط العمل الحقيقية.

3-3-1- شروط المسألة

فيما يلي التوصيف الرياضي لشروط المسألة التي تحاكي بيئة العمل:

- الإشارة المفيدة، وهي إشارة محددة، ومعرفة بشكل شبه تام، الشيء الوحيد غير المعروف بالنسبة لهذه الإشارة هو ورودها، والذي يحدد باحتمال قدره $p^{(s)}$. سنستعمل الرمز (S) للدلالة عليها في المعادلات الرياضية التالية، ومهمة الكاشف المقترح هو كشف ورود هذه الإشارة.
- الضجيج الحراري موجود بشكل دائم في المستقبل ويمثل على شكل توزيع غوسي $\mathcal{N}\{\vec{u}^{(N)}; 0; \sigma_n ||I||\}$. سنستعمل الرمز (N) للدلالة عليها في المعادلات الرياضية.
- إشارة التداخل الجمعي المستمر اللا غوسي متواجدة بشكل مستمر أيضاً ولها كثافة احتمالية $W\{\vec{u}^{(C)}\}$. سنستعمل الرمز (C) للدلالة عليها في المعادلات.
- إشارات تداخل جمعي متقطعة مستقلة عن الإشارة ومستقلة فيما بينها $D_\alpha(t)$. $\alpha = \overline{0.A}$ باحتمال ظهور $P_\alpha^{(D)}$. سنستعمل الرمز (D α) للدلالة على كل مركبة منها في المعادلات.

نفترض أن الكثافة الاحتمالية لإشارة التداخل المستمر اللاغوسي تمثل باستخدام مزيج غوسي ذو N_c مركبة، كذلك نفترض أن الضجيج الحراري للمستقبل يمثل باستخدام

توزيع غوصي ذو متوسط معدوم، وهذه الفرضيات لا تؤثر قطعاً على عمومية المسألة، وبالتالي تمثل الكثافة الاحتمالية لإشارة التداخل المستمر على الشكل التالي:

$$W\{\vec{u}^{(C)}\} = \sum_{n=1}^{N_c} q_n^{(C)} \mathcal{N}\{\vec{u}^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_c \|I\|\}. \quad \sum_{n=1}^{N_c} q_n^{(C)} = 1;$$

والكثافة الاحتمالية للضجيج الحراري على الشكل التالي:

$$W^{(N)}\{\vec{u}^{(N)}\} = \mathcal{N}\{\vec{u}^{(N)}; 0; \sigma_N \|I\|\}$$

حيث $\|I\|$ هي المصفوفة الواحدية.

إن الطبيعة العشوائية لظهور إشارات التداخل والإشارة المفيدة تؤدي إلى ورود العديد من الأحداث العشوائية المستقلة على دخل المستقبل سندرس تراكب هذه الإشارات ضمن حالة خاصة تتضمن وجود مركبتي تداخل متقطع ($A=2$) فقط مع مركبة التداخل المستمر والتي تظهر بشكل مستقل عن الإشارة المفيدة، وسنستخدم الرمز (I) للدلالة على التداخل Interference عند الحاجة في المعادلات. إن ازدياد عدد المركبات المتقطعة ($A>2$) لا يغير في منهجية الحل وإنما يؤدي زيادة عدد الفرضيات فقط، ولذلك تم اختيار قيمة ($A=2$) لتبيان الأثر مع المحافظة على وضوح والبساطة في الشرح.

3-3-2- التوصيف الاحتمالي

يمكن حل هذا النوع من المسائل بالاعتماد على نظرية اختبار الفرضيات (Hypothesis Testing)، وتقسم هذه المسألة إلى أربعة مراحل هي:

- تحديد الفرضيات البسيطة والمعقدة.
- حساب الكثافة الاحتمالية.
- اختيار قاعدة اتخاذ القرار.
- تحديد الإحصاء الكافي لعملية اتخاذ القرار.

I. تحديد الفرضيات وحساب الكثافة الاحتمالية

يتم في هذه المرحلة إلى تقسيم المسألة إلى مجموعة من الفرضيات البسيطة التي نستطيع نمذجتها باستخدام علاقات رياضية بسيطة. لتحقيق ذلك نبدأ بالفرضيات الكبرى نزولاً إلى الفرضيات الجزئية ضمنها وهكذا حتى نصل إلى الفرضيات البسيطة.

تقسم المسألة بدايةً إلى فرضيتين أساسيتين، فرضية ورود الإشارة المفيدة، وفرضية عدم ورودها، ومن ثم تقسم كل من هذه الفرضيات الأساسية إلى مجموعة من الفرضيات البسيطة.

أولاً: فرضية غياب الإشارة المفيدة، وهذه بدورها تقسم إلى مجموعة من الفرضيات الجزئية نوردها فيما يلي:

1- وجود المركبة الغوصية رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري فقط، وهي تتضمن N_C فرضية بسيطة نعبر عنها بالصيغ التالية:

$$\begin{aligned} H_{0n01}^{(SCDN)}: \vec{U}_{0n01}^{(SCDN)} &= \{\vec{u}_n^{(C)} + \vec{N}\}; n = \overline{1.N_C}; \\ P_{0n0}^{(SCD)} &= q_n(1 - p^{(S)})(1 - p_1^{(D)})(1 - p_2^{(D)}) \\ W_{0n01}^{(SCDN)}(\vec{u}) &= \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\}; \\ &= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{0n01}; \vec{m}_n^{(C)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\}; \end{aligned} \quad (2)$$

2- وجود المركبة رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري والمركبة الأولى من الضجيج المتقطع، وتتضمن N_C فرضية بسيطة وتوصف بالصيغ التالية:

$$\begin{aligned} H_{0n11}^{(SCDN)}: \vec{U}_{0n11}^{(SCDN)} &= \{\vec{u}_n^{(C)} + \vec{u}^{(D1)} + \vec{N}\}; \\ P_{0n1}^{(SCD)} &= q_n(1 - p^{(S)})p_1^{(D)}(1 - p_2^{(D)}); n = \overline{1.N_C}; \\ W_{0n11}^{(SCDN)}(\vec{u}) &= \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\}; \\ &= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{0n11}; \vec{m}_n^{(C)} + \vec{m}_1^{(D)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\}; \end{aligned} \quad (3)$$

3- وجود المركبة رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري والمركبة الثانية من الضجيج المتقطع، وتتضمن N_C فرضية بسيطة وتوصف بالصيغ التالية:

$$\begin{aligned} H_{0n21}^{(SCDN)}: \vec{U}_{0n21}^{(SCDN)} &= \{\vec{u}_n^{(C)} + \vec{u}^{(D2)} + \vec{N}\}; \\ P_{0n2}^{(SCD)} &= q_n(1 - p^{(S)})p_2^{(D)}(1 - p_1^{(D)}); n = \overline{1.N_C} \\ W_{0n21}^{(SCDN)}(\vec{u}) &= \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\}; \\ &= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{0n21}; \vec{m}_n^{(C)} + \vec{m}_2^{(D)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\}; \end{aligned} \quad (4)$$

4- وجود المركبة رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري والمركبة الأولى

والثانية من الضجيج المنقطع، وتتضمن N_C فرضية بسيطة وتوصف بالصيغ التالية:

$$\begin{aligned}
 H_{0n31}^{(SCDN)}: \quad \vec{U}_{0n31}^{(SCDN)} &= \{\vec{u}_n^{(C)} + \vec{u}^{(D1)} + \vec{u}^{(D2)} + \vec{N}\}; \\
 P_{0n3}^{(SCD)} &= q_n(1 - p^{(S)})p_2^{(D)}p_1^{(D)}; n = \overline{1.N_C}; \\
 W_{0n31}^{(SCDN)}(\vec{u}) &= \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\}; \\
 &= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{0n31}; \vec{m}_n^{(C)} + \vec{m}_1^{(D)} + \vec{m}_2^{(D)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\};
 \end{aligned} \tag{5}$$

بالاعتماد على قاعدة الاحتمال الكلي (Total Probability Rule) تكون الكثافة

الاحتمالية المشتركة للفرضية المعقدة لغياب الإشارة المفيدة هي:

$$\begin{aligned}
 H^{(I)}: W^{(I)}\{\vec{u}\} &= \sum_{n=1}^{N_C} \left(P_{0n0}^{(SCD)} \cdot W_{0n01}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} + P_{0n1}^{(SCD)} \cdot W_{0n11}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} \right. \\
 &\quad \left. + P_{0n2}^{(SCD)} \cdot W_{0n21}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} + P_{0n3}^{(SCD)} \cdot W_{0n03}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} \right),
 \end{aligned} \tag{6}$$

ثانياً: فرضية ورود الإشارة المفيدة، وتتضمن مجموعات الفرضيات الجزئية التالية:

1- وجود المركبة رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري والإشارة المفيدة،

وتتضمن N_C فرضية بسيطة وتوصف بالصيغ التالية:

$$\begin{aligned}
 H_{1n01}^{(SCDN)}: \quad \vec{U}_{1n01}^{(SCDN)} &= \{\vec{s} + \vec{u}_n^{(C)} + \vec{N}\}; \\
 P_{1n0}^{(SCD)} &= q_n p^{(S)}(1 - p_1^{(D)})(1 - p_2^{(D)}); n = \overline{1.N_C}; \\
 W_{1n01}^{(SCDN)}(\vec{u}) &= \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\}; \\
 &= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{1n01}; \vec{s} + \vec{m}_n^{(C)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\};
 \end{aligned} \tag{7}$$

2- وجود المركبة رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري والإشارة المفيدة

والمركبة الأولى للضجيج المنقطع، وتتضمن N_C فرضية بسيطة وتوصف بالصيغ التالية:

$$\begin{aligned}
 H_{1n11}^{(SCDN)}: \quad \vec{U}_{1n11}^{(SCDN)} &= \{\vec{s} + \vec{u}_n^{(C)} + \vec{u}^{(D1)} + \vec{N}\}; \\
 P_{1n1}^{(SCD)} &= q_n p^{(S)}p_1^{(D)}(1 - p_2^{(D)}); n = \overline{1.N_C}; \\
 W_{1n11}^{(SCDN)}(\vec{u}) &= \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\}; \\
 &= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{1n11}; \vec{s} + \vec{m}_n^{(C)} + \vec{m}_1^{(D)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\};
 \end{aligned} \tag{8}$$

3- وجود المركبة رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري والإشارة المفيدة والمركبة الثانية للضجيج المتقطع، وتتضمن N_C فرضية بسيطة وتوصف بالصيغ التالية:

$$H_{1n21}^{(SCDN)}: \vec{U}_{1n21}^{(SCDN)} = \{\vec{s} + \vec{u}_n^{(C)} + \vec{u}^{(D2)} + \vec{N}\};$$

$$P_{1n2}^{(SCD)} = q_n p^{(S)} p_2^{(D)} (1 - p_1^{(D)}); n = \overline{1.N_C};$$

$$W_{1n21}^{(SCDN)}(\vec{u}) = \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\}$$

$$= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{1n21}; \vec{s} + \vec{m}_n^{(C)} + \vec{m}_2^{(D)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\};$$

4- وجود المركبة رقم (n) من الضجيج المستمر والضجيج الحراري والإشارة المفيدة والمركبة الأولى والثانية من الضجيج المتقطع، وتتضمن N_C فرضية بسيطة وتوصف بالصيغ التالية:

$$H_{1n31}^{(SCDN)}: \vec{U}_{1n31}^{(SCDN)} = \{\vec{s} + \vec{u}_n^{(C)} + \vec{u}^{(D1)} + \vec{u}^{(D2)} + \vec{N}\};$$

$$P_{1n3}^{(SCD)} = q_n p^{(S)} p_2^{(D)} p_1^{(D)}; n = \overline{1.N_C};$$

$$W_{1n31}^{(SCDN)}(\vec{u}) = \mathcal{N}\{\vec{u}_n^{(C)}; \vec{m}_n^{(C)}; \sigma_C\} * \mathcal{N}\{\vec{N}; 0; \sigma_N\};$$

$$= \mathcal{N}\left\{\vec{u}_{1n31}; \vec{m}_n^{(C)} + \vec{m}_1^{(D)} + \vec{m}_2^{(D)}; \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}\right\};$$

بالاعتماد على قاعدة الاحتمال الكلي (Total Probability Rule) تكون الكثافة الاحتمالية المشتركة للفرضية المعقدة لورود الإشارة المفيدة هي:

$$H^{(S)}: W^{(S)}(\vec{u}) = \sum_{n=1}^{N_C} \left(P_{1n0}^{(SCD)} \cdot W_{1n01}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} + P_{1n1}^{(SCD)} \cdot W_{1n11}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} \right.$$

$$\left. + P_{1n2}^{(SCD)} \cdot W_{1n21}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} + P_{1n3}^{(SCD)} \cdot W_{1n03}^{(SCDN)}\{\vec{u}\} \right);$$

II. ثانياً: آلية اتخاذ القرار

نستخدم معيار بايس (Bayes) الذي يقوم على مبدأ الخطر الأصغري من أجل اتخاذ القرار بوجود الإشارة المفيدة من عدمه. بالتالي تكون القاعدة على النحو التالي:

$$\frac{W^{(S)}(\vec{u})}{W^{(I)}(\vec{u})} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \Rightarrow \frac{(1 - P^{(S)})(C_{10} - C_{00})}{P^{(S)}(C_{01} - C_{11})} \triangleq \eta$$

أو بشكل آخر:

$$P^{(S)}(C_{01} - C_{11}) W^{(S)}(\vec{u}) \geq_{H_0}^{H_1} (1 - P^{(S)})(C_{10} - C_{00})W^{(I)}(\vec{u})$$

حيث $(C_{00}, C_{01}, C_{10}, C_{11})$ ثابت تعبر عن الكلفة المعطاة للكشف الصحيح، الإنذار الكاذب، إضاعة الهدف و الفقد الصحيح على الترتيب، وهي تحدد وفقاً لطبيعة المسألة المطروحة ولكن لابد من التأكيد عند اختيار هذه الثوابت على أن كلفة القرار الخاطئ أكبر من كلفة القرار الصحيح، بعبارة أخرى $C_{10} > C_{00}$ و $C_{01} > C_{11}$. بفرض $C_{00} = C_{11} = 0$ و $C_{10} = C_{01} = 1$ وتعويض العلاقات (11-6) في (13) و الاختزال نحصل على قاعدة اتخاذ القرار التالية:

$$\begin{aligned} p^{(S)} & \left[(1 - p_1^{(D)})(1 - p_2^{(D)}) \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(SC)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(SC)}}{2} \right) \right] \right. \\ & + p_1^{(D)}(1 - p_2^{(D)}) \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(SCD1)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(SCD1)}}{2} \right) \right] \\ & + p_2^{(D)}(1 - p_1^{(D)}) \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(SCD2)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(SCD2)}}{2} \right) \right] \\ & \left. + p_2^{(D)} p_1^{(D)} \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(SCD3)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(SCD3)}}{2} \right) \right] \right] \\ & \geq_{H^{(I)}}^{H^{(S)}} \\ (1 - p^{(S)}) & \left[(1 - p_1^{(D)})(1 - p_2^{(D)}) \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(C)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(C)}}{2} \right) \right] \right. \\ & + p_1^{(D)}(1 - p_2^{(D)}) \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(CD1)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(CD1)}}{2} \right) \right] \\ & \left. + p_2^{(D)}(1 - p_1^{(D)}) \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(CD2)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(CD2)}}{2} \right) \right] \right] \end{aligned}$$

$$+p_2^{(D)} p_1^{(D)} \sum_{n=1}^{N_C} q_n^{(C)} \text{Exp} \left[\frac{1}{\sigma_0^2} \left(Z_n^{(CD3)} - \frac{\mathfrak{A}_n^{(CD3)}}{2} \right) \right] \Bigg\}$$

حيث:

$$\sigma_0 \triangleq \sqrt{\sigma_C^2 + \sigma_N^2}.$$

$$Z_n^{(SC)} = \sum_k u_k (s_k + m_{nk}^{(C)}). \quad \mathfrak{A}_n^{(SC)} = \sum_k (s_k + m_{nk}^{(C)})^2$$

$$Z_n^{(SCD1)} = \sum_k u_k (s_k + m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)}).$$

$$\mathfrak{A}_n^{(SCD1)} = \sum_k (s_k + m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)})^2$$

$$Z_n^{(SCD2)} = \sum_k u_k (s_k + m_{nk}^{(C)} + m_{2k}^{(D)}).$$

$$\mathfrak{A}_n^{(SCD2)} = \sum_k (s_k + m_{nk}^{(C)} + m_{2k}^{(D)})^2$$

$$Z_n^{(SCD3)} = \sum_k u_k (s_k + m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)} + m_{2k}^{(D)}).$$

$$\mathfrak{A}_n^{(SCD3)} = \sum_k (s_k + m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)} + m_{2k}^{(D)})^2$$

$$Z_n^{(C)} = \sum_k u_k m_{nk}^{(C)}. \quad \mathfrak{A}_n^{(C)} = \sum_k (m_{nk}^{(C)})^2$$

$$Z_n^{(SCD1)} = \sum_k u_k (m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)}). \quad \mathfrak{A}_n^{(SCD1)} = \sum_k (m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)})^2$$

$$Z_n^{(CD2)} = \sum_k u_k (m_{nk}^{(C)} + m_{2k}^{(D)}). \quad \mathfrak{A}_n^{(CD2)} = \sum_k (m_{nk}^{(C)} + m_{2k}^{(D)})^2$$

$$Z_n^{(CD3)} = \sum_k u_k (m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)} + m_{2k}^{(D)}).$$

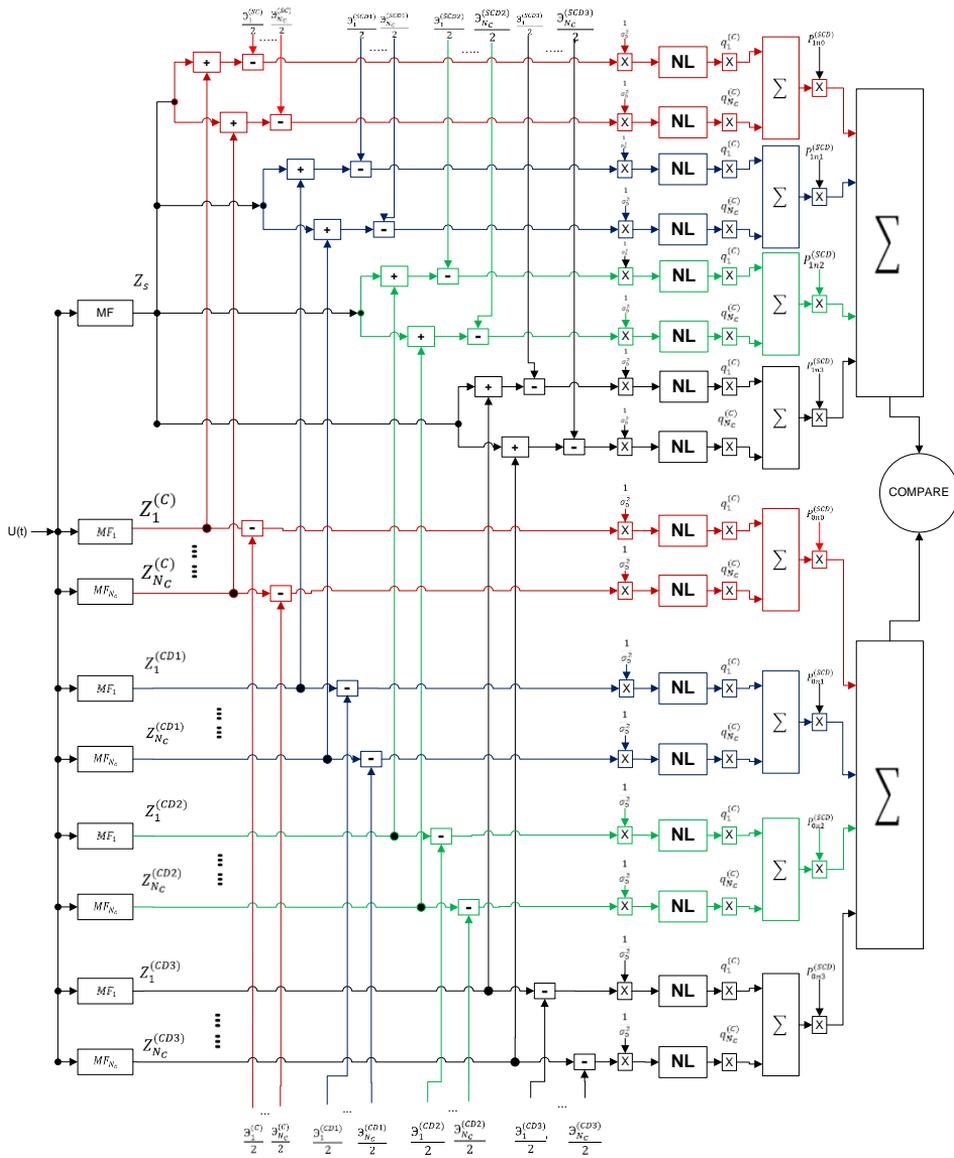
$$\mathfrak{A}_n^{(CD3)} = \sum_k (m_{nk}^{(C)} + m_{1k}^{(D)} + m_{2k}^{(D)})^2$$

من خلال هذه العلاقات يمكن تسجيل الملاحظات التالية:

- المقادير $\mathfrak{A}_n^{(***)}$ هي مقادير سلمية، وبالتالي تحسب لمرة واحدة فقط ومن ثم يتم استعمالها كثوابت للنظام وهذا يعني على الصعيد العملي أن تنفيذها لا يتطلب حجزاً للموارد كالذواكر أو الوحدات الحسابية وهذا يخفف من تعقيد النظام.

- إن الإحصاء الكافي (sufficient statistic) هو من النمط $Z_n^{(***)}$ حيث تعبر المقادير (S, C, D, N) عن الإشارة المفيدة، التداخل المستمر، التداخل المتقطع والضجيج الحراري على الترتيب، وهو يعبر عن الترابط بين عينات الإشارة الواردة ونماذج مخزنة مسبقاً عن الإشارات التي نتعامل معها في مسألتنا.
 - الإحصاء الكافي خطي، وهذا يعني أن الكلفة الحسابية له منخفضة فهو لا يتضمن حساب أي مركبات تربيعية أو تكعيبية.
 - بالانتقال من الزمن المتقطع إلى الزمن المستمر من خلال $\Delta t \rightarrow 0$ ، $K \rightarrow \infty$ يصبح الإحصاء الكافي على الشكل $Z_n^{(***)} \rightarrow \int_0^T u(t)(S(t) + C(t) + D(t) + N(t))dt$ والتي يمكن تحقيقها عملياً باستخدام مرشح متوافق Matched Filter (MF)، وبذلك نكون قد عدنا إلى حالة مشابهة للمستقبل التقليدي القائم على استخدام المرشح المتوافق ولكن مع اختلاف هو أننا أصبحنا نتعامل مع عدد من القنوات كل منها يشبه مستقبل تقليدي بسيط أحادي القناة.
- يبين الشكل (4) المخطط التدفقي الذي يعبر عن آلية اتخاذ القرار وفق العلاقة (14) حيث يظهر فيه الثوابت وعناصر الدخل والعمليات الحسابية اللازمة لاتخاذ القرار. يمكن من خلال هذا الشكل تسجيل النقاط التالية:
- ❖ لخوارزمية الكشف الأمثل بنية مستقبل راديوي تقليدي ولكن متعدد القنوات، بمعنى أنها تتألف من تعاقب مرشح خطي، يليه جملة لاخطية، ثم بعد ذلك مرشح خطي وتكرر هذه البنية في كل قناة من الأقفية.
 - ❖ البنية المقترحة للمستقبل المثالي مستقلة عن التوزيع الاحتمالي للإشارة والتداخل، فالخصائص الفيزيائية والاحتمالية لها تؤثر على عدد المركبات الغوصية ضمن التوزيع GMM الذي سيستخدم لتمثيلها، والذي بدوره سينعكس على عدد الأقفية وحساب المعاملات، ويعود الفضل في ذلك إلى استخدام المزيج الاحتمالي GMM، الذي يوفر الإمكانية لتمثيل أية إشارة على شكل مزيج من المركبات الغوصية.

❖ القيم على خرج المرشحات المتوافقة عبارة عن متحولات عشوائية، والقسم الأول من المستقبل يتعامل مع السيرورات العشوائية، أما باقي المراحل فهي تتعامل فقط مع متحولات عشوائية، ويعتبر هذا الأمر في غاية الأهمية من الناحية العملية حيث سيوفر الكثير من العمليات الحسابية والذاكر عند التنفيذ العملي له.



الشكل (4) المخطط التدفقي لآلية اتخاذ القرار

4- النتائج والمناقشة

أجريت المحاكاة باستخدام بيئة *Matlab*، حيث تم استعمال مجموعة من المكتبات الخاصة التي تم تصميمها بهدف التعامل مع السيرورات العشوائية وتوليد الأحداث العشوائية إضافةً إلى توفير الأدوات اللازمة لحساب معدل الخطأ.

4-1- منهجية الاختبار

حاولنا من خلال التجارب والمحاكاة الإضاءة على موضوعين: يتعلق الموضوع الأول بإظهار القصور لدى المستقبل التقليدي في التعامل مع الحالات التي تكون فيها إشارات التداخل الجمعي المترابطة مع الإشارة المفيدة لا غوصية، أما الموضوع الثاني فهو يتعلق بمدى نجاعة وفعالية المقاربة المطروحة في التصدي لهذه المسألة، وبناءً عليه كان لا بد من تصميم آلية الاختبار بالشكل الذي يسمح لنا بإجراء مقارنة بين أداء المستقبل المصمم على أساس الخوارزمية المقترحة والمستقبل التقليدي، ولهذا الغرض تم تصميم جدول الاختبار على النحو المبين في الجدول (1).

الجدول (1) منهجية الاختبار المتبعة لتقييم أداء المستقبل.

رقم التجربة	نموذج الإشارة الواردة	نمط المستقبل المستخدم في الكشف
1	الإشارة المفيدة + ضجيج حراري	مستقبل تقليدي
2	الإشارة المفيدة + ضجيج حراري + ضجيج مستمر لاغوصي + مركبة ضجيج منقطع محدد	مستقبل تقليدي
3	الإشارة المفيدة + ضجيج حراري + ضجيج مستمر لاغوصي + مركبة ضجيج منقطع محدد	مستقبل مصمم وفق الخوارزمية المقترحة
4	الإشارة المفيدة + ضجيج حراري + ضجيج مستمر لاغوصي + مركبة ضجيج منقطع	مستقبل تقليدي

	محدد	
مستقبل مصمم وفق الخوارزمية المقترحة	الإشارة المفيدة + ضجيج حراري+ضجيج مستمر لاغوصي+مركبتي ضجيج منقطع محدد	5

4-2- التجربة رقم 1

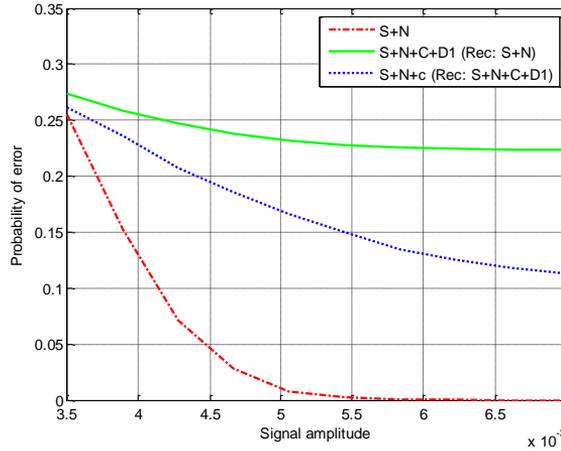
قمنا في هذه التجربة بتنفيذ محاكاة لورود إشارة المعلومات المفيدة وضجيج أبيض غوصي يعبر عن الضجيج الحراري في المستقبل وتداخل مستمر لاغوصي ومركبة تداخل منقطع محددة على مستقبلي إشارة (كاشف). المستقبل الأول عبارة عن مستقبل تقليدي مصمم على أساس أن التداخل يتم نمذجته باستخدام توزيع غوصي وحيد فقط، أما المستقبل الثاني فهو مصمم وفق الخوارزمية المقترحة التي تستخدم المزيج الغوصي GMM لنمذجة إشارات التداخل اللاغوصية وتضمينها في تصميم المستقبل.

في البداية قمنا بنمذجة إرسال الإشارة المفيدة مع الضجيج الحراري فقط، واستخدمنا المستقبل التقليدي لاكتشافها. بعد ذلك قمنا بإضافة إشارات التداخل المذكورة إلى الإشارات السابقة واستخدمنا المستقبل التقليدي نفسه للكشف وكذلك المستقبل المصمم وفق الخوارزمية المقترحة من أجل مقارنة النتائج فحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (5) التي تبين معدل الخطأ لكل من المستقبلين.

يمثل المنحني باللون الأخضر والخط المستمر معدل الخطأ بالنسبة لمطال الإشارة المفيدة للمستقبل التقليدي عند ورود الإشارة مع إشارات التداخل. أما المنحني الأزرق بالخط المنقط فهو يمثل معدل الخطأ للمستقبل المصمم وفق الخوارزمية المقترحة عند ورود الإشارة مع إشارات التداخل. ويمثل المنحني باللون الأحمر والخط المتقطع معدل الخطأ لاستقبال إشارة نظيفة بدون أي تداخل باستخدام مستقبل تقليدي.

كما هو واضح من المنحنيات فإن أداء المستقبل التقليدي في حال عدم وجود تداخل (المنحني بالخط المتقطع) هو الأفضل وهو يعطي أقل احتمال للخطأ، ولكن أداء هذا المستقبل يتدهور بشكل كبير عند ورود إشارات التداخل كما هو واضح من الشكل

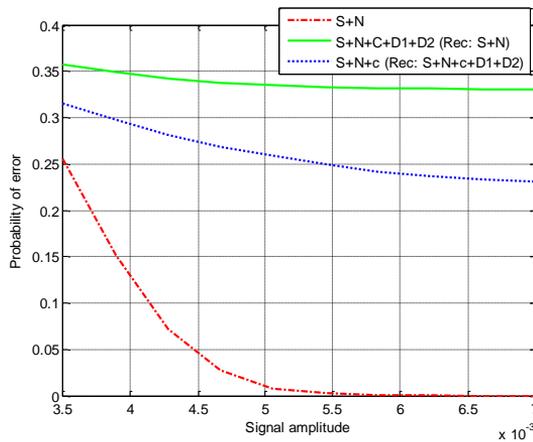
(المنحني بالخط المستمر)، في حين أن استخدام المستقبل المصمم وفق الخوارزمية المقترحة يحسن كثيراً في أداء المستقبل في حال ورود إشارات التداخل (المنحني بالخط المنقط).



الشكل (5) معدل الخطأ في التجربة رقم 1

4-3- التجربة رقم 2

قمنا بإعادة التجربة السابقة مع إضافة مركبة تداخل متقطع ثنائية، وأعدنا حساب معدل الخطأ للمستقبل التقليدي والمستقبل المصمم وفق الخوارزمية وحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (6).



الشكل (6) معدل الخطأ في التجربة رقم 2

تظهر النتائج أن معدل الخطأ يزداد عند إضافة مركبة التداخل المتقطع الثانية بسبب ازدياد استطاعة الضجيج، ولكن يبقى أداء المستقبل المصمم وفق الخوارزمية أفضل من المستقبل التقليدي عند وجود التداخل اللاغوصي.

5-الاستنتاجات والتوصيات

من خلال هذه الدراسة تم التعرف على نظرية كشف الإشارة بوجود تداخل غوصي وبيننا محدودية هذه النظرية في التعامل مع الحالات التي يكون فيها التداخل ذو طبيعة لاغوصية، وبالتالي ظهرت الحاجة إلى البحث عن أدوات جديدة. عرضنا مقارنة جديدة للتغلب على هذه المشكلة مبنية على أساس تمثيل التداخل اللاغوصي على شكل مزيج غوصي جمعي GMM بهدف الاستفادة من المزايا الكبيرة التي يوفرها التوزيع الغوصي. بناءً على هذه المقارنة قمنا بوضع تصميم مستقبل راديوي وأجريت سلسلة من التجارب الحاسوبية لاختبار فعالية هذا التصميم وكانت النتائج جيدة جداً، وأبدى المستقبل المقترح أداءً أفضل من المستقبل التقليدي المبني على أساس نظرية الكشف التقليدية.

يتمثل الإنجاز العلمي في هذه الدراسة في التعرف على نموذج احتمالي جديد (المزيج الغوصي الجمعي GMM) واستخدامه لحل واحدة من أهم المسائل التي نواجهها في مجال الاتصالات الحديثة.

الخطوة التالية في هذا العمل هي الانتقال إلى التحقيق العملي للمستقبل المقترح ودراسة أدائه عملياً، كما يمكن تطوير الدارسة لتشمل حالات من التداخل أكثر تعقيداً والانتقال من مجال كشف الإشارة المفيدة مع وجود التداخل اللاغوصي إلى مجال تمييز مجموعة من الإشارات المفيدة بوجود التداخل اللاغوصي.

6-المراجع

- [1]- GARTH, L. M. and POOR, H. V 1994 **Detection of non-Gaussian signals: a paradigm for modern statistical signal processing**, in Proceedings of the IEEE, vol 82, P-P: 1061-1095.
- [2]- CHABDAROV, Sh. M., SAFONOV, V. L., MORYASHOV, A. O and KARIMULLIN E. M.2007. **Analysis Of Correlation Detection Of Radio Signals At Random Complexes Of Non-Gaussian Noise**, VESTNIK, vol 14, P-P: 3-11..
- [3]- GUSTAFSSON, R. T., HOSSJER, O. G. and OBERG T 1997 **Adaptive detection of known signals in additive noise by means of kernel density estimators**, in IEEE Transactions on Information Theory, vol 43, P-P: 1192-1204.
- [4]- GANDHI, P. P and RAMAMURTI, V 1997 **Neural networks for signal detection in non-Gaussian noise**, in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 45, P-P: 2846-2851.
- [5]- MCLACHLAN, G 1988- **Mixture Models. Marcel Dekker**, CRC Press, New York: USA, 272 p.
- [6]- REYNOLDS, A 2009- **Gaussian mixture models**, Encyclopedia of biometrics, Springer Science & Business Media, London: UK, Vol: 2, P-P: 659-663.
- [7]- YU, D and LI, D 2016- **Automatic Speech Recognition**, Springer, London: UK, 321p.
- [8]- CASTANON, D and CLEM KARL, W 2004- **Stochastic Processes**, Boston University, Boston: USA, 264 p.
- [9]- VASEGHI, S 2000- **Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction, Second Edition**, John Wiley & Sons Ltd, Brunel: UK, 473 p.

دراسة تأثير الغرزات على الناقلية الكهربائية للألياف المعدنية المستخدمة في الألبسة الوظيفية

د. خلدون يوسف

ملخص

الألبسة الوظيفية هي الجيل من المنسوجات الذي يحتوي على المكونات الإلكترونية و عناصر الربط فيما بينها ضمن بنية القماش. توجد العديد من التطبيقات للملابس الوظيفية في المجالات المختلفة (الطبية ، الاتصالات ، إلخ..). من أجل الحصول على الوظائف المختلفة للأقمشة يمكن استخدام خيوط موصلة (ناقلة) مختلفة في القماش مع أنواع مختلفة من أجهزة الاستشعار (الحساسات) كحساس الضغط ، حساس درجة الحرارة.

في هذا البحث تم مقارنة جودة نقل الإشارة الكهربائية ضمن القماش باستخدام خيوط ناقلة كهربائية ماركة BEKAERT ، وذلك باستخدام نوعين من الخيوط المعدنية الناقلة : خيوط متعددة الشعيرات وخيوط أحادية الشعيرة. الخيوط الناقلة تم دمجها ضمن بنية تي شيرت رجالي (قطن 100%) باستخدام نوعين من الغرزات : غرزة زيك-زك و غرزة مستقيمة (المقفلة 301). تم الحصول على الغرزة المستقيمة باستخدام ماكينة الخياطة، بينما غرزة زيك-زك باستخدام ماكينة التطريز. تم تصميم الدارة الكهربائية ضمن بنية القماش بحيث تقوم هذه الخيوط الناقلة بنقل الإشارة الناتجة عن حساس ضغط (Flexiforce A401). تم وضع الحساس تحت منطقة الإبط بمقدار 2 سم، وتم قياس الإشارة الكهربائية أثناء الحركة (المشي والجري).

تم إجراء مقارنة جودة نقل الإشارة بين الخيوط المعدنية الناقلين تبعاً لنوع الغرزات المستخدمة في حالة السكون عن طريق قياس قيمة الناقلية الكهربائية لكل وحدة طول من الخيط المعدني المستهلك لتنفيذ الدارة وذلك باستخدام الآفومتر. كما تم مقارنة جودة الإشارة بين الغرزات في حالة الحركة عن طريق قياس متوسط قيمة جهد الخرج باستخدام برنامج معالجة الإشارة LabVIEW. بعد ذلك، تم دراسة تأثير عملية الغسيل على جودة نقل الإشارة من خلال قياس مقدار التضخم أو التخفيض في شدة إشارة الدخل عند مجال مختلف من الترددات باستخدام مولد كهربائي وجهاز مكشاف الذبذبات.

الكلمات المفتاحية

الألبسة الوظيفية، ، الألياف ناقلة ، الغرزات ، حساس الضغط، معالجة الإشارة

Study of the Effect of Stitches on the Electrical Conductivity of Mineral Fibers Used in Functional Garments

Abstract

Functional garments are the generation of textiles that contain the electronic components and the interconnecting elements within the structure of the fabric. There are many applications for functional garments in various fields (medical, telecommunications, etc..). To obtain the different functions of fabrics, different conductive threads can be used in the fabric with different types of sensors such as pressure sensor, temperature sensor.

In this paper, the quality of electrical signal transmission within the fabric was compared using BEKAERT electrically conductive threads, using two types of metallic conductive threads: multifilament and monofilament. The threads have been incorporated into the structure of a men's T-shirt (100% cotton) using two types of stitches (zig-zag and straight(lockstitch)). The straight stitch was obtained by using a sewing machine while the Zig-Zag stitch by using an embroidery machine. The electrical circuit is designed within the structure of fabric so that these conducting threads transmit the signal produced by a pressure sensor (Flexiforce A401). The sensor was placed 2 cm under the armpit. The electrical signal was measured during movement (walking and running).

The signal transmission quality was compared between the two conducting metallic threads according to the type of stitch in the static state by measuring the electrical conductivity value per unit length of the

consumed metallic thread, using a multimeter. The signal quality was also compared between the stitches in the motion condition by measuring the average value of the output voltage using LabVIEW signal processing software.

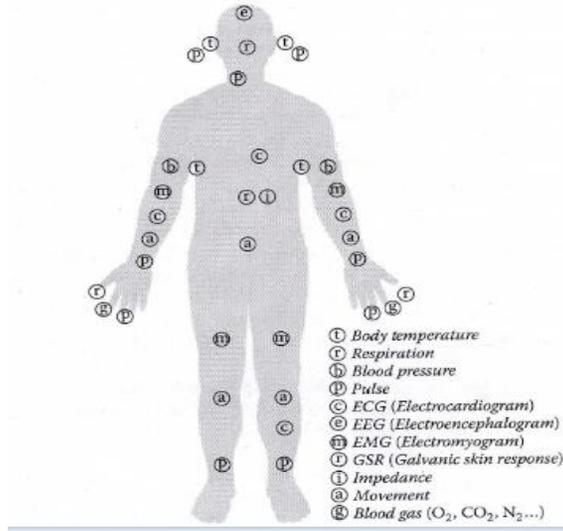
Then, the effect of the washing process on the signal transmission quality was studied by measuring the amount of inflation or attenuation in the amplitude of the input signal at a different range of frequencies using an electric generator and an oscilloscope device.

key words

Functional garments, conductive threads, stitches, pressure sensor, signal processing

1- مقدمة

تعتبر الألبسة قاعدة أساسية لتوضع الحساسات من أجل أداء وظيفية معينة. هذه الحساسات يمكن أن تتوضع على حزام قماشي مدمج مع اللباس أو يمكن أن تتوضع في جيب خارجي أو مباشرة في أماكن معينة من اللباس تبعاً للوظيفة المراد أدائها ولعضو الجسم المعني بالقياس. يمكن للحساس أن يحول المؤثر الفيزيائي إلى إشارة يمكن تحليلها ومعالجتها كحركة جزء معين من الجسم مثلاً أو درجة حرارته. الشكل (1) يوضح الإشارات المقاسة في الجسم البشري وأماكن توضع الحساسات [1] [6].



الشكل 1: الإشارات المقاسة في الجسم البشري وأماكن توضع الحساسات

يمكن تقسيم الألبسة الوظيفية ، وفقاً لتوضع الحساسات، إلى نوعين [2] :

- ملابس وظيفية مزودة بحساسات متوزعة بجوار الجلد للقياس الطبي الحيوي، حيث يمكن وضع الحساسات في طبقة القماش، على سطح القماش أو يمكن أن تعمل الأقمشة نفسها كحساس من خلال اختيار ألياف عالية الأداء أو من خلال المعالجة

السطحية بمواد ناقلة وحساسة. يتم وضع الحساسات في أماكن محددة لكي تكون محمية وغير مرئية.

- ملابس وظيفية مزودة بحساسات تتوضع ضمن أماكن خارجية على سطح القماش كالجيب مثلا. يصبح القماش واجهة استقبال وبعث للإشارات بفضل أسلاك الاتصال (الخيوط الناقلة المعدنية)[3]. الملابس القابلة للارتداء والمجهزة بأدوات اتصال أو حساسات قادرة على تسجيل حركات الجسم دون إزعاج لمن يرتديها أثناء التنقل أو أثناء ملامسة الحساس للجسم [4].

إن أي لباس أو نسيج وظيفي يجب أن يتضمن العناصر التالية لكي يقوم بالوظيفة المعنية : واجهة أو أرضية قماشية، عناصر ربط واتصال، وحدة معالجة للإشارة، مصدر للطاقة أو حساس استشعار. بوجود هذه العناصر المتعددة في اللباس الوظيفي، لا بد من توفر مجموعة من الخواص من أجل ضمان أداء متكامل ومريح. من أهم هذه الخواص هو قابلية الاستخدام، حيث يجب أن يكون اللباس قابل للاستخدام بشكل سهل من قبل المرتدين وكذلك يجب أن يكون ذو أداء فعال ويمكن للمرتدين أن يقوموا بالإصلاح في حال وجود عطل. أيضاً التناغم الوظيفي بين مختلف هذه العناصر يجب أن يكون موجوداً من أجل تحقيق الغاية المطلوبة حسب التطبيق المعني. يجب أن يكون عمر اللباس الوظيفي أطول ما يمكن حيث أن وجود عمليات الغسيل المتكرر يمكن أن تؤثر على عمل العناصر الالكترونية المدخلة وكذلك عناصر التوصيل (الألياف والخيوط الناقلة) مما يؤثر بشكل مباشر على جودة الإشارة المستقبلية والمرسلة. بالإضافة إلى تلك الخواص يجب أن يوفر اللباس الوظيفي خاصية الراحة والأمان للمرتدين [5] [6] .

2- طرق إدخال الألياف الناقلة في القماش

توجد خمس طرق لإدخال الألياف والخيوط الناقلة إلى بنية القماش: النسيج، التريكو، الطباعة، الخياطة والتطريز [4] [7] [8]. في هذا البحث سوف نركز على طريقة الخياطة وطريقة التطريز لإدخال الألياف الناقلة إلى بنية القماش المنسوج (تي شيرت).

(a) التطريز: في البداية بدا أن هناك القليل من القواسم المشتركة بين المنسوجات الذكية والملابس الوظيفية عالية الأداء من جهة وتقنيات التطريز من جهة أخرى، حيث أن مفهوم التطريز كان يقتصر على إدخال بعض النقوشات الزخرفية على

أسطح الأقمشة المنسوجة وأقمشة التريكو. في التسعينات من القرن الماضي أصبح التطريز أحد أهم التقنيات التي تسمح بإدخال الألياف عالية الأداء في أي اتجاه نريده ضمن بنية القماش حسب التطبيق المطلوب. الرسم الهندسي للألياف الناقلة ضمن بنية القماش يمكن تحديده من خلال برامج التصميم المرفقة مع آلة التطريز، مما يسمح بالتعديل على النموذج المعني بشكل سريع واستخدام مجموعة متنوعة من الأقمشة. إضافة لذلك إمكانية تصميم نقوشات (رسم زخرفي) بأبعاد صغيرة و بزوايا دائرية لا يمكن تحقيقها بطريقة النسيج مثلاً، وكذلك إمكانية توضع الألياف الناقلة بطريقة تراكمية تعطي تصميمًا ثلاثي الأبعاد يجعل من التطريز تقنية مهمة في مجال الألبسة الوظيفية[6].

(b) الخياطة: تتميز ماكينة الخياطة بأداء جيد وتسمح بإدخال الألياف الناقلة المعدنية إلى بنية القماش على شكل مسارات مستقيمة مع إمكانية التوير ورسم أشكال مختلفة تبعاً لتصميم الآلة. توفر المسارات الإلكترونية المحددة و كيفية الترابط فيما بينها مزايًا متعددة مثل المرونة حيث يمكننا العمل مع أنواع مختلفة من الأقمشة وقياس المقاومة الكهربائية لها بطريقة بسيطة للغاية مع مراعاة المعايير المختلفة (الطول النظري للخيط الناقل المعدني والطول المستهلك ضمن بنية القماش، المسافة الفاصلة بين الخيوط الناقلة، كثافة الغرزات للخيط الناقل). مع ذلك توجد بعض العيوب للدارة الإلكترونية المنجزة على آلة الخياطة كالتشوه الذي يمكن أن يحصل نتيجة الحركة الغير منتظمة أثناء الخياطة (عملية التوريد اليدوي للقماش)، وكذلك عدم الضبط الصحيح لشد الخيط الناقل المعدني وخاصة عند التعامل مع الأقمشة السمكة. هذا بدوره يمكن أن يؤثر سلباً على الناقلية الكهربائية للقماش بشكل عام وبالتالي على جودة الإشارة الكهربائية ضمن البنية النسيجية[6].

3- تأثير الشكل الهندسي للألياف الناقلة على الإشارة الكهربائية في بنية القماش

تعتبر هندسة الخيط الناقل وخصائص النسيج ضرورية أثناء نقل الإشارة والتي ستختلف وفقاً لقطر الخيط الناقل وعدد الغرزات في واحدة القياس، لأنه عند تغييرها ستتغير مقاومة الخيط الناقل وكذلك شدة الإشارة الكهربائية الناتجة [9].

إن مقاومة الخيط الناقل تعطى بالمعادلة التالية:

$$R = \rho * L / S \quad \text{معادلة (1)}$$

R: مقاومة الخيط الناقل (Ω) ، ρ : مقاومة المعدن المصنوع منه الخيط الناقل ($\Omega.m$)،

L: طول الخيط الناقل (m) ، S: مساحة مقطع الخيط الناقل (m^2).

من هذه العلاقة يتضح أنه مع زيادة قطر الخيط الناقل تتناقص مقاومته الكهربائية، بينما مع زيادة عدد الغرزات في وحدة القياس سوف يزداد طول الخيط الناقل وبالتالي تزداد مقاومته.

يعرف الخيط الناقل بمعاوقته (ممانعته) المميزة والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$Z_c = \sqrt{\frac{R+jwL}{G+jwC}} \quad \text{معادلة (2)}$$

حيث R : المقاومة الكهربائية لكل وحدة طول ، L: القدرة التحريضية لكل وحدة طول
G: الناقلية الكهربائي لكل وحدة طول، C : السعة لكل وحدة طول، J: وحدة تخيلية
W : التردد الزاوي.

تؤثر هندسة النسيج أيضاً على الناقلية الكهربائية للقماش، فالقماش الذي يحتوي على خيوط ناقلية مدخلة في اتجاه واحد فقط (X) لا يُظهر نفس الإشارة كالقماش مع الخيوط الناقلية المدخلة في كلا الاتجاهين (XY) . وجد أن الخيوط الناقلية في كلا الاتجاهين (XY) تسبب تأثيرات اقتران تشويشية مما يخلق تأثيراً على سرعة انتشار الإشارة، في حين أن الخيوط الناقلية في اتجاه واحد فقط (X) لها تأثير أفضل على نقل الإشارة لأن الأقمشة التي تحتوي على هذا النوع من الخيوط الناقلية (X) لها مقاومة وتحريض أقل من تلك الموجودة في الخيوط الناقلية (XY) ، وبالتالي فهي تقدم إشارة ذات جودة أفضل مع اضطراب أقل. [6]

[10]

4- هدف البحث

يهدف البحث إلى مقارنة جودة الإشارة الكهربائية لنوعين من الخيوط المعدنية الناقلية والمدخلة في بنية القماش (تي شيرت رجالي ، قطن 100%). المقارنة تتم وفقاً لنوعين من الغرزات: الغرزة المستقيمة 301 و غرزة زيك-زالك. كما يهدف البحث إلى مقارنة الناقلية الكهربائية للخيوط الناقلية في حالتها السكون والحركة، ومعرفة أي نوع من الخيوط وكذلك الغرزات يقدم إشارة كهربائية أفضل بعد عملية الغسيل.

5- مواد وطرق البحث

من أجل تشكيل الدارة الكهربائية في القماش لا بد من توفر العناصر التالية:

- الخيوط الناقلية :

تم استخدام خيوط ناقلية 100% ستانلس ستيل ماركة BEKAERT BEKINOX® [11].
الجدول (1) يوضح خواص الخيوط المستخدمة.

الجدول 1: مواصفات الخيط الناقل

النوع	Tex_النمرة	قوة القطع (N) Min	متوسط قوة القطع (N)	عدد البرمات في المتر	قطر الخيط متعدد الشعيرات (ميكرون)
BEKINOX	235 +/-10%	20	37	80 - 120	12

تم إدخال الخيوط إلى بنية قماش قطني (تي شيرت رجالي) باستخدام نوعين من الغرزات :
الغرزة المستقيمة 301 على آلة الخياطة DURKOPP، و غرزة الزيك-زالك على آلة التطريز
AMAYA. في كلا الحالتين تم استخدام الخيوط المعدنية الناقلية كخيوط مكوك، بينما خيط الإبرة

المستخدم هو خيط بوليستر 100%. الغرزات تم إنجازها باستخدام الخيوط المعدنية الناقلة أحادية الشعيرة ومتعددة الشعيرات.

تم توصيل الخيوط الناقلة إلى قطبي حساس ضغط (الشكل 5) عن طريقه اللحام اليدوي، ومن ثم قياس المقاومة الكهربائية للحساس في حالة السكون باستخدام جهاز الأفومتر، بينما في حالة الحركة باستخدام برنامج LABVIEW .

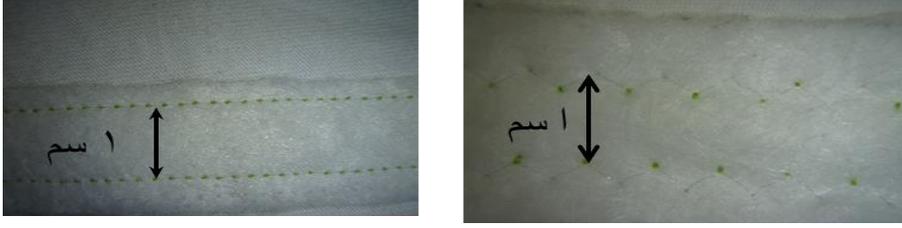
من أجل توحيد كثافة الغرزات بوحدة القياس تم توحيد طول الخيط الناقل النظري (منطقة الخياطة والتطريز)، و تم حساب الطول المستهلك الحقيقي وفقاً لنوع الغرزات وكذلك المقاومة الكهربائية R للخيط الناقل كما هو موضح في الجدول 2.

الجدول 2: طول الخيط الناقل وفقاً لنوع الغرزات

الخيوط الناقل	نوع الغرزات	الطول النظري (cm)	الطول المستهلك (cm)	المقاومة (Ω) الكهربائية
أحادي الشعيرة	الغرزة المستقيمة	36	42,7	306,7
	غرزة زيك-زك	28	49,2	356
متعدد الشعيرات	الغرزة المستقيمة	36	41,6	13,4
	غرزة زيك-زك	28	50,3	18,6

من الجدول 2 يتبين بأن غرزة زيك-زك تستهلك طول أكبر في الإنجاز، ولذلك تكون مقاومة الخيط الناقل المفرد وفقاً لهذه الغرزة أكبر. كذلك نلاحظ أن المقاومة الكهربائية للخيط أحادي الشعيرة أكبر منها بالنسبة للخيط متعدد الشعيرات بسبب القطر المنخفض للخيط وذلك انسجاماً مع المعادلة (1) المذكورة سابقاً.

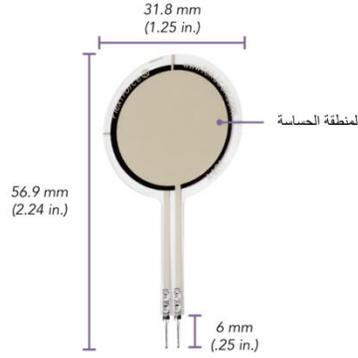
تمت المحافظة على مسافة 1 سم بين الخيوط المعدنية الناقلة المرسومة في اتجاه واحد x على سطح القماش، والمتصلة مع قطبي الحساس، كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2): الخيط الناقل أحادي الشعيرة باستخدام نوعين من الغرزات: الغرزة المستقيمة (إلى اليسار)، غرزة زيك-زاك (إلى اليمين)

• الحساس المستخدم

تم استخدام حساس ضغط نوع Flexiforce A401. تتغير المقاومة الكهربائية للحساس تبعاً للضغط أو القوة المطبقة فهي تنخفض مع زيادة القوة المطبقة. الحساس مرن يمكن إدخاله في بنية القماش دون أن يتسبب في إعاقة الحركة لمرتيدي اللباس وذو سماكة منخفضة (0,203 مم) كما هو موضح في الشكل 3. الطبقات الخارجية للحساس مصنوعة من البولستر بينما المنطقة الحساسة ومسار الأقطاب يحتوي على مادة ناقلة [12].

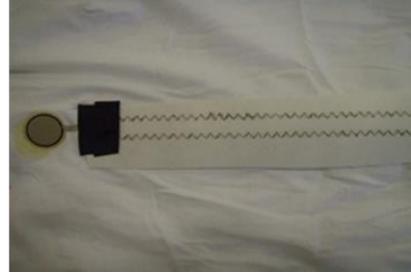


الشكل 3 : حساس الضغط Flexiforce A401

تم وضع الحساس في منطقة الإبط إلى الأسفل من خياطة الجيرو بمقدار 2 سم، حيث تم تثبيته باستخدام لاصق NEOPREN Pattex كما هو موضح في الشكل 4.



الشكل 4: تثبيت الحساس على اللباس



الشكل 5: توصيل الخيط المعدني الناقل متعدد الشعيرات مع قطبي حساس الضغط

• قراءة الإشارة الكهربائية

في حالة السكون يتم قراءة المقاومة الكهربائية الناتجة عن الدارة المدمجة في بنية القماش (الحساس مع الخيوط المعدنية الناقلة) وذلك باستخدام جهاز الآفومتر . من خلال تطبيق أوزان (50-1000) غرام على الحساس ،زيادة 50 غرام لكل قراءة، سوف تتغير قيمة المقاومة الكهربائية نتيجة لتغير الضغط المطبق على المنطقة الحساسة.

أما في حالة الحركة فيتم قراءة الإشارة الكهربائية عن طريق برنامج LabVIEW، والذي يسمح بالحصول على القيم الصغرى والعظمى وكذلك القيم المتوسطة لإشارة الخرج التي يمكن أن تكون على شكل تيار كهربائي أو جهد كهربائي أو مقاومة كهربائية. البرنامج يسمح باختيار مجال القياس وكذلك زمن التسجيل المناسب للإشارة. في هذا البحث تم اعتماد الجهد الكهربائي كإشارة خرج (في حالة الحركة)، مجال القياس من 0 إلى 250 mv، زمن التسجيل 10 ثواني.

حالة الحركة تم اعتمادها من خلال شخص يقوم بارتداء اللباس الحاوي على الحساس، حيث أن الخيوط المعدنية الناقلة المتصلة مع أقطاب الحساس من جهة

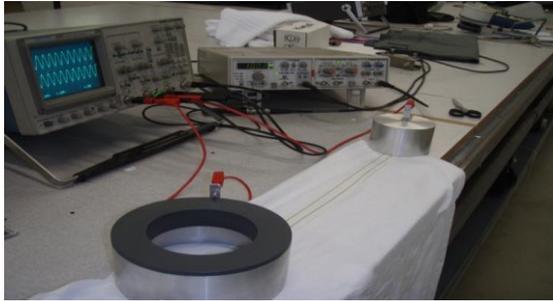
تكون متصلة من الجهة الأخرى مع مداخل برنامج تسجيل ومعالجة الإشارة. يقوم الشخص المرتدي (طول 175 سم ووزن 75 كغ) بتنفيذ حركة المشي بسرعة 2 كم/سا وحركة الجري 9 كم/سا، وذلك باستخدام حصيرة رياضية نوع TC-140 STADIUM. هنا الضغط المطبق من قبل الذراع على الحساس المتوضع في منطقة الإبط سوف يسبب في تغيير الناقلية الكهربائية للحساس وبالتالي إشارة الخرج للدائرة.

● لمقارنة تأثير الغسيل على جودة الإشارة الكهربائية تم مقارنة شدة إشارة الخرج S بالنسبة لإشارة دخل E بشدة ثابتة ولكن بتردد متغير. تم الغسل خمس مرات باستخدام غسالة 1200 دورة / دقيقة ، درجة حرارة غسيل 40 درجة و باستخدام منظف ARIEL. يسمى هذا الاختبار الاستجابة بالعلاقة مع التردد. الإشارة الكهربائية تقدر شدتها بوحدة الديسيبل في واحدة القياس من الطول المستهلك للخط المعدني الناقل. التعبير عن جودة الإشارة يتم من خلال مخطط بود والذي يسمح بقراءة شدة إشارة الخرج (المضخمة أو المخفضة) بالعلاقة مع تردد هذه الإشارة و باستخدام مقياس لوغاريتمي.

مقدار التضخيم أو التخفيض بالإشارة الكهربائية يعطى بالعلاقة التالية :

$$A_{dB} = 20 \log (S/E) \quad \text{معادلة (3)}$$

تم دراسة استجابة الدارة الكهربائية بالعلاقة مع التردد باستخدام مولد كهربائي يسمح بتطبيق إشارة دخل تناظرية بشدة ثابتة ولكن بتردد مختلف. مجال التردد المطبق (100Hz - 11MHz). مقدار التضخيم في الإشارة الكهربائية أو التخفيض يتم احتسابه من خلال تطبيق المعادلة (3). يتم قراءة شدة الإشارة من خلال شاشة برنامج مكشاف الذبذبات.

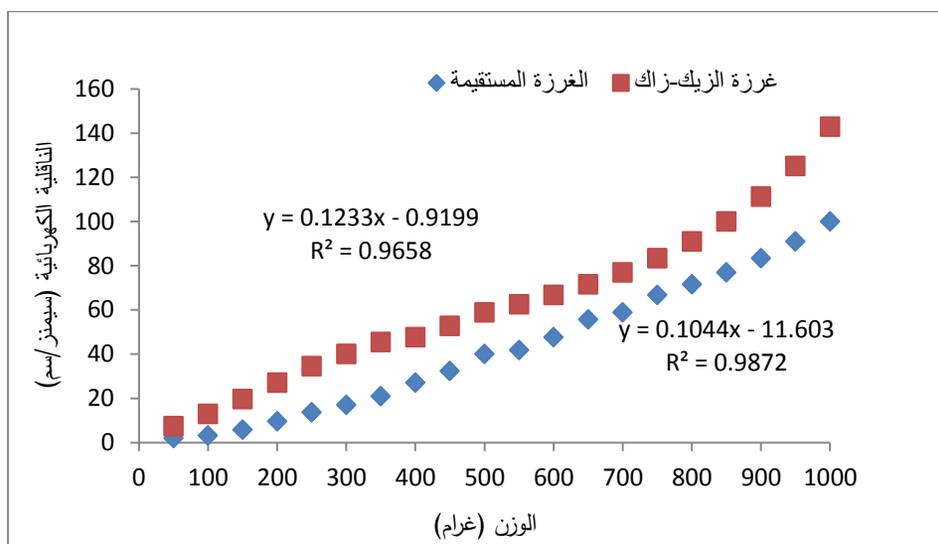


الشكل 6: جهاز قراءة شدة الإشارة بالعلاقة مع التردد

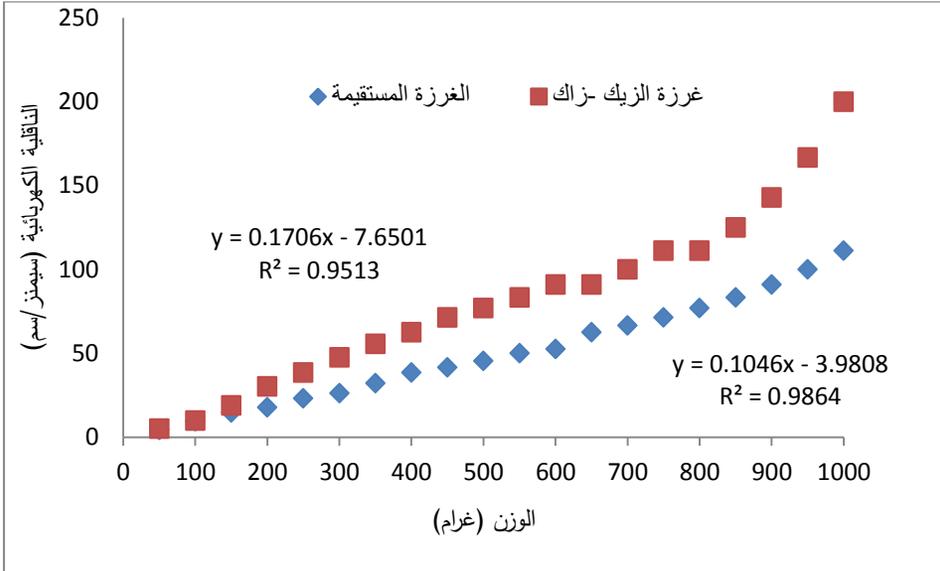
6- النتائج والمناقشة

6-1 مقارنة الإشارة الكهربائية في حالة السكون

تمت مقارنة الناقلية الكهربائية C للخيوط الناقلية وفقا لكل نوع من الغرزات من خلال تطبيق الأوزان على الحساس وقياس المقاومة الكهربائية الناتجة R وذلك باعتبار $(C=1/R)$. تأثير نوع الغرزات على الناقلية الكهربائية للخيوط المعدنية الناقلية موضح في الأشكال التالية.



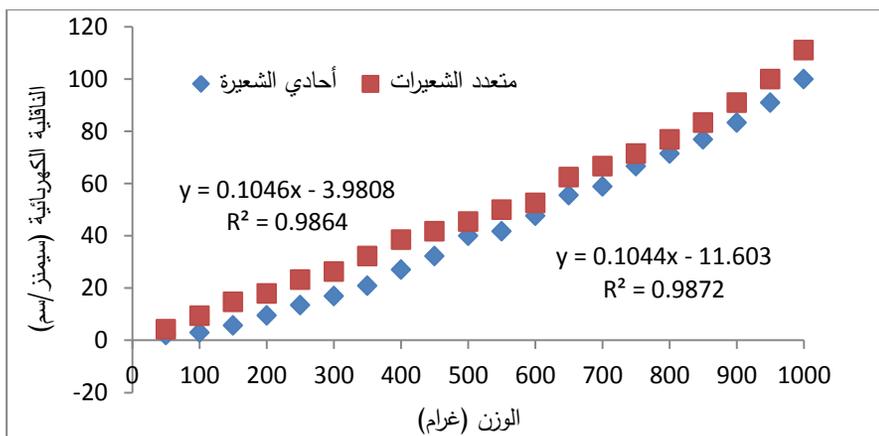
الشكل 7 : تأثير نوع الغرزات على الناقلية الكهربائية لخيط ناقل أحادي الشعيرة



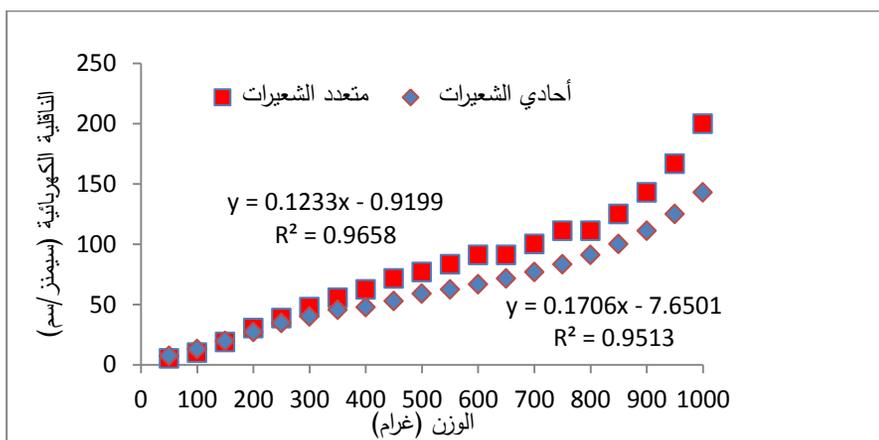
الشكل 8: تأثير نوع الغرزات على الناقلية الكهربائية لخيط ناقل متعدد الشعيرات

نلاحظ من الشكل 7 والشكل 8 أن غرزة الزيك-زاك تقدم ناقلية كهربائية أفضل من الغرزة المستقيمة وذلك بكون المعاوقة المميزة Z (المعادلة 2) للخيط الناقل المدخل على شكل زيك-زاك تكون أقل منها للخيط الناقل المدخل على شكل غرزة مستقيمة، وذلك بكون السعة المكافئة $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$ بين خيطين ناقلين متوازيين على شكل زيك-زاك تكون أكبر. غرزة الزيك-زاك مقسمة إلى مقاطع متوازية وبالتالي يوجد سعة كهربائية بين كل مقطعين متتاليين بينما في حال الغرزة المستقيمة تكون هناك سعة واحدة بين الخيوط الناقلية الأمر الذي يسبب قدرة غرزة الزيك-زاك على نقل الإشارة الكهربائية بشكل أكبر لأن المعاوقة المميزة تكون أقل حسب المعادلة (2). نلاحظ أيضا أن الغرزة المستقيمة تقدم إشارة كهربائية أكثر انتظاما (بالرغم من أنها أقل قيمة) من غرزة الزيك-زاك، وذلك كون معامل الارتباط بين الناقلية الكهربائية والضغط المطبق يكون أكبر في حالة الغرزة المستقيمة.

عند توحيد نوع الغرزة يتم مقارنة الناقلية الكهربائية للخيوط الناقلية لمعرفة أي الخيوط المستخدمة يعطي جودة أكبر في الإشارة الكهربائية المنقولة والمتمثلة باستجابة الحساس للأوزان المستخدمة كما موضح في الشكلين 9 و 10.



الشكل 9: الناقلية الكهربائية للخيوط الناقلية باستخدام الغرزة المستقيمة



الشكل 10: الناقلية الكهربائية للخيوط الناقلية باستخدام غرزة الزيك -زك

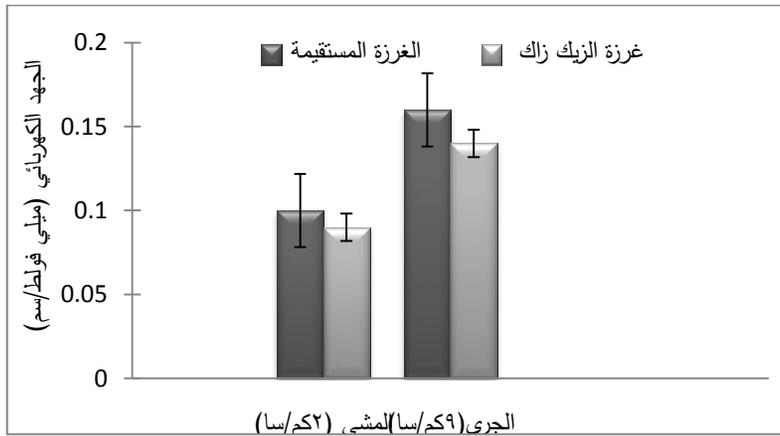
نلاحظ من الشكل 9 والشكل 10 أن الناقلية الكهربائية للخيوط المعدني الناقل متعدد الشعيرات أكبر منها بالنسبة للخيوط الناقل أحادي الشعيرة، بسبب القطر الكبير للخيوط المتعدد الشعيرات مقارنة بالخيوط أحادي الشعيرة وذلك وفقاً للمعادلة 1.

انطلاقاً من الأشكال 7، 8، 9، 10 نلاحظ أن هناك علاقة خطية بين استجابة حساس الضغط والحمل المطبق. كلما زاد الحمل كلما زادت الناقلية الكهربائية.

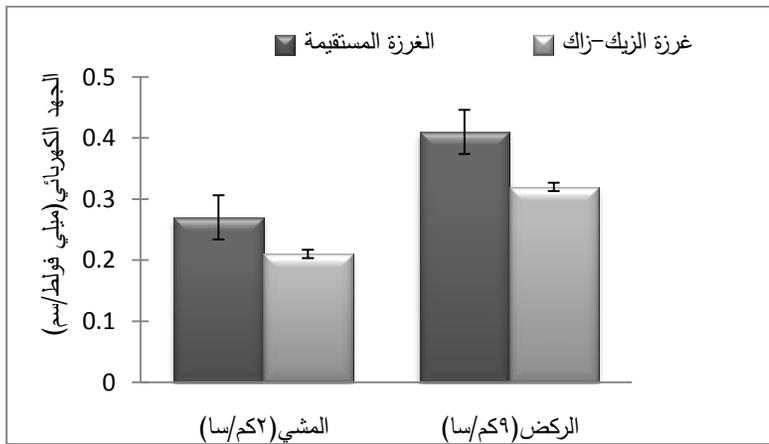
6-2- مقارنة الإشارة الكهربائية في حالة الحركة

تم مقارنة الجهد الكهربائي المتولد عن الدارة الكهربائية المنجزة في بنية القماش أثناء حركة مرتدي اللباس. تم أخذ قيمة الجهد الكهربائي المتولد في وحدة القياس من الطول المستهلك للخيط المعدني الناقل وفقا للغرزات المستخدمة.

تم تنفيذ التجربة 5 مرات وتم أخذ المتوسط الحسابي للجهد الكهربائي المقروء على البرنامج والمسجل خلال 10 ثوان من الحركة. الشكل 11 يوضح النتائج المتعلقة بالخيط المعدني الناقل أحادي الشعيرة، بينما الشكل 12 يوضح النتائج المتعلقة بالخيط الناقل متعدد الشعيرات.



الشكل 11: مقارنة بين الغرزات لخيط معدني ناقل أحادي الشعيرة في حالة الحركة



الشكل 12: مقارنة بين الغرزات لخيط معدني ناقل متعدد الشعيرات في حالة الحركة

يتضح من الشكلين 11 و 12 بأن إدخال الخيوط المعدنية الناقلة في بنية القماش على شكل زيك-زك يسبب توليد جهد كهربائي أقل ضمن الدارة الكهربائية، وذلك لأن الجهد الكلي للدارة يعطى من خلال قانون أوم والمعبر عنه بالمعادلة التالية:

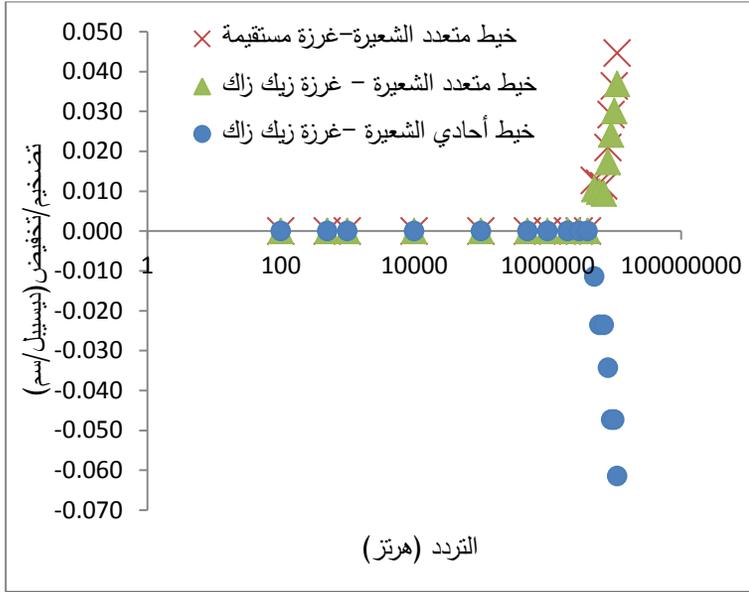
$$U = R.I + Z1.I + Z2.I \quad \text{المعادلة (4)}$$

حيث أن R تمثل المقاومة الكهربائية للحساس، I شدة التيار الكهربائي، Zi المعاوقة المميزة للخيوط الناقلة المستخدمة والمعبر عنها سابقا بالمعادلة (2).

نلاحظ من المعادلة (4) أن المعاوقة المميزة لها التأثير الأكبر على الجهد الكهربائي للدارة كون المقاومة الكهربائية للحساس واحدة في كلا الحالتين (وفقا للأوزان المستخدمة). كما رأينا سابقا بأن هذا البارامتر يكون أقل قيمة في حالة غرزة الزيك-زك وهو ما يفسر الجهد الكهربائي (إشارة الخرج) المنخفضة في حالة الحركة وبالتالي ناقلية كهربائية أعلى باعتبار الناقلية الكهربائية G تتناسب عكسا مع الجهد الكهربائي U . أيضا يتضح من الشكلين بأن الخيوط المعدنية متعددة الشعيرات تقدم إشارة كهربائية أفضل من الخيوط المعدنية أحادية الشعيرة.

6-3- الاستجابة بالعلاقة مع التردد

تم إجراء هذا الاختبار لمعرفة مدى تأثير عملية الغسيل على جودة نقل الإشارة. تم تسجيل تضخيم/تخفيض الإشارة الكهربائية لكل نوع من الغرزات والخيوط الناقلة باستثناء الخيط الناقل أحادي الشعيرة مع الغرزة المستقيمة حيث تكسر الخيط من أول عملية غسيل. تم اعتبار مقدار التضخيم أو التخفيض لكل واحدة قياس من الطول المستهلك للخيط الناقل. الشكل 13 يوضح تأثير الغرزات والخيوط على الإشارة بعد تنفيذ 5 عمليات غسيل.



الشكل 13: تضخيم وتخفيض شدة الإشارة بالعلاقة مع نوعية الخيوط الناقلية ونوعية الغرزات

نلاحظ من الشكل 13 أن الخيط المعدني الناقل متعدد الشعيرات يقوم بتضخيم شدة الإشارة المدخلة لكلا نوعي الغرزات. هذا التضخيم يبدأ اعتباراً من التردد 500000 هرتز وصولاً إلى أعلى قيمة عند تردد 11000000 هرتز. إن الخيط المعدني الناقل متعدد الشعيرات يقوم بتضخيم الإشارة بشكل أكبر مع الغرزة المستقيمة مع الترددات العالية، لكن بشكل عام يبقى مقدار التضخيم متقارب بين الغرزات على معظم مجال التردد المطبق. الخيط المعدني الناقل أحادي الشعيرة (مع غرزة الزيك-زاك) يقوم بتخفيض شدة الإشارة الكهربائية بعد عملية الغسيل.

7- الاستنتاجات والتوصيات

في هذا البحث تم إدخال حساس ضغط إلى لباس تي-شيرت، وتم تصميم الدارة اللازمة لقراءة استجابة هذا الحساس بواسطة نوعين من الخيوط المعدنية الناقلية (أحادية ومتعددة الشعيرة)، وباستخدام نوعين من الغرزات (المستقيمة وغرزة الزيك-زاك). نتيجة هذه الدراسة تبين بأنه يمكن استخدام الحساس بشكل مرن في اللباس الجاهز دون أن يسبب أي إعاقة أو إزعاج لحركة المرتدين، كما أن عملية الغسيل لا تؤثر على عمل الحساس. كنتيجة لمقارنة الإشارة الكهربائية للحساس نتيجة عملية الضغط تبين بأن الخيوط المعدنية الناقلية متعددة الشعيرات تقدم نقل أفضل للإشارة الكهربائية من الخيوط المعدنية أحادية

الشعيرة. عندما يتم توصيل الخيوط المعدنية على شكل غرزة زيك -زاك تكون الناقلية الكهربائية أفضل وذلك بسبب انخفاض المعاوقة المميزة للخيوط الناقلية في هذا النوع من الغرزات. تتضخم الإشارة الكهربائية بعد عملية الغسيل عند استخدام الخيوط المعدنية متعددة الشعيرات مع كلا نوعي الغرزات المستخدمة بينما يتم تخفيض شدة هذه الإشارة مع الخيوط المعدنية أحادية الشعيرة.

بما يخص التوصيات:

- استخدام أنواع أخرى من الخيوط المعدنية الناقلية مع الأخذ بعين الاعتبار تغليفها بمادة عازلة أو حمايتها بطبقة قماشية.
- استخدام أنواع أخرى متعددة من الغرزات سواء باستخدام آلة الخياطة أو آلة التطريز.
- دراسة تأثير طريقة إدخال الخيط الناقل في بنية القماش على خواصه الميكانيكية والكهربائية.
- إجراء المزيد من تجارب الغسيل باستخدام مجال ترددات أعلى.

-8 المراجع العلمية

- 1- TAO,X 2005- **Wearable electronics and photonics**. Woodhead Publishing, Cambridge, p157-161.
- 2- CHO, G 2010- **Smart Clothing: Technology and Applications**. CRC Press, Boca Raton/New York.
- 3- EICHINGER, G.F 2007 **Using a PCB layout tool to create embroidered circuits**, Eleventh IEEE International Symposium on Wearable Computers. 105–106.
- 4- CHERENACK, K 2012 **Smart textiles: challenges and opportunities**, J. Appl.Phys, 112 (9), 091301.
- 5- GHOSH, T.K 2006- **Formation of electrical circuits in textile structures**. Woodhead Publishing, Cambridge, p 239–282.
- 6- MATTILA,H. R 2006- **Intelligent textiles and clothing**. Woodhead Publishing, Cambridge,p240-257.
- 7- HORROCKS, A R 2000- **Handbook Of Technical Textiles**. Woodhead Publishing, Cambridge,p270-279.
- 8- **E-Textiles For Wearability**: Review Of Integration Technologies. Available on web:
<https://www.textileworld.com/textile>.
- 9- Cottet, d 2003 **Electrical Characterization of Textile Transmission Lines**, IEEE Transactions on Advanced Packaging, VOL. 26, NO. 2.
- 10- VASSILIADIS, S 2001-Advances in Modern Woven Fabrics Technology. InTech, Croatia, p 31-35.
- 11- Catalog available on: <http://www.bekaert.com>

- 12- Catalog available on:
<https://www.tekscan.com/resources/product/flexiforce-a401-datasheet>

