

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 18

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.
 - اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - اذا 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.
 - اذا 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
42-11	د. شكري المقداد د. علاء الدين سرحان م. عبد الهادي فوال	تصميم مرشح مشطي قابل للتوليف بعرض حزمة ترددية ثابت نسبياً باستخدام الحجر الطنانة المشطية
78- 43	سامر ماميش د. هاني ضرغام د. سمر اختيار	دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر <i>Rhopilema</i> <i>nomadica</i> و <i>Aequorea forskalea</i> في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية
102-79	م. سليمان الغنام أ.د. محمد الحسين د. فواز مفضي	دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في أزمنة الوصول واستخدام إشارات <i>PRS</i>
128-103	م. علي عبد الله د. ماجد حيبا د. رفيع جبرة	تطوير معيار ضمان جودة لمنتجات الطباعة الليزرية ثلاثية الأبعاد
166-129	د. م. حسام شاهين د. م. غسان حابك د. م. مضر صارم م. معلا إبراهيم	تطوير مشاريع تخطيط وإدارة أنظمة الطاقة الكهربائية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظامي المعلومات الجغرافية وتحديد المواقع العالمي

تصميم مرشح مشطي قابل للتوليف بعرض حزمة ترددية ثابت نسبياً باستخدام الحجر الطنانة المشطية

م. عبد الهادي فوال¹

د. علاء الدين سرحان³

د. شكري المقداد²

ملخص

قمننا بهذه المقالة بدراسة المرشح المشطي القابل للتوليف، حيث تم إجراء دراسة موسعة حول تصميم مرشح مشطي قابل للتوليف بعرض حزمة نسبي ثابت على مجال ترددي محدد ($BW=300$ MHz in X-band)، كما قمننا بدراسة الحجر الطنانة المشطية. تم في هذه العمل التطرق إلى إجرائية تركيب مرشح من نوع تشيبيشيف (chebyshev filter)، وكذلك استخدام مصفوفة الترابط في التصميم، كما تم توضيح الإجرائية المعتمدة للانتقال من القيم النظرية وكيفية التحقق الفيزيائي للمرشح المشطي القابل للتوليف، ولتحقيق هذا الغرض تمت الاستفادة من البرمجيات MATLAB و CST. وكانت النتائج جيدة وحصلنا على عرض حزمة ترددية ثابت نسبياً ($Percentage Bandwidth \approx 3.6\%$) مع تغيير التردد المركزي.

1. طالب ماجستير في قسم الاتصالات في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، بريد إلكتروني: abd.fawal@hiast.edu.sy

2. مدير بحوث في قسم الاتصالات في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، بريد إلكتروني: shokri.almekdad@hiast.edu.sy

3. باحث في قسم الاتصالات في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، بريد إلكتروني: alaa.sarhan@hiast.edu.sy

Design of Comb-line Tunable Filter with a relatively Constant frequency Bandwidth Using Cavity Comb-line Resonators

Abd ALhadi Fawal¹, Shokri Almekdad², Alaa Aldin Sarhan³
^{1,2,3}Higher Institute for Applied Sciences and Technology (HIAS),
Damascus, Syria.
Emails: ¹ abd.fawal@hiast.edu.sy
² shokri.almekdad@hiast.edu.sy
³ alaa.sarhan@hiast.edu.sy

Abstract

In this article, we studied the tunable comb-line filter, where an extensive study about designing tunable comb-line filter with a relatively constant frequency bandwidth in the frequency band (BW=300 MHz in X-Band) has been done. Also, a study about comb-line resonators has been done.

In this work, a synthesis procedure for a filter of Chebyshev type was conducted and also, the coupling matrix was used in the design. The adopted procedure for transforming theoretical values to physical ones to achieve a tunable comb-line real filter was explained. For this purpose, Both MATLAB and CST softwares were used. The results were good and we obtained a relatively constant frequency bandwidth (*Percentage Bandwidth* $\approx 3.6\%$) with a change of center frequency.

1- المقدمة:

تم تطوير تقنيات ضبط مختلفة لإنشاء مرشحات قابلة للتوليف، وأكثرها شيوعاً هي التوليف الميكانيكي [1] والمغناطيسي [2] و الإلكتروني [3]. تختلف تقنيات التوليف عن بعضها البعض من حيث عامل الجودة، والقدرة على معالجة الطاقة والخطية. إن المرشحات القابلة للتوليف ميكانيكياً لها تطبيقات محدودة نظراً لحجمها الضخم ووزنها الثقيل وسرعة توليفها المنخفضة، إلا أنه لاغنى عنها في تطبيقات النظم الراديوية والميكروية التي تتطلب بعض التطبيقات فيها استطاعة عالية وكذلك ضبط لمرة واحدة.

في هذا العمل تم التطرق لأحد هذه المرشحات وهو المرشح المشطي القابل للتوليف والذي يستخدم في بنيته الرنانات المترابطة. حيث تم تصميم هذا النوع انطلاقاً من مصفوفة الترابط المولدة عن طريق كثيرات الحدود وانطلاقاً منها يتم استخراج معاملات الترابط ومعاملات الجودة على الدخل والخرج لهذا المرشح وبعدها يتم التصميم استناداً على هذه المعاملات والحصول على المرشح النهائي.

2- هدف البحث:

إنَّ الهدف الأساسي من هذا البحث هو إيجاد إجرائية منهجية تنتقل من التصميم النظري للمرشح المراد تصميمه وفق مواصفات محددة وذلك استناداً إلى تركيب المرشح من كثيرات حدود واستخدام مصفوفة الترابط وإجراء دورانات على هذه المصفوفة لتصبح قابلة للتحقيق العملي ومن ثم استثمار النتائج النظرية لتحويلها إلى قيم فيزيائية وتحقيق المرشح بالمواصفات المرغوبة. بحيث يبقى عرض الحزمة الترددية ثابتاً نسبياً على مجال توليف ترددي مرغوب.

3- الدراسة النظرية:

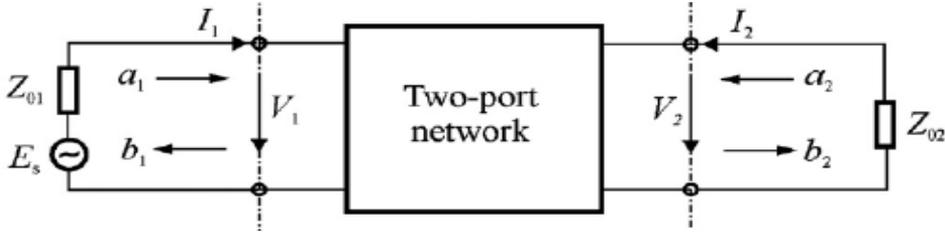
3-1- كثيرات الحدود لمعاملي العبور والانعكاس $S_{21}(s)$ و $S_{11}(s)$:

بالنسبة للغالبية العظمى تكون دارات الترشيح عبارة عن شبكة ذات بوابتين: بوابة المنبع على الدخل وبوابة الحمل على الخرج الموضحة بالشكل (1).

وبالتالي يمكن تمثيل مصفوفة التبعثر (S-parameter) بمصفوفة 2×2 الموضحة بالعلاقة (1):

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

حيث b_1 و b_2 الأمواج التي تنتشر بعيداً عن البوابتين 1 و 2 على الترتيب ، و a_1 و a_2 الأمواج الواردة إلى البوابتين 1 و 2 على الترتيب.



الشكل 1: شبكة ذات بوابتين.

إذا كانت الدارة غير فعالة (Passive) وعديمة الضياع وعكوسة فإن معادلتى حفظ الطاقة محققتان:

$$S_{11}(s)S_{11}(s)^* + S_{21}(s)S_{21}(s)^* = 1 \quad (2)$$

$$S_{22}(s)S_{22}(s)^* + S_{12}(s)S_{12}(s)^* = 1 \quad (3)$$

ومعادلة التعامد تعطي العلاقة التالية:

$$S_{11}(s)S_{12}(s)^* + S_{21}(s)S_{22}(s)^* = 0 \quad (4)$$

حيث عناصر مصفوفة التبعثر تابعة للتردد الزاوي $s = j\omega$.

يمكن أن نعبر عن ممانعة الدخل المقيسة للدائرة السابقة بالعلاقة التالية:

$$z(s) = \frac{n(s)}{d(s)} \quad (5)$$

حيث $n(s)$ و $d(s)$ هما كثيرا حدود و $z(s)$ هو تابع حقيقي موجب. وبالتالي يمكن

تعريف معامل الانعكاس $p(s)$ على الشكل التالي:

$$p(s) = \pm \frac{\text{reflected wave}}{\text{incident wave}} = \frac{z(s) - 1}{z(s) + 1} = \frac{n(s) - d(s)}{n(s) + d(s)} \quad (6)$$

$$= \frac{F(s)}{E(s)}$$

يتم تلخيص خصائص كثيرات الحدود $P(s)$ و $E(s)$ و $F(s)$ بالنسبة لمرشح النموذج

الأولي للتمرير المنخفض (lowpass prototype filter) على النحو التالي:

$F(s)$: هو كثير حدود ذو معاملات حقيقية، وتقع جذوره على طول المحور التخيلي كأزواج مترافقة. تمثل الجذور الترددات التي لا تنعكس فيها الاستطاعة، ويطلق عليها أصفار الانعكاس (reflection zeros). عند هذه الترددات يكون فقد المرشح صفراً، ويمكن أن يكون $F(s)$ كثير حدود فردي أو زوجي.

$p(s)$: هو كثير حدود زوجي وله معاملات حقيقية. تقع جذوره على المحور التخيلي في أزواج مترافقة. تمثل هذه الجذور ترددات لا تنتقل عندها الاستطاعة، ويكون فقد المرشح لانهائياً. غالباً ما يشار إلى هذه الترددات بأنها أصفار التمرير (Transmission zeros) أو TZ.

$E(s)$: هو كثير حدود تقع كل جذوره في النصف الأيسر من المستوى العقدي s . عند تركيب المرشح يتم تقييم كثيرات الحدود $F(s)$ و $P(s)$ بحيث تكون أكبر معاملاتهما مساوية للواحد. ويتم تحقيق ذلك عن طريق استخلاص أكبر معاملات كثيرات الحدود

وتمثيل نسبتها كعامل ثابت. وبالتالي يتم التعبير عن معامل الانعكاس $S_{11}(s)$ عند البوابة 1 بالعلاقة (7):

$$S_{11}(s) = \frac{F(s)/\varepsilon_R}{E(s)} \quad (7)$$

حيث $E(s)$: هو كثير الحدود من الدرجة N مع معاملات عقدية e_0, e_1, \dots, e_N حيث N هي درجة المرشح المراد دراسته. وأيضاً $F(s)$ هو كثير حدود من الدرجة N مع معاملات عقدية f_0, f_1, \dots, f_N و ε_R يسمح بتقييس أعلى معامل من معاملات كثيري الحدود $F(s)$ و $E(s)$ للواحد ($e_N = 1$ و $f_N = 1$).
وبتعويض العلاقة (7) في العلاقة (2) نحصل على العلاقة التالية:

$$S_{21}(s)S_{21}(s)^* = 1 - \frac{F(s)F(s)^*/\varepsilon_R^2}{E(s)E(s)^*} = \frac{P(s)P(s)^*/\varepsilon^2}{E(s)E(s)^*} \quad (8)$$

وبالتالي يمكن التعبير عن معامل العبور $S_{21}(s)$ كنسبة بين كثيري حدود:

$$S_{21}(s) = \frac{P(s)/\varepsilon}{E(s)} \quad (9)$$

حيث:

$$P(s)P(s)^*/\varepsilon^2 = E(s)E(s)^* - F(s)F(s)^*/\varepsilon_R^2$$

$$\varepsilon_R = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon^2 - 1}}$$

من المعادلتين (7) و (9) ، نجد أن كثيري الحدود $S_{21}(s)$. $S_{11}(s)$ يشتركان في مقام مشترك $E(s)$. حيث بسط $S_{21}(s)$ هو كثير الحدود $P(s)/\varepsilon$ أصفاره هي أصفار التمرير (TZs) للمرشح. وأيضاً تتوافق درجة كثير الحدود $P(s)$ مع عدد أصفار التمرير (n_{fz}) ، وبالتالي من أجل الدارة السلبية يجب أن يكون $n_{fz} < N$. [4,8]

3-2- تحقيق أصفار التمرير:

عندما تكون n_{fz} أقل من الدرجة N درجة كثير الحدود $E(s)$ و $\lim_{s \rightarrow \infty} (S_{21}(s)) = 0$ أي $0 < n_{fz} < N$ فإن أصفار التمرير عند اللانهاية هي $N - n_{fz}$.

بما أن الدارة عكوسة فإن $S_{21}(s) = S_{12}(s)$ وبالتعويض في المعادلات (2) و (3) و (4) نحصل على المعادلات التالية:

$$S_{11}(s)S_{11}(s)^* + S_{21}(s)S_{21}(s)^* = 1 \quad (10)$$

$$S_{22}(s)S_{22}(s)^* + S_{21}(s)S_{21}(s)^* = 1 \quad (11)$$

$$S_{11}(s)S_{21}(s)^* + S_{21}(s)S_{22}(s)^* = 0 \quad (12)$$

ويمكننا كتابة معامل العبور ومعامل الانعكاس في الإحداثيات القطبية على الشكل التالي $S_{21} = |S_{21}|e^{j\theta_{21}}$ & $S_{22} = |S_{22}|e^{j\theta_{22}}$ & $S_{11} = |S_{11}|e^{j\theta_{11}}$ ومن المعادلتين (10) و (11) نجد أن $|S_{22}| = |S_{11}|$ وبالتالي من المعادلة (10) نحصل على:

$$|S_{21}|^2 = 1 - |S_{11}|^2 \quad (13)$$

وبالتعويض في المعادلة (12) نحصل على:

$$|S_{11}|e^{j\theta_{11}} \cdot |S_{21}|e^{-j\theta_{21}} + |S_{21}|e^{j\theta_{21}} \cdot |S_{11}|e^{-j\theta_{22}} = 0$$

$$\Rightarrow |S_{11}| \cdot |S_{21}| (e^{j(\theta_{11}-\theta_{21})} + e^{j(\theta_{21}-\theta_{22})}) = 0 \quad (14)$$

هذه المعادلة تتحقق فقط في حالة:

$$e^{j(\theta_{11}-\theta_{21})} = -e^{j(\theta_{21}-\theta_{22})} \quad (15)$$

باستبدال إشارة السالب في المعادلة السابقة بالحد $e^{j(2k\pm 1)\pi}$ حيث k عدد صحيح.

وبالتعويض نحصل على المعادلة التالية:

$$e^{j(\theta_{11}-\theta_{21})} = e^{j((2k\pm 1)\pi + \theta_{21}-\theta_{22})} \quad (16)$$

$$\Rightarrow \theta_{21} - \frac{(\theta_{11} + \theta_{22})}{2} = \frac{\pi}{2} (2k \pm 1)$$

حيث $\theta_{11} \cdot \theta_{22} \cdot \theta_{21}$ صفحة $S_{11}(s), S_{22}(s), S_{21}(s)$ على الترتيب.

وبالتالي من العلاقة السابقة نجد أنه من أجل أي قيمة للتردد الزاوي s أن الفرق بين صفحة معامل العبور $S_{21}(s)$ ومتوسط الصفحة لمعالمي الانعكاس $S_{11}(s)$ و $S_{22}(s)$ يساوي عدد فردي من $\pi/2$ وبالتالي يوجد تعامد بين المعاملات. وبالتالي معاملات الحدود العليا من الدرجة N لكثيري الحدود $E(s), F(s)$ وذو الدرجة n_{fz} لكثير الحدود $P(s)$ تكون مقيسة إلى الواحد ومن شرط التعامد يجب أن يضرب كثير الحدود $P(s)$ بـ j عندما يكون الفرق $(N - n_{fz})$ زوجياً. وبعبارة أخرى يجب أن يكون الفرق $(N - n_{fz})$ فردي. وبالتالي عندما يكون الفرق $(N - n_{fz})$ زوجي فإنه يجب إضافة $\pi/2$ إلى $\theta_{21}(s)$ التي تكافئ ضرب $P(s)$ بـ j .

لذلك، يمكننا الآن حساب كثير الحدود $P(s)$ كخطوة أولى في تصميم المرشح. وجذور كثير الحدود $P(s)$ هي أصفار التمرير، والتي عددها $(N - n_{fz})$. من خلال تطبيق شرط التعامد على مصفوفة التبعر، نحصل على المعادلة (17) من أجل $(N - n_{fz})$ عدد فردي:

$$F(s)P(s)^* + P(s)F_{22}(s)^* = 0 \quad (17)$$

ومن أجل $(N - n_{fz})$ عدد زوجي:

$$F(s)[jP(s)]^* + [jP(s)]F_{22}(s)^* = 0$$

or

$$F(s)P(s)^* - P(s)F_{22}(s)^* = 0 \quad (18)$$

وبالتالي يمكن كتابة العلاقتين السابقتين من أجل $(N - n_{fz})$ زوجي أو فردي على الشكل التالي:

$$F(s)P(s)^* - (-1)^{(N-n_{fz})}P(s)F_{22}(s)^* = 0 \quad (19)$$

$$F_{22}(s) = (-1)^N F(s)^* \text{ حيث}$$

وبالتالي يمكن كتابة مصفوفة التبعر (S-parameter) على الشكل التالي:

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{E(s)} \begin{bmatrix} \frac{F(s)}{\varepsilon_R} & \frac{P(s)}{\varepsilon} \\ \frac{P(s)}{\varepsilon} & \frac{(-1)^{(n_{fz}+1)} P(s) F(s)^*}{\varepsilon_R} \end{bmatrix} \quad (20)$$

حيث الثابت ε و ε_R تستخدم لتقيس كثير الحدود $P(s), F(s)$. [5,7,18]

3-3- تصميم تركيب كثير الحدود $F(s)$:

بما أن جميع أصفار معامل الانعكاس لمرشح تشيبيشيف تقع على المحور الحقيقي للمستوي العقدي فإن صيغة الأقطاب المتناوبة (alternating poles) لدارة عديمة الضياع تكتب بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} S_{21}(w)S_{21}(w)^* &= \frac{P(w).P(w)^*}{\varepsilon^2 P(w).P(w)^*} \\ &= \frac{1}{\left[1 - j \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} k C_N(w)\right] \left[1 - j \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R} k C_N(w)^*\right]} \end{aligned} \quad (21)$$

حيث $k C_N(w) = \frac{F(w)}{P(w)}$ و k ثابت.

يُعرف $C_N(w)$ بتابع المرشح من الدرجة N ، وأقطابه وأصفاره هي جذور $P(s)$ و $F(s)$ على الترتيب. وله الصيغة التالية:

$$C_N(w) = \cosh \left[\sum_{n=1}^N \cosh^{-1}(x_n(w)) \right] \quad (22)$$

باستخدام المطابقة $\cos h(\theta) = \cos(j\theta)$ نحصل على مايلي:

$$C_N(w) = \cos \left[\sum_{n=1}^N \cos^{-1}(x_n(w)) \right] \quad (23)$$

حيث $x_n(w)$ تابع متغير بالنسبة للتردد. ويعرف بالشكل التالي:

$$x_n(w) = \frac{w - 1/w_n}{1 - w/w_n} \quad (24)$$

حيث w_n تردد صفر التمرير ذو الرقم n .

وبالتعويض في العلاقة (23) مع بعض العمليات الرياضية المفصلة في [8] نحصل على:

$$\begin{aligned} C_N(w) &= \frac{\prod_{n=1}^N \left[(w - 1/w_n) + \sqrt{1 - 1/w_n^2 w'} \right] + \prod_{n=1}^N \left[(w - 1/w_n) + \sqrt{1 - 1/w_n^2} \right]}{\prod_{n=1}^N [1 - w/w_n]} \quad (25) \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{\prod_{n=1}^N [c_n + d_n] + \prod_{n=1}^N [c_n - d_n]}{\prod_{n=1}^N [1 - w/w_n]} \right] \\ c_n &= \left(w - \frac{1}{w_n} \right) \quad \& \quad d_n = w' \sqrt{1 - \frac{1}{w_n^2}} \end{aligned}$$

بالمقارنة مع العلاقة (21)، من الواضح أن مقام $C_N(w)$ له نفس أصفار كثير الحدود $P(s)$ بسط معامل التمرير $S_{21}(s)$. من المعادلة (21) من الواضح أن بسط $C_N(w)$ له نفس الأصفار كثير الحدود $F(s)$ بسط معامل التمرير $S_{11}(s)$. نلاحظ من العلاقة (25):

من أجل $N = 1$:

$$\text{Num}[C_1(w)] = \frac{1}{2} \left[\prod_{n=1}^1 [c_n + d_n] + \prod_{n=1}^1 [c_n - d_n] \right] = c_1$$

من أجل $N = 2$:

$$\text{Num}[C_2(w)] = c_1 c_1 + d_1 d_2$$

من أجل $N = 3$:

$$\text{Num}[C_3(w)] = (c_1 c_2 + d_1 d_2) c_3 + (c_2 d_1 + c_1 d_2) d_3$$

وبالتالي يمكن أن نكتب:

$$\text{Num}[C_N(w)] = \frac{1}{2} [G_N(w) + G'_N(w)] \quad (26)$$

حيث:

$$\begin{aligned} G_N(w) &= \prod_{n=1}^N (c_n + d_n) \\ &= \prod_{n=1}^N \left[(w - 1/w_n) + \sqrt{1 - 1/w_n^2} w' \right] \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} G'_N(w) &= \prod_{n=1}^N (c_n - d_n) \\ &= \prod_{n=1}^N \left[(w - 1/w_n) - \sqrt{1 - 1/w_n^2} w' \right] \end{aligned} \quad (28)$$

طريقة حساب معاملات $\text{Num}[C_N(w)]$ هي طريقة تكرارية، أي من أجل الحصول على الحد من الدرجة n يجب أن يكون لدينا جميع الحدود من الحد الأول حتى الحد $n - 1$. ويمكن التعبير عن كثير الحدود $G_N(w)$ بالعلاقة التالية:

$$G_N(w) = U_N(w) + V_N(w) \quad (29)$$

حيث:

$$U_N(w) = u_0 + u_1 w + u_2 w^2 + \dots + u_n w^n \quad (30)$$

$$V_N(w) = v_0 + v_1 w + v_2 w^2 + \dots + v_n w^n \quad (31)$$

من أجل $N = 1$:

$$G_1(w) = [c_1 + d_1]$$

$$G_1(w) = \left(w - \frac{1}{w_n} \right) + w' \sqrt{1 - \frac{1}{w_n^2}}$$

$$G_1(w) = U_1(w) + V_1(w)$$

من أجل $N = 2$:

$$G_2(w) = G_1(w)[c_2 + d_2]$$

$$G_2(w) = [U_1(w) + V_1(w)] \left[\left(w - \frac{1}{w_n} \right) + w' \sqrt{1 - \frac{1}{w_n^2}} \right]$$

$$G_2(w) = U_2(w) + V_2(w)$$

حيث:

$$U_2(w) = wU_1(w) - \frac{U_1(w)}{w_2} + w' \sqrt{\left(1 - \frac{1}{w_2^2}\right)} V_1(w)$$

$$V_2(w) = wV_1(w) - \frac{V_1(w)}{w_2} + w' \sqrt{\left(1 - \frac{1}{w_2^2}\right)} U_1(w)$$

ونفس العملية تطبق على $G'_N(w)$ حيث $G'_N(w) = U'_N(w) + V'_N(w)$ ونجد أن

$$U'_N(w) = U_N(w) \text{ و } V'_N(w) = -V_N(w) \text{ وبالتالي نجد أن:}$$

$$\begin{aligned}
\text{num}[C_N(w)] &= \frac{1}{2} [G_N(w) + G'_N(w)] \\
&= \frac{1}{2} \left((U_N(w) + V_N(w)) + (U'_N(w) + V'_N(w)) \right) \\
&= U_N(w) \quad (32)
\end{aligned}$$

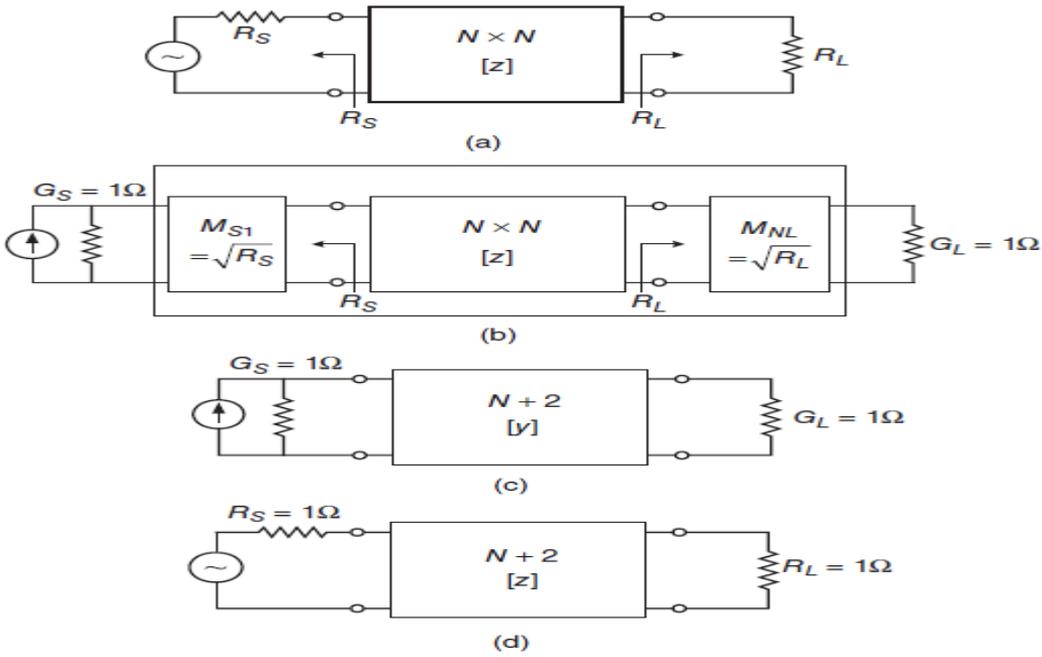
وهكذا يتم الحصول على أصفار $F(w)$ من خلال إيجاد جذور $[6,9].U_N(w)$

4- مصفوفة الترابط:

يمكن فصل مصفوفة الممانعة $[Z']_{N \times N}$ لدارة الرنين التسلسلية إلى قسم ممانعة حقيقية صرفة وآخر ممانعة تخيلية بحتة الموضحة في العلاقة (33):

$$[z'] = R + [sI + jM] = R + [z] \quad (33)$$

يوضح الشكل (a.2) مصفوفة الممانعة $[z]$ ، وهي دارة ممانعة تخيلية صرفة تعمل بين منبع الجهد ومقاومة داخلية للمنبع R_S ومقاومة الحمل R_L . [7,12,15,17]



الشكل (2): أشكال دارات الدخل والخرج لمصفوفات الترابط (a) دائرة الطنين التسلسلية تمثل مصفوفة الترابط للممانعة $N \times N$ بين مقاومتي الدخل والخرج (b) الدارة في (a) مع محولات ممانعة لتصبح قيمة الممانعات الطرفية واحدة. (c) المصفوفة $N+2$ (الطنانات التفرعية) و الناقلات المقيسة G_S و G_L . (d) مصفوفة الممانعة $N+2$ (مع طنانات تسلسلية) و المقاومات الطرفية المقيسة R_S و R_L وهي الشبكة المناظرة لـ (c).

بشكل عام تكون الطرفية عند المنبع والحمل غير مساوية للصفر ويمكن تقييسها لممانعة واحدة عن طريق إدخال ممانعة المحولات $M_{S1} = \sqrt{R_S}$ و $M_{NL} = \sqrt{R_L}$ على الترتيب عند منبع وحمل الدارة على الترتيب الموضحة في الشكل (2.b). في كلتا الحالتين الموضحتين في الشكلين السابقين، تكون الممانعة التي ترى من الدارة عند الدخل هي R_S وعند الخرج هي R_L .

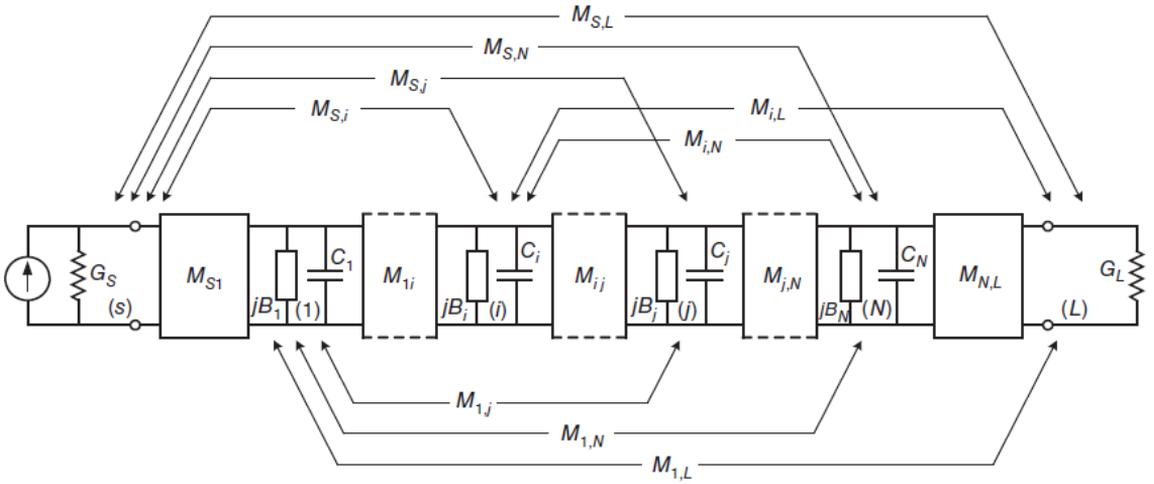
وبالتالي عند وضع المحولات على طرفي مصفوفة الممانعة $N \times N$ يكون لها الأثر التالي:

1. تصبح كل من ممانعة المنبع والحمل سماحية $G_L = 1 / R_S$ و $G_L = 1 / R_L$ على الترتيب، وأيضًا يتم تحويل منبع الجهد إلى منبع تيار $i_g = e_g / R_S$ الموضحة في الشكل (c.2).

2. يمكن استبدال المصفوفة $[z]$ المحاطة بالمحولين بدارة واحدة، والتي ستكون مصفوفة السماحية $[y]$. وبالتالي يمكن إضافة قيم المحولات على الدخل وعلى الخرج في المصفوفة $[y]$ من خلال إحاطة المصفوفة $N \times N$ بصف إضافي في الأعلى والأسفل وعمود إضافي على كل جانب، وبالتالي إنشاء المصفوفة $(N + 2) \times (N + 2)$. وبالتالي ستحتوي هذه الدارة على رنانات متسلسلة مع ممانعة منبع وحمل مقيستين R_S و R_L على الترتيب كما هو موضح بالشكل (d.2).

ويوضح الشكل (3) الدارة الممثلة لمصفوفة الترتيب $N \times N$ (تمثل الترابط

بين الرنانات) مع عناصر الربط على الدخل والخرج:



الشكل (3): الدارة الممثلة لمصفوفة الترابط $N \times N$ مع عناصر الربط على الدخل والخرج.

ويوضح الشكل (4) عناصر مصفوفة الترابط $(N + 2) \times (N + 2)$: [11,12]

	S	1	2	3	4	L
S	M_{SS}	M_{S1}	M_{S2}	M_{S3}	M_{S4}	M_{SL}
1	M_{S1}	M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{14}	M_{1L}
2	M_{S2}	M_{12}	M_{22}	M_{23}	M_{24}	M_{2L}
3	M_{S3}	M_{13}	M_{23}	M_{33}	M_{34}	M_{3L}
4	M_{S4}	M_{14}	M_{24}	M_{34}	M_{44}	M_{4L}
L	M_{SL}	M_{1L}	M_{2L}	M_{3L}	M_{4L}	M_{LL}

الشكل (4): عناصر مصفوفة الترابط $(N + 2) \times (N + 2)$.

5- دوران مصفوفة الترابط:

نجد مماسبق أن مصفوفة الترابط المحسوبة غير قابلة للتنفيذ العملي ولا بد من إجراء تحويلات لها لتكون قابلة للتنفيذ العملي ولتحقيق ذلك يتم ضرب مصفوفة الترابط $N + 2$ التي تم حسابها بمصفوفة الدوران $R_{N+2,N+2}$ كما هو موضح بالعلاقة (34):

$$M_1 = R_1 M_0 R_1^t \quad (34)$$

حيث M_0 المصفوفة الاصلية. و M_1 المصفوفة بعد الدوران و R_1 مصفوفة الدوران المعرفة في الشكل (5):

	1	2	3	4	5	6	7
1	1						
2		1					
3			c_r		$-s_r$		
4				1			
5			s_r		c_r		
6						1	
7							1

$c_r \equiv \cos \theta_r$ $s_r \equiv \sin \theta_r$

الشكل (5): مصفوفة الدوران R_1 .

وبالتالي من أجل المحور ($Pivot$) $[i, j]$ لمصفوفة الدوران R_r حيث $i \neq j$ تعني أن العناصر $R_{ii} = R_{jj} = \cos \theta_r$ و $R_{ij} = -R_{ji} = \sin \theta$ من أجل $(i, j \neq 1 \text{ or } N)$ و θ_r زاوية الدوران.

فمثلاً من أجل مصفوفة ترابط أبعادها 7×7 وبالتالي يجب إرجاعها إلى الشكل (6):

	1	2	3	4	5	6	7
1	s	m	④	③	②	①	xa
2	.	s	m	⑨	⑧	xa	xs
3	.	.	s	m	xa	xs	⑤
4	.	.	.	s	m	⑩	⑥
5	s	m	⑦
6	s	m
7	s

الشكل (6): يوضح مصفوفة الترابط بعد الدوران.

حيث s الترابط الذاتي و m الترابط على الخط الرئيسي و x_a الترابط المتقاطع غير المتناظر (*Asymmetric cross-coupling*) و x_c الترابط المتقاطع المتناظر (*Symmetric cross-coupling*). العناصر (.) تكون قيمها مساوية للقيم فوق القطر الرئيسي بسبب تناظر المصفوفة. أما العناصر المرقمة هي العناصر التي يجب تصفيرها في مصفوفة الترابط المحسوبة كما هو موضح في الشكل السابق نجد أن عدد الدورانات يساوي 10 أي يجب تصفير 10 عناصر من مصفوفة الترابط وتتم عملية الدوران لسطر أولاً ثم عمود وهكذا.

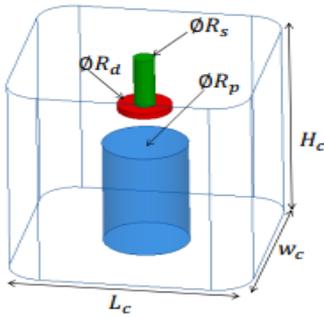
وقد تم برمجة هذه الخوارزمية باستخدام برنامج الماتلاب حيث أصبح بإمكاننا إجراء الدوران لأي مصفوفة ترابط [13].

6- أساسيات التصميم:

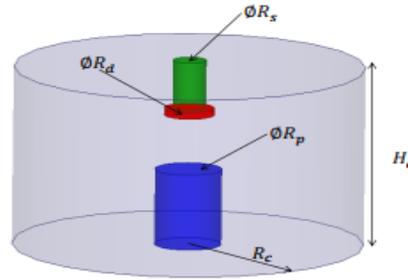
من أجل تصميم مرشح قابل للتوليف بعرض حزمة ثابت باستخدام الحجر الطنانية المشطية يجب مراعاة الخطوات التالية:

✓ تصميم طنانة قابلة للتوليف:

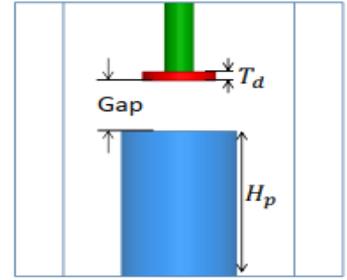
يمكن أن تحتوي حجر الطنانات المشطية على أشكال هندسية مختلفة كما في الشكل (7) نبين اثنين من الأشكال الهندسية الأكثر شيوعاً، وهما حجرتي طنين إحداها مكعبة و الأخرى إسطوانية:



(a) Cubical cavity



(b) Cylindrical cavity



(c) Two dimensional view

الشكل (7): أشكال حجر الطنين.

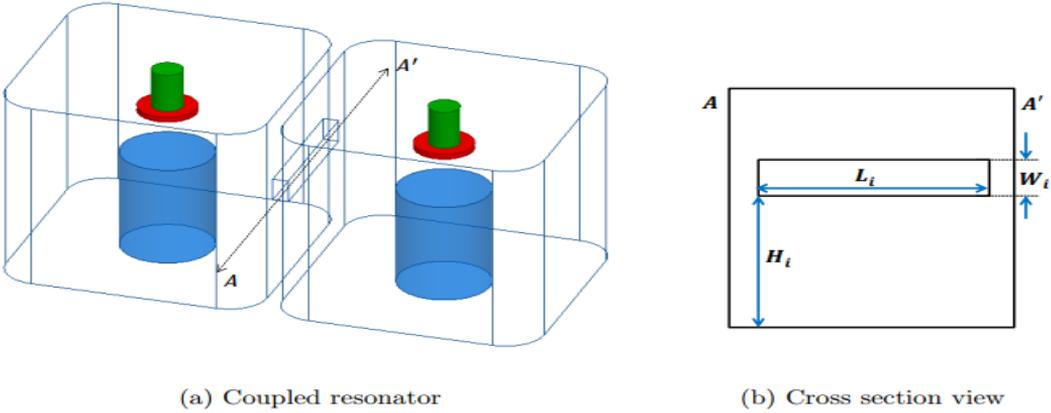
حيث يتم ضبط تردد الرنين عن طريق ضبط الفجوة بين الرنانة (القضيب) والبرغي.

✓ تصميم الترابط بين الرنانتين:

يمكن أن يكون الترابط بين الطنانات المختلفة تحريضياً أو سعويّاً. في حجر المرشحات المشطية، عادة يتم تحقيق الترابط التحريضي (inductive coupling) باستخدام فتحة بين الحجرتين بينما يتحقق الترابط السعوي عادةً باستخدام مسبار (probe). من أجل تحقيق قيمة ترابط محددة بين الطنانات، لذلك يجب تصميم هندسي للفتحة وللمسبار بشكل صحيح.

في حجر المرشحات المشطية ذات عرض الحزمة الترددي الثابت القابل للتوليف، يتم ضبط التردد المركزي عن طريق ضبط حجم الفجوة بين البرغي والرنانة. ويؤدي تغيير

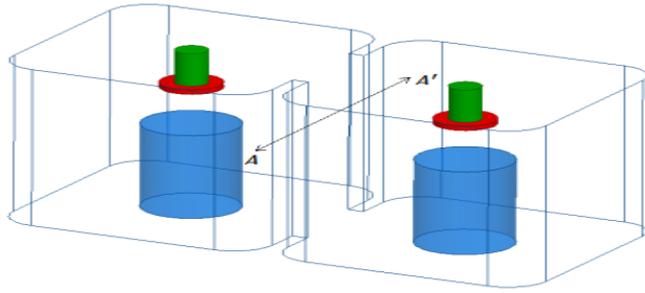
حجم الفجوة عموماً إلى تغيير توزيع المجال الكهربائي والمغناطيسي داخل التجويف، وبالتالي يتم تغيير قيم ترابط الطنانة. لذلك يمكن تحقيق ترابط تحريضي شبه ثابت باستخدام فتحة أفقية بين الحجرتين. حيث أن قيمة الترابط المقيسة المطلوبة لا تعتمد فقط على أبعاد الفتحة ولكن أيضاً على موضعها. ويوضح الشكل (8) هيكل الرنانتين المترابطتين مع الفتحة الأفقية:



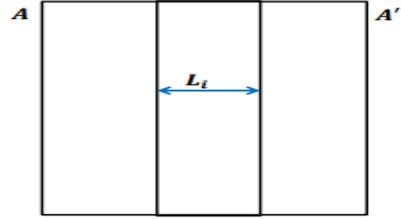
الشكل (8): هيكل الرنانتين المترابطتين مع أبعاد الفتحة الأفقية.

وبالتالي تعتمد قيمة الترابط بين الرنانتين على ثلاث معاملات، وهي ارتفاع الفتحة (H_i) وعرض الفتحة (W_i) وطول الفتحة (L_i).

لا يمكن للفتحة الأفقية توفير قيم ترابط عالية في مرشح قابل للتوليف بمجال ترددي عريض. لذلك يكون الربط بين الحجرتين باستخدام فتحة طولية كما هو موضح بالشكل (9).



(a) Coupled resonator

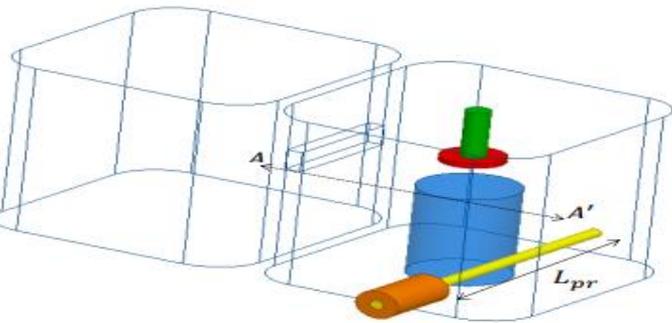


(b) Cross section view

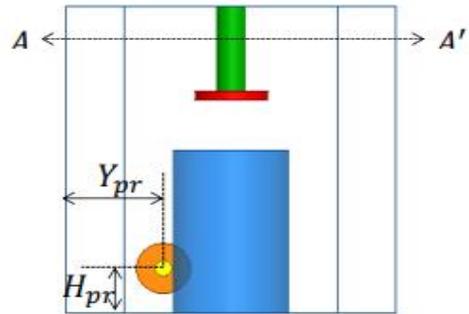
الشكل (9): هيكل الرنانتين المترابطتين مع أبعاد الفتحة الطولية.

✓ تصميم الترابط على الدخل والخرج:

لتصميم مرشح قابل للتوليف بعرض حزمة ترددي ثابت، يجب أن تظل الممانعة المقاسة (R) ثابتة عبر مجال التوليف. و يمكن تحقيق ذلك إذا تم استخدام مسار طويل لتحقيق ترابط على الدخل والخرج. يوضح الشكل (10) الترابط على الدخل والخرج باستخدام المسبار.



(a) First resonator loaded with input probe



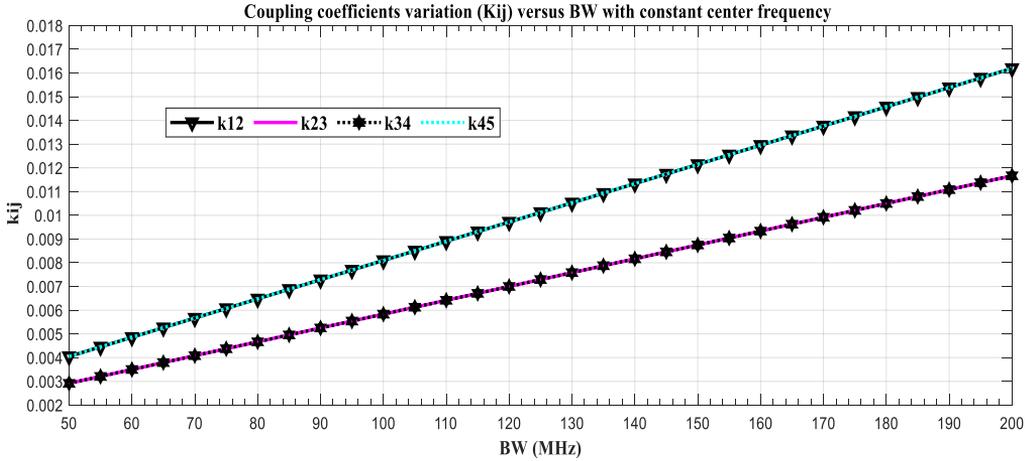
(b) Cross section view

الشكل (10): الترابط على الدخل والخرج باستخدام المسبار.

تعتمد قيمة الترابط على الدخل والخرج على ثلاث معاملات وهي طول المسبار (L_{pr}) ، وارتفاع المسبار (H_{pr}) ، ومسافة المسبار إلى جدار الحجرة الجانبي (Y_{pr}) [14].

7- دراسة تأثير تغيرات المجال الترددي على عناصر مصفوفة الترابط ومعاملي الجودة على الدخل والخرج:

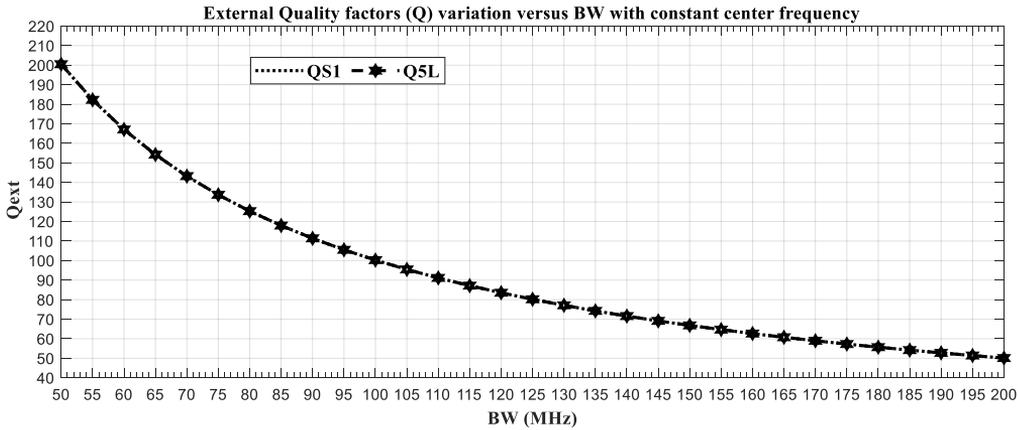
قمنا بدراسة تأثير تغييرات المجال الترددي مع ثبات التردد المركزي على عناصر مصفوفة الترابط ومعاملي الجودة على الدخل والخرج للمرشح المرغوب، فمن أجل معاملات الربط باختيار المعاملات $k_{12}, k_{23}, k_{34}, k_{45}$. تم تغيير عرض حزمة المرشح $BW \in [50, 200] MHz$ مع ثبات التردد المركزي. والنتائج موضحة بالشكل (11):



الشكل (11): تغيرات عناصر مصفوفة الترابط بتغيير المجال الترددي مع ثبات التردد المركزي.

بسبب تناظر المرشح يكون معاملا الترابط k_{12}, k_{45} منطبقين ويكون معاملا الترابط k_{45}, k_{23} منطبقين نلاحظ أنه بزيادة المجال الترددي تزداد قيمة معاملات الترابط.

ومن أجل عامل الجودة الخارجي على الدخل والخرج بنفس الشروط السابقة ينتج لدينا الشكل (12).

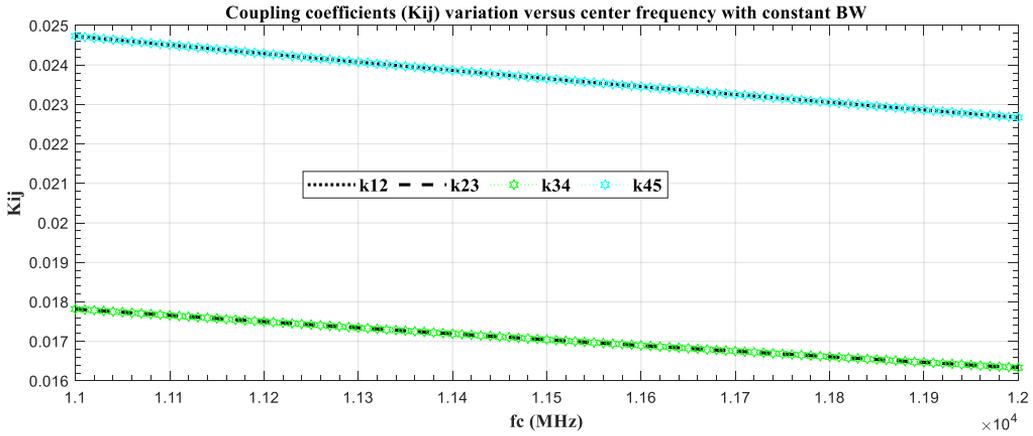


الشكل (12): تغيرات عامل الجودة الخارجي على الدخل والخرج بتغيير المجال الترددي مع ثبات التردد المركزي.

بسبب تناظر المرشح يكون عامل الجودة الخارجي للدخل والخارج منطبقان ونلاحظ أنه بزيادة المجال الترددي تتناقص قيمة عامل الجودة الخارجي للدخل والخارج.

8- دراسة تأثير تغيرات التردد المركزي على عناصر مصفوفة الترابط ومعاملتي الجودة على الدخل والخرج:

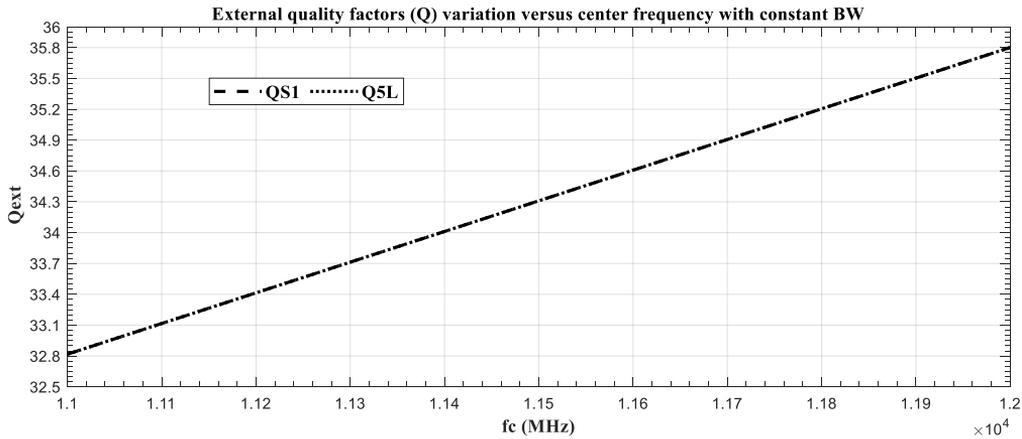
قمنا بدراسة تأثير تغيرات التردد المركزي مع ثبات المجال الترددي على عناصر مصفوفة الترابط ومعاملتي الجودة على الدخل والخرج فمن أجل معاملات الربط كما هو موضح بالشكل (13) قمنا باختيار المعاملات $k_{12}, k_{23}, k_{34}, k_{45}$. تم تغيير التردد المركزي $f_c \in [11, 12] GHz$ مع ثبات عرض الحزمة الترددية للمرشح. والنتائج موضحة بالشكل (14).



الشكل (13): تغيرات عناصر مصفوفة الترابط بتغيير التردد المركزي مع ثبات المجال الترددي.

بسبب تناظر المرشح يكون معامل الترابط k_{12}, k_{45} منطبقين ويكون معامل الترابط k_{45}, k_{23} منطبقين نلاحظ أنه بزيادة التردد المركزي تتناقص قيمة معاملات الترابط بشكل خطي.

ومن أجل عامل الجودة الخارجي على الدخل والخرج وبنفس الشروط السابقة ينتج لدينا الشكل (14).



الشكل (14): تغيرات عامل الجودة الخارجي على الدخل والخرج بتغيير التردد المركزي مع ثبات المجال الترددي.

بسبب تناظر المرشح يكون عامل الجودة الخارجي للدخل والخارج منطبقين ونلاحظ أنه بزيادة المجال الترددي تزداد قيمة عامل الجودة الخارجي للدخل والخرج.

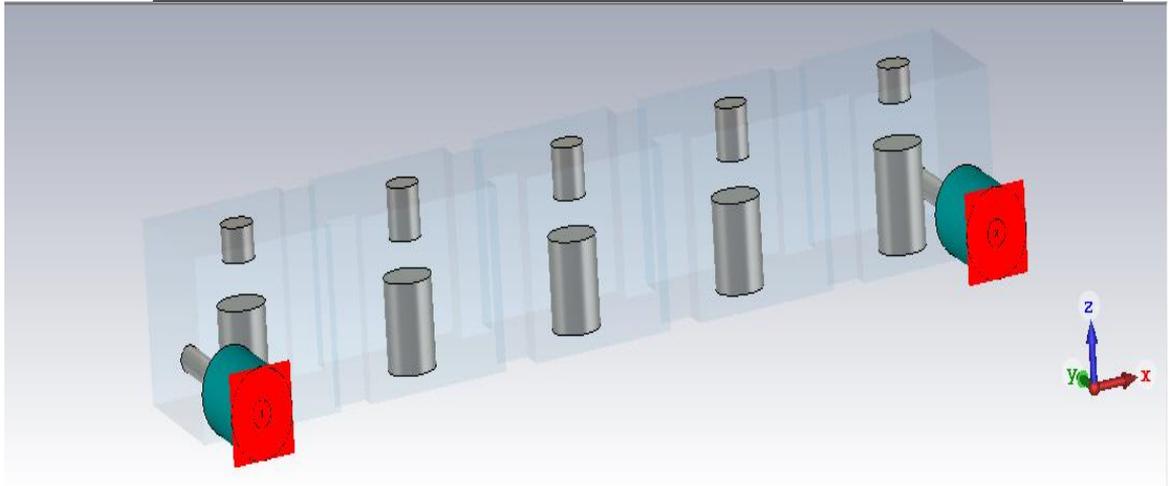
9- النتائج والمناقشة:

قمنا في هذه الفقرة بتصميم مرشح تمرير حزمة في المجال X – Band من أجل رتبة مرشح $N = 5$ وفق المواصفات التالية:

الجدول (1): معاملات التصميم للمرشح في المجال X-Band من أجل $N = 5$.

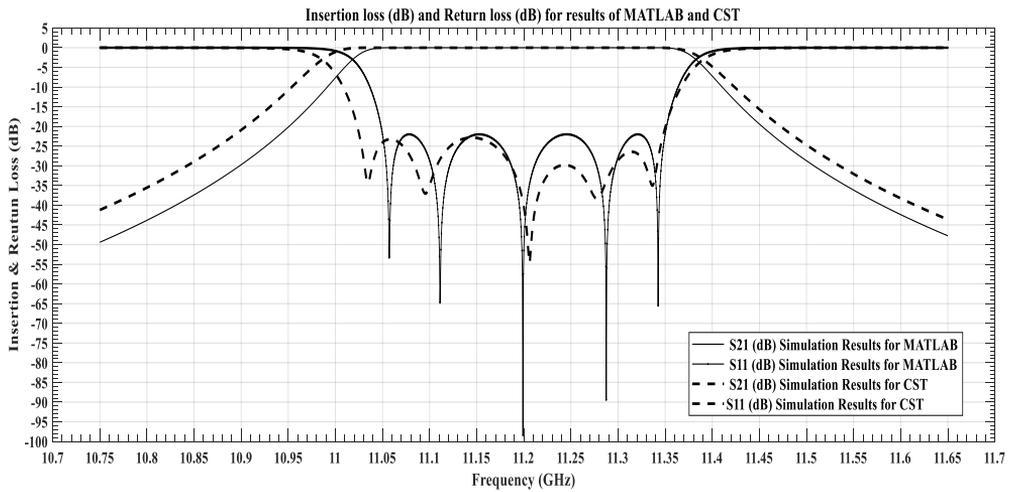
Lower cutoff frequency f_L	11050 MHz
Upper cutoff frequency f_H	11350 MHz
Return Loss	22 dB
Order Filter	5

ثم قمنا بإدخال هذه المعاملات إلى البرنامج المصمم على الماتلاب للحصول على مصفوفة الترابط قبل الدوران وبعد الدوران. وأيضاً حساب معاملات الربط الفيزيائية ومعامل الربط على الدخل والخرج كما هو موضح بالشكل (15):



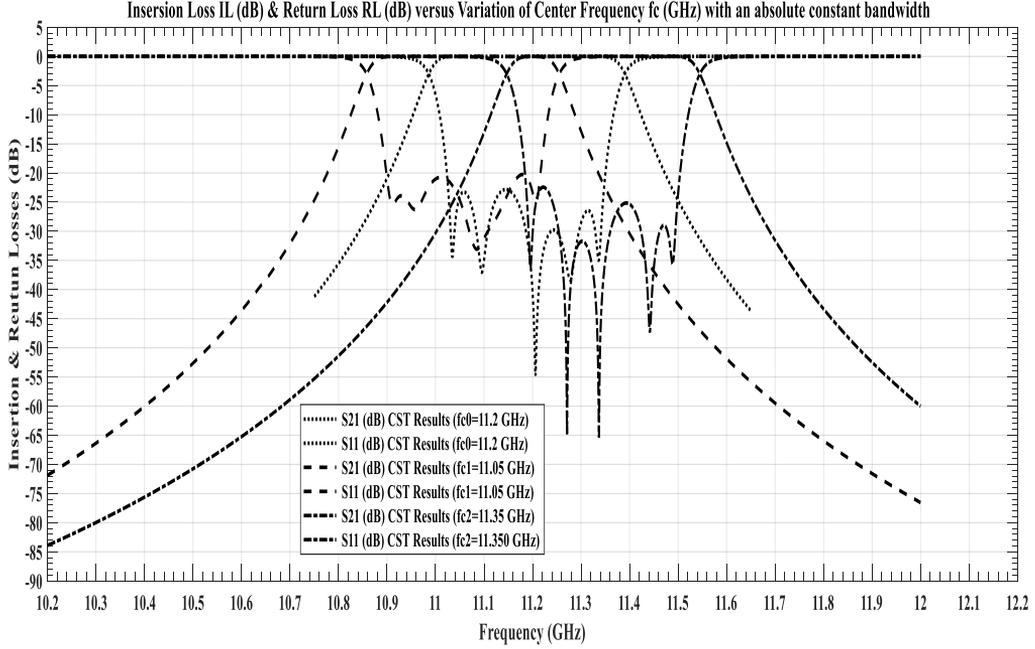
الشكل (16): المرشح المصمم في المجال X-band من أجل $N=5$.

حيث حصلنا على النتائج الموضحة بالشكل (17):



الشكل (17): استجابة المرشح X-band من أجل $N=5$ باستخدام برنامج CST ومقارنته مع المرشح المصمم باستخدام برنامج MATLAB.

تظهر النتائج مدى التطابق الجيد بين برنامجي الماتلاب والـ CST ونأتي الآن إلى إجراء توليف للمرشح باستخدام برنامج CST وذلك بتغيير فقط براغي المعايرة لنحصل على النتيجة الموضحة في الشكل (18).



الشكل (18): استجابة المرشح بتغيير التردد المركزي باستخدام برنامج CST بتغيير فقط براغي المعايرة (أي الفجوات الهوائية بين براغي المعايرة والرنانات).

من الشكل (18) يتبين أن قيمة النسبة المئوية لتغيير عرض الحزمة (Percentage Bandwidth) وذلك وفق المعيار $3 - dB Bandwidth$ موضحة في الجدول (2):

الجدول (2): يوضح قيم النسبة المئوية لتغيير عرض الحزمة بتغيير التردد المركزي وفق

المعيار $3 - dB$ Bandwidth

$f_{c0} = 11.2 \text{ GHz}$	$BW_0 = \frac{0.40547}{11.2} * 100 \% \approx 3.6 \%$
$f_{c1} = 11.05 \text{ GHz}$	$BW_1 = \frac{0.39729}{11.05} * 100 \% \approx 3.6 \%$
$f_{c2} = 11.35 \text{ GHz}$	$BW_2 = \frac{0.39781}{11.35} * 100 \% \approx 3.5 \%$

من هذه النتائج يتبين أنه على مجال توليف حوالي 300 MHz لا يكاد يتغير عرض الحزمة الترددي النسبي مع إرجاع فقد يبقى أقل من القيمة $-20 \text{ dB} < RL$ من أجل الترددات المركزية الثلاثة وبالتالي يكون التصميم جيد.

10- الخلاصة:

تم في هذا البحث دراسة إجرائية تركيب مرشح تشيبيشيف، وبناءً عليها تم تصميم الواجهة الضرورية باستخدام برنامج MATLAB والتي سهلت بشكل كبير العمل، وبوساطتها تمت دراسة أثر تغيرات التردد المركزي و عرض الحزمة الترددية على معاملات الترابط وكذلك معامل الجودة الخارجي على كل من الدخل والخرج للمرشح. كما تم التطرق إلى مصفوفة الترابط وكيفية الاستفادة منها في التصميم، وذلك لما تتمتع به من مرونة عالية في تركيب المرشح، ومن خلالها تم حساب كل المعاملات الضرورية في تركيب المرشح من حيث معاملات الترابط وكذلك الجودة. ثم تم العمل على تصميم مرشح بمواصفات محددة واختبار جودة التصميم النظري باستخدام برنامج MATLAB ودراسة مختلف الآثار اللازم دراستها وتأثيرها على مواصفة المرشح والتي كانت دليلاً ضرورياً أثناء نقل المرشح من الحيز النظري إلى الحيز العملي الفيزيائي التطبيقي ولتحقيق ذلك تم استخدام برنامج CST لهذا الغرض. بعدها تم توليف المرشح على مجال ترددي $BW=300 \text{ MHz}$ في الحزمة الترددية X-Band وتم الحصول على تغيرات في عرض الحزمة الترددية النسبي أقل من 3.6% وهذا يعتبر نجاحاً كبيراً .

المراجع :References

- [1] Iskander, M. "RF tunable resonators and filters". M.Sc. thesis. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2014.
- [2] J. Krupka, A. Abramowicz, and K. Derzakowski, "Magnetically tunable filters for cellular communication terminals," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 54, no. 6, pp. 2329–2335, 2006.
- [3] Fouladi, Siamak, et al. "High-Q and narrowband tunable combine bandpass filters using MEMS capacitor banks and piezomotors." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* 61.1 (2012): 393-402.
- [4] Atia, A.E. and Williams, A.E., "New types of bandpass filters for satellite transponders.", *COMSAT Technical Review*, 1, 21–43, (1971).
- [5] Atia, A.E. and Williams, A.E., "Narrow-bandpass waveguide filters.", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-20*, 258–265, (2015).
- [6] Atia, A.E. and Williams, A.E., "Nonminimum-phase optimum-amplitude bandpass waveguide filters.", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-22*, 425–431, (2017).
- [7] Atia, A.E., Williams, A.E., and Newcomb, R.W., "Narrow-band multiple-coupled cavity synthesis.", *IEEE Transactions on Circuits and Systems, CAS-21*, 649–655, (2005).
- [8] Kurokawa, Kaneyuki. "Power waves and the scattering matrix." *IEEE transactions on microwave theory and techniques* 13.2 (1965): 194-202.
- [9] Ge, C., Zhu, X.-W., Jiang, X., and Xu, X.-J. (2016) A general synthesis approach of coupling matrix with arbitrary reference impedances. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 25 (6), 349–351.
- [10] Frickey, D.A. (1994) Conversions between S, Z, Y, H, ABCD, and T parameters which are valid for complex source and load impedances. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 42 (2), 205–211.
- [11] Bell, H. Clark. "The coupling matrix in low-pass prototype filters." *IEEE Microwave Magazine* 8.2 (2007): 70-76.

-
- [12] Cameron, Richard J., Chandra M. Kudsia, and Raafat R. Mansour. Microwave filters for communication systems: fundamentals, design, and applications. John Wiley & Sons, 2018.
- [13] Matthaei, George Lawrence, Leo Young, and Edward McClung Thompson Jones. Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures. Artech house, 1980.
- [14] Nasresfahani, Mitra. Design and Fabrication of Centre Frequency and Bandwidth Tunable Cavity Filters. MS thesis. University of Waterloo, 2014.
- [15] Cameron, Richard J. "Advanced coupling matrix synthesis techniques for microwave filters." IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 51.1 (2003): 1-10.
- [16] Bell, H. Clark. "The coupling matrix in low-pass prototype filters." IEEE Microwave Magazine 8.2 (2007): 70-76.
- [17] Hunter, Ian. Theory and design of microwave filters. No. 48. Iet, 2001.

دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من

قناديل البحر *Aequorea forskalea* و *Rhopilema nomadica*

forskalea في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية

سامر ماميش¹ و د. هاني ضرغام² و د. سمر اختيار²

ملخص البحث

تناولت الدراسة تعيين تركيز نزر العناصر الثقيلة (الكاديوم والرصاص والنحاس والزنك)، في نوعين من قناديل البحر، هما: النوع *Rhopilema nomadica* من الميذوزات الفنجانية، والنوع *Aequorea forskalea* من الميذوزات الهيدرية، وذلك خلال مدة الدراسة والتي امتدت بين شهر آذار 2017 وشهر كانون الأول 2018، في منطقتين تختلفان بمصادر التلوث، وتقعان جنوب وشمال ساحل مدينة اللاذقية.

بينت الدراسة وجود اختلاف معنوي في تركيز نزر العناصر الثقيلة المدروسة وذلك باختلاف نوع قناديل البحر، ودرجة تعقيد بنيته، بالإضافة إلى الاختلافات المكانية لمواقع جمع العينات. بينت النتائج أن جميع قناديل البحر قد راکمت نزر العناصر الثقيلة مرات عدة عن تركيزها في ماء البحر. كما أوضحت الدراسة أن النوع *R. nomadica* قد ركز نزر العناصر الثقيلة المدروسة كافة من ماء البحر بدرجة أعلى من النوع *A. forskalea*. يمكن أن يكون النوع *R. nomadica* مؤشراً حيويًا لمراكمة نزر العناصر الثقيلة في البيئة البحرية السورية.

الكلمات المفتاحية: نزر العناصر الثقيلة، قناديل البحر، الكاديوم Cd، الرصاص Pb، النحاس Cu، الزنك Zn، الساحل السوري.

¹ - طالب دكتوراه - قسم البيولوجيا البحرية - المعهد العالي للبحوث البحرية - جامعة تشرين اللاذقية - سورية.

² - أستاذ مساعد - قسم البيولوجيا البحرية - المعهد العالي للبحوث البحرية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Study of accumulation of some Trace elements in two jellyfish species *Rhopilema nomadica* and *Aequorea forskalea* of Lattakia coastal water

Samer Mamish¹ Dr. Hani Durgham² Dr. Samar Ikhtiyar²

Abstract:

The study had detected the concentration of trace elements (cadmium, lead, copper, and zinc) in two jellyfish species: *Rhopilema nomadica* (Scyphomedusae species), and *Aequorea forskalea* (Hydromedusae species), during the study period, which extended between March 2017 and December 2018. In two sampling sites located: south and north of the Lattakia coastal water, which differ in the sources of pollution.

The study showed that there was a difference in the concentration of the studied trace elements, according to a jellyfish species, the complexity of its structural, in addition to the spatial differences of the sampling sites. The results showed that all jellyfish had accumulated trace elements several times more than their concentration in seawater. The study also showed that the *R. nomadica* species had concentrated trace elements from seawater with a higher degree than the *A. forskalea* species. The *R. nomadica* species can be a bioindicator of trace elements accumulation in the Syrian marine environment.

Keywords: Trace elements, jellyfish, Cadmium, Cd, Lead, Pb, Copper, Cu, Zinc, Zn, Syrian coast.

¹ Ph. D. Student - Marine Biology Department – High Institute of Marine Research – Tishreen University - Lattakia- Syria.

² Associated Professor - marine Biology Department – High Institute of Marine Research – Tishreen University - Lattakia- Syria.

مقدمة

أدت النشاطات البشرية المتزايدة، والتطور العلمي والتكنولوجي المتسارع، والممارسات الخاطئة في التعامل مع البيئة، إلى تراكم الملوثات المختلفة بكميات كبيرة، وبالتالي حدوث خلل في اتزان النظام البيئي الطبيعي، وخاصة في البحار والمحيطات [1, 2]. ركزت معظم الدراسات الحديثة على مراقبة نزر العناصر الثقيلة في البيئة كونها تعد واحدة من الملوثات البيئية شديدة الخطورة، وذلك بسبب تعددها، وتنوع مصادر انبعاثاتها، وثباتها الكبير، وسمية بعضها في الكائنات الحية، حتى وإن وجدت في الوسط بتركيز منخفضة، بالإضافة إلى تراكمها في أجسام الأحياء البحرية أكثر بعدة أضعاف عن تركيزها في ماء البحر [3, 4].

تلعب قناديل البحر دوراً هاماً في سلسلة الغذاء البحري، حيث تتغذى على العوالق الحيوانية، وبيوض ويرقات الأسماك، وكذلك الأسماك الصغيرة، في حين تعد غذاءً لسلاحف البحر، وبعض الأسماك [5, 6]. أدت التغيرات المناخية، والتدهور البيئي في البحار والمحيطات إلى ازدياد أعداد قناديل البحر بشكل كبير، وخاصة في البحر المتوسط، وبانتت تسبب عدداً من المشاكل البيئية والاقتصادية [7, 8, 9].

أوضحت الدراسات الحديثة، قدرة قناديل البحر على تركيز العناصر المعدنية بشكل كبير، والتي يمكن أن تعكس التراكيز النسبية في مياه البحر المحيطة بها، كما تلعب دوراً هاماً في انتقال وإعادة تدوير هذه الملوثات في البيئة البحرية وذلك لخواصها المتمثلة بالانتشار الواسع، وموقعها الغذائي، وكتلتها الحيوية الكبيرة، وسلوكها الهائم، وتسامحها مع الملوثات والظروف البيئية القاسية، وبالتالي احتمالية استعمالها كمؤشرات حيوية للتلوث في برامج مراقبة وتقييم صحة النظام البيئي البحري [10, 11, 12, 13].

هدف البحث:

1. تحديد تركيز بعض نزر العناصر الثقيلة (الرصاص والكاديوم والنحاس والزنك)، في نوعين من قناديل البحر الأكثر انتشاراً في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية.
2. التحري عن إمكانية استعمال قناديل البحر كمؤشرات حيوية للتلوث بنزر العناصر الثقيلة في الساحل السوري.

مواد وطرق البحث

مناطق الدراسة

جرت الدراسة في منطقتين تقعان جنوب وشمال ساحل مدينة اللاذقية ويبعدان عن بعضهما حوالي 12 كم (الشكل 1).

المنطقة (A): تقع جنوب مدينة اللاذقية، وتمتد بين مصب نهر الكبير الشمالي، والكورنيش الجنوبي. تتأثر هذه المنطقة بعدد من مصادر التلوث، أهمها ما يحمله ماء النهر من ملوثات صناعية وزراعية، وكذلك مياه الصرف الصحي شمال المصب، بالإضافة إلى المنشآت السياحية في منطقة الكورنيش الجنوبي التي تلقي بنفاياتها السائلة والصلبة. يتراوح عمق المنطقة المدروسة بين 7 و 25 م. جرت المراقبة في 3 مسارات: المسار الأول ويمتد بين الموقعين A1 وA2، ويمتد المسار الثاني بين A2 وA3، في حين يمتد المسار الثالث بين A3 وA1.

المنطقة (B): تقع على بعد حوالي 10 كم شمال مدينة اللاذقية، وتمتد بين مرفأ ابن هاني، وغرب المعهد العالي للبحوث البحرية، وتعد منطقة مفتوحة على البحر مباشرة، وبعيدة عن المصادر المباشرة للتلوث، باستثناء بعض المنشآت السياحية، والتي تعمل في أشهر الصيف فقط، بالإضافة إلى مرفأ صغير للصيد والنزهة. يتراوح عمق المنطقة المدروسة بين 25 و 40 م. جرت المراقبة في 3 مسارات: المسار الأول ويمتد بين الموقعين B1 وB2، ويمتد المسار الثاني بين B2 وB3، في حين يمتد المسار الثالث بين B3 وB1.



الشكل (1). خريطة توضح مواقع اعتيان العينات في ساحل اللاذقية

العمل الحقلّي

تمّ القيام بثلاثين جولة بحرية (خمسة عشر في كل منطقة)، في أشهر آذار ونيسان وتموز وأب وأيلول وتشرين أول وكانون أول من كلا عامي الدراسة 2017 و2018 بمعدل جولتين في كل فصل من فصول السنة خلال فترة الدراسة. تمّ خلالها اعتيان عينات عشوائية من قناديل البحر الأكثر انتشاراً في منطقتي الدراسة، شملت النوعين: *Rhopilema nomadica* من الميذوزات الفنجانية، و *Aequorea forskalea* من الميذوزات الهيدرية، حيث تمّ اعتيان الميذوزات الفنجانية بمساعدة شبكة يدوية ذات ذراع طويل، في حين استعملت شبكة عوالق WP3 (قطر فتحة الشبكة 113 سم، وطولها 3 متر، وقطر ثقبها 1000 ميكرون) المخصصة لاعتيان الميذوزات الهيدرية، جرى الاعتيان من الطبقة السطحية بالجر الأفقي لعشر دقائق [14]. كما جرى اعتيان عينات مياه سطحية باستعمال عبوات من البولي إيثيلين، تم اعتيان لتر واحد لتحاليل نزر العناصر الثقيلة، من كل موقع من مواقع منطقتي الدراسة، وفي كل طلعة بحرية.

طرائق تعيين تركيز نزر العناصر الثقيلة

طريقة تعيين تركيز نزر العناصر الثقيلة في ماء البحر

تعتمد الطريقة على الاستخلاص العضوي (سائل - سائل)، حيث يوضع 500 مل من العينة المائية المرشحة على أوراق ترشيح $0.45\mu\text{m}$ في قمع الاستخلاص مع محلول أمونيوم بيروليدين ثنائي ثيوكرامات (APDC) والكلوروفورم، وذلك لفصل نزر العناصر الثقيلة الذائبة في ماء البحر عن بقية الشوارد المرافقة والتي يؤدي وجودها إلى تداخلات طيفية أثناء عملية القياس، حُل الراسب المتشكل بـ 25 مل من محلول حمض الأزوت 25%، وبذلك تصبح العينة جاهزة للقياس [15]. جرى تحضير عينة الشاهد بتسخين 2 مل من حمض الأزوت المركز، ومن ثم يكمل الحجم إلى 25 مل بالماء المقطر.

طريقة تعيين تركيز نزر العناصر الثقيلة في قناديل البحر

أخذ 1 غ من العينة الجافة (المجففة بالدرجة 105°C). هُضمت العينة على السخان بوسط من حمض الأزوت المركز، وقطرات من حمض فوق الكلور للمساعدة في أكسدة

دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر *Rhopilema nomadica* و *Aequorea forskalea* في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية

المركبات العضوية. حُل الراسب المتشكل في محلول ممدد من حمض الآزوت 25% حتى يصبح الحجم الكلي 25 مل، وبذلك تصبح العينة جاهزة للقياس.

قياس العينات لتحديد تركيز نزر العناصر الثقيلة

جرى قياس تركيز نزر العناصر الثقيلة (Zn و Cu و Pb و Cd) في العينات المائية وقناديل البحر باستعمال جهاز الامتصاص الذري (Varian 220) الذي يعمل بتقنيتي طيف اللهب والفرن الغرافيتي، والمتوفر في مخبر الكيمياء البحرية في المعهد العالي للبحوث البحرية، حيث جرى استعمال تقانة مطيافية اللهب في تحليل Cu و Zn في عينات قناديل البحر، وتقانة الفرن الغرافيتي في تحليل Pb و Cd في العينات السابقة، في حين جرى استعمال تقانة الفرن الغرافيتي في تحليل Cu و Pb و Cd في عينات ماء البحر.

الحد الأدنى للكشف في تقانة مطيافية اللهب للزنك والنحاس 0.02 و 0.03 ppm على التوالي، في حين يبلغ الحد الأدنى للكشف في تقانة الفرن الغرافيتي 0.01 ppb للكاديوم والزنك، و 0.02 ppb للرصاص والنحاس.

ضبط جودة تحاليل نزر العناصر الثقيلة

جرى ضبط جودة التحاليل باستعمال عينة تربة مرجعية IAEA-SOIL-7 الجدول (1)، بالإضافة إلى تمرير عينة شاهد Blank sample مع كل دفعة تحاليل.

الجدول (1). نتائج تحليل العينة المرجعية Soil 7 (تربة) [16]

العنصر	التركيز النظري (µg/g)	مجال الثقة (µg/g)	التركيز المقيس (µg/g)
Cd	1.1	1.1-2.7	1.2±0.07
Cu	11	8.8-13.1	11.4±0.8
Zn	104	101-113	103.5±6.2
Pb	60	55-71	62.3±3.9

معامل التركيز الحيوي (BCF) Bioconcentration Factor

يهدف حساب معامل التركيز الحيوي BCF إلى تقدير مقدرة قنديل البحر على تركيز نزر العناصر الثقيلة من ماء البحر مباشرة، وكلما كان المعامل مرتفعاً فإن النوع يكون أكثر مقدرة على مراكمة العنصر الثقيل، ويتم حساب معامل التركيز الحيوي من العلاقة الآتية [17]:

$$\text{معامل التركيز الحيوي (BCF)} = \frac{\text{تركيز العنصر في الوزن الرطب من قنديل البحر (µg/Kg)}}{\text{تركيز العنصر في واحدة وزن مماثل من الماء (µg/l)}}$$

التحليل الإحصائي للبحث

هدفت الدراسة الإحصائية إلى إظهار علاقات الارتباط بين العوامل المختلفة المدروسة، وشمل التحليل الإحصائي للنتائج عدد من المعاملات الإحصائية، حيث جرى حساب القيم الدنيا والعظمى، والمتوسط الحسابي، والانحراف المعياري، والخطأ المعياري، ومجال الثقة وتم اعتماد معدل ثقة 95%، وكذلك حساب معامل الارتباط، بالإضافة إلى رسم المنحنيات البيانية. كما حُللت المعطيات باستعمال البرنامج الإحصائي SPSS Statistics 17.0 (Statistical Package for Social Sciences) وذلك باستعمال المتوسطات الحسابية واختبار ستودنت، وتحليل التباين وحيد الاتجاه (One-Way ANOVA) لمقارنة المتوسطات والذي نتبعه في حال وجود فروقات معنوية باختبار أقل فرق معنوي (LSD)، كما جرى استعمال اختبارات لا معلمية (Nonparametric Tests) عندما تكون شروط تطبيق الاختبارات المعلمية غير متوفرة في البيانات كاختبار مان ويتي (Mann-Whitney Test) للعينات المستقلة واختبار ويلكوكسون (Wilcoxon Test) للعينات المرتبطة واختبار كروسكال واليس Kruskal - Wallis Test وتم اعتماد مستوى المعنوية عند $\alpha = 0.05$ ومقارنتها مع القيم الاحتمالية (P-value) المحسوبة عند إجراء الاختبارات وبالتالي نقبل بوجود فرق معنوي عندما ($p < 0.05$).

النتائج والمناقشة

نزر العناصر الثقيلة في ماء البحر

يبين الجدول (2) متوسط تركيز نزر العناصر الثقيلة (Cd و Pb و Cu و Zn)، وبعض القيم الإحصائية في ماء البحر لخمسة عشر طلعة بحرية (45 عينة)، بين شهر آذار 2017 وكانون الأول 2018.

بينت النتائج أن تركيز نزر العناصر الثقيلة في العينات المائية المدروسة كافة كان على النحو التالي: $Zn > Cu > Pb > Cd$ ، كما اختلفت التراكيز اختلافاً واضحاً في منطقتي الدراسة خلال أشهر السنة المختلفة، مع زيادة واضحة في تركيز نزر العناصر الثقيلة في المنطقة A عنه في المنطقة B؛ وبلغ متوسط تركيز كل من الكاديوم والرصاص والنحاس والزنك 0.088 و 1.42 و 1.40 و 9.82 ميكروغرام/لتر على التوالي في المنطقة A، و 0.062 و 0.53 و 0.65 و 6.47 ميكروغرام/لتر على التوالي في المنطقة B.

دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر *Rhopilema nomadica* و *Aequorea forskalea* في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية

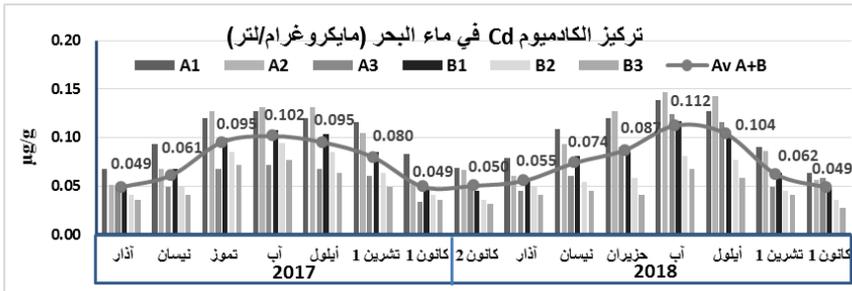
الجدول (2) بعض القيم الاحصائية لتركيز نزر العناصر الثقيلة في ماء البحر (ميكروغرام/لتر)

Zn	Cu	Pb	Cd	الموقع	القيم الاحصائية
45	45	45	45	A	عدد القياسات
45	45	45	45	B	
9.82	1.40	1.42	0.088	A	المتوسط
6.47	0.65	0.53	0.062	B	
13.26	2.02	1.95	0.146	A	متوسط أعلى تركيز
9.02	0.93	0.97	0.117	B	
5.23	0.66	0.65	0.034	A	متوسط أدنى تركيز
4.43	0.37	0.21	0.027	B	
2.26	0.39	0.42	0.027	A	الانحراف المعياري
1.15	0.14	0.18	0.020	B	
23	28	29.6	31	A	معامل الاختلاف %
17.7	21.9	33.3	31.8	B	
0.34	0.058	0.062	0.004	A	الخطأ المعياري
0.17	0.021	0.026	0.004	B	

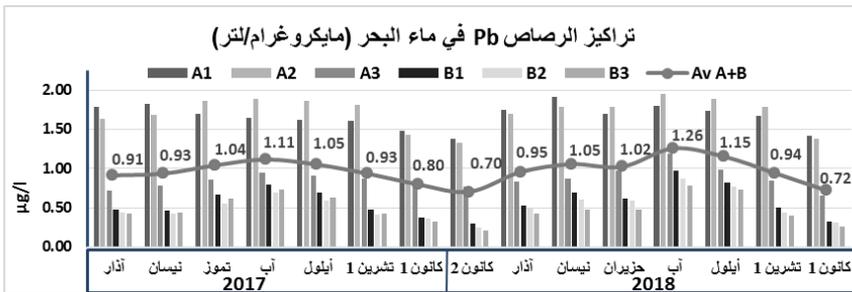
تراوح متوسط تركيز الكاديوم في المنطقة A بين (0.034 و 0.146)، وبين (0.027 و 0.117) في المنطقة B، وتراوح متوسط تركيز الرصاص في المنطقة A بين (0.65 و 1.95)، وبين (0.21 و 0.97) في المنطقة B، أما متوسط تركيز النحاس في المنطقة A فقد تراوح بين (0.66 و 2.02)، وبين (0.37 و 0.93) في المنطقة B، بينما تراوح متوسط تركيز الزنك في المنطقة A بين (5.23 و 13.26)، وبين (4.43 و 9.02) في المنطقة B.

يمكن أن تُعزى زيادة تركيز نزر العناصر الثقيلة المدروسة في المنطقة A إلى وجود مصب نهر الكبير الشمالي الذي يُعد من أهم الأنهار الساحلية في سورية، حيث تنتشر على ضفتيه عديد من التجمعات السكانية والأراضي الزراعية وكثير من الصناعات الغذائية والتحويلية ومعاصر الزيتون، مما يجعله مصدراً هاماً لتدفق الملوثات المختلفة، وبالتالي تصبح البيئة البحرية المجاورة والكائنات التي تعيش فيها عرضة لهذه الملوثات على اختلاف أنواعها وسميتها [1]، أما في المنطقة B (ابن هاني والشاطئ الأزرق)، فتقتصر مصادر التلوث على المنشآت السياحية التي تنشط صيفاً وتتوقف شتاءً.

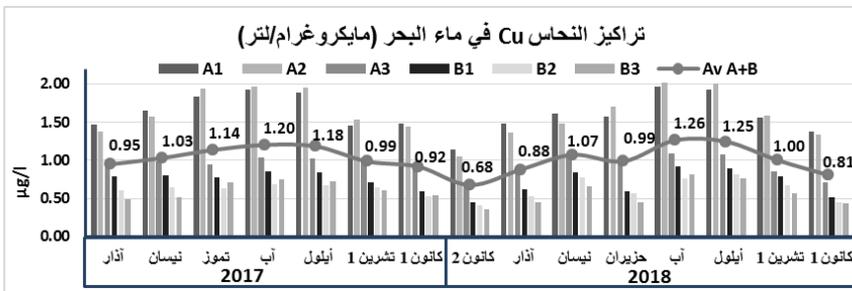
بلغ متوسط التركيز الكلي للمنطقتين A و B معاً 0.075 و 0.97 و 1.02 و 8.14 ميكروغرام/لتر للكاديوم والرصاص والنحاس والزنك على التوالي. كانت القيمة الدنيا لتركيز نزر العناصر الثقيلة في أشهر كانون (الأول والثاني)، والعليا في شهر أب من عامي 2017 و 2018 باستثناء الزنك حيث كانت القيم العليا في أشهر نيسان وتموز من عام 2017 حيث تبين ذلك الأشكال (2 و 3 و 4 و 5).



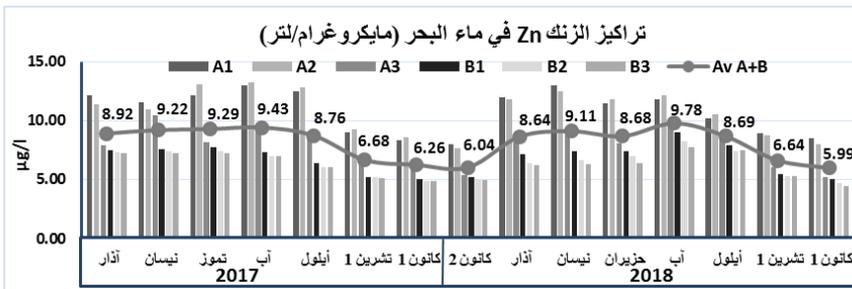
الشكل (2): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الكاديوم في ماء البحر



الشكل (3): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الرصاص في ماء البحر



الشكل (4): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز النحاس في ماء البحر



الشكل (5): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الزنك في ماء البحر

بينت الدراسة الفصلية لإجمالي تركيز نزر العناصر الثقيلة في ماء البحر، أن التراكيز كانت الأعلى في أشهر الصيف يليها أشهر الخريف والربيع وانخفضت التراكيز في أشهر الشتاء، وربما يعود هذا إلى انخفاض كمية الماء المتدفق في النهر صيفاً، وبالتالي يكون تركيز الملوثات في ماء النهر أعلى صيفاً منها في الشتاء. كذلك يشير انخفاض عكارة المياه في الصيف، إلى انخفاض كمية المعوقات التي تمتاز العناصر المعدنية على سطحها مما يسهم في بقاء العناصر منحلة ضمن الثخانة المائية؛ بالإضافة إلى زيادة الفعاليات السياحية صيفاً مما يسهم في زيادة التلوث في المنطقة الساحلية القريبة من الشاطئ، وينخفض التلوث تدريجياً مع الابتعاد عن الساحل، وتتوافق نتائج الدراسة مع نتائج دراسات جرت في مناطق معرضه للتلوث نتيجة وجود مصبات للأنهار [18, 19].

تم إجراء اختبار تحليل التباين وحيد الاتجاه (One-Way ANOVA) لمقارنة متوسطات تراكيز الكاديوم والرصاص والنحاس والزنك بين المحطات الستة، تبين أنه يوجد فرق معنوي بين المتوسطات حيث كانت القيمة الاحتمالية ($P < 0.001$)، وبإجراء اختبار أقل فرق معنوي (LSD) تبين أن المحطتين A_1 و A_2 كانت أكثر مراكمة للكاديوم والرصاص والنحاس والزنك من بقية المحطات، وكانت المحطات B_1 و B_2 و B_3 أقل مراكمة من بقية المحطات حيث كانت القيم الاحتمالية لاختبارات المقارنة أصغر من 0.05 لجميع العناصر.

بينت نتائج تركيز نزر العناصر الثقيلة المدروسة والذي جرى الحصول عليها ضمن مجال قيم تركيزها في المياه السطحية للبحر المتوسط والتي تتراوح بين 0.44 و 0.14، وبين 0.16 و 19، وبين 0.62 و 2.82، وبين 0.6 و 22 ميكروغرام/لتر لكل من الكاديوم والرصاص والنحاس والزنك على التوالي [20, 21]، وكذلك للمياه السطحية للساحل السوري، حيث يبلغ متوسط تركيز Pb و Cu و Zn و 1.5 و 1.25 و 13.57 ميكروغرام/لتر على التوالي [22, 23, 24].

نزر العناصر الثقيلة في قناديل البحر

نزر العناصر الثقيلة في قناديل البحر *Rhopilema nomadica*

بينت النتائج أن تركيز نزر العناصر الثقيلة في أنواع قناديل البحر المدروسة كان كما هو في ماء البحر وذلك على النحو الآتي: $Zn > Cu > Pb > Cd$ ، وربما يعود السبب إلى أن

اللافقاريات البحرية تراكم عادة عدد من نزر العناصر الثقيلة الحيوية ومن بينها عنصري النحاس والزنك، اللذين يلعبان دوراً هاماً في العمليات الحيوية، كنشاط الأنزيمات والاستقلاب، والنمو والتكاثر، على عكس الكادميوم والرصاص الذي يؤدي تراكمهما في جسم الكائن الحي إلى تسممه وموته.

كما اختلف التركيز اختلافاً هيناً في منطقتي الدراسة، مع زيادة طفيفة في تركيز نزر العناصر الثقيلة في قناديل المنطقة A عن المنطقة B؛ وبلغ متوسط تركيز كل من Cu و Pb و Zn القيم 0.095 و 0.88 و 1.57 و 29.54 ميكروغرام/غرام وزن جاف على التوالي في مظلة أفراد الموقع A، و 0.084 و 0.81 و 1.54 و 29.13 ميكروغرام/غرام وزن جاف على التوالي في مظلة أفراد الموقع B. كما وبلغ متوسط تركيز كل من Cu و Pb و Cd في الأذرع الفموية لأفراد الموقع A القيم 1.10 و 1.23 و 2.37 ميكروغرام/غرام وزن جاف على التوالي، أما في الموقع B فبلغ التركيز 0.093 و 1.12 و 2.31 ميكروغرام/غرام وزن جاف على التوالي، أما الزنك فكان تركيزه مرتفعاً في المنطقتين A و B وبلغ متوسط تركيزه 34.87 و 35.16 ميكروغرام/غرام وزن جاف على التوالي الجدول (3). يلاحظ أن متوسط تركيز Cu و Pb و Zn في الأذرع الفموية للنوع *R. nomadica* أعلى بحوالي 1.10 و 1.35 و 1.51 و 1.20 مرة على التوالي مقارنة بتركيزها في المظلة. تم إجراء اختبار ويلكوكسون (Wilcoxon Test) للعينات المرتبطة لمقارنة تركيز Cu و Pb و Zn بين المظلة والأذرع الفموية في النوع *R. nomadica*، حيث تبين أنه يوجد فرق معنوي في تراكيز هذه العناصر بين المظلة والأذرع الفموية، وكانت القيمة الاحتمالية لجميع العناصر ($P < 0.001$)، والتراكيز في الأذرع الفموية أعلى منها في المظلة. ويمكن أن يعزى الاختلاف في تركيز نزر العناصر الثقيلة بين الأذرع الفموية والمظلة إلى الاختلاف في تركيبهما البيوكيميائي، حيث أشارت الدراسات إلى أن محتوى البروتينات والليبيدات والسكريات والكربون والآزوت والفوسفور العضوي في الأذرع الفموية للنوع *R. nomadica* كانت أعلى منها في المظلة [25, 26]، ويأتي هذا الارتفاع نتيجة لتركز الخلايا اللاسعة في الأذرع الفموية وغيابها في المظلة، وبالتالي فإن معظم النشاط الحيوي والفيزيولوجي للقنديل يتركز في الأذرع الفموية أكثر منه في المظلة [10, 13].

دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر *Rhopilema nomadica* و *Aequorea forskalea* في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية

بينت الدراسة الفصلية لتركيز نزر العناصر الثقيلة في النوع *R. nomadica*، أن متوسط تركيز Cd و Pb و Cu و Zn في المظلة والأذرع الفموية كان في الفترة الربيعية أعلى منه في الفترة الصيفية بمعدل 1.40 و 1.82 و 1.60 و 1.44 مرة على التوالي في المظلة، وبمعدل 1.40 و 1.85 و 1.54 و 1.33 مرة على التوالي في الأذرع الفموية، وربما يعود السبب بشكل رئيس إلى اختلاف أبعاد القنديل بين الفترتين، حيث كان متوسط قطر المظلة والأذرع الفموية في أفراد الفترة الربيعية 55 و 30 سم على التوالي، في حين كان متوسط قطر المظلة والأذرع الفموية في أفراد الفترة الصيفية 30 و 16 سم على التوالي، مما يعني أن هناك علاقة بين حجم القنديل وتركيز نزر العناصر الثقيلة.

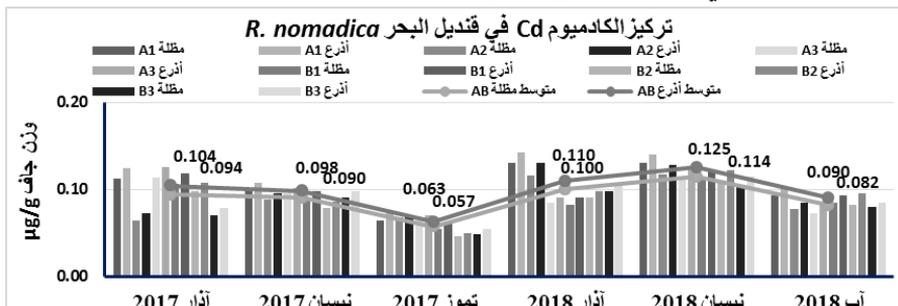
الجدول (3) القيم الاحصائية لتركيز نزر العناصر الثقيلة في النوع *R. nomadica* ($\mu\text{g/g}$) وزن جاف

Zn		Cu		Pb		Cd		العينة	القيم الاحصائية
B	A	B	A	B	A	B	A		
29.13	29.54	1.54	1.57	0.81	0.88	0.084	0.095	مظلة	المتوسط
35.16	34.87	2.31	2.37	1.12	1.23	0.093	0.103	أذرع	
29.33		1.56		0.84		0.090		مظلة	المتوسط الكلي
35.02		2.34		1.17		0.098		أذرع	
20.11	19.66	0.81	0.91	0.48	0.50	0.046	0.064	مظلة	أدنى تركيز
24.18	24.62	1.27	1.44	0.65	0.65	0.050	0.070	أذرع	
40.59	42.49	2.01	2.21	1.30	1.35	0.113	0.130	مظلة	أعلى تركيز
46.21	45.40	3.12	3.32	1.85	1.80	0.123	0.142	أذرع	
18	18	18	18	18	18	18	18	مظلة	عدد القياسات
18	18	18	18	18	18	18	18	أذرع	
5.75	6.88	0.36	0.39	0.25	0.28	0.019	0.022	مظلة	الانحراف المعياري
6.42	6.73	0.53	0.57	0.36	0.40	0.021	0.024	أذرع	
19.74	23.28	23.28	24.67	31.21	32.23	22.82	23.61	مظلة	معامل الاختلاف %
18.26	19.29	23.10	24.15	32.19	32.64	22.87	23.49	أذرع	
1.36	1.62	0.085	0.091	0.059	0.066	0.0045	0.0053	مظلة	الخطأ المعياري
1.51	1.59	0.126	0.135	0.085	0.094	0.0050	0.0057	أذرع	

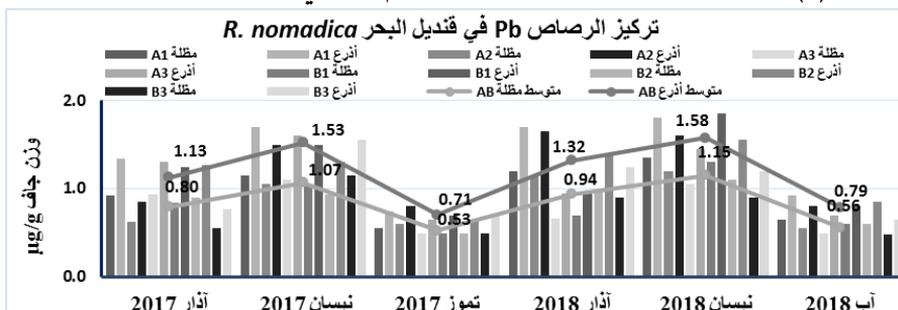
كان متوسط تركيز Cd و Pb و Cu و Zn في المظلة والأذرع الفموية في عام 2018 أعلى قليلاً منه في عام 2017 (بحدود 1.1 مرة)، وربما يعود السبب إلى اختلاف أبعاد القنديل بين العامين، حيث

كان متوسط قطر المظلة والأذرع الفموية في أفراد قناديل عام 2017 نحو 42 و 23 سم على التوالي، في حين كان متوسط قطر المظلة والأذرع الفموية في أفراد عام 2018 نحو 43 و 24 سم على التوالي، كما أن متوسط تركيز نزر العناصر الثقيلة للماء في العام 2018 أعلى منه في العام 2017 بحدود 7% للكاديوم والرصاص و 3% للنحاس والزنك. تبين الأشكال (6 و 7 و 8 و 9) تركيز

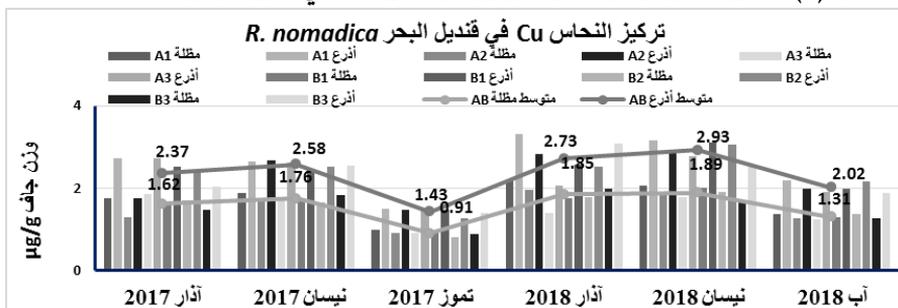
Cd و Cu و Pb في المظلة والأذرع الفموية لقنديل البحر *R. nomadica*.



الشكل (6): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الكاديوم Cd في قنديل البحر *R. nomadica*

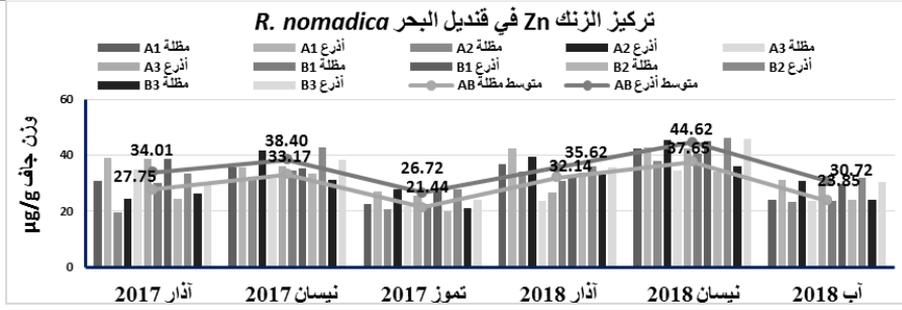


الشكل (7): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الرصاص Pb في قنديل البحر *R. nomadica*



الشكل (8): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز النحاس Cu في قنديل البحر *R. nomadica*

دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر *Rhopilema nomadica* في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية



الشكل (9): التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الزنك Zn في قناديل البحر *R. nomadica*

أوضحت الدراسة وجود علاقة ارتباط خطي إيجابية مرتفعة جداً بين تركيز نزر العناصر الثقيلة وقطر المظلة، وكذلك بين تركيز نزر العناصر الثقيلة وطول الأذرع الفموية، وبالتالي يزداد التركيز كلما زاد قطر المظلة أو طول الأذرع الفموية الجدول (4).

الجدول (4) علاقة الارتباط بين تركيز نزر العناصر الثقيلة وأبعاد قناديل البحر *R. nomadica*

Zn بالأذرع	Cu بالأذرع	Pb بالأذرع	Cd بالأذرع	طول الأذرع	Zn بالمظلة	Cu بالمظلة	Pb بالمظلة	Cd بالمظلة	قطر المظلة	
									1	قطر المظلة
								1	0.821	Cd بالمظلة
							1	0.836	0.928	Pb بالمظلة
						1	0.892	0.896	0.927	Cu بالمظلة
					1	0.899	0.917	0.839	0.887	Zn بالمظلة
				1	0.826	0.928	0.843	0.837	0.942	طول الأذرع
			1	0.840	0.833	0.896	0.823	0.996	0.816	Cd بالأذرع
		1	0.823	0.858	0.906	0.896	0.994	0.834	0.933	Pb بالأذرع
	1	0.893	0.921	0.930	0.912	0.982	0.890	0.920	0.904	Cu بالأذرع
1	0.879	0.844	0.827	0.789	0.903	0.834	0.856	0.826	0.819	Zn بالأذرع

بينت النتائج أن تركيز نزر العناصر الثقيلة في المظلة والأذرع الفموية لأفراد المواقع القريبة من الساحل A1 و A2 و B1 و B2 كان أعلى بشكل طفيف مقارنة بالمواقع البعيدة عن الساحل A3 و B3، وربما تعود هذه الزيادة الطفيفة إلى زيادة تركيز نزر العناصر الثقيلة المدروسة في المواقع القريبة من الساحل والتي تكون عرضة للتلوث أكثر منها في المواقع البعيدة والمفتوحة، هذا وكان تركيز نزر العناصر الثقيلة في ماء البحر أعلى في المواقع A1 و A2 و B1 و B2 مقارنة بالموقعين A3 و B3.

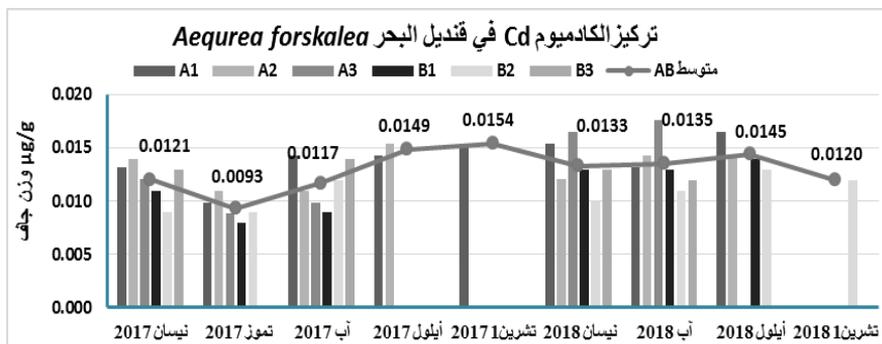
نزر العناصر الثقيلة في قنديل البحر *Aequorea forskalea*

بينت نتائج تركيز نزر العناصر الثقيلة المدروسة في مظلة قنديل البحر *A. forskalea* أنه كان على النحو الآتي: $Zn > Cu > Pb > Cd$ ، وبلغ متوسط التركيز في 38 عينة جرى اعتيائها في كلا منطقتي الدراسة، لكل من Cd و Pb و Cu و Zn القيم 0.013 و 0.044 و 0.33 و 2.14 ميكروغرام/غرام وزن جاف على التوالي الجدول (5).

الجدول (5) القيم الإحصائية لتركيز نزر العناصر الثقيلة في النوع *A. forskalea* ($\mu\text{g/g}$) وزن جاف

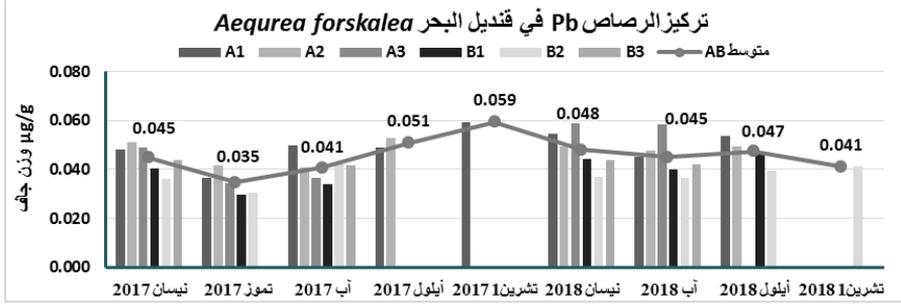
Zn		Cu		Pb		Cd		القيم الاحصائية
B	A	B	A	B	A	B	A	
1.95	2.31	0.29	0.37	0.040	0.048	0.012	0.014	المتوسط
2.14		0.33		0.044		0.013		المتوسط الكلي
1.53	1.68	0.21	0.27	0.030	0.034	0.008	0.009	أدنى تركيز
2.49	2.89	0.34	0.46	0.053	0.059	0.015	0.018	أعلى تركيز
18	20	18	20	18	20	18	20	عدد القياسات
0.23	0.34	0.038	0.047	0.0054	0.0072	0.0019	0.0024	الانحراف المعياري
11.9	14.6	13.4	12.5	13.6	14.9	16.7	17.8	معامل الاختلاف%
0.055	0.075	0.0091	0.010	0.0013	0.0016	0.00046	0.00054	الخطأ المعياري

تبيين الأشكال (10 و 11 و 12 و 13) تركيز نزر العناصر الثقيلة المدروسة في مظلة قنديل البحر *A. forskalea*

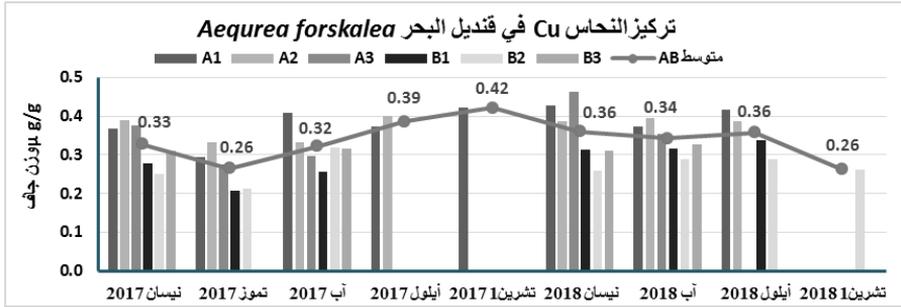


الشكل (10) التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الكاديوم Cd في قنديل البحر *A. forskalea*

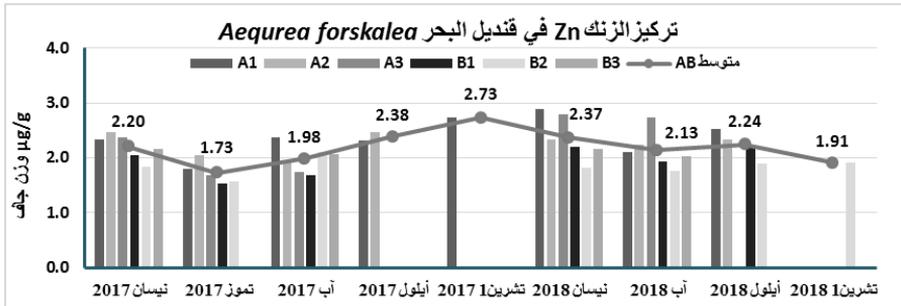
دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر *Rhopilema nomadica* و *Aequorea forskalea* في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية



الشكل (11) التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الرصاص Pb في قناديل البحر *A. forskalea*



الشكل (12) التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز النحاس Cu في قناديل البحر *A. forskalea*



الشكل (13) التغيرات الزمنية والمكانية لتركيز الزنك Zn في قناديل البحر *A. forskalea*

يتضح من دراسة علاقة الارتباط بين تركيز كلٍ من Cd و Pb و Cu و Zn وقطر المظلة في النوع *A. forskalea* أنها كانت ايجابية ومرتفعة، وبالتالي، كلما زاد قطر المظلة كلما ارتفع تركيز نزر العناصر الثقيلة فيه الجدول (6).

الجدول (6) علاقة الارتباط بين تركيز نزر العناصر الثقيلة وقطر مظلة قنديل البحر *A. forskalea*

Zn	Cu	Pb	Cd	قطر المظلة	
				1	قطر المظلة
			1	0.7991	Cd
		1	0.9252	0.8050	Pb
	1	0.9067	0.8302	0.5775	Cu
1	0.8947	0.9833	0.9047	0.8157	Zn

كان التركيز الكلي لكل من Cd و Pb و Cu و Zn في النوع *A. forskalea* أعلى في أفراد الفترة الخريفية والرابعة منه في أفراد الفترة الصيفية بمقدار 10%، وربما يعود السبب في ذلك إلى اختلاف متوسط أبعاد قطر مظلة أفراد الخريف والربيع والصيف والتي بلغت 6.4 و 6.3 و 5.5 سم على التوالي، كما اختلف متوسط الوزن الرطب، حيث بلغ 21.03 و 21.06 و 18.05 غ على التوالي. يلاحظ أن متوسط تركيز Cd و Pb و Cu و Zn في النوع *A. forskalea* كان في العام 2018 أعلى منه في العام 2017 بحدود 12%، وربما يعود السبب بشكل جزئي إلى اختلاف أبعاد القناديل بين العامين، حيث كان متوسط قطر القنديل ووزنه الرطب 5.8 سم و 19.42 غ على التوالي في أفراد عام 2017، و 6.2 سم و 20.1 غ في أفراد عام 2018 على التوالي، هذا وكان متوسط تركيز نزر العناصر الثقيلة للماء في عام 2018 أعلى منه في عام 2017 بمعدل 7% للكاديوم والرصاص و 3% للنحاس والزنك. كان تركيز نزر العناصر الثقيلة أعلى في المنطقة A منه في المنطقة B، بحدود 2% لكل من Cd و Pb و Cu و Zn، علماً بأنه لا يوجد اختلاف واضح في متوسط أقطار وأوزان المظلة بين الأفراد في المنطقتين، تم إجراء اختبار مان ويتي (Mann-Whitney Test) لمقارنة تركيز Cd و Pb و Cu و Zn في مظلة النوع *A. forskalea* بين منطقتي الدراسة A و B وتبين أنه يوجد فرق معنوي بالتركيز بين المنطقتين للكاديوم والرصاص، وكانت القيمة الاحتمالية (P=0.011) و (P=0.001) على التوالي، في حين أنه لا يوجد فرق معنوي لتركيز النحاس والزنك، حيث كانت القيمة الاحتمالية (P < 0.001) و (P < 0.001) على التوالي، وكان التركيز أكبر في المنطقة A مقارنة بالمنطقة B لنزر العناصر الثقيلة المدروسة. ويعزى السبب في ارتفاع تركيز نزر العناصر الثقيلة في المنطقة A منه في المنطقة B إلى الاختلاف في تركيز نزر العناصر الثقيلة في ماء البحر بين المنطقتين، حيث كان تركيز نزر العناصر الثقيلة في المنطقة A أعلى

دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر *Rhopilema nomadica* و *Aequorea forskalea* في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية

منه في المنطقة B بمعدل 1.4 و 2.9 و 2.2 و 1.5 مرة لكل من Cd و Pb و Cu و Zn على التوالي. هذا ولم يلاحظ أي اختلاف في تركيز نزر العناصر الثقيلة بين المحطات في كل منطقة.

معامل التركيز الحيوي (BCF) Bioconcentration Factor في قناديل البحر

بينت النتائج بأن معامل التركيز الحيوي للزنك كان الأعلى في كلا النوعين، ووصل إلى مرتبة 10^2 في الأنواع الفموية ومظلة النوع *R. nomadica*، يليه Cu ثم Cd و Pb الجدول (7). كما بينت النتائج أن متوسط معامل التركيز الحيوي في مظلة النوع *R. nomadica* كان أعلى منه في مظلة النوع *A. forskalea* بنحو 6.11 و 20 و 4.1 و 11.9 مرة لكل من Cd و Pb و Cu و Zn على التوالي.

الجدول (7) معامل التركيز الحيوي لنزر العناصر الثقيلة في قناديل بحر ساحل مدينة اللاذقية

النوع	الجزء	Cd	Pb	Cu	Zn
<i>R. nomadica</i>	المظلة	5.50E+01	3.98E+01	7.01E+01	1.66E+02
	الأنواع الفموية	6.15E+01	5.66E+01	1.07E+02	2.02E+02
	كامل القنديل	5.83E+01	4.82E+01	8.87E+01	1.84E+02
<i>A. forskalea</i>	كامل القنديل	9.03E+00	2.44E+00	1.74E+01	1.41E+01

يرتبط تراكم نزر العناصر الثقيلة في اللاقاريات البحرية بتركيزها في ماء البحر، ويختلف مقدار التراكم تبعاً للنوع والعمر [27]، وهذا يتوافق مع ما أكدته كثير من الدراسات المرجعية والتي بينت مقدرة قناديل البحر على مراكمة نزر العناصر الثقيلة بدرجة أكبر بعدة مرات من تركيزها في الوسط المحيط [10, 13].

الاستنتاجات

1. وجود اختلافات بين تركيز نزر العناصر الثقيلة المدروسة (الكاديوم والرصاص والنحاس والزنك) في النوعين *R. nomadica* و *A. forskalea* من قناديل البحر الأكثر غزارة وانتشاراً في ساحل مدينة اللاذقية باختلاف نوع قنديل البحر المدروس ودرجة تعقيد بنيته، بالإضافة إلى الاختلافات المكانية لمواقع جمع العينات. حيث كان تركيز نزر العناصر الثقيلة في قناديل المنطقة A أعلى منه في المنطقة B، والذي يمكن أن يعزى إلى زيادة تركيز نزر العناصر الثقيلة في مياه المنطقة A مقارنة بالمنطقة B.

2. تركيز نزر العناصر الثقيلة في أنواع قناديل البحر المدروسة كان كما هو في ماء البحر وذلك على النحو الآتي: $Zn > Cu > Pb > Cd$.
3. متوسط تركيز نزر العناصر الثقيلة في مظلة النوع *R. nomadica* أعلى منه في مظلة النوع *A. forskalea* بنحو 6.9 و 19 و 4.7 و 13.7 مرة للكادميوم والرصاص والنحاس والزنك على التوالي.
4. وجود علاقة ارتباط خطي إيجابية مرتفعة جداً، بين تركيز نزر العناصر الثقيلة في المظلة والأذرع الفموية وبين قطر المظلة وطول الأذرع الفموية، مما يعني أن تركيز نزر العناصر الثقيلة يزداد بزيادة قطر المظلة وطول الأذرع الفموية.
5. نستنتج من معامل التركيز الحيوي لنزر العناصر الثقيلة في قناديل البحر، أن نوعي قناديل البحر قد راكمت نزر العناصر الثقيلة كافة مرات عدة عن تركيزها في ماء البحر.
6. النوع *R. nomadica* يمكن أن يكون مؤشراً حيوياً لمراكمة نزر العناصر الثقيلة كالزنك والنحاس والرصاص والكادميوم في البيئة البحرية السورية (كونه من الأنواع الأكثر انتشاراً وغزارة في فصلي الربيع والصيف، كما يتميز بكبر حجمه ووزنه وسهولة صيده).

التوصيات

يمكن إيجاز أهم التوصيات في هذه الدراسة بالآتي:

1. إنشاء محطات معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي، وعدم طرحها مباشرة في البحر دون معالجة.
2. إنشاء شبكة رصد دوري للملوثات في البيئة البحرية، وتحديد مصادر التلوث، ودراسة تأثير التلوث في التنوع الحيوي.

المراجع:

1. EL ZRELLI, R., RABAOUI, L., ALAYA, M. B., DAGHBOUJ, N., CASTET, S., BESSON, P & COURJAULT-RADÉ, P. (2018). Seawater quality assessment and identification of pollution sources along the central coastal area of Gabes Gulf (SE Tunisia): evidence of industrial impact and implications for marine environment protection. *Marine pollution bulletin*, 127, 445-452.
2. RICHIR, J., & GOBERT, S. (2016). Trace elements in marine environments: occurrence, threats and monitoring with special focus on the Costal Mediterranean. *Journal of environmental and analytical toxicology*, 6(1).
3. KHALED, A., ABDEL-HALIM, A., EL-SHERIF, Z., & MOHAMED, L. A. (2017). Health risk assessment of some heavy metals in water and sediment at Marsa-Matrouh, Mediterranean Sea, Egypt. *Journal of Environmental Protection*, 8(01), 74.
4. KHAN, M. Z. H., HASAN, M. R., KHAN, M., AKTAR, S., & FATEMA, K. (2017). Distribution of heavy metals in surface sediments of the Bay of Bengal Coast. *Journal of Toxicology*, 2017.
5. MARQUES, R., DARNAUDE, A. M., CROCHEMORE, S., BOUVIER, C., & BONNET, D. (2019). Molecular approach indicates consumption of jellyfish by commercially important fish species in a coastal Mediterranean lagoon. *Marine environmental research*, 152, 104787.
6. NORDSTROM, B., JAMES, M. C., & WORM, B. (2020). Jellyfish distribution in space and time predicts leatherback sea turtle hot spots in the Northwest Atlantic. *Plos one*, 15(5), e0232628.
7. PURCELL, J.E.; UYE, S.; LO, W.T. (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2007, 350, 153-174.
8. SAKINAN, S. (2011). Recent occurrence of indopacific jellyfish *Rhopilema nomadica* in North–Eastern Levantine Sea. In *Workshop on Jellyfish and other Gelatinous Species in Turkish Marine Waters*. 20-21 May 2011 (P. 58).
9. HAYS, G. C., DOYLE, T. K., & HOUGHTON, J. D. (2018). A paradigm shift in the trophic importance of jellyfish? *Trends in ecology & evolution*, 33(11), 874-884.
10. TEMPLEMAN, M. A., & KINGSFORD, M. J. (2010). Trace element accumulation in *Cassiopea* sp. (Scyphozoa) from urban marine environments in Australia. *Marine Environmental Research*, 69(2), 63-72.
11. DUYSAK, Ö. ERSOY, B., & DURAL, M. (2013). Metal concentrations in different tissues of cuttlefish (*Sepia officinalis*) in Iskenderun Bay, Northeastern Mediterranean. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13(2), 205-210.
12. MAMISH, S., AL-MASRI, M. S., & DURGHAM, H. (2015). Radioactivity in three species of eastern Mediterranean jellyfish. *Journal of environmental radioactivity*, 149, 1-7.
13. MUÑOZ-VERA, A., CASTEJÓN, J. M. P., & GARCÍA, G. (2016). Patterns of trace element bioaccumulation in jellyfish *Rhizostoma pulmo* (Cnidaria, Scyphozoa) in a Mediterranean coastal lagoon from SE Spain. *Marine pollution bulletin*, 110(1), 143-154.
14. UNEP, (1988). Sampling and identification of common Mediterranean Scyphomedusae and evaluation of their occurrence. In *Reference Methods for Marine Pollution Studies* No.51 (draft); UNEP: Athens, Greece, 1-27.

15. DAORATTANACHAI, P., UNOB, F., & IMYIM, A. (2005). Multi-element preconcentration of heavy metal ions from aqueous solution by APDC impregnated activated carbon. *Talanta*, 67(1), 59-64.
16. PSZONICKI, L., HANNA, A. N., & SUSCHNY, O. (1984). Report on intercomparison IAEA/soil-7 of the determination of trace elements in soil (No. IAEA-RL/112). *International Atomic Energy Agency*.
17. ALI, H., & KHAN, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(6), 1353-1376.
18. FERNANDES, L. L., KESSARKAR, P. M., RAO, V. P., SUJA, S., PARTHIBAN, G., & KURIAN, S. (2019). Seasonal distribution of trace metals in suspended particulate and bottom sediments of four microtidal river estuaries, west coast of India. *Hydrological Sciences Journal*, 64(12), 1519-1534.
19. PARK, S., CHOI, M., JANG, D., JOE, D., & PARK, K. (2020). Distribution and sources of dissolved and particulate heavy metals (Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) in Masan Bay, Korea. *Ocean Science Journal*, 1-19.
20. ROSSI, N., AND JAMET, J.L. (2008). In situ heavy metals (copper, lead and cadmium) in different plankton compartments and suspended particulate matter in two coupled Mediterranean coastal ecosystems (Toulon Bay, France). *Mar Pollut Bull.* 56 (11): 1862-1870.
21. Yücel, Y., & Çam, A. R. (2019). Assessment of industrial pollution effects in coastal seawater (Northeastern Mediterranean Sea) with chemometric approach. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1-18.
22. ABDO, O. (2008) - Chemical study of Behavior and Distribution of Some Heavy Metals in Estuarine Waters with Relation to Salinity: Application to All-Kabeer All-Shemally River Estuary- M.Sc. thesis in Analytical Chemistry. *High Institute of Marine Research, Tishreen University, Lattakia*. 76 p.
23. JOULAK, S. (2020) - Dynamics of nutrient elements in different forms (organic and inorganic) and relationship with some metal elements in Lattakian coast water. Ph.D. Thesis in Marine chemistry. *High Institute of Marine Researches, Tishreen University, Lattakia*. 205 p.
24. MAMISH, S. (2013) - Biodiversity Study of marine Jellyfish in the Syrian Coast and it contents of Trace Elements and Radionuclides, M.Sc. Thesis in Marine Biology. *High Institute of Marine Research. Tishreen University, Lattakia*. 154 p.
25. IKHTIYAR, S.; DURGHAM H.; IBRAHEEM R. (2017) - Contribution study in biochemical composition of jellyfish (*Rhopilema nomadica*, *Pelagia noctiluca* and *Aequorea forskalea*) in the coastal water of Lattakia port. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (93) No. (1)*. 135-150.
26. IKHTIYAR, S.; DURGHAM, H.; BAKR, M. (2002) - Contribution a letude du scyphomeduse *Rhopilema nomadica* dans les eaux cotieres syriennes and biochemical composition. *J Union Arab Biol Cairo. Vol. 18 (A): Zoology*, 227 - 244.
27. ACHARY, M. S., SATPATHY, K. K., PANIGRAHI, S., MOHANTY, A. K., PADHI, R. K., BISWAS, S., & PANIGRAHY, R. C. (2017). Concentration of heavy metals in the food chain components of the nearshore coastal waters of Kalpakkam, southeast coast of India. *Food Control*, 72, 232-243.

دراسة تراكم بعض نزر العناصر الثقيلة في نوعين من قناديل البحر *Rhopilema nomadica* و *Aequorea forskalea* في المياه الساحلية لمدينة اللاذقية

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في أزمنة الوصول وإستخدام إشارات PRS

م. سليمان الغنام¹ أ.د. محمد الحسين²، د. فواز مفضي³

ملخص البحث

تم في هذا البحث إجراء دراسة لطرائق الكشف وتحديد موقع المستخدم في شبكات الاتصالات اللاسلكية النقالة. اهتم البحث بصورة خاصة بطريقة قياس الفرق الملحوظ في زمن الوصول OTDoA باستخدام إشارات تحديد الموقع المرجعية PRS. قام الباحثون بدراسة دقة تحديد الموقع والعوامل المؤثرة عليها من خلال المحاكاة في بيئة Matlab. تمثل المحاكاة نموذج لشبكة اتصالات نقالة مؤلفة من عدد من المحطات القاعدية eNodeBs، بالإضافة لنموذج للوصلة الراديوية لتمثيل إرسال واستقبال إشارات PRS، وآلية كشف الجوار وإجراء القياسات الزمنية اللازمة لحسابات OTDoA وتحديد الموقع. قام الباحثون باستقصاء دقة تحديد الموقع وفقاً لإعدادات قناة القياس المرجعية RMC، بالإضافة إلى أثر عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات PRS.

الكلمات المفتاحية: شبكات التطور طويل الأمد LTE، تحديد موقع المستخدم، الفرق في أزمنة الوصول OTDoA، إشارات تحديد الموقع المرجعية PRS، الفرق الزمني للإشارة المرجعية RSTD، ماتلاب Matlab.

¹ طالب ماجستير في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

² أستاذ في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات، جامعة دمشق.

³ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات، جامعة دمشق.

Accuracy Evaluation of User Positioning in Wireless Mobile Networks Using OTDoA Method and PRS

Eng. Suleiman Algannam

Prof. Dr. Mohammad Alhussein, Dr. Fawaz Mfadea

Abstract

This research included a study of detection and user positioning techniques in mobile wireless networks. The research focused especially on the observed time difference of arrival (OTDoA) technique using the dedicated Positioning Reference Signals (PRS). Matlab simulation was adopted to investigate the positioning accuracy of user equipment. The simulation model includes: typical cellular network layout with spatially distributed eNodeBs (eNBs), link-level model simulates PRS transmission and reception, neighbours detection, and arrival time measurements for OTDoA calculations and positioning. The researchers investigated the positioning accuracy according to both the reference measurement channel (RMC) configurations, and the number of PRS resource blocks.

Keywords: LTE, UE Positioning, Observed time difference of arrival, Positioning reference signal (OTDoA), Reference signal time difference (RSTD), Matlab

1. مقدمة

يُعرّف نظام تحديد الموقع Localization/Positioning System بأنه نظام يقوم بتحديد المواقع الجغرافية لشخص أو لغرض بالنسبة لنظام إحداثيات معين، ومن ثم يمكن توثيق هذه الإحداثيات على خريطة. كانت في البداية حالات الإنقاذ والطوارئ هي الدافع الأساسي لتطوير خدمات تحديد الموقع، وتم وضع القواعد الناظمة التي تحدد متطلبات الدقة والثوقية. لم تقتصر تطبيقات تحديد الموقع على ماسبق، وإنما ظهرت لاحقاً العديد من التطبيقات التجارية التي تستخدم خدمات الموقع (مثل الفوترة، التسويق، وشبكات التواصل الاجتماعي).

تم الاهتمام بنظم تحديد الموقع المختلفة في العقود القليلة الماضية، وتركزت الأبحاث العلمية عليها بهدف تحسين دقة تحديد موقع الهدف، وتطوير خوارزميات معالجة إشارة فعالة تجمع بين الدقة في الكشف والتعقيد الحسابي المنخفض عند التطبيق العملي.

تعتمد تقنيات تحديد الموقع المستخدمة في الشبكات الخلوية على المبادئ الأساسية في التموضع Localization. يحسب المستقبل ضمن طرفية المستخدم User Equipment (UE) قياسات الإشارة وفقاً لإشارة أو إشارات متعلقة بمرسلات مرجعية ثم يحسب الموقع باستخدام خوارزمية معينة، كما هو مبين في الشكل (1)، حيث يمكن أن تكون المرسلات المرجعية سواتل ملاحية أو محطات قاعدية خلوية (Base Stations (BSs).

تعتبر الملاحة عبر الأقمار الصناعية التقنية الرئيسية لتحديد الموقع والتموضع، نظراً لتغطيتها العالمية ودقتها العالية. يتم استخدام تحديد الموقع القائم على الهواتف الخلوية المحمولة كحل مكمل، عندما يكون هناك نقص في رؤية الأقمار الصناعية بسبب اعتراض/ تخميد شديد لإشارات الأقمار الصناعية، وهو ما يحدث عادةً في البيئات المدنية Urban والبيئات الداخلية Indoor. يمكن استخدام كل من الوصلة الصاعدة

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

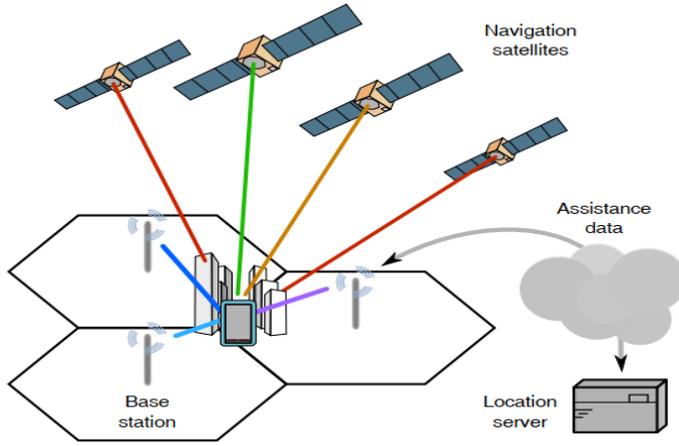
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

والهابة بين الجهاز المحمول والمحطة القاعدية BS لهذا الغرض. يمكن تصنيف طرق تحديد المواقع إلى فئتين رئيسيتين اعتماداً على الطرق الذي يحسب الموقع، هاتين الفئتين هما [1][2]:

• اعتماداً على الجهاز المحمول Mobile Localization

• اعتماداً على الشبكة Network Localization

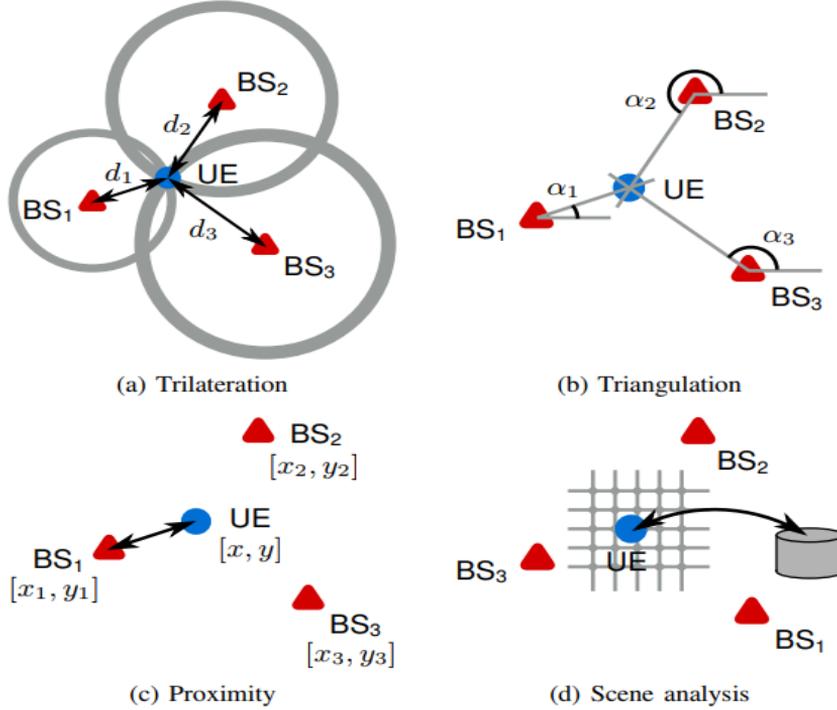
يمكن استخدام تقنيات مختلفة لحساب موقع الجهاز المحمول، وذلك بغض النظر عن طريقة تحديد الموقع، وذلك اعتماداً على مجموعة من الإشارات المرجعية والقياسات للإشارات الراديوية.



الشكل (1): البنية العامة لنظام تحديد موقع المستخدم في بيئة مدنية Urban [1].

1.1 تقنيات تحديد الموقع

يوضح الشكل (2) تقنيات تحديد الموقع الأساسية والتي تم تصنيفها كما يلي [1][2][3]:
التثليث المساحي Trilateration، التثليث الزاوي Triangulation، القرب Proximity،
تحليل المشهد Scene Analysis، طرق هجينة Hybrid.



الشكل (2): التقنيات الأساسية في تحديد الموقع: (أ) التثليث المساحي، (ب) التثليث الزاوي، (ج) تقنيات القرب، (د) وتقنيات تحليل المشهد [1].

2.1 الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة لدقة تحديد موقع المستخدم ضمن شبكات التطور طويل الأمد (Long Term Evaluation (LTE)، وذلك باعتماد طريقة الفرق في أزمنة الوصول (Observed Time Difference of Arrival (OTDoA) واستخدام إشارات

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

تحديد الموقع المرجعية Positioning Reference Signals (PRS) لتنفيذ القياسات اللازمة لهذه الطريقة.

2. طريقة OTDoA لتحديد الموقع

تم تعريف طريقة (OTDoA) observed time difference of arrival في شبكات Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)، وتم دراستها في المعايير الأساسية في العام 1999. تنطوي هذه الطريقة تحت طرق التثليث المساحي، حيث يقوم المستخدم بقياس أزمنة وصول الإشارة من محطات قاعدية متعددة (عقد). تعتمد بشكل رئيسي على حساب قياسات المدى باستخدام قناة الإشارات المرشدة المشتركة Common Pilot Channel (CPICH)، ومن الممكن أن يتم حساب الموقع في كل من الجهاز المحمول أو عن طريق الشبكة؛ إلا أن هذه الطرائق تعاني بعض المشاكل في تحديد الموقع نتيجة لكل من المسارات المتعددة، مشكلة hearability، الشكل الهندسي لتغطية المحطات القاعدية، والتزامن ضمن الشبكة، مما يضيف تعقيد للشبكة وتكاليف إضافية عند التطبيق العملي لذلك لم يتم تطبيق هذه الطريقة في أي شبكة تجارية تستخدم نظام UMTS وتم الانتظار لحين ظهور شبكات التطور طويل الأمد Long Term Evolution (LTE) لتطبيق هذه الطريقة بشكل عملي.

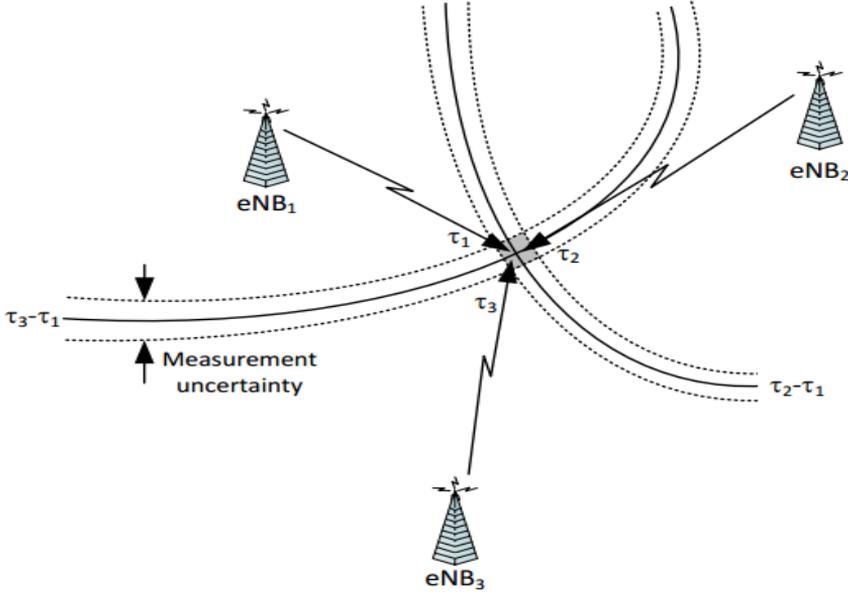
تم اعتماد هذه الطريقة في عام 2009 كطريقة لتحديد الموقع على الوصلة الهابطة في الإصدار التاسع Rel 9 من نظام LTE [6][5][4]. حيث يتم حساب قياسات المدى ضمن الجهاز المحمول باستخدام إشارات مرجعية مخصصة لحساب الموقع وتدعى هذه

الإشارات (PRS) Positioning Reference Signals؛ وقد تم تحديد مواصفات هذه الإشارات من حيث الاستطاعة، الامتداد الزمني، وعرض المجال الترددي اللازم، إضافةً لاستخدام أنماط محدّدة patterns في الإشارات المرسلة بهدف تقليل التداخل بين الخلايا. أظهرت العديد من الدراسات [8][7][5] الحصول على دقة أفضل من 20 m في 50% من الحالات المدروسة، و 63 m من أجل 95% من الحالات المدروسة من أجل عرض مجال ترددي 20 MHz.

1.2 المبدأ الرياضي لقياسات الفرق في أزمنة الوصول

يبين الشكل (3) مبدأ عمل طريقة OTDoA، حيث يتم طرح أزمنة وصول إشارات عقد الجوار إلى جهاز المستخدم من زمن وصول إشارة العقدة المرجعية للحصول على قيم OTDoAs. هندسياً، يمثل كل فرق زمني (أو بشكل مكافئ فرق مسافة) معادلة قطع في المستوى، وتمثل نقطة تقاطع هذه القطوع موقع المستخدم.

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



الشكل (3): مبدأ عمل طريقة OTDoA [4].

في الشكل (3)، يقيس المستخدم ثلاث أزمنة وصول بالنسبة لتوقيته الداخلي هي τ_1, τ_2, τ_3 . يتم اختيار زمن الوصول من العقدة الأولى كقاعدة مرجعية لحساب OTDoA لنحصل على: $t_{2,1} = \tau_2 - \tau_1$ و $t_{3,1} = \tau_3 - \tau_1$. بما أن قياس كل زمن τ_i يتم بدقة معينة أو بارتياح محدد، بالتالي يُمثل كل قطع بعرض محدد يعبر عن هذا الارتياح في القياس، ويكون في هذه الحالة موقع المستخدم هو منطقة تقاطع هذه القطوع.

بافتراض وجود N عقدة بمواقع معلومة مسبقاً، وأنه بإمكاننا قياس زمن الوصول TOA لإشارة مرسله من المستخدم عند كل عقدة من العقد. لنرمز لكل زمن من هذه الأزمنة بالرمز t_i وهو زمن الوصول للعقدة i.

بافتراض أن جميع العقد متزامنة، ولتكن t_M هي لحظة إرسال الإشارة، وليكن τ_i هو زمن الانتشار بين المستخدم والعقدة i الموجودة في الموقع (x_i, y_i) . لتكن d_i هي المسافة بين المستخدم والعقدة i . وفقاً لهذه التعريفات يمكن كتابة المعادلة التالية التي تربط القياس t_i بموقع المستخدم (x, y) [4]:

$$(1)$$

$$t_i = \tau_i + t_M$$

$$t_i = \frac{d_i}{c} + t_M$$

$$t_i = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}}{c} + t_M$$

من الواضح أن هذه المعلومة بمفردها لا يمكن من حساب موقع المستخدم، حيث يوجد معادلة واحدة بثلاثة مجاهيل (x, y, t_M) . ولكن بأخذ الفرق بين قياسين t_i, t_j من عقدتين مختلفتين $(i \neq j)$ ، يمكن اختزال المجهول t_M كما يلي:

$$(2)$$

$$t_i - t_j = \tau_i + t_M - (\tau_j - t_M)$$

$$t_i - t_j = \tau_i - \tau_j$$

$$t_i - t_j = \frac{d_i}{c} - \frac{d_j}{c}$$

$$t_i - t_j = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}}{c}$$

أي أنه أصبح لدينا معادلة بمجهولين لها عدد لانهائي من الحلول (x, y) . بتطبيق نفس العملية لأجل القياس عند عقدة ثالثة يمكن الحصول على معادلتين بمجهولين كما يلي:

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

(3)

$$t_i - t_j = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}}{c}$$
$$t_i - t_k = \frac{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2}}{c}$$

رياضياً، تقبل المعادلتين السابقتين حلاً أو حلين. أما عملياً فيوجد حل وحيد لها، لذلك يتم عادةً أخذ قياس إضافي لضمان عدم وجود حلول متعددة للمسألة السابقة.

عملياً، يقوم جهاز المستخدم في أنظمة الجيل الرابع LTE بإجراء قياس مخصص لغرض تحديد الموقع على إشارة مخصصة. تدعى هذه العملية بعملية قياس الفرق الزمني للإشارة المرجعية (RSTD) reference signal time difference measurement معرفة ضمن قياسات الطبقة الفيزيائية وفقاً لـ 3GPP TS 36.214 [4].

2.2 إشارات تحديد الموقع المرجعية PRS

يمكن بشكل عام تنفيذ قياسات RSTD السابقة على أي إشارات في الوصلة الهابطة Down Link (DL) (كإشارات التزامن على سبيل المثال). من ناحية أخرى، تعاني هذه الإشارات من ضعف في إمكانية رصدها، والتي تمثل جوهر عملية تحديد الموقع في OTDoA عندما يتوجب على جهاز المستخدم كشف الإشارات من عدة خلايا جوار [4].

يمكن اعتبار الإشارات المستقبلية من خلية الجوار، بما فيها إشارات التزامن والإشارات المرجعية، قابلة للكشف عندما تكون نسبة الإشارة للتداخل والضجيج، أو بمعنى آخر

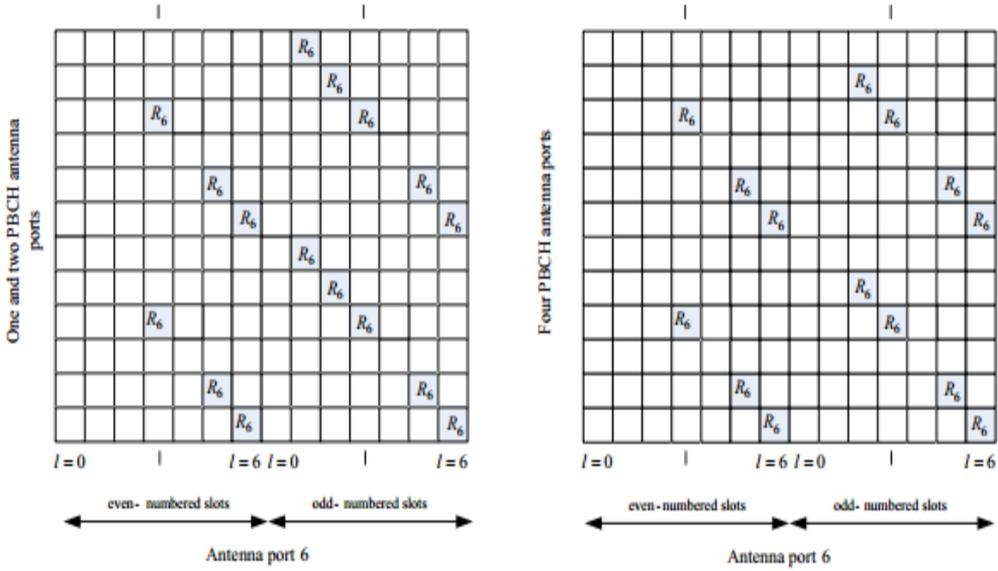
عملية تحديد الموقع، لا يعتبر هذا الحد كافياً لكشف العدد المناسب من خلايا الجوار المتباعدة جغرافياً. Signal-to-Interference and Noise Ratio (SINR) على الأقل -6 dB. ولكن في

نتيجةً لما سبق، تم اقتراح استخدام إشارات خاصة لعملية تحديد الموقع هي إشارات تحديد الموقع المرجعية (PRS) Positioning Reference Signal لتمكين جهاز المستخدم من إجراء قياسات المدى على إشارات من محطة الخلية بهدف تحسين أداء عملية تحديد الموقع باستخدام طريقة الفرق في أزمنة الوصول OTDoA.

يبين الشكل (4) مواقع عناصر الموارد لإشارات تحديد الموقع PRS في حالة البادئة الدوّارة العادية. يمثل كل مربع في الشكل (4) عنصر مورد ذو ترتيب k على المجال الترددي و ترتيب l على المجال الزمني. تمثل المربعات الموسومة بالرمز R_6 مواقع عناصر الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع PRS ضمن كتلة موارد مؤلفة من 12 حامل فرعي و 12 أو 14 رمز OFDM.

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



الشكل (4): مواقع عناصر الموارد لإشارات تحديد الموقع PRS في حالة البادئة الدوّارة العادية.

3. المحاكاة في ماتلاب

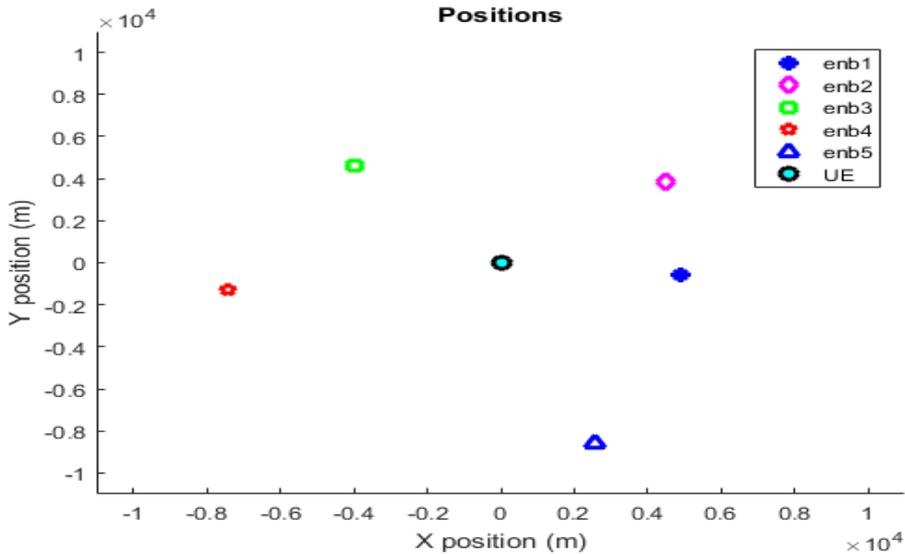
1.3 طريقة المحاكاة

تم تصميم نموذج لمحاكاة شبكة مؤلفة من عدد من المحطات القاعدية eNodeB. تفترض المحاكاة وجود مستخدم وحيد يستقبل مجمل الإشارات المرسلّة من المحطات القاعدية مقرونةً بتأخيرات زمنية واستطاعات مختلفة. يقوم جهاز المستخدم بحساب الترابط على إشارات تحديد الموقع PRS لإيجاد التأخير الزمني لكل محطة قاعدية، بالإضافة إلى حساب فرق التأخير الزمني بين كل زوجين من المحطات القاعدية. تُستخدم هذه الفروقات الزمنية لحساب القطوع ورسمها بالنسبة لمواقع المحطات القاعدية المعلومة بحيث تمثل نقطة تقاطع هذه القطوع الموقع المكتشف للمستخدم.

2.3 إعداد المحطات القاعدية في المحاكاة

تم إعداد المحطات القاعدية eNodeBs بحيث يكون لكل منها معرف خلية وحيد CellID. كما تم ضبط معاملات إشارة تحديد الموقع المستخدمة. يبين الجدول (1) خيارات الإعداد الابتدائية لقناة القياس المرجعية reference measurement channel (RMC) على الوصلة الهابطة وفقاً للتوصيف الوارد في المعيار TS 36.101, Annex A.3 [9].

تتوزع مواقع المحطات القاعدية (x,y) بشكل عشوائي حول المستخدم الموجود في مركز الإحداثيات (0,0). يبين الشكل (5) مثالاً لحالة شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية.



الشكل (5): مثال لحالة شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية مع مستخدم بمركز الإحداثيات.

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

الجدول (1): خيارات الإعداد الابتدائية لقناة القياس المرجعية RMC.

RMC	NDRB	Modulation	Cyclicprefix
R.0	15	16QAM	Normal
R.1	50	16QAM	Normal
R.2	50	QPSK	Normal
R.3	50	16QAM	Normal
R.4	6	QPSK	Normal
R.5	15	64QAM	Normal
R.6	25	64QAM	Normal
R.7	50	64QAM	Normal
R.8	75	64QAM	Normal
R.9	100	64QAM	Normal
R.25	50	QPSK	Normal
R.26	50	16QAM	Normal
R.27	50	64QAM	Normal
R.28	50	16QAM	Normal
R.6-27RB	27	64QAM	Normal

تبدأ عملية الإرسال بتشكيل بنية موارد فارغة resource grid لكل محطة قاعدية، ثم تشكيل إشارة تحديد الموقع PRS، وإشارة التزامن الأولية Primary Synchronisation Signal (PSS)، وإشارة التزامن الثانوية Secondary Synchronisation Signal (SSS)، وإشارة المرجعية للخلية Cell-specific Reference Signal (Cell RS)، ثم

توزيع هذه الإشارات ضمن بنية الموارد. أخيراً يتم تعديل بنية الموارد بتعديل OFDM لتشكيل الموجة المرسلّة.

3.3 قناة الانتشار

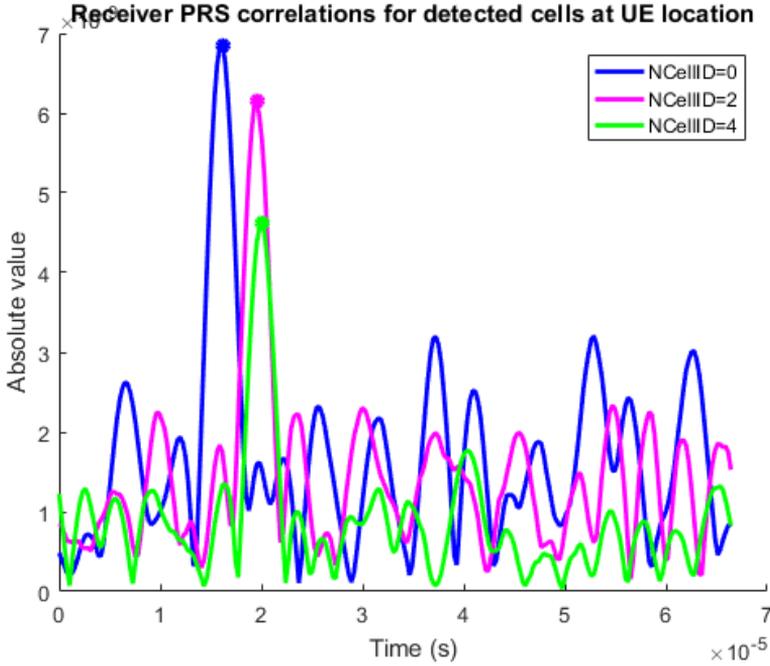
يعتمد حساب التأخير الزمني لإشارة كل محطة قاعدية على المسافة بين المستخدم والمحطة القاعدية وسرعة الضوء، وبمعرفة معدل النقطيع يتم إيجاد التأخير الزمني للعينات عند المستقبل. في المقابل، يتم تمثيل أثر قناة الانتشار بالاعتماد على نموذج فقد المسار Urban Macro Line Of Sight (LOS) path loss الموصف في المعيار [10]. GPP TR 36.8143.

4.3 كشف الجوار وتحديد الموقع

يستقبل جهاز المستخدم مجموع الإشارات المرسلّة من المحطات القاعدية بعد انتشارها ضمن القناة. يقوم جهاز المستخدم بإجراء بحث لكشف الخلايا المحيطة. تعتمد عملية كشف الخلايا المحيطة على إشارتي التزامن الأولية والثانوية، حيث يتم ترتيب الخلايا المكتشفة وفقاً لمطال الترابط المنفذ على هذه الإشارات بدلاً من معيار استطاعة الإشارة المستقبلية المعروف (Reference Signal Received Power (RSRP)، ومن ثم إجراء قياس لجودة الإشارة المستقبلية (Reference Signal Received Quality (RSRQ) حيث تُعتبر الخلية مرئية (مكتشفة) للمستخدم إذا حققت الشرط $RSRQ > -20$ dB.

بعد تحديد قائمة خلايا الجوار المحيطة لدى جهاز المستخدم، يقوم بقياس زمن وصول الإشارة من كل خلية جوار عبر إجراء ترابط للإشارة المستقبلية مع إشارة PRS مولدة محلياً لأجل كل معرّف خلية. يُستخدم الترابط عند قيمة القمة لتقدير التأخير الزمني وحساب فرق أزمنة الوصول كما يبين الشكل (6).

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



الشكل (6): حسابات الترابط مع إشارات PRS للخلايا المكتشفة عند المستخدم.

باستخدام الفروقات الزمنية للوصول بين كل زوجين من المحطات القاعدية، يتم رسم قطوع مراكزها هي مواقع المحطات القاعدية، وتتقاطع بيانياً عند موقع المستخدم المطلوب. بالحل المشترك لمعادلات القطوع وفقاً لـ [11][12] نحصل على إحداثيات الموقع المكتشف.

4. دراسة أداء OTDoA

تهدف هذه الفقرة إلى دراسة أداء تحديد الموقع بطريقة OTDoA وباستخدام إشارات PRS في شبكات التطور طويل الأمد وفقاً لإعدادات قناة القياس المرجعية RMC، وعدد كتل الموارد المحجوزة لإشارات تحديد الموقع NPRSRB.

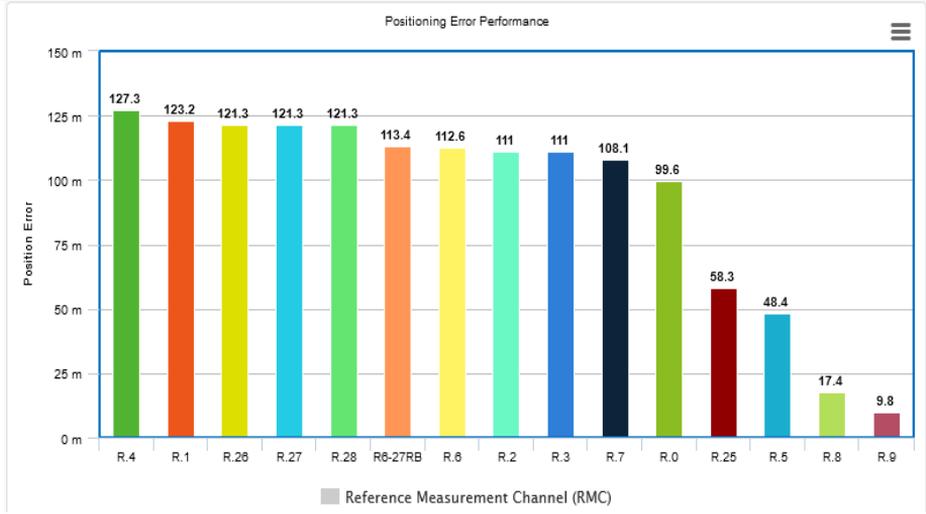
1.4 الأداء وفقاً لإعدادات قناة القياس RMC

باستخدام إعدادات مختلفة لقناة القياس المرجعية الواردة في الجدول (1)، مع الأخذ بعين الاعتبار الشروط التالية:

- شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية eNodeB.
- نموذج الانتشار Urban Macro Line Of Sight (LOS) path loss.
- عدد كتل الموارد المحجوزة لإشارات تحديد الموقع (NPRSRB = 2).
- عدد مرات المحاكاة العشوائية 1000 مرة.

يبين الشكل (7) نتائج الأداء لخطأ المسافة الوسطي بين الموقع الحقيقي للمستخدم والموقع المكتشف. نلاحظ أن الإعدادات 'R.9' لقناة القياس المرجعية تحقق أفضل دقة بخطأ وسطي للمسافة بين الموقع الحقيقي والموقع المكتشف 9.8 m، تليها 'R.8' بخطأ وسطي 17.4 m، حيث يكون عرض حزمة القناة على الوصلة الهابطة لهاتين الحالتين مساوياً 20 MHz و 15 MHz على الترتيب. بينما يزداد الخطأ الوسطي لأجل بقية الحالات من 50 m إلى 127 m، وهو ما يؤكد الاستنتاجات الواردة في الدراسة [5] والتي تنص على أن طرائق تحديد الموقع المعتمدة على القياسات الزمنية تكون ذات دقة أقل في الأنظمة ذات تردد التقطيع المنخفض. عموماً، تقع نتائج الأداء في هذه الحالة ضمن الحدود المقبولة لدقة تحديد الموقع [50 – 150]m كما هو الحال في [7].

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في
أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS



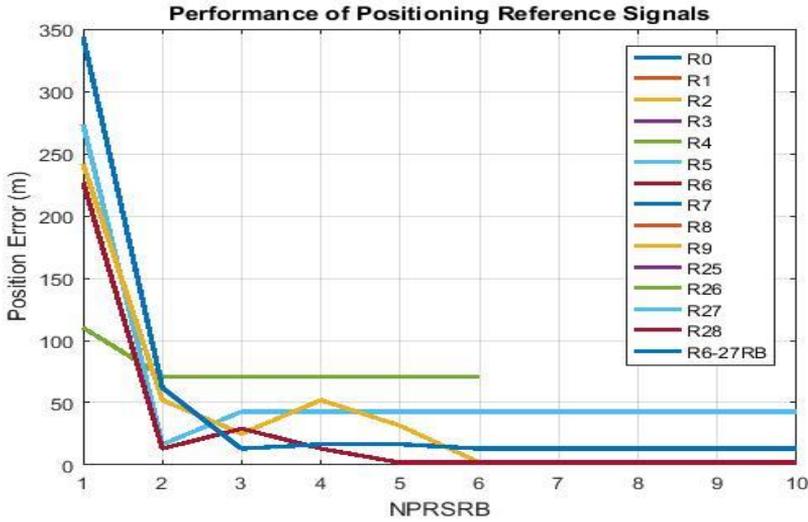
الشكل (7): نتائج الأداء لتحديد الموقع باستخدام إعدادات مختلفة لقناة القياس المرجعية وعدد ثابت من كتل الموارد NPRSRB=2.

2.4 أثر عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع NPRSRB

تم في هذه الفقرة دراسة الأداء تبعاً لعدد كتل الموارد المحجوزة لإشارات تحديد الموقع PRS، والتي يشار إليها بالمعامل NPRSRB وفق الشروط التالية:

- شبكة مؤلفة من 5 محطات قاعدية eNodeB.
- نموذج الانتشار Urban Macro Line Of Sight (LOS) path loss.
- عدد مرات المحاكاة العشوائية مرة واحدة لكل قيمة NPRSRB مختلفة (لأن الهدف في هذه المحاكاة ليس الحصول على قيمة وسطية لخطأ المسافة، وإنما مراقبة أثر تغيير NPRSRB على قيمة الخطأ في نفس الحالة العشوائية للشبكة).

يبين الشكل (8) أثر تغيير عدد كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع PRS على نتائج الأداء لخطأ المسافة الوسطي بين الموقع الحقيقي للمستخدم والموقع المكتشف.



الشكل (8): تأثير عدد كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع على دقة تحديد الموقع.

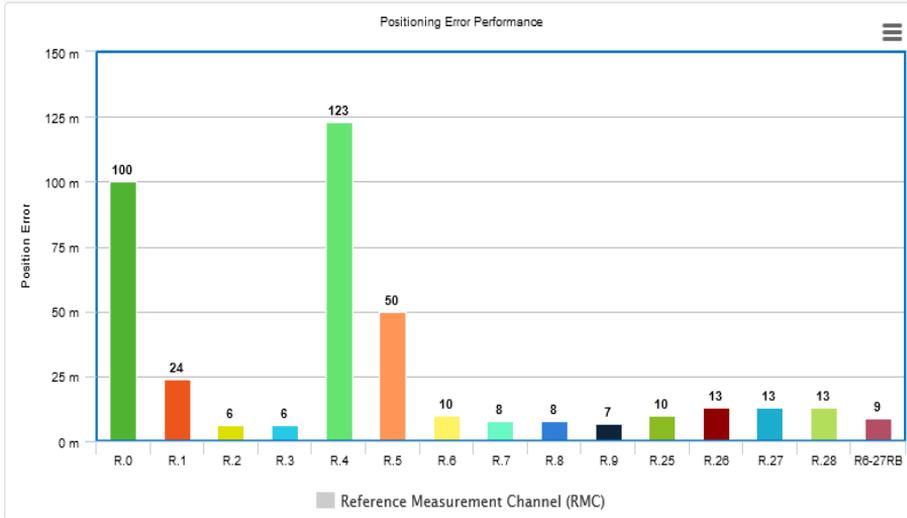
من الواضح أن زيادة عدد كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع تؤدي إلى رفع دقة تحديد الموقع بالاعتماد على هذه الإشارات (أو بمعنى آخر انخفاض خطأ المسافة الوسطي)، بما يتوافق مع نتائج الدراسة [5] حيث أدت زيادة عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع إلى تحسين الأداء لأجل مختلف نماذج القنوات المدروسة. كما نلاحظ أن زيادة NPRSRB تصبح بدون تأثير على الدقة بعد قيمة محددة وجدنا أنها مساوية للقيمة $(NPRSRB = 6)$ ، والتي يتحقق عندها أقل خطأ في المسافة لأجل معظم الإعدادات لقناة القياس المرجعية، عدا الحالات $(R.0, R.4, R.5)$ التي تحقق أفضل أداء عند $(NPRSRB = 2)$. في الحالات $(R.0, R.4, R.5)$ يكون عدد كتل الموارد على الوصلة الهابطة $(15, 6, 15)RB$ على الترتيب، بالتالي زيادة كتل الموارد لإشارات تحديد الموقع

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

PRS سيكون على حساب إشارات التزامن الأولية والثانوية PSS, SSS والإشارة المرجعية Cell-RS التي يعتمد عليها جهاز المستخدم في كشف محطات الجوار.

بإعادة دراسة الحالة في الفقرة السابقة (1.4) مع إعادة ضبط المعامل NPRSRB إلى القيم الأمثلية التي حصلنا عليها. يبين الشكل (9) نتائج الأداء لخطأ المسافة الوسطي بين الموقع الحقيقي للمستخدم والموقع المكتشف عند استخدام القيم الأمثلية للمعامل NPRSRB.



الشكل (9): نتائج الأداء لتحديد الموقع باستخدام إعدادات مختلفة لقناة القياس المرجعية والعدد الأمثلي للمعامل NPRSRB.

بالمقارنة مع نتائج الأداء في الشكل (7) نلاحظ التحسن الكبير الملحوظ على دقة تحديد الموقع لأجل كل حالات الإعدادات الممكنة لقناة القياس المرجعية، وذلك عند ضبط المعامل NPRSRB إلى القيم الأمثلية التي حصلنا عليها. يبين الجدول (2) مقارنة لدقة تحديد الموقع بين الحالتين ونسبة التحسين الحاصلة.

الجدول (2): مقارنة دقة تحديد الموقع.

نسبة التحسين (%)	وسطي خطأ المسافة باستخدام NPRSRB الأمثلي (m)	وسطي خطأ المسافة باستخدام NPRSRB = 2 (m)	إعدادات قناة القياس المرجعية
81	24	123	'R1'
94	6	111	'R2'
94	6	111	'R3'
91	10	113	'R6'
93	8	108	'R7'
54	8	17	'R8'
30	7	10	'R9'
82	10	58	'R25'
89	13	121	'R26'
89	13	121	'R27'
89	13	121	'R28'
92	9	113	'R6-27RB'

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

5. الخلاصة

وجدنا أن دقة تحديد الموقع باستخدام طريقة OTDoA في شبكات التطور طويل الأمد تتغير وفقاً لإعدادات قناة القياس المرجعية المستخدمة، حيث تكون دقة تحديد الموقع أقل في الأنظمة ذات تردد النقطيع المنخفض، كما أن زيادة عدد كتل الموارد المخصصة لإشارات تحديد الموقع PRS تؤدي إلى رفع دقة تحديد الموقع بالاعتماد على هذه الإشارات. بما أن طريقة OTDoA تعتمد أساساً على قياس أزمنة وصول إشارات PRS من المحطات القاعدية إلى جهاز المستخدم، بالتالي فإن عملية تحسين دقة هذه الطريقة تبدأ من تحسين دقة قياس أزمنة الوصول. إن الاعتماد على كشف قمة الترابط لتحديد زمن وصول الإشارة قد لا يكون مناسباً وخصوصاً في ظروف الخفوت الشديد حيث ليس بالضرورة أن يكون المسار الأقوى هو المسار الأول. بالتالي يمكن تحسين دقة قياس أزمنة الوصول من خلال تطبيق تقنيات لكشف المسار الأول للإشارة. بالإضافة لما سبق، يجب دراسة إمكانية تحسين دقة تحديد الموقع بزيادة عدد الأطر الفرعية التي تتضمن إشارات PRS.

المراجع:

- [1] del Peral-Rosado, José A., et al. "Survey of cellular mobile radio localization methods: From 1G to 5G." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 20.2 (2017): 1124-1148.
- [2] Campos, Rafael Saraiva. "Evolution of positioning techniques in cellular networks, from 2G to 4G." *Wireless Communications and Mobile Computing* 2017 (2017).
- [3] Zekavat, Reza, and R. Michael Buehrer. *Handbook of position location: Theory, practice and advances*. Vol. 27. John Wiley & Sons, 2011.
- [4] Fischer, Sven. "Observed time difference of arrival (OTDOA) positioning in 3GPP LTE." *Qualcomm White Pap* 1.1 (2014): 1-62.
- [5] Alhafid, Abdulrahman Kh, and Sedki Younis. "Observed Time Difference of Arrival Based Position Estimation for LTE Systems: Simulation Framework and Performance Evaluation." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 3.9 (2020): 105.
- [6] Pan, Guangjin, et al. "Deep Learning based OTDOA Positioning for NB-IoT Communication Systems." *arXiv preprint arXiv:2004.05008* (2020).
- [7] El Mourabit, Ilham, et al. "Performance of Enhanced LTE OTDOA Positioning Approach Through Nakagami-m Fading Channel." *International Symposium on Ubiquitous Networking*. Springer, Cham, 2017.
- [8] Sivers, Mstislav, and Grigoriy Fokin. "LTE positioning accuracy performance evaluation." *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. Springer, Cham, 2015. 393-406.
- [9] 3GPP TS 36.101. "User Equipment (UE) radio transmission and reception." 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). URL: <http://www.3gpp.org>.

دراسة دقة تحديد موقع المستخدم في الشبكات اللاسلكية النقالة بطريقة الفرق في

أزمنة الوصول واستخدام إشارات PRS

[10] 3GPP TR 36.814 "Further advancements for E-UTRA physical layer aspects". URL: <http://www.3gpp.org>

[11] Vesely, Jiri, Libor Drazan, and Petr Hubacek. "Analytical solution of the Time Difference Of Arrival method with known target altitude." *2014 15th International Radar Symposium (IRS)*. IEEE, 2014.

[12] Vesely, Jiri, and Sang Van Doan. "Analytical method solving system of hyperbolic equations." *2015 25th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*. IEEE, 2015.

تطوير معيار ضمان جودة لمنتجات الطباعة الليزرية ثلاثية الأبعاد

إعداد

م. علي عبد الله¹ د. ماجد حيبا² د. رفيع جبرة³

¹ ماجستير في علوم المواد، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

² باحث رئيسي، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا،

mhaajiebda@gmail.com

³ أستاذ، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

ملخص البحث

التبيد الانتقائي بالليزر عبارة عن تقانة طباعة ثلاثية الأبعاد قائمة على تليد شعاع ليزر لطبقات متتالية من مساحيق بلاستيكية خاصة بحيث تتحول إلى منتجات جاهزة دون الحاجة لمعالجات ميكانيكية لاحقة. تتمثل المشكلة المرتبطة بالاستثمار المجدي لتلك التقانة بحاجة المستثمرين لطيف واسع من المعارف والخبرات، وهو مالا يتوفر في معظم بيئات العمل العائدة لبلدان العالم الثالث. وضمن ذلك السياق، طرح البحث الحالي بهدف تجميع المعارف النظرية وتوليد الخبرات العملية اللازمة للوصول إلى وضع يسمح بالاستثمار المُجدي لطباعة تليد انتقائي نوع Sinterit Lisa، آخذين بالحسبان معالجة نتائج البحث بحيث تُقدّم على شكل معيار ضمان جودة.

الكلمات المفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد، التليد الانتقائي بالليزر، النايلون 12، اختبار مسح كمية الحرارة التفاضلي، معيار ضمان جودة.

Development of a Quality Assurance Criteria for 3D Laser Printed Products

Abstract

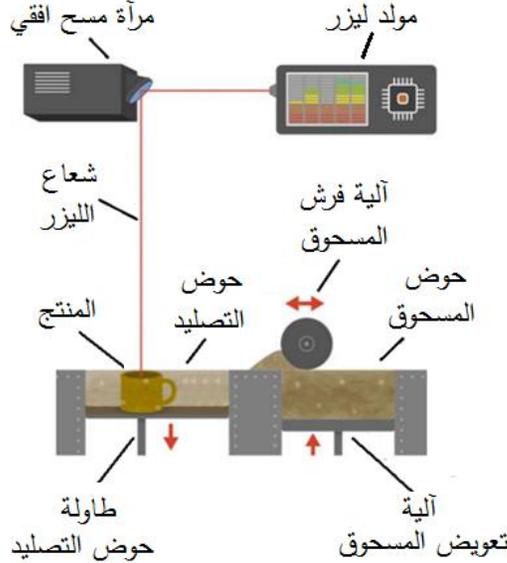
Selective Laser Sintering (SLS) is a 3D printing technique, which transforms specific kind of plastic powder into ready to use parts, without the need for an additional mechanical processing. Unfortunately, the efficient implementation of the technique requires considerable understanding and significant knowledge of the printing process, which are fully unavailable in the relevant industrial environment of the third world countries. Within this context, the present research was proposed with the aim of gathering the knowledge and gaining the experience required to professionally operate selective laser sintering printer of Sinterit Lisa type, taking into account the need for presenting the results as a quality control criteria.

Keywords: 3D printing, Selective laser sintering, Nylon 12, Differential scanning calorimetry test, Quality assurance criteria.

1. المقدمة.

حققت تقانة الطباعة ثلاثية الأبعاد انتشاراً واسعاً في الدول المتقدمة منذ نشأتها عام 1984، ويسود الاعتقاد بأنها ستنتشر بدرجة أكبر على مستوى العالم كاملاً خلال السنوات القليلة القادمة [1]. ولنشر استخدام هذه التقانة في دول العالم الثالث، تحتاج تلك الدول إلى أن يكون لديها العدد الكافي من الخبراء، ذلك لأن الوضع على أرض الواقع يؤكد النقص القائم في عدد الفنيين الذين يملكون الخبرات اللازمة لاستنباط وتوثيق المعارف اللازمة، ولوضع دراسات الجدوى، ولتوطين تقانات الطباعة المناسبة، وللتدريب على استثمارها بفعالية عالية، وللتوعية لأهمية البحث والاستثمار والتأهيل في ذلك المجال المهم [2]. وضمن هذا السياق، طرح البحث الحالي الذي يهدف إلى تطوير معيار ضمان جودة يسمح بالاستثمار المُجدي لطابعة ليزيرية ثلاثية الأبعاد نوع Sinterit Lisa، علماً بأن عمليات الاستثمار الأولي لتلك الطابعة لم تكن ناجحة.

2. التلييد الانتقائي بالليزر (SLS) Selective Laser Sintering



الشكل رقم (1): مبدأ عمل تقانة التلييد الانتقائي بالليزر [3].

يُبين الشكل رقم (1)، مبدأ التلييد الانتقائي بالليزر الذي يُعدّ تقانة طباعة ثلاثة الأبعاد قائمة على تلييد طبقات متتالية من مسحوق بوليميري مناسب بالاعتماد على نموذج رقمي. يتحقق ذلك وفقاً لتسلسل الخطوات التالية:

أ. ضبط المتغيرات¹ المتاحة في الطباعة المستعملة وذلك بمرجعية المادة الأولية المستعملة، والمواصفات المستهدفة للمنتج المطلوب طباعته.

ب. تعبئة حوض المسحوق بكمية كافية من المادة الأولية، ورفع درجة حرارة تلك المادة بشكل تدريجي حتى الوصول إلى درجة حرارة الحجرة Tch، التي تقل بحوالي درجتين مؤنيتين عن درجة حرارة انصهار المسحوق المستخدم.

ت. تشغيل آلية فرش المسحوق، مما يؤدي إلى (1) تحريك طاولة حوض التوضّع والتلييد (حوض التصليد) إلى الأسفل بمسافة مساوية للقيمة التي سبق ضبطها لمتغير سماكة الطبقة، (2) تحريك آلية تعويض المسحوق إلى الأعلى بمسافة مساوية للقيمة التي سبق ضبطها لمتغير سماكة الطبقة، (3) تفعيل آلية فرش المسحوق ما يتسبب بتوضّع طبقة مسحوق منتظمة السماكة فوق طاولة حوض التوضّع والتلييد، (4) تشغيل الليزر وتحريك شعاعه (بمرجعية إحداثيات مأخوذة من النموذج الرقمي (CAD model) للمنتج الجاري طباعته) بحيث يمسح ويُلبد جزءاً من طبقة المسحوق، أخذين بعين الاعتبار أن شكل ذلك الجزء يطابق شكل الشريحة الموافقة في النموذج الرقمي.

ث. وإتمام عملية الطباعة، تُحرّك طاولة حوض التوضّع والتلييد نحو الأسفل بمسافة مساوية لسماكة الطبقة التي تم تلييدها، وبعد ذلك تفرش طبقة جديدة من المسحوق وتلبد بالليزر، ويتكرر ذلك حتى إكمال عملية الطباعة. وإخراج

¹ المتغيرات المتاحة لضبطها في الطابعات المختلفة ليست واحدة، والطابعات الأكثر احترافية تتيح إمكانية ضبط استطاعة الليزر، ومساحة بقعة الليزر، وسرعة تحريك البقعة أو ما يعرف بسرعة المسح، وتباعد المسح، واتجاه توضع المنتج بالنسبة لطاولة البناء، وسماكة الطبقة، ونمط المسح، ودرجة حرارة حجرة البناء.

المنتج، لا بد من التريث حتى وصول درجة الحرارة داخل الطابعة إلى قيمة قريبة من درجة حرارة الجو الخارجي.

تجدر الإشارة إلى أن طابعات التليبيد الانتقائي بالليزر تكاد تقترب من كونها بنى إنتاج معتمدة. ومع ذلك، فإنها تعاني من المشاكل التالية التي تحد من تعميم استخدامها على نطاق صناعي واسع:

أ. محدودية البوليميرات الممكن تليبيدها بنجاح، فوفقاً ل [4, 5]، تنحصر الخيارات المتاحة بمسحوقي Nylon 11 و Nylon 12، حيث يصل معدل استهلاك الأخير لما يزيد عن 90 % من معدل الاستهلاك الكلي للمساحيق البوليميرية المستعملة في طابعات ال SLS.

ب. غلاء أسعار المساحيق المتوفرة في الأسواق العالمية، وظهور الحاجة لمعالجة مسألة مخلفات الطباعة، ذلك أن نسب تلك المخلفات عالية بالمقارنة مع النسب المكتملة التي تدخل في تركيب المنتجات المطبوعة [5,6,7].

3. إشكالية التليبيد الانتقائي بالليزر.

وفقاً لما ذكر سابقاً، تكون المواد البوليميرية المستخدمة في طابعات ال SLS على شكل مساحيق يتم تليبيدها بهدف دمجها وتحويلها إلى منتجات. ويتحقق ذلك من خلال تعريض طبقات متتالية منها للتليبيد باستعمال حزمة ليزر بهدف الوصول إلى منتج نهائي من حيث الشكل والأبعاد وتحقيق المتطلبات الوظيفية. وضمن السياق أعلاه، لا بد من الإشارة إلى أن تحقيق منتجات طابعات ال SLS للمواصفات المطلوبة، يرتبط إلى حد كبير بالشروط التي تطبق خلال دورات عمل الطابعة. ويتطلب الحصول على منتجات طباعة نوعية ضبط متغيرات الطابعة المستخدمة على القيم المثلى، وبما يتوافق مع إمكانيات الضبط المتاحة، ومع نوع وطبيعة وبنية المسحوق المستخدم². ويُمثل ذلك مسألة إشكالية نظراً لمحدودية القيم المثلى المتاحة في المراجع المختصة من جهة، ونظراً

² مسحوق جديد أو مستخدم بعملية طباعة سابقة لمرة واحدة أو أكثر أو معاد تدويره من خلال الخلط بنسبة ما من المسحوق الجديد.

لانعدام إمكانية تعميم استخدام القيم المتاحة دون قيود من جهة أخرى. ذلك لأن القيم المثلى الخاصة بمتغيرات طباعة ما، قد لا تكون مثلى في طباعة أخرى، ولأن القيم المثلى الخاصة بمسحوق ما، يمكن ألا تكون مثلى لمسحوق آخر مطابق للأول بالنوع ومختلف عنه في بعض المواصفات غير الأساسية مثل توزيع أبعاد الحبيبات، أو وسطي أبعادها.

4. الدراسات المرجعية.

ضمن سياق العمل على تحديد النتائج المترتبة على جودة المنتجات الملبدة بالليزر كنتيجة لتغير طبيعة وسلوك مسحوق الـ Nylon 12 المستعمل، عمل الباحث M. Schmid وزملاؤه على مسحوق Nylon 12 متطابقين في التركيب الكيميائي ومختلفين من حيث التوزيع الحجمي والبنية البلورية للحبيبات [6]. أكدت النتائج التي تم الحصول عليها أن متغيرات عملية الطباعة اللازم ضبطها للحصول على منتجات عالية الدقة مختلفة تماماً بين المسحوقين، وفُسر ذلك بالاعتماد على نتائج الاختبارات الحرارية التي أكدت التفاوت الكبير في السلوك الحراري للمسحوقين. وضمن سياق العمل على تحديد المعالجات المسبقة اللازمة لتحقيق نتائج إيجابية للمنتجات المصنعة من مسحوق Nylon 12 معاد تدويره، عمل الباحث W.A.Y Yusoff وزملاؤه على دراسة تجريبية حول تأثيرات استخدام المسحوق المعاد تدويره على جودة سطوح منتجات طريقة الـ SLS. وقد وجدوا أن استخدام المساحيق المعاد تدويرها يعطي منتجات ذات سطوح سيئة [8]. ولمعالجة هذه المشكلة، تم العمل على تطوير استراتيجية عمل قائمة على التحكم بأهم المتغيرات المرتبطة بعملية الـ SLS بما يضمن جودة سطوح المنتجات والاستخدام الفعال للمساحيق المعاد تدويرها. اشتملت المتغيرات التي أخذت بالاعتبار خلال الدراسة على تركيبة مسحوق الطباعة المستخدم من حيث نسب إضافة المسحوق الجديد إلى المسحوق المعاد تدويره. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن خلائط المساحيق التي يقل معدل تدفق مصهورها (MFR) عن (18 g/10min) تؤدي إلى منتجات ذات سطوح رديئة. أما الباحث K. Dotchev وزملاؤه، فقد عملوا

على تحديد معدلات تدفق مصهور مسحوق الـ Nylon 12 قبل وبعد تعرضه لمعالجات ضمن فرن تتشابه بيئته مع بيئة العمل في طباعة SLS [9].

أكد ما تم استخلاصه بنتيجة هذه الدراسة على أن التدهور في مواصفات وسلوك المساحيق يتناسب بشكل طردي مع درجة حرارة المعالجة ومع زمنها، وعلى أن معدل تدفق المصهور يعبر بحساسية عالية عن تغير خصائص المسحوق الخاضع للمعالجة، وبالتالي يوفر طريقة سريعة وغير مكلفة نسبياً لقياس معدل تقادم المسحوق بسبب تعرضه لمعالجة SLS. وضمن سياق البحث المنفذ من قبل الباحث S. Dadbakhsha وزملاؤه، تم اختبار مساحيق Nylon 12 متعددة، الأول منها جديد، والثاني خاضع لدورة SLS واحدة، والثالث مكون من مزيج من المسحوقين السابقين. تناول العمل توضيح تأثير التقادم الناتج عن التعرض لدورات الـ SLS على السلوك الحراري للإلتحام وعلى الخواص الميكانيكية لعينات وحيدة الطبقة [10]. تُبين النتيجة الأولى التي تم التوصل لها أن حبيبات المسحوق الجديد تلتحم بسرعة أثناء التسخين. وعلى العكس من ذلك، تبدأ حبيبات المسحوق المعاد تدويرها بالإلتحام عند درجات حرارة أعلى، حيث يستمر ذلك حتى حصول الانصهار الكامل. أما سلوك حبيبات المسحوق المختلط، فيقع بين سلوكي المسحوق الجديد والمعاد استخدامه. إما النتيجة الثانية، فتؤكد على إظهار منتجات المسحوق الجديد قدرة أكبر على تحمل قوى الشد، أما المنتجات المكافئة المصنعة من مساحيق مدورة، فأبدت قدرة أقل على تحمل تلك القوى. وفيما يتعلق بالنتيجة الأخيرة، فتؤكد على امتلاك عينات المساحيق المحضرة من خلال مزج 50 % مسحوق جديد ومثلها مسحوق معاد التدوير ذو مقاومة شد عالية وسلوك انهيار لدن.

يؤكد ما يمكن استخلاصه من مراجعة الأدبيات أعلاه على استمرار أعمال البحث العلمي الساعية للتعرف على العلاقات القائمة بين مواصفات مسحوق الـ Nylon 12 وسلوكه عندما يتعرض للمعالجات الحرارية نتيجة إخضاعه لدورات SLS وبين منتجات الطباعة من حيث مطابقة الأبعاد والصلاحية الإنشائية، ومن حيث جودة السطوح، وأخيراً من حيث القدرة على مقاومة الأحمال المطبقة. كما أنها تؤكد أيضاً على إشكالية موضوع

إعادة تدوير مساحيق الـ Nylon 12 المستخدمة في طابعات الـ SLS، وبأن الحل الموصى به من قبل إحدى الشركات المصنّعة لتلك المساحيق (مجرد المزج بنسبة 30 % من المسحوق الجديد) قد يكون غير كافٍ، ولا بد من اعتماد معايير ضمان جودة مناسبة (مثل معيار Melt Flow Rate-MFR و- Particle Size Distribution - PSD) تؤكد بجاهزية المساحيق الخاضعة لإعادة التدوير للدخول في دورات طباعة جديدة قبل المباشرة بذلك، ما يضمن مطابقة المنتجات المطبوعة وتخفيض الهدر إلى الحدود الدنيا الممكنة.

5. المواد الأولية.

يتطلب العمل على تحقيق أهداف البحث الحالي التعامل بشكل تجريبي مع تراكيب متعددة من مساحيق الـ Nylon 12 المتوفرة أو التي يمكن تأمينها من خلال مزج نسب متعددة من المواد المتاحة، على النحو التالي:

- مسحوق جديد من إنتاج الشركة البولندية Sinterit sp.، يتمتع بالموصفات المدرجة في الجدول رقم (1).
- مسحوق خاضع لدورة طباعة واحدة، وآخر خاضع لدورتي طباعة.
- مساحيق متعددة معدة من خلال مزج 20 % و 30 % و 40 % و 60 % من المسحوق الجديد مع نسب مكملة من مسحوق خاضع لدورة طباعة واحدة.

الجدول رقم (1): المواصفات الاسمية للمسحوق الجديد [11].

العائديه	المواصفة	القيمة	
المادة الأولية	أبعاد حبيبات المسحوق	من 18 وحتى 90 μm	
	متوسط أبعاد حبيبات المسحوق	38 μm	
	نسبة إعادة التدوير ³	30%	
المواصفات الميكانيكية والحرارية	الاستطالة عند الانهيار	13%	
	مقاومة الشد	41 MPa	
	الخشونة عند الطباعة بشرائح سماكة 100 μm	السطوح العلوية	6,470 μm
		السطوح السفلية الجانبية	9.680 μm
	درجة حرارة الانصهار	182 °C	
	كثافة المنتجات المطبوعة بالمسحوق المسحوق	1.00 [g/cm ³]	

6. الطباعة المستعملة.

تم ضمن سياق هذا العمل استعمال طباعة من النوع العامل بتقانة الـ SLS، نموذج Lisa، من إنتاج شركة Sinterit sp, z o,o, d. يعطي الجدول رقم (2) مواصفاتها الاسمية.

³ النسبة المئوية للمسحوق الجديد الذي يجب مزجه مع المسحوق المستعمل بهدف إعادة تدوير الأخير بنجاح.

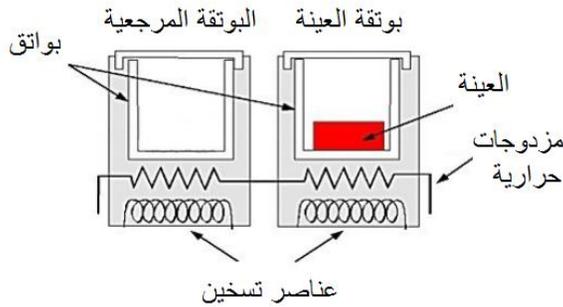
الجدول رقم (2): المواصفات الاسمية للطابعة [12].

المواصفة	القيمة
أبعاد حبيبات مسحوق الـ Nylon 12	20 to 100 μm , average size
حجم البناء الأقصى	150 x 200 x 150 mm
الحد الأقصى لحجم الطباعة عالية الدقة للـ	90 x 110 x 130 mm
الدقة الاسمية في المستوي XY	0,1 mm
السماكة الدنيا لطبقة المسحوق	0,075 mm
السماكة الدنيا للجدار	0.4 mm
درجة الحرارة القصوى في غرفة البناء	190 °C
برمجية ضبط المتغيرات والتحكم بالطابعة	Sinterit Studio 2016
البنى الداعمة	غير مطلوبة

7. تجهيزات التوصيف الحراري والميكانيكي لمجموعات مساحيق الطباعة.

1.7 التوصيف الحراري- جهاز التحليل الحراري الانتالبي التفاضلي الماسح (DSC).

يبين الشكل رقم (2) رسم تمثيلي للتجهيزات الخاصة باختبار الـ DSC.



الشكل رقم (2): رسم تمثيلي للتجهيزات الخاصة باختبار الـ DSC [13].

يقوم مبدأ عمل أجهزة الـ DSC على قياس كميات الحرارة المتبادلة مع العينات كتابع لدرجات الحرارة والزمن في أجواء مضبوطة، حيث يتحقق ذلك من خلال قياس

اختلافات التدفق الحراري بين بوتقة العينات المراد اختبارها وبوتقة مرجعية فارغة. ولتنفيذ اختبارات الـ DSC اللازمة للبحث الحالي، جرى استعمال جهاز طرازه Setaram LABSYS evo DTA/DSC، من إنتاج الشركة الفرنسية Instrumentation، يتمتع بالمواصفات الأساسية المدرجة في الجدول رقم (3).

الجدول رقم (3): مواصفات جهاز الـ DSC [13].

المواصفة	القيمة
المجال الحراري	من درجة حرارة الغرفة وحتى 1150°C
دقة تثبيت درجة الحرارة	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
معدل تغير درجة الحرارة أثناء التسخين	قابلة للضبط ضمن المجال 0.01 to 100
زمن تبريد الفرن من 1150°C وحتى $^{\circ}\text{C}$	30 دقيقة
الكتلة القصوى الممكن إيصالها لوضع	20 غرام
الخلأ	$< 10^{-1}\text{ MPa}$
نوع وسيط التسخين	هواء

ولضمان دقة النتائج لا بد من المباشرة بمعايرة الجهاز، حيث يتحقق ذلك من خلال اختبار عينة معيارية مصنعة من مادة الأندنيوم، وبنتيجة ذلك يُعاير الجهاز نفسه بدون أي مداخل من المستثمر. وحال الانتهاء من ذلك، يصبح الجهاز جاهزاً للاستثمار. ضبطت متغيرات الجهاز على القيم التالية:

- تدفق الهواء: 2 L/min.
- معدل التسخين: $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ، ومعدل التبريد: $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- درجة الحرارة البدائية: 22°C .
- درجة الحرارة النهائية: 220°C .
- كتلة العينة المستعملة: 0.015 g.

2.7 التوصيف الميكانيكي - جهاز اختبار الشد الستاتيكي.

جرى استخدام جهاز اختبارات ميكانيكية عام طراز WDW-50، من إنتاج الشركة الصينية Jinan Kason Testing Equipment [14]. حُصرت المساحيق ومزائجها اللازمة لذلك، وضبطت متغيرات الطباعة ذات العلاقة، ومن ثم نفذت الاختبارات مع أخذ النقاط التالية بعين الاعتبار:

- تخيل المساحيق المعاد تدويرها بهدف استبعاد الحبيبات التي تزيد أبعادها عن $90 \mu\text{m}$.
- إخضاع مزائج المساحيق المطلوب تجهيزها لعمليات مزج آلي لمدة 15 دقيقة لكل منها.
- تخزين المساحيق والمزائج المُعدّة للطباعة في أوعية كتيمة لحين تنفيذ أعمال الطباعة.
- ضبط درجات حرارة حجرة الطباعة T_{ch} على قيمة الـ T_{mpeak} الموافقة للمسحوق أو لمزيج المسحوق الجاري طباعته، وذلك بمرجعية المعطيات المدرجة في الجدول رقم (4).
- ضبط باقي متغيرات الطباعة على القيم الموصى بها من قبل الشركة المصنعة للطباعة، والحفاظ على ذلك دون تغيير خلال مراحل الطباعة المتتالية لكافة العينات.
- قياس أبعاد المقاطع العرضية الخاصة بكافة العينات المنتجة بالطباعة وذلك باستعمال أداة قياس دقتها 0.01 mm ، وبعد ذلك حساب المتوسطات السماكة h_{mean} و العرض $b_{1 mean}$ لكل مجموعة عينات.
- تنفيذ اختبارات الشد ومعالجة نتائجها بهدف الحصول على قيم مقاومة الشد σ_{umean} .

8. الآلية المعتمدة لتطوير معيار ضمان جودة منتجات طباعة ثلاثية الأبعاد بواسطة التليد الانتقائي بالليزر.

يعطي الشكل رقم (3)، المخطط الانسيابي لآلية معيار ضمان جودة منتجات طباعة ثلاثية الأبعاد بواسطة التليد الانتقائي بالليزر. ويهدف معيار ضمان الجودة هذا إلى الإقرار بمدى ملاءمة تركيبة ما من مسحوق الطباعة للاستخدام الناجح في طابعات الـ SLS. وفي حال تحقق ذلك، الإقرار بدرجة حرارة حجرة الطباعة الموافقة لذلك. أما خطة العمل التي اعتمدت لتطوير ذلك المعيار، فاشتملت على الخطوات التالية:

I. تنفيذ اختبارات الـ DSC اللازمة للتعرف على السلوك الحراري لمسحوق الـ Nylon 12 الجديد والخاضع لدورة طباعة واحدة ولدورتي طباعة، وللمسحوق الخاضع لدورة طباعة واحدة والممزوج بنسب 20% و 30% و 40% و 60% من المسحوق الجديد. أعطيت عينات المسحوق المستعملة في هذه الاختبارات التسميات "مجموعة العينات 1"، "مجموعة العينات 2"، "مجموعة العينات 3"، "مجموعة العينات 4"، و "مجموعة العينات 5"، و "مجموعة العينات 6"، و "مجموعة العينات 7" على الترتيب. تسمح اختبارات الـ DSC بتعيين درجات حرارة بداية الانصهار Tm_{onset} وقمة الانصهار Tm_{peak} ونهاية الانصهار Tm_{end} لكل مجموعة مسحوق طباعة.

II. إعداد التصميم الحاسوبي الخاص بعينة الشد المعتمدة، والمطابقة من حيث

III. ها وأبعادها لما هو مدرج في الشكل رقم (4) [15].

IV. تجهيز الطابعة بكمية كافية من المسحوق الجديد وضبط درجة حرارة حجرة البناء على قيمة الـ Tm_{peak} التي تم الحصول عليها من تنفيذ اختبارات الـ DSC على مجموعة العينات 1، وبعد ذلك تنفيذ الطباعة لثلاث عينات شد⁴.

V. إعادة الخطوة السابقة على مجموعات العينات من 2 وحتى 7، وبالنتيجة تم الحصول على 7 مجموعات من عينات الشد، وللتمييز بينها أعطيت التسميات

⁴ تم حفظ العينات الناتجة عن كل عملية طباعة في كيس بلاستيكي محكم الأغلاق ومجهز ببطاقة تعريف لتمييزه عن غيره.

"مجموعة العينات 8"، و "مجموعة العينات 9"، و "مجموعة العينات 10"، و "مجموعة العينات 11"، و "مجموعة العينات 12"، و "مجموعة العينات 13"، و "مجموعة العينات 14" بالتتابع.

VI. قياس السماكة h والعرض b_1 لكافة عينات الشد المنتجة، وإيجاد المتوسطات الحسابية الخاصة بهما لكل مجموعة عينات على حده.

VII. إخضاع كافة العينات المنتجة لاختبار شد تقليدي، ومعالجة النتائج بهدف الحصول على المتوسطات الحسابية لمقاومة الشد $\sigma_{u \text{ mean}}$ الخاصة بكل مجموعة عينات على حده.

VIII. تصنيف عمليات الطباعة إلى عمليات ناجحة وعمليات فاشلة، حيث تعتبر الطباعة الخاصة بمجموعة عينات ما ناجحة إذا حققت المعايير التالية، وفاشلة في الحالات الأخرى:

أ. المتوسط الحسابي للسماكة h محقق للقيمة 0.2 ± 3 ، حيث تعود القيمة 3 إلى الشكل رقم (4)، واعتمد التسامح ± 0.2 باعتباره يتوافق مع الدقة الاسمية للطباعة المستعملة، وفقاً لمعطيات الجدول رقم (2).

ب. المتوسط الحسابي للعرض b_1 محقق للقيمة 0.2 ± 6 ، حيث تعود القيمة 6 إلى الشكل رقم (4)، واعتمد التسامح ± 0.2 باعتباره يتوافق مع الدقة الاسمية للطباعة المستعملة، وفقاً لمعطيات الجدول رقم (2).

ت. المتوسط الحسابي لمقاومة الشد يساوي أو يزيد عن القيمة 41 MPa ، وهي القيمة الاسمية الممكن تحقيقها وفقاً لما تؤكد المعطيات المدرجة في الجدول رقم (2).

IX. تصنيف عينات الشد الفاشلة ضمن مجموعتين: الأولى ناقصة التلييد (حدود مقاومتها للشد أقل من 41 MPa) بسبب انخفاض درجة حجرة البناء عن الدرجة اللازمة لتحقيق تلييد كامل لتרכيبة المسحوق المستخدم؛ والثانية مشوهة الشكل وأبعادها أكبر من المطلوب بسبب خروج المسحوق عن الاستقرار وحدوث التصاق

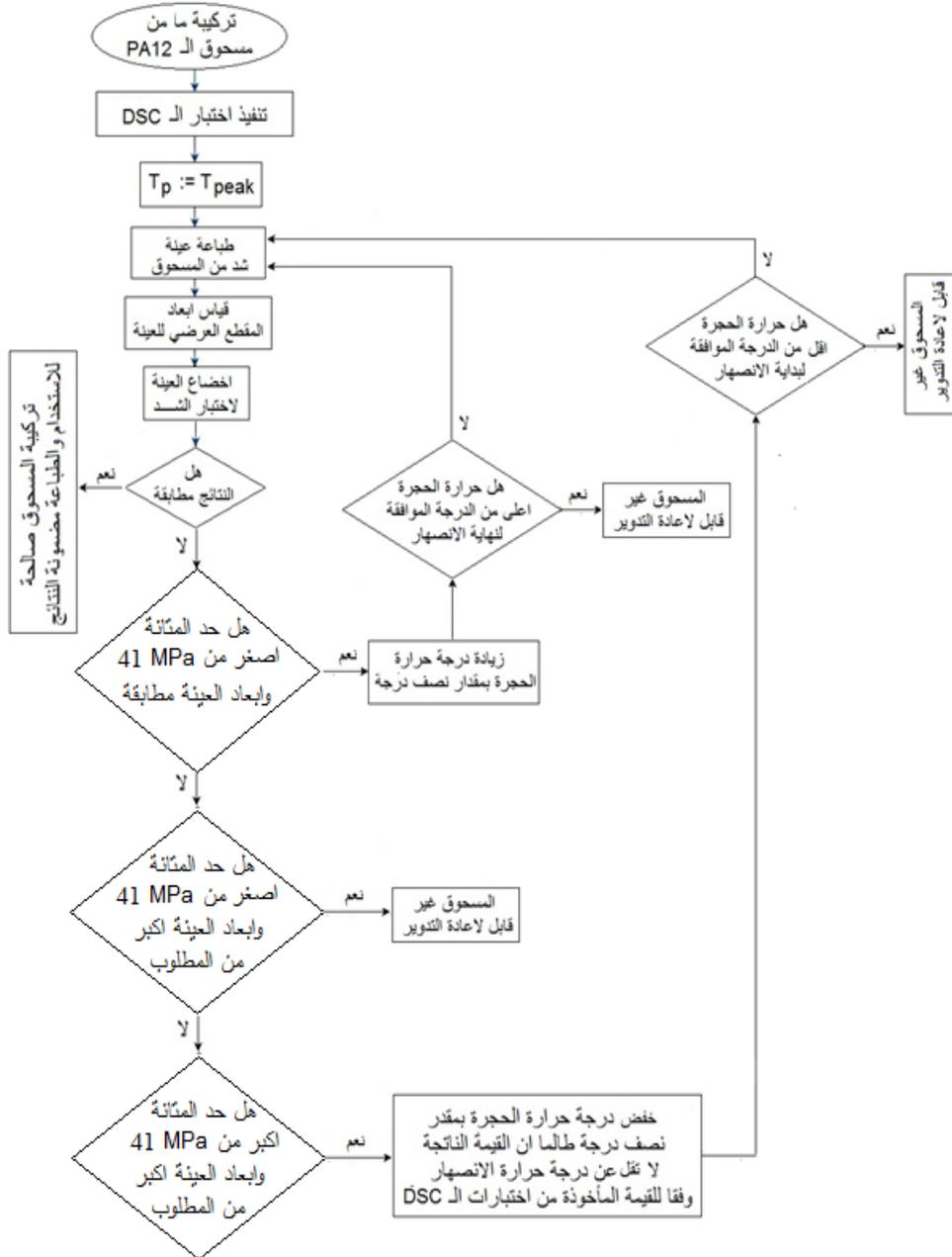
بين حبيباته الخاضعة للتليبد الانتقائي بالليزر والحبيبات المجاورة لها غير الخاضعة لذلك.

X. إعادة طباعة عينات المجموعة الأولى (العينات ناقصة التليبد) بالتتالي، أخذين بعين الاعتبار تنفيذ ذلك بعد إعادة ضبط درجات حرارة حجرة الطباعة على قيم أعلى بـ 0.5°C ⁵ من القيم المعتمدة عند طباعتها السابقة، وبعد التأكد من أن درجات الحرارة الجديدة لا تزيد عن درجات حرارة نهاية الانصهار $T_{m_{end}}$ الموافقة، وتكرار ذلك حتى الحصول على عينات ناجحة أو وصول درجات الحرارة المحسوبة للحجرة إلى قيم أعلى من القيم الموافقة الخاصة بنهاية الانصهار.

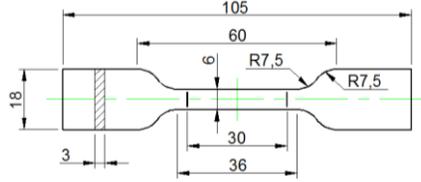
XI. إعادة طباعة عينات المجموعة الثانية (العينات المشوهة) بالتتالي، أخذين بعين الاعتبار تنفيذ ذلك بعد إعادة ضبط درجات حرارة حجرة الطباعة على قيم أقل بـ 0.5°C ⁵ من القيم المعتمدة عند إنتاج العينات الفاشلة، وبعد التأكد من أن القيم الناتجة لا تقل عن درجات حرارة بداية الانصهار $T_{m_{onset}}$ الموافقة، وتكرار ذلك حتى الحصول على عينات ناجحة أو وصول درجات الحرارة المحسوبة للحجرة إلى قيم أقل من القيم الموافقة الخاصة ببداية الانصهار.

XII. اعتماد معيار ضمان جودة قائم على التعامل مع درجات حرارة الحجرة التي أنتجت عينات ناجحة باعتبارها مرجعية (يمكن اعتمادها بشكل متكرر كلما كانت الحاجة قائمة لإعادة تدوير المسحوق الموافق لها)، واعتبار خلائط المساحيق المطابقة في تركيبها لتلك التي أنتجت عينات فاشلة غير قابلة لإعادة التدوير والحاجة قائمة للتخلص منها دون الإضرار بالبيئة.

⁵ وفقاً لما توصي به الشركة المصنعة للمسحوق وللطباعة.



الشكل رقم (3): المخطط الانسيابي لآلية معيار ضمان جودة منتجات طباعة ثلاثية الأبعاد بواسطة التليبد الانتقائي بالليزر.

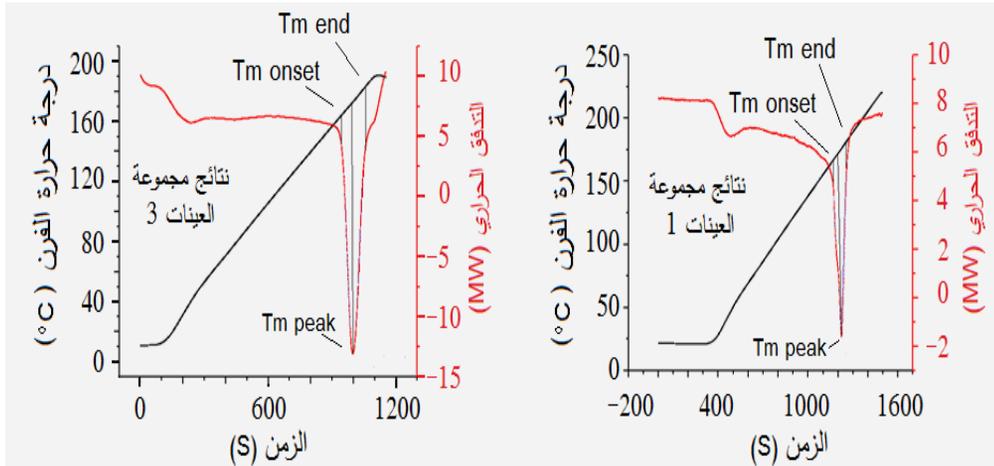


الشكل رقم (4): التصميم المعتمد لعينات الشد [15].

9. نتائج التوصيف الحراري والميكانيكي لمجموعات مساحيق الطباعة.

1.9 نتائج التوصيف الحراري.

يعطي الشكل رقم (5) نموذجين من منحنيات الـ DSC المستهدفة. وبمعالجة معطيات تلك المنحنيات، تم استنتاج قيم درجات حرارة انصهار كل من مجموعات مساحيق الطباعة، أي Tm_{peak} و Tm_{onset} و Tm_{end} الواردة في الجدول رقم (4).



الشكل رقم (5): نماذج من نتائج اختبارات الـ DSC.

الجدول رقم (4): قيم درجات الحرارة الموافقة لانصهار عينات مجموعات مساحيق الطباعة.

رقم مجموعة	$T_{m_{onset}}$ (°C)	$T_{m_{peak}}$ (°C)	$T_{m_{end}}$ (°C)	$T_{m_{end}} - T_{m_{onset}}$
1	174.0	176.2	178.0	4.0
2	172.5	173.5	174.0	1.5
3	172.0	172.4	173.4	1.4
4	172.0	172.5	173.0	1.0
5	172.0	172.7	173.5	1.5
6	173.0	173.5	175.0	2.0
7	173.0	174.5	175.0	2.0

2.9 نتائج التوصيف والميكانيكي.

يعطي الجدول رقم (5) نتائج قياس الأبعاد والتوصيف الميكانيكي لعينات الشد لمجموعات مساحيق الطباعة.

الجدول رقم (5): متوسطات أبعاد المقاطع الفعالة ومتوسطات مقاومة الشد لعينات الشد لمجموعات مساحيق الطباعة.

رقم مجموعة العينات	T_{ch} (°C) ⁶	h_{mean} (mm)	b_{1mean} (mm)	σ_{umean} (MPa)
8	176.0	3.08	6.07	51.50
9	173.5	3.34	6.48	29.99
10	172.5	3.36	6.53	28.72
11	172.5	3.03	5.82	35.06
12	173.0	3.10	6.00	29.70
13	173.5	3.00	5.98	28.15
14	174.5	2.83	5.81	21.00

⁶ مساوية لـ $T_{m_{peak}}$ للعينة المعنية.

10. مناقشة نتائج التوصيف الحراري والميكانيكي لمجموعات مساحيق الطباعة.

1.10 مناقشة نتائج اختبارات التوصيف الحراري الـ DSC: بمقارنة قيم درجات الحرارة الموافقة لانصهار مجموعات عينات مساحيق الطباعة من 1 وحتى 7 في الجدول رقم (4) مع بعضها البعض ومع تلك العائدة للمسحوق الجديد، يُستنتج ما يلي:

1. يبلغ عرض قمة انصهار المسحوق الجديد مقدار $T_{m\text{end}} - T_{m\text{onset}} = 4^\circ\text{C}$ ، وهو العرض الأكبر بين القيم المكافئة العائدة لباقي مجموعات مساحيق الطباعة.

2. تبلغ درجة حرارة قمة انصهار المسحوق الجديد $T_m \text{ peak} = 176.2^\circ\text{C}$ ، وهي الدرجة الأعلى بين القيم المكافئة العائدة لباقي مجموعات مساحيق الطباعة.

3. عرض قمة انصهار المسحوق الخاضع لدورة طباعة واحدة ودرجة حرارة قمة انصهاره أعلى من مكافئيهما في المسحوق الخاضع لدورتي طباعة، ما يشير إلى تغيير سلوك المسحوقين عند إخضاعهما لمعالجات الطباعة بتقانة الـ SLS.

4. يكون الفرق بين عرض قمة انصهار المسحوق الجديد وعرض قمة انصهار المسحوق الخاضع لدورة طباعة واحدة (2.5°C) أقل من الفرق المكافئ العائد للمسحوق الخاضع لدورتي طباعة (2.6°C)، ما يشير إلى تراكم الآثار السلبية الناتجة عن إخضاع مساحيق الـ Nylon12 للمزيد من عمليات المعالجة الحرارية في طابعات الـ SLS.

5. يقل الفرق بين عرض قمة انصهار مزائج المسحوق المستخدم لمرة واحدة مع المسحوق الجديد وعرض قمة انصهار المسحوق الجديد كلما زادت نسبة المسحوق الجديد في المزيج، ما يشير إلى إمكانية تحسين المساحيق المستخدمة من خلال المزج مع نسب متزايدة من المسحوق الجديد.

- 2.10 مناقشة نتائج اختبارات الشد:** يشتمل الجدول رقم (5) على متوسطات مقاومة الشد ومتوسطات أبعاد المقاطع العرضية العائدة لمجموعات المساحيق من 9 وحتى 16. وبمقارنة تلك النتائج مع بعضها البعض من جهة، ومع القيم المكافئة العائدة للمسحوق الجديد من جهة ثانية، يستنتج ما يلي:
1. يكون وسطي مقاومة الشد للعينات المطبوعة باستخدام المسحوق الجديد هو الأعلى بين القيم المكافئة العائدة لعينات مساحيق المزائج بين المسحوق الجديد والمسحوق المستخدم لمرة واحدة.
 2. تقع الانحرافات في أبعاد المقاطع العرضية لعينات مساحيق المزائج بين المسحوق الجديد والمسحوق المستخدم لمرة واحدة ضمن مجال التسامحات الاسمية للطابعة المستخدمة.
 3. يكون وسطي مقاومة الشد للعينات المطبوعة باستخدام المسحوق الخاضع لدورة طباعة واحدة أكبر من مثيله العائد للعينات المطبوعة من مسحوق خاضع لدورتي طباعة، وكلاهما أقل من 41 MPa.
 4. لا تقع دقة وسطي أبعاد المقطع العرضي للعينات المطبوعة باستخدام المسحوق الخاضع لدورة طباعة واحدة والعينات المطبوعة من مسحوق خاضع لدورتي طباعة ضمن مجال التسامحات الاسمية للطابعة المستخدمة.
 5. تتخفف متوسطات مقاومة الشد كلما زادت نسبة المسحوق الجديد المستعمل في تحضير مزائج المساحيق المعاد تدويرها بعد دورة طباعة واحدة، وهذا ما قد يبدو غريباً إن لم نأخذ بالحسبان أن الطباعة تمت عند درجات حرارة افتراضية مساوية لـ T_{mpeak} ، ما يؤكد على أن الحاجة قائمة لإعادة الطباعة والاختبار بعد إعادة النظر في تلك الدرجات، نقصاناً أو زيادةً، وذلك بمرجعية المعايير التي حددت في الفقرة رقم (8) حول آلية تطوير معيار ضمان جودة منتجات طباعة ثلاثية الأبعاد.

3.10 مناقشة نتائج تطبيق معيار ضمان الجودة: اعتمد معيار ضمن الجودة المقترح على مقارنة أبعاد العينات المطبوعة ومقاومة شدها مع قيم اسمية محددة من قبل الشركة المصنعة للطباعة وللمسحوق، حيث يجري العمل بمرجعية ذلك المعيار بهدف تقييم قابلية مزائج المساحيق المتاحة (جديد ومستعمل في عملية طباعة واحدة و .. الخ) لتحقيق طباعة ناجحة، ومن ثم تحديد درجة حرارة الحجره الأمثلية اللازمة لذلك. وبتطبيق ذلك المعيار على مجموعات عينات المسحوق الجديد ومزائجه مع مسحوق مستخدم لمرة واحدة رقم 7 وحتى 14، تم التوصل إلى النتائج المدرجة في الجدول رقم (6). وبدراسة تلك النتائج بشكل تفصيلي، جرى استخلاص ما يلي:

1. تُعدّ عينات الشد المطبوعة باستخدام مسحوق جديد، عند درجة حرارة حجره مطابقة لدرجة حرارة قمة انصهاره المسجلة في اختبار DSC، مطابقة من حيث الأبعاد، وهي تحقق مقاومة شد أعلى بشكل ملحوظ من القيمة الاسمية المحددة من قبل الشركة المصنعة لذلك المسحوق.
2. تُعدّ عينات الشد المطبوعة باستخدام مسحوق مستعمل لمرة واحدة أو أكثر، عند درجة حرارة حجره مطابقة لدرجة حرارة قمة انصهاره المسجلة في اختبار DSC، غير مطابقة من حيث الأبعاد وهي تحقق مقاومة شد أقل بشكل ملحوظ من القيمة الاسمية. وبالتالي، فهذه الأنواع من المساحيق غير قابلة لإعادة التدوير والحاجة قائمة لتحسين مواصفاتها وسلوكها من خلال المزج مع نسب من المسحوق الجديد قبل محاولة الاستفاده منها.
3. تُعدّ عينات الشد المطبوعة باستخدام مزائج مساحيق من نسب محددة من المسحوق المستعمل لمرة واحدة ونسب متممة لـ 100% من المسحوق الجديد، عند درجة حرارة حجره مطابقة لدرجة حرارة قمة انصهارها المسجلة في اختبار DSC، مطابقة من حيث الأبعاد، وهي تحقق حدود مقاومة شد أقل بشكل ملحوظ من القيمة الاسمية. وبالتالي، فتقييم إمكانية استخدام هذا النوع من مزائج المساحيق في عمليات طباعة ناجحة يحتاج إلى رفع درجة حرارة حجره الطباعة بمقدار نصف درجة وإعادة الطباعة والتقييم من جديد.

الجدول رقم (6): نتائج تطبيق معيار ضمان الجودة المقترح على مجموعات مسحوق الطباعة الجديد ومزائجه مع مسحوق مستخدم لمرة واحدة.

رقم مجموعة العينات	نتيجة التقييم بمرجعية المعايير المعتمدة للمطابقة البعدية والإنشائية	القرار وما يجب عمله لمتابعة عملية التقييم
8	مطابقة بعدية وإنشائية، عند ضبط درجة حرارة الحجرة $T_{ch} = T_{m \text{ peak}} = 176 \text{ }^{\circ}\text{C}$	الحاجة غير قائمة لأي إجراء بسبب المطابقة
9	أبعاد أكبر من المطلوب ومقاومة شد أقل من المطلوب، عند ضبط درجة حرارة الحجرة بحيث $T_{ch} = T_{m \text{ peak}} = 173.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	غير قابل لإعادة التدوير بسبب عدم المطابقة البعدية والإنشائية
10	أبعاد أكبر من المطلوب ومقاومة شد أقل من المطلوب، عند ضبط درجة حرارة الحجرة بحيث $T_{ch} = T_{m \text{ peak}} = 172.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	غير قابل لإعادة التدوير بسبب عدم المطابقة البعدية والإنشائية
11	مطابقة بعدية ومقاومة شد أقل من المطلوب، عند ضبط درجة حرارة الحجرة بحيث $T_{ch} = T_{m \text{ peak}}$	زيادة درجة حرارة الحجرة بمقدار نصف درجة وإعادة الطباعة
12	مطابقة بعدية ومقاومة شد أقل من المطلوب، عند ضبط درجة حرارة الحجرة بحيث $T_{ch} = T_{m \text{ peak}}$	زيادة درجة حرارة الحجرة بمقدار نصف درجة وإعادة الطباعة
13	مطابقة بعدية ومقاومة شد أقل من المطلوب، عند ضبط درجة حرارة الحجرة بحيث $T_{ch} = T_{m \text{ peak}}$	زيادة درجة حرارة الحجرة بمقدار نصف درجة وإعادة الطباعة
14	مطابقة بعدية ومقاومة شد أقل من المطلوب، عند ضبط درجة حرارة الحجرة بحيث $T_{ch} = T_{m \text{ peak}}$	زيادة درجة حرارة الحجرة بمقدار نصف درجة وإعادة الطباعة

11. الاستنتاجات:

يمكن تلخيص نتائج هذا العمل في ما يلي:

- 1- يستدعي الاستثمار الاقتصادي لطابعات الـ SLS توفير المعارف والخبرات اللازمة لإعادة تدوير مخلفات المساحيق الناتجة عن عمليات طباعة سابقة، وتوفير وسائل التوصيف المناسبة.
- 2- تشكل مسألة إعادة تدوير المخلفات الناتجة عن استثمار طابعات الـ SLS تحدياً للهيئات البحثية العالمية والمحلية، وما زالت الأبحاث قائمة حتى تاريخه لمعالجة هذه المسألة، وهذا ما تؤكدُه التواريخ الحديثة لبعض مراجع هذا البحث.
- 3- يعتمد معيار ضمان جودة المساحيق المستعملة في طابعات الـ SLS في الوقت الراهن على قياس سرعة تدفق المصهور (Melt Flow Index)، علماً بأن العديد من الأبحاث أشارت إلى انخفاض حساسية هذا المعيار وإلى عدم اقتصادية اختباراته، وبالتالي، فالحاجة قائمة لتطوير هذا المعيار و/أو تطوير معيار بديل.
- 4- يستلزم الحصول على منتجات طباعة مطابقة من حيث الأبعاد ومن حيث القدرة على مقاومة أحمال الشد ضبطاً دقيقاً لدرجة حرارة حجرة الطباعة.
- 5- تختلف درجة حرارة الحجرة الأمثلية باختلاف طبيعة المسحوق المستعمل (جديد، مستخدم لمرة واحدة، ... الخ)، وقيمتها للمسحوق الجديد أعلى بعدة درجات منها للمساحيق المستعملة.
- 6- مقاومة الشد للعينات المطبوعة باستخدام المسحوق الجديد أعلى من القيم المكافئة الخاصة بالعينات المطبوعة باستخدام مزائجه مع المساحيق المستعملة.
- 7- تتطلب معالجة العينات المطابقة من ناحية دقة الأبعاد وغير المطابقة من ناحية مقاومة أحمال الشد رفع درجة حرارة حجرة الطباعة بمقدار نصف درجة وإعادة الطباعة والتقييم بمرجعية المنهجية المطورة في البحث الحالي.
- 8- تعدّ المساحيق التي أنتجت عينات شد ذات أبعاد أكبر من القيم الاسمية ومقاومة شد أقل من 41 MPa غير قابلة لإعادة التدوير، ذلك لأن تخفيض

درجة حرارة حجرة الطباعة سيؤدي إلى انخفاض إضافي في قيم مقاومة الشد، ورفع درجة حرارة حجرة الطباعة سيؤدي إلى زيادة إضافية في الأبعاد، وبالتالي فإمكانية الاستعادة من هذا النوع من الحالات غير متاحة.

9- تتطلب معالجة العينات المطابقة من حيث مقاومة أحمال الشد وغير المطابقة من حيث الأبعاد (زيادة في الأبعاد) خفض درجة حرارة حجرة الطباعة بمقدار نصف درجة وإعادة الطباعة والتقييم بمرجعية المنهجية المطورة في البحث الحالي.

12.المراجع:

- [1] Thabiso Peter Mpofo, Cephas Mawere and Macdonald Mukosera, (2014), **"The Impact and Application of 3D Printing Technology"**, International Journal of Science and Research, Vol 3, Issue 6, pp 2148-2152, ISSN (Online): 2319-7064.
- [2] Fredrick R, Ishengoma and Adam Bm Mtaho, (2014), **"3D Printing: Developing Countries Perspectives"**, International Journal of Computer Applications, Volume 104 – No 11, pp 30-33.
- [3] Eng-Ali Abdul-Hakim Mahmoud Al-Balawali, (2015), **"3D Printing"**, translation of a book freely available on 3dprintingindustry.com.
- [3].13 : المهندس علي عبد الحكيم محمود البلاوالي، "الطباعة ثلاثية الأبعاد"، ترجمة لكتاب متوفر بشكل مجاني على الموقع 3dprintingindustry.com، 2015.
- [4] M. Schmida, A. Amadoa and K. Wegener, (2015), **"Polymer Powders for Selective Laser Sintering"**, Department of Mechanical and Process Engineering, Swiss Institute of Technology, Switzerland.
- [5] A. Wegner, (2016), **"New Polymer Materials for the Laser Sintering Process: Polypropylene and Others"**, Ninth International Conference on Photonic Technologies.
- [6] Manfred Schmid, Rob Kleijnen, Marc Vetterli and Konrad Wegener, (2017), **"Influence of the Origin of Polyamide 12 Powder on the Laser Sintering Process and Laser Sintered Parts"**, Applied Sciences, 2017, 7, 462; doi:10.3390/app7050462.
- [7] Y Shi, Z Li, H Sun, S Huang and F Zeng, (2004), **"Effect of the Properties of the Polymer Materials on the Quality of Selective Laser Sintering Parts"**, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L, Vol. 218, issue 3, pp. 247-252.
- [8] W.A.Y Yusoff and A.J Thomas, (2008), **"The Effect of Employing an Effective Laser Sintering Scanning Strategy and Energy Density Value on Eliminating "Orange Peel" on a Selective Laser Sintered Part"**, International Association for Management of Technology, IAMOT Proceedings.
- [9] Krassimir Dotchev and Wan Yusoff, (2009), **"Recycling of Polyamide 12 Based Powders in the Laser Sintering Process"**, Rapid Prototyping Journal, Vol. 15 Issue 3, pp. 192-203.

- [10] Sasan Dadbakhsha, Leander Verbelenb, Olivier Verkinderenc, Dieter Strobbea, Peter Van Puyveldeb and Jean-Pierre Krutha, (2017), **"Effect of PA12 Powder Reuse on Coalescence Behavior and Microstructure of SLS Parts"**, European Polymer Journal 92, pp. 250–262.
- [11] Sinterit sp, z o.o. d, **"Powder PA12; Product's Specification"**, PA12 Specification.pdf, www.sinterit.com.
- [12] Sinterit sp, z o.o. d, **"LISA SLS PRINTER; Product's Specification"**, www.sinterit.com/wpcontent/uploads/2014/05/Sinterit_LISA_specification.pdf.
- [13] Setaram Instrumentation, **"Termogravimetría-y-Calorímetro-diferencial-de-barrido-(Labsys-EVO-Setaram)%20(4).pdf"**, www.setaram.com.
- [14] Jinan Kason Testing Equipment Co. Ltd, **"Material Testing Machine; Electric Universal Testing Machine Controlled by PC"**, <http://www.equi-lab.com.tn/pdf/WDW-100.pdf>.
- [15] ISO 527-2: 2012, (second edition 2012), The International Organization for Standardization, **"Plastics – Determination of Tensile Properties – Part 2: Test Conditions for Moulding and Extrusion Plastics"**, Switzerland.

تطوير مشاريع تخطيط وإدارة أنظمة الطاقة الكهربائية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظامي المعلومات الجغرافية وتحديد المواقع العالمي

- م. معلا إبراهيم، قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهمك - جامعة تشرين
د. م. حسام شاهين، قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهمك - جامعة تشرين
د. م. غسان حايك، قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهمك - جامعة تشرين
د. م. مضر صارم، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد - فرع المنطقة الساحلية

ملخص

تعد مشاريع الطاقة الكهربائية، سواءً المتعلقة منها ببناء محطات التوليد أو ببناء خطوط وشبكات النقل والتوزيع، بدءاً من مرحلة التخطيط والتصميم وانتهاءً بالإدارة والتشغيل، من أكثر مشاريع البنى التحتية صعوبة وتعقيداً. يعود هذا التعقيد للعديد من العوامل مثل العوامل البيئية المتعلقة بوجود الغابات والأنهار والتضاريس المتنوعة، إلخ، والعوامل المتعلقة بمناطق الانهيارات الأرضية والانحدارات ووجود السكك الحديدية، إلخ، والعوامل الاجتماعية - الاقتصادية كالمناطق الزراعية والسكنية والأماكن السياحية، وغيرها. وبما أن جميع هذه العوامل تعتمد بشكل أساسي على مجموعة من البيانات المكانية، فإن مشاريع الطاقة الكهربائية تُعد مشكلة معقدة ذات بعد مكاني.

إنّ تطبيق تقنيات جديدة ومتطورة مثل الإستشعار عن بعد (RS) ونظام المعلومات الجغرافية (GIS)، وكذلك نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) يُمكننا من القيام بتحليلات معمّقة لمشاريع وأنظمة الطاقة الكهربائية تساعد في تطوير تخطيطها وإدارتها بشكل أمثل. لقد جعلت إمكانيات معالجة المعطيات والنتائج جغرافياً في أنماط ونماذج

مختلفة من نظام الـ (GIS) نظاماً مناسباً لتخطيط وتطوير مشاريع أنظمة الطاقة الكهربائية المعقدة.

توضّح هذه المقالة دور تقنيات الاستشعار عن بعد (من خلال الصور الفضائية) ونظامي الـ (GIS) والـ (GPS) في تطوير مشاريع أنظمة الطاقة الكهربائية في مجال التخطيط والتصميم (التوليد والنقل والتوزيع) وفي مجال الإدارة والتشغيل (التنبؤ بالحمولة الكهربائية، كيفية إدارة الكوارث وتحديد مواقع الأعطال، تقليل الضياعات في نظام الطاقة، تحليل نماذج الربحية، وإدارة مكونات نظام الطاقة). كما تبين المقالة أيضاً كيفية تصميم قواعد بيانات نظام الـ (GIS) لنظام طاقة كهربائي مع إظهار إمكانيات ربط المعلومات الوصفية والجغرافية والصورة الفضائية لهذا النظام. حيث تم شرح منهجية تطبيق هذه التقنيات المتطورة على شبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية. أخيراً تبين هذه الدراسة نماذج من عمليات التحليل المكاني والاستعلام عن مكونات هذه الشبكة الكهربائية التي يمكن القيام بها على شرائح الـ GIS مما يساعد في إنجاز عدد كبير من المهام المتعلقة بإدارتها وبالتالي تسهيل عملية اتخاذ القرارات المتعلقة بتشغيلها وصيانتها بشكل كبير.

الكلمات المفتاحية:

نظام الطاقة الكهربائية، تخطيط وإدارة أنظمة الطاقة الكهربائية، الاستشعار عن بعد، نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، نظام تحديد المواقع العالمي (GPS).

Development of Planning and Management Projects of Electrical Power Systems Using Remote Sensing Technologies, GIS and GPS

*Eng. Mulla Ibrahim, Department of Electrical Power Engineering,
Tishreen University*

*Dr. Eng. Mudar Sarem, General Organization of remote sensing
(GORS), Costal branch*

*Dr. Eng. Husam Shaheen, Department of Electrical Power Engineering,
Tishreen University*

*Dr. Eng. Ghassan Hayek, Department of Electrical Power Engineering,
Tishreen University*

Abstract:

Electrical power projects, either related to establishing power plants or constructing transmission and distribution networks, starting from the planning and design stage and ending with the management and operation, are among the most difficult and complex infrastructure projects. This complexity is due to many factors such as environmental factors related to forests, rivers, different terrains, etc., factors related to areas of landslides, slopes, presence of railways, etc., and socio-economic factors such as agricultural and residential areas, tourist places, and others. Since all of these factors depend mainly on a set of spatial data, electrical power projects are a complex problem with a spatial dimension. Applying new and advanced technologies such as remote sensing (RS) and geographic information system (GIS), as well as the global

positioning system (GPS) enables us to perform in-depth analysis of the electrical power projects and systems that help in developing the planning and managing of these projects and systems in an optimal way. The possibilities of processing data and geographically analyzing results in different patterns and models have made GIS a suitable system for planning and developing complex electrical power system projects.

This article explains the role of remote sensing techniques (through satellite imagery) and the (GIS) and (GPS) systems in developing electric power systems projects in the field of planning and design (generation, transmission and distribution) and in the field of management and operation (electrical load forecasting, disaster management and determining fault locations, minimizing power system losses, analyzing profitability models, and managing power system assets).

The article also describes how to design the (GIS) databases for an electric power system and presents the capabilities of the designed system in linking geographical and attribute data with the satellite image of the power system. The methodology of applying these advanced technologies to the 66kV power transmission network in Latakia governorate was explained. Finally, this article shows examples of spatial analysis and query processes about the assets of this electrical network that can be performed on the GIS layers, which helps in accomplishing a large number of tasks related to its management and thus greatly facilitating the decision-making process related to its operation and maintenance.

Key Words: Electrical Power System, Electrical Power Management System Remote Sensing, Geographic Information System (GIS), and Global Positioning System (GPS).

1- مقدمة:

يتزايد الطلب على الطاقة الكهربائية بشكل مستمر مع التطور المتسارع للمجتمعات البشرية. ومن أجل مواجهة هذا الطلب فإن الأمر يتطلب بناء محطات توليد جديدة وبالتالي بناء خطوط وشبكات نقل طاقة جديدة أيضاً. كما هو معلوم، تقوم خطوط نقل الطاقة بنقل الطاقة من محطات التوليد إلى شبكات التوزيع التي تكمل عملية نقل الطاقة إلى المستهلكين.

تعجز الطرق التقليدية المتمثلة بالمخططات والخرائط الورقية وقواعد البيانات الورقية أو حتى الحاسوبية المتبعة حالياً في تخطيط وإدارة مشاريع الطاقة الكهربائية عن جمع وإدخال ومعالجة وتحليل وإظهار الكم الهائل من البيانات المتعلقة بهذه المشاريع وبالأخص تلك البيانات ذات البعد المكاني ضمن نظام عمل واحد. يضاف إلى ذلك الزمن الطويل والجهد الكبير المبذول في هذه الطرق التقليدية.

يُعد التعقيد الكبير في مشاريع تخطيط وإدارة أنظمة الطاقة الكهربائية سبباً كافياً لتبني تقنيات حديثة مثل نظام المعلومات الجغرافية الـ (GIS) ونظام المواقع العالمي الـ (GPS) والاستشعار عن بعد لأنها تقدم حلاً مناسباً وفعّالة لعملية تخطيط وإدارة هذه الأنظمة عن طريق تكاملها مع برمجيات أنظمة الطاقة في جميع مراحل التخطيط والتصميم والتحليل والتشغيل [1]. تبين الدراسة المرجعية التي قمنا بها وجود العديد من الأبحاث العلمية المنشورة في مجال تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية باستخدام

تقنيات الـ (GIS) والـ (GPS) والصور الفضائية المأخوذة بتقنية الاستشعار عن بعد [2-4]. فقد استخدمت هذه التقنيات بشكل واسع في نمذجة أنظمة الطاقة الكهربائية [5-6]، أي بمعنى رسم خرائط تفاعلية لهذه الأنظمة وإنشاء واجهات رسومية للبيانات الكهربائية والجغرافية الخاصة بها توفر وتسهل ربط هذه البيانات مع الموقع الجغرافي [7-9]. كما كملت هذه التقنيات بين خرائط الشبكات الكهربائية والخرائط الأرضية وذلك بهدف التخطيط الأمثل لأنظمة الطاقة وتحليل البيانات، وإدارة مكونات هذه الأنظمة، وتشكيل بيئة مساعدة لدراسات كهربائية متقدمة في هذه الأنظمة مثل سريان الاستطاعة [10-12]، والاستقرار العابر [13]، وضياعات الاستطاعة وهبوط الجهد في شبكات التوزيع [14]، وتحليل الدارة القصيرة والتنبؤ بالأحمال وتحديد مواقع الأعطال وغيرها [15].

كما تم ربط معلومات قواعد البيانات مثل أنظمة الفوترة، والحسابات المالية، وتحليل التوزيع، مع الموقع الجغرافي في التقارير النهائية لمؤسسات الكهرباء اعتماداً على هذه التقنيات [16]. إذ أنه بالإضافة إلى الاستعلامات العادية المتاحة لقاعدة البيانات، فإنه يمكن أن يتم تحليل البيانات من خلال معلومات مكانية متنوعة مثل المسافة والقرب والإرتفاع [17]. كما أنه بمساعدة برمجيات الـ (GIS) وقواعد بياناتها، تتم إدارة الشبكة الكهربائية بشكل فعال [18-19] ويمكن تحديث أية تغيرات في الشبكة الكهربائية بوقت أقل وبدقة أفضل بشكل دوري (منتظم زمنياً) [20]. يضاف إلى ذلك أن هذه البرمجيات، تؤمن مجالاً واسعاً من الحلول الشاملة لجميع المراحل التجارية في قطاع الطاقة الكهربائية [21-24].

كما تم تحديد مسارات خطوط الشبكات الكهربائية بالشكل الأمثل الذي يتميز بالمسافة الأقصر والكلفة الأقل باستخدام أنظمة الـ (GIS) [25]. واستخدمت هذا التقنيات أيضاً في تصميم نظام توزيع كابلات الطاقة الكهربائية (تحت الأرض) للمناطق السكنية. حيث قدمت هذه التقنيات وسيلة مؤتمتة لإيجاد المسارات الأمثل للكابلات الرئيسية في هذه الأنظمة. بالإضافة إلى ذلك أمنت هذه الوسيلة المؤتمتة عرض كامل الشبكة للفنيين مع إظهار مباشر وتقدير دقيق لتكاليف عملية التصميم [26].

وبهدف تحسين الرؤية الاقتصادية لقطاع الطاقة الكهربائية استخدمت أنظمة الـ (GIS) مدعومةً بالصورة الفضائية في تطوير آلية لزيادة امكانية التحكم بعمليات رسم خرائط شبكات النقل والتوزيع، وإدارة الأعمال وتجهيزات نظام الطاقة. كما هدفت هذه الآلية أيضاً إلى المساعدة في تقليل الضياعات وتحسين فعالية الطاقة من خلال تحسين برامج الصيانة والإصلاح وتحديث النظام [27-30].

بشكل عام فإنّ التطبيقات المختلفة لتقنيات الـ (RS) والـ (GIS) تحسّن وتطور الصورة الشاملة التي يظهر بها نظام الطاقة المستقبلي عن طريق ربط البيانات المكانية مع المواقع الجغرافية لمكونات هذا النظام (الشبكة الذكية) [31-32].

من خلال الدراسة المرجعية السابقة، يمكن أن نخلص إلى أنّ تقنيات الـ (RS) المعتمدة على معالجة الصور الفضائية بدقتها العالية في الوقت الراهن وبتكاملها مع أنظمة الـ (GIS) والـ (GPS) تعد إحدى أهم الأدوات لحل المشاكل ذات البعد المكاني المعقدة التي تتصف بها أنظمة الطاقة الكهربائية بسرعة وفعالية كبيرة. حيث بيّنت نتائج الأبحاث والدراسات السابقة أنّ هذه التقنيات تلعب دوراً هاماً في جميع مراحل التخطيط والتصميم، والتحليل، والإدارة والتشغيل لمشاريع وأنظمة الطاقة الكهربائية وخصوصاً الحديثة منها.

2- أهمية البحث وأهدافه:

بالرغم من الإمكانيات المميّزة والكبيرة لتقنيات الـ (RS) والـ (GIS) والـ (GPS) في حل المشاكل والصعوبات المتعلقة بالأعمال الهندسية من تكامل المعلومات لاختيار الموقع المناسب للمشروع ودراسات التربة ودراسات الموارد الطبيعية ودراسات البيئة والمناخ وغير ذلك، إلى بناء قواعد البيانات الكهربائية الشاملة والدقيقة والمحدثة وتكاملها مع البيانات الجغرافية للحصول على التخطيط والتصميم الأمثل وكذلك تحليل وإدارة وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية، إلّا أنّه لم يتم استثمار هذه التقنيات محلياً بعد في قطاع الطاقة الكهربائية. لذلك فإنّ هذا البحث يهدف إلى تبيان دور هذه التقنيات في تخطيط وتشغيل مشاريع وأنظمة الطاقة الكهربائية من خلال الاعتماد على دراسة وتحليل مخرجات مشروع تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية من أجل الإدارة الامثل لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية، الذي تم تنفيذه،

من قبل فرع المنطقة الساحلية للهيئة العامة للاستشعار عن بعد وقسم هندسة الطاقة الكهربائية في جامعة تشرين. تكمن أهمية هذا البحث من أنه يوضح كيفية تطوير وتحسين مشاريع تخطيط وتشغيل وإدارة أنظمة الطاقة الكهربائية اعتماداً على خريطة رقمية تفاعلية تعتمد على قاعدة بيانات شاملة ودقيقة ومحدثة باستخدام تقنيات الـ (RS) والـ (GIS) والـ (GPS).

3- منهجية البحث المقترح:

تعتمد منهجية البحث المقترح على شرح وتوضيح:

- 1) دور تقنيات الاستشعار عن بعد في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية.
- 2) دور نظام المعلومات الجغرافية في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية.
- 3) دور نظام تحديد المواقع العالمي في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية.
- 4) تطبيقات تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية.
- 5) منهجية تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد ونظامي الـ (GIS) والـ (GPS) في شبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية
- 6) كيفية إنشاء الخارطة الرقمية لشبكة نقل الطاقة بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية.
- 7) عمليات التحليل المكاني والاستعلام التي يمكن إجراؤها على شبكة نقل الطاقة بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية باستخدام نظام الـ GIS.

4- مواد وطرق والبحث:

- 1.4 دور تقنيات الاستشعار عن بعد في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية:

يعرف الاستشعار عن بعد بأنه عملية جمع بيانات عن سطح الأرض عن طريق التقاط صور أقمار صناعية خاصة ثم تتم عملية تصحيح وتفسير هذه الصور لتصنيف كل المعالم الجغرافية الموجودة فيها. كما يعرف بأنه علم دراسة الأهداف والظواهر على سطح الأرض دون الاحتكاك المباشر أو التماس الفيزيائي مع الأهداف المدروسة عن طريق تسجيل الأشعة المنعكسة أو الصادرة عن الأهداف المدروسة ومن ثم معالجتها وتحليلها بهدف الحصول على خصائص الأهداف المدروسة.

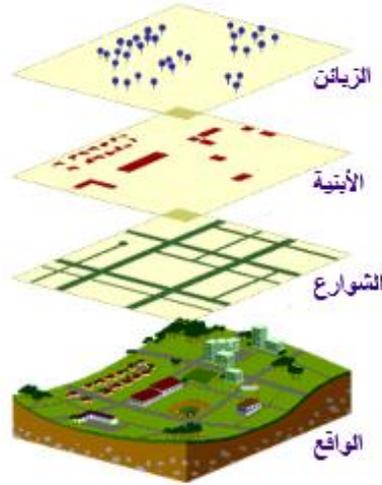
لقد ساعد الاستشعار عن بعد بجمع بيانات المناطق الخطرة أو المناطق المتعدّر الوصول إليها. كما أنه حلّ أيضاً محل طرق جمع البيانات المكلفة والبطيئة على الأرض. للحصول على خارطة على شاشة الحاسوب مثلاً، فإننا نحتاج إما إلى خارطة طرق، أو خارطة طبوغرافية، أو صورة جوية، أو صورة فضائية. إن الخرائط المرسومة يدوياً لمنطقة دراسة ذات مساحة جغرافية كبيرة تعجز عن توضيح تفاصيل هذه المنطقة من أبنية سكنية وطرق وتضاريس ومعالم طبيعية أخرى. في تلك الحالة أثبتت تقنية الاستشعار عن بعد من خلال الصورة الفضائية أنها مفيدة بطريقة فعالة، حيث أنها تقدّم حلاً أكثر فعالية، وأقل تطلباً للجهد البشري، وأقل زمناً للحصول على خارطة المنطقة المدروسة [33]. من أجل تأسيس الموقع الحقيقي للصورة الفضائية على الأرض ينبغي أن تكون الصورة مرجعة جغرافياً ويتطلب هذا الأمر دمج بيانات من مصادر متنوعة مع بعضها البعض ومن ثم استخدم هذه البيانات المدجة في تطبيق نظام الـ (GIS)، فإنّه يصبح من الضروري أن نمتلك نظام إرجاع موحد. وهذا يتم تنفيذه باستخدام تقنيات إرجاع جغرافية متنوعة. إن محدودية الصور الفضائية هي في دقتها الضئيلة. إذا كان هدف ما غير مرئي في الصور الفضائية، عندها يستطيع جهاز مستقبل الـ (GPS) أن يحدد موقعه بدقة. يمكن بشكل مباشر استيراد البيانات المجمعة من جهاز مستقبل الـ (GPS) إلى الخارطة المرجعة جغرافياً. يستطيع جهاز مستقبل الـ (GPS) أن يحدد نقطة علام كما يستطيع أن يتتبع المسار أيضاً. وهكذا فإنّه، على سبيل المثال، يمكن الحصول على مواقع جميع الأبراج وخطوط النقل الموجودة في أي نظام طاقة كهربائي بشكل فعال إما من خلال الصورة الفضائية (في حالة الهدف المرئي) أو باستخدام جهاز مستقبل الـ (GPS) كما (في حالة الهدف غير المرئي) كما يوضح الشكل (1).



الشكل (1): صورة فضائية لمحافظة اللاذقية تتوضع عليها خطوط ومحطات شبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV.

2.4 دور نظام المعلومات الجغرافية الـ (GIS) في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية:

يُعدّ نظام المعلومات الجغرافية الـ (GIS) اتجاهاً متنامياً في مجال تكنولوجيا المعلومات حيث يُقدّم حلاً أفضل من أجل تمثيل البيانات الجغرافية. كما أنه يُعدّ نظام معلومات مؤتمت يملك القدرة على جمع، تخزين، استرجاع، تحليل وإظهار المعطيات على شكل خرائط. يجمع نظام الـ GIS بين طبقات (شرائح) مختلفة من المعلومات عن مكان ما من أجل فهم وتحليل أفضل كما يظهر في الشكل (2).



الشكل (2): الطبقات (الشرائح) في نظام الـ GIS

تتضمن تكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية العمليات المعتادة التي تتم على قواعد البيانات مثل الاستفسار والتحليل الإحصائي بالإضافة إلى التحليل الجغرافي المميز الذي توفره الخرائط. كما تمتاز نظم المعلومات الجغرافية بأنها تجمع بين عمليات الاستفسار والاستعلام الخاصة بقواعد البيانات وإمكانية المشاهدة والتحليل والمعالجة البصرية لبيانات جغرافية من خرائط وصور الأقمار الصناعية والصور الجوية. وهذه الميزة تميزها عن نظم المعلومات المعتادة وتجعلها مناسبة لكثير من التطبيقات العامة والخاصة لتفسير الأحداث وحساب المؤشرات ووضع الاستراتيجيات.

إن قوة نظام الـ GIS بالمقارنة مع الخرائط الورقية هي في قدرة هذا النظام على اختيار المعلومات التي نحتاجها بالاعتماد على تطبيق محدد. نستطيع أن نقسم قاعدة البيانات التي تعد أكثر المكونات أهمية في مؤسسة أو هيئة ما إلى نوعين رئيسيين من نماذج البيانات: 1- البيانات المكانية التي تصف موقع وشكل الملامح الجغرافية والعلاقات المكانية لهذه الملامح على الخارطة. 2- البيانات الوصفية المعروفة كمعلومات وصفية للملامح الموجودة على الخارطة.

1.2.4 أهمية استخدام نظام الـ (GIS) في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية:

تعاني أنظمة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، في بلدنا كما في أغلب بلدان العلم الثالث، من التحديث اليدوي غير الدقيق لبيانات هذه الأنظمة سواء فيما يتعلق ببيانات التخطيط أو بيانات التشغيل أو بيانات الصيانة وغيرها. حيث لا تزال تعتمد هذه الأنظمة إلى اليوم على التحديث اليدوي لهذه البيانات. يضاف إلى ذلك الضعف في مراقبة هذه الأنظمة ومنع الضياعات والتحديث اليدوي لسجلات المستهلكين، الخ.

لقد أدرك القائمون على أنظمة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية في العالم أهمية تكنولوجيا الـ GIS في رسم الخرائط الالكترونية التي توفر نموذجاً مرجعاً جغرافياً لبنية هذه الأنظمة. وبالتالي فإن هذا النموذج، المعتمد على نظام الـ GIS، يعدّ ضرورياً لتحديد توضع هذه الأنظمة وأمثلة عملها. إذ يقدم هذا النموذج معلومات مكانية تمثل مظاهر في العالم الحقيقي لهذه الأنظمة وذلك بصيغة خرائط رقمية وقواعد بيانات ذات إرجاع جغرافي. كما يسمح هذا النموذج أيضاً باستخدام طرق معالجة جديدة ويؤمن تمثيل عالي الدقة للمعلومات المعالجة وهو أداة فعّالة في يد صنّاع القرار في الحالات التي تكون فيها البيانات المتعلقة بالقرار تتضمن مكوناً مكانياً. حيث يساعد هذا النموذج مسؤولي المؤسسات والشركات الكهربائية على إظهار وتحليل وفهم البناء الهندسي في العالم الحقيقي وذلك لتحقيق إدارة أفضل لعمل هذه الأنظمة وحل المشاكل التي لا توفرها الخرائط المرسومة بالشكل التقليدي. كذلك يزود هذا النظام الفرق التي تقوم بتخطيط هذه الأنظمة بمشهد مركّز عالي الدقة للمناطق التي يمكن أن تحصل فيها معدلات عالية للطلب على الطاقة وتفاصيل اتصال الحمولات في هذا المناطق.

يتطلب تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في أنظمة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية توافر بيانات لشرائح الـ GIS التالية:

- بيانات لخارطة استخدام الأراضي وخارطة الغطاء النباتي (وهذه الخرائط مطلوبة للتحقق من أنّ أنظمة الطاقة الكهربائية قيد التنفيذ في المنطقة المحددة تحقق الشروط المطلوبة).
- بيانات GPS لتحديد مواقع الأبراج ومحطات التحويل.
- بيانات كهربائية للحمولات.
- بيانات خرائط الربط الكهربائي في هذه الأنظمة.

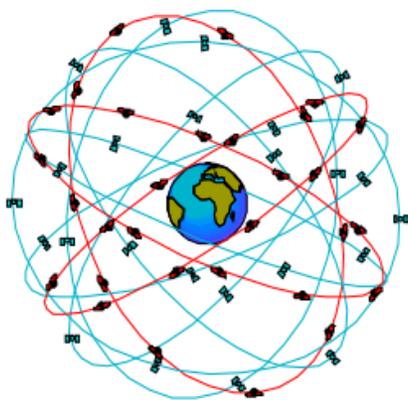
وبعد أن يتم بناء نموذج الـ GIS لهذه الأنظمة، فإنه يمكن إجراء عدد كبير من الدراسات والتحليلات وفقاً للمعطيات المتاحة مع السمات الجغرافية للمكان نذكر منها:

- تحديد المسار الأمثل للمغذيات.
 - اقتراح عدد من التصاميم المختلفة للتوسع المستقبلي لهذه الأنظمة.
 - الاختيار الأمثل للوصل الكهربائي.
 - تحليل سريان الاستطاعه (الحمولة).
 - إجراء دراسات مقارنة الكلفة بين التصاميم المختلفة.
 - إدارة قاعدة البيانات، إلخ.
- وفي النهاية يمكن تلخيص أهمية استخدام الـ GIS في أنظمة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية بالنقاط التالية:

- أداة إظهار: إذ يقدم نموذج الـ GIS طريقة فعّالة لإظهار البيانات الكهربائية والجغرافية المتعلقة بهذه الأنظمة اعتماداً على خارطة أساس معروفة أو منطقة جغرافية.
- مرونة في التحليل: في نموذج الـ GIS، فإننا نستطيع بسهولة معالجة البيانات والحصول على تحليلات متعلقة بتخطيط وإدارة هذه الأنظمة مع نتائج فعّالة مثل التخطيط أو التحديث لأنظمة موجودة أو أنظمة جديدة.
- التحديث: عندما يطرأ أي تغيير على بنية هذه الأنظمة، فإنه من السهل تحديث قواعد بيانات الـ GIS المتعلقة بها وبسرعة كبيرة.
- التعديل: يمكن تعديل الخرائط الرقمية المرسومة في بيئة الـ GIS بسهولة كبيرة عندما يتطلب الأمر ذلك.
- التخطيط: على سبيل المثال تخطيط الصيانات الدورية لهذه الأنظمة.
- الاستعلام: يُعدّ الاستعلام في أنظمة الـ GIS من أهم خصائص هذه الأنظمة وهو يتصف بالدقة والسهولة.
- المشاركة: تصبح مشاركة البيانات بين مستخدمين مختلفين (كمخططي المدن، مديري الإنشاءات، والمهندسين المدنيين) ممكنة وبسهولة.

3.4 دور نظام المواقع العالمي (GPS) في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية:

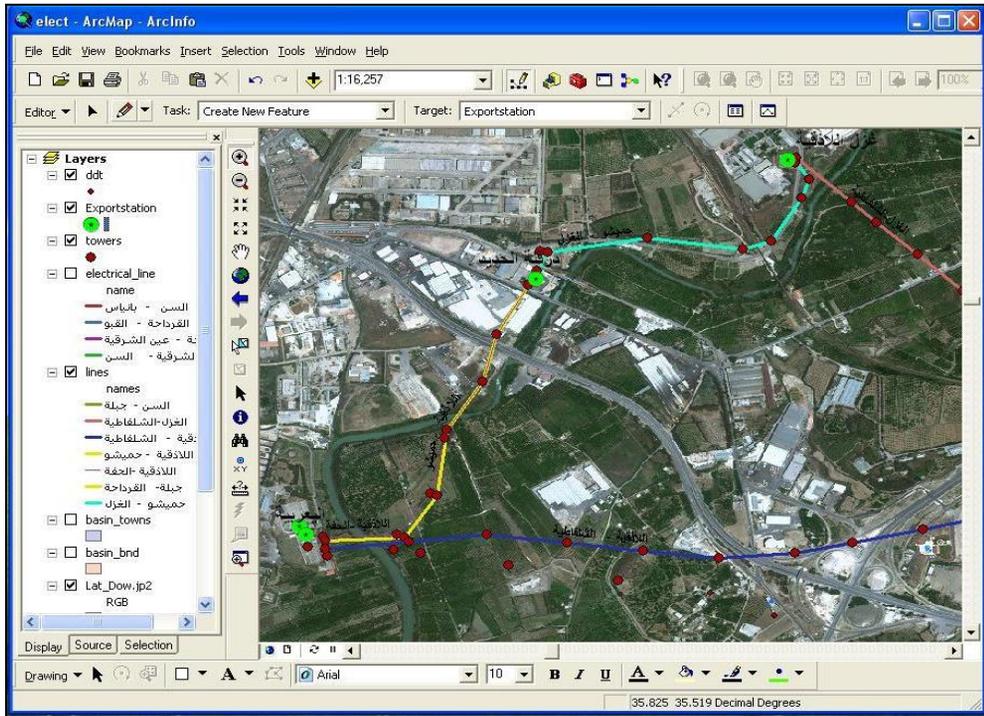
يُعدّ نظام الـ GPS أحد اللبّات الأساسية التي تساعد على إنشاء نظام المعلومات الجغرافية (GIS). يعتمد هذا النظام على مجموعة مكونة من 24 قمراً صناعياً موضوعة في ستة مستويات مدارية مركزها الأرض مع أربعة أقمار صناعية احتياطية تدور حول الأرض على ارتفاع تقريبي (حوالي 11000 ميل) كما يظهر في الشكل (3). يستخدم نظام الـ GPS الأقمار الصناعية والحواسب من أجل تحديد موقع أي مكان على سطح الكرة الأرضية. ويتم تحديد الموقع الدقيق على جهاز الاستقبال لنظام الـ GPS استناداً على استقبال بيانات أربعة أقمار صناعية من منظومة هذا النظام. إنّ نظام الـ GPS له تطبيقات متعددة في مجالات الملاحة ومسح الأراضي والاستشعار عن بعد ورسم الخرائط وتحديد المواقع الهندسية (مثل الشوارع، الأبنية، خطوط الكهرباء، شبكات المياه، أنابيب النفط وغيرها).



الشكل (3): تمثيل لدوران الأقمار الصناعية المستخدمة في نظام الـ (GPS)

1.3.4 استخدام نظام المواقع العالمي (GPS) في مشاريع تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية:

لتحديد مواقع محطات التحويل أو الأبراج (الأهداف)، على سبيل المثال، في أنظمة نقل توزيع الطاقة الكهربائية، فإنه يتم تحديد هذه المواقع بإحداثيات خطوط الطول والعرض التي تقيسها أجهزة الـ GPS والتي يمكن تصديرها مباشرة الى شاشة الحاسوب. بمعنى أنه يتم استخدام تقنية الـ GPS لتحديد المظاهر التي تكون غير متاحة أو ظاهرة في الصور الفضائية بسبب الدقة غير العالية لهذه الصور. يُعدّ نظام الـ GPS أداة فعالة جداً للحصول على معطيات نظام الـ GIS الجغرافية (المكانية). وهكذا فإنه يساعد بشكل فعال في بناء قاعدة البيانات الدقيقة لنظام الـ GIS. على سبيل المثال، يُظهر الشكل (4) الخارطة الرقمية مع الصورة الفضائية بنظام الـ GIS لبعض أبراج خطوط شبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية في سورية.



الشكل (4): صورة فضائية بنظام الـ GIS لبعض خطوط وأبراج شبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية في سورية.

أما الجدول (1) فيُظهر البيانات التي تم جمعها لأبراج خط حميشو- الغزل، وهو أحد خطوط هذه الشبكة، مع إحداثياتها (خط الطول وخط العرض والارتفاع عن سطح البحر) بواسطة جهاز GPS من نوع GARMIN.

الجدول (1): البيانات التي تم جمعها لأبراج خط حميشو- الغزل مع إحداثياتها (خط الطول، خط العرض، والارتفاع عن سطح البحر) بواسطة جهاز GPS من نوع

GARMIN

ملاحظات	تاريخ اخذ الإحداثيات البرج	ارتفاع البرج عن سطح البحر	الإحداثيات		رقم البرج على جهاز GPS	كود البرج	موقع البرج	الرقم المتسلسل
			N	E				
برج الزاوية	11/11/2013	11m	35.52372	35.83495	1	E (SW)	ضمن حرم شركة حميشو	1
وطا اليسيس (برج الزاوية)	11/11/2013	9m	35.52440	35.83534	2	E (SW)	ضمن كراج خاص	2
طريق سوق الهن	11/11/2013	7m	35.52495	35.83889	3	E (SY)	وطا اليسيس	3
	11/11/2013	7m	35.52451	35.84230	4	E (SR)	وطا اليسيس	4
برج الزاوية	11/11/2013	8m	35.52485	35.84329	5	E (SW)	وطا اليسيس	5
	11/11/2013	8m	35.52645	35.84439	6	E (SR)	وطا اليسيس	6
برج صدا (زاوية)	11/11/2013	9m	35.52717	35.84467	7	E (SR)	وطا اليسيس	7
برج النهاية (يقع بين برجين المحافظاتية - غزل سقوين - غزل)	11/11/2013	9m	35.52786	35.84417	8	E (SX)	ضمن حرم المحطة للغزل	8

5- تطبيقات تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في مشاريع

الطاقة الكهربائية:

كما هو معلوم، فإن جميع مكونات أنظمة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية لها توضع جغرافي معين. تتوقف الاستفادة الكاملة من أي تطوير لهذه الأنظمة اعتماداً على

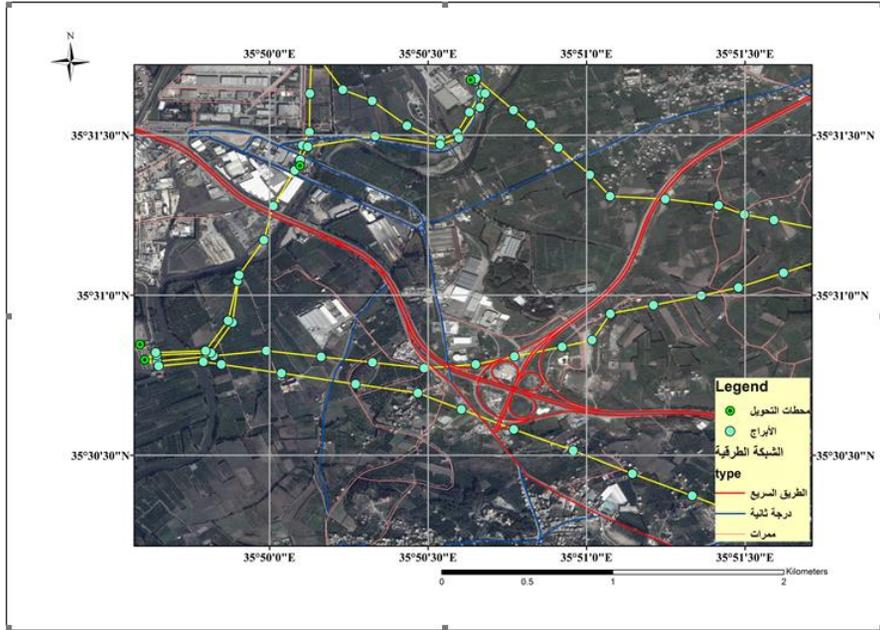
معطيات البعد الجغرافي لمكوناتها. يمكن أن نقسم تطبيقات تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام الـ (GIS) في مشاريع الطاقة الكهربائية إلى قسمين أساسيين هما:

1.5. التطبيقات في مجال التخطيط والتصميم:

يفرض النمو السكاني الكبير وتزايد الطلب على الطاقة نتيجة تطور المجتمع إنشاء محطات توليد (تقليدية و/أو متجددة) وخطوط نقل ومراكز تحويل جديدة بشكل مستمر لتلبية هذه الاحتياجات. نستعرض هنا عدد من التطبيقات في مجالي التوليد والنقل والتوزيع:

(1) التوليد:

إن اختيار المواقع الأفضل لإنشاء محطات التوليد التقليدية أو المتجددة هو أمر معقد ويتأثر بعدد كبير من العوامل البيئية والمناخية والجيولوجية واللوجستية. تلعب تقنيات الاستشعار عن بعد وأنظمة المعلومات الجغرافية دوراً هاماً في تحديد هذه المواقع وذلك من خلال تكاملها مع خوارزميات اتخاذ القرار متعددة المعايير. يقدم نظام المعلومات الجغرافية (GIS) من خلال قاعدة بياناته الهائلة والقابلة للتحديث بشكل مستمر كل ما يمكن المستخدم من اختيار المعيار المناسب لتحديد المكان الأفضل لبناء محطات توليد الطاقة وبالأخص المتجددة منها. تشمل هذه المعايير اتجاه وسرعة الرياح، الارتفاع والانحدار، شبكات الطرق العادية والسكك الحديدية، المناطق الزراعية والغابات، المسيلات المائية (الأنهار والبحيرات) وغير ذلك. يظهر الشكل (5) جزء من شبكة الطرقات العامة في محافظة اللاذقية مع توضع بعض الأبراج وبعض محطات التحويل لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في تلك المنطقة باستخدام نظام الـ (GIS).



الشكل (5): جزء من شريحة شبكة الطرقات العامة في محافظة اللاذقية مع توضع بعض الأبراج وبعض محطات التحويل لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في تلك المنطقة (محطة تحويل اللاذقية - الشلفاطية)

2) النقل والتوزيع:

كما هو معلوم، فإنّ تمديد خطوط نقل الطاقة الكهربائية مكلف جداً لذلك ليس من المناسب أبداً حصول أخطاء في اختيار مسار الخط (مواقع الأبراج) أو مواقع مراكز التحويل التابعة له. إنّ تحديد المسارات الأمثل لخطوط النقل والتوزيع أو تحديد المواقع الأمثل لمراكز التحويل المزمع إنشاؤها مستقبلاً هو أمر في غاية التعقيد. يظهر قلق المجتمع واضحاً يوماً بعد يوم بشأن قضايا الصحة وذلك بسبب الحقول الكهرطيسية الناتجة عن خطوط نقل التوتر العالي على وجه الخصوص. بالإضافة إلى تأثر هذه المسارات والأماكن بعوامل بيئية، واقتصادية - اجتماعية، ومناخية وجيولوجية كثيرة. عند اختيار مسار خط النقل، فإن الخط المستقيم مع أقل الانحناءات يكون هو المفضل كونه يقدم أفضل الحلول الهندسية والاقتصادية. من أجل تحقيق هذا المسار فإن الخط يمكن أن يمر من خلال أماكن محددة والتي قد تكون مأهولة بالسكان أو مناطق تكون غير

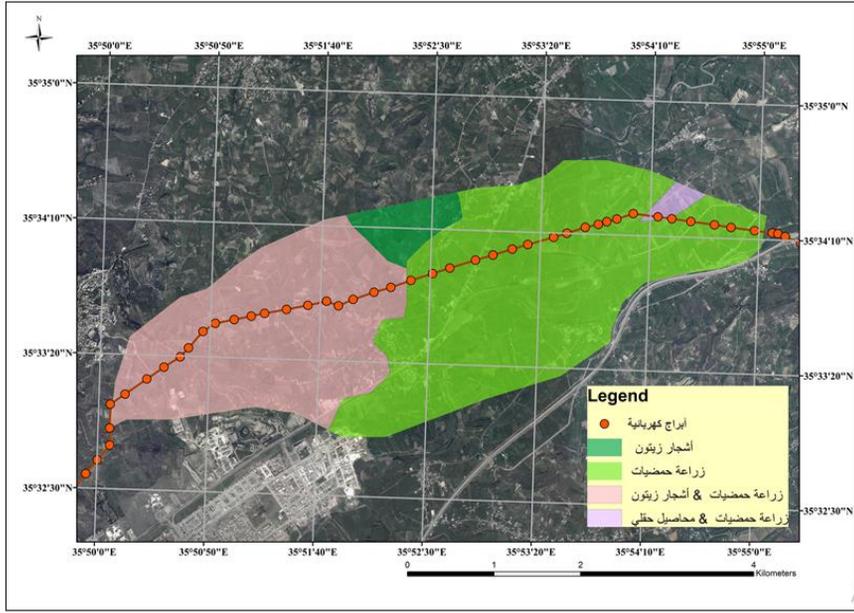
مناسبة لتكريب الأبراج. لذلك تستخدم تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام الـ GIS كأداة تقنية في تحديد المسارات والمواقع الأمثل بحيث يكون التأثير والتأثير البيئي بالحد الأدنى (على سبيل المثال، تقليل عدد الأشجار اللازم قطعها في المناطق الزراعية والغابات إلى الحد الأدنى). تطبق خوارزميات إيجاد المسار الأمثل (الموقع الأمثل) بالاعتماد على الميزات الكهربائية والاقتصادية بالإضافة إلى الخصائص المكانية إذ يساعد إظهار الشبكة الكهربائية على الخريطة في اتخاذ القرار المناسب. حيث توجد علاقة بين كل هدف مكاني وقواعد بياناته غير المكانية فمثلاً في نظام الطاقة الكهربائية يكون موقع البرج على الأرض هو المعطى المكاني وطول البرج هو المعطى غير المكاني (الوصفي). يقدم نظام المعلومات الجغرافية الوسيلة الأفضل لربط قواعد البيانات غير المكانية مع البيانات المكانية أو الملامح الجغرافية المتعلقة بها. يظهر الشكل (6) جزء من مسار خط نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية اعتماداً على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية GIS باستخدام برنامج ArcGIS (التحليق ثلاثي الأبعاد).

يلعب نوع التربة والتأثيرات البيئية أيضاً دوراً هاماً في تحديد موقع أبراج خطوط النقل. كما يؤثر أيضاً نوع ووجود الملامح الجغرافية المقابلة لمسار خط النقل المقترح، والمناطق ذات خطر الانهيار، ومناطق الزلازل ونوع الصخور والعوامل المناخية على قرار تحديد مسار خط النقل.



الشكل (6): جزء من مسار خط نقل طاقة كهربائية (التوتر 66kV) (خط اللاذقية - الحفة) اعتماداً على تكنولوجيا الاستشعار عن بعد ونظام ArcGIS (التحليق ثلاثي الأبعاد).

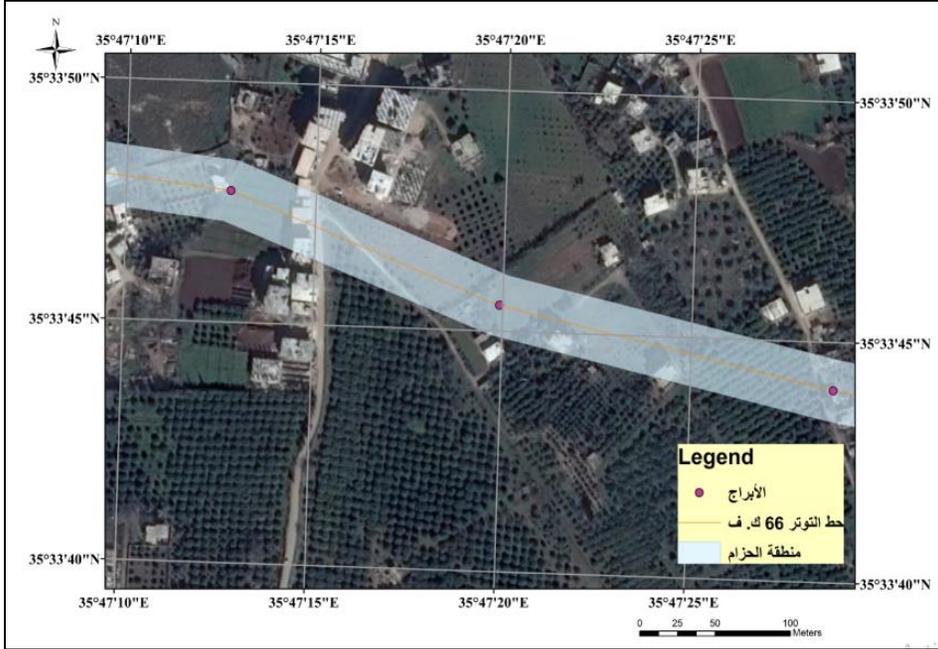
يُظهر الشكل (7) جزء من خارطة لنماذج الأراضي الزراعية والأشجار في منطقة (سقوبين - المدينة الرياضية) التي يمر فيها مسار خط نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية اعتماداً على الصورة الفضائية للمنطقة ونظام المعلومات الجغرافية GIS.



الشكل (7): جزء من خريطة GIS تظهر نماذج استعمالات الأراضي والأشجار لمنطقة (سقوبين - المدينة الرياضية) يمر فيها مسار خط نقل الطاقة الكهربائية (بالتوتر 66kV)

إنّ مفهوم منطقة الحزام المأخوذة من المعلوماتية المكانية يمكن أن يساعد في تحديد المناطق الآمنة حول مسار خطوط نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر العالي 230kV أو 66kV في المناطق السكنية، حيث يمكن أن يساعد ذلك على حماية القاطنين في تلك المناطق من تأثيرات الحقول الكهربائية العالية. يُظهر الشكل (8) منطقة الحزام لجزء

من مسار أحد خطوط نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية (10) متر على يمين ويسار الخط).



الشكل (8): خريطة GIS تظهر جزء من مسار أحد خطوط نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV (سقوبين - المدينة الرياضية) في محافظة اللاذقية مع منطقة الحزام

2.5. التطبيقات في مجال الإدارة والتشغيل:

إنّ إمكانية ربط نظام الـ GIS مع أدوات تحليل نظام الطاقة الكهربائية تساعد في تقديم حلول تقنية لمشاكل أنظمة الطاقة من حماية وإصلاح وصيانة وغير ذلك. حيث يمكن أن تساعد أنظمة الـ GIS في توضيح عدة طبقات من المعطيات فوق المخطط أحادي الطور لنظام الطاقة. نستعرض هنا عدد من التطبيقات في مجال الإدارة والتشغيل منها:

1) التنبؤ بالحمولة (الاستطاعة) الكهربائية:

التنبؤ بالحمولة هو التنبؤ بكمية النمو المستقبلي للحمولة وتوقع مواضع زيادة هذه الحمولة. هذا التنبؤ هام جداً في عملية تخطيط أنظمة الطاقة حيث يعتمد العمل التخطيطي الكلي على هذا التنبؤ. لاستخدام تقنيات تنبؤ مكانية بالحمولة، فإن تقنية الصورة الفضائية ونظام الـ GIS تقدم منصة عمل ممتازة حيث يتم دمج معطيات نظام الطاقة مثلاً مع معطيات استخدامات الأراضي والمعطيات الأخرى. تتألف عملية التنبؤ بالحمولة من التنبؤ بالطاقة الكلية، والاحمال المصنفة، ومنحي الحمولة وتوزيع الحمولة. للتنبؤ باحتياجات وتوزيع الحمولة في نظام الطاقة، فإنه ينبغي تقسيم منطقة الاستهلاك إلى مناطق عديدة صغيرة مناسبة بالاعتماد على الموقع الجغرافي والذي يتضمن عدد النقاط المطلوبة التي تشير إلى الحمولات المختلفة للمستهلكين. حيث يتم جمع البيانات المكانية لكل قطاع والتنبؤ بنمو الحمولة المستقبلي لكل منطقة صغيرة. يمكن بعد ذلك أن يتم جمع المعلومات المكانية من خلال منصة العمل التي توفرها الصورة الفضائية ونظام الـ GIS. من أجل التنبؤ بنمو الحمولة لمنطقة جغرافية، فإنه يجب توافر معطيات مثل استعمال الأراضي الحالية، والبنية التحتية للمواصلات والانحدارات الجبلية والمراكز السكانية وبالتالي موقع إضافة الحمولة الجديدة المتوقعة. وعندها يمكن التخطيط للنظام المستقبلي من خلال هذه التنبؤات بالحمولة.

(2) إدارة الكوارث وتحديد مواقع الأعطال:

تمكّن تقنية الصورة الفضائية ونظام الـ GIS من فهم متكامل لنظام الطاقة الكهربائي وذلك عن طريق ربط البيانات المكانية لمكونات هذا النظام مع البيانات الوصفية (الكهربائية) في خرائط رقمية تفاعلية، وهذا ما يجعلها منصات ضرورية ومتخصصة لإظهار بيانات نظام الطاقة المرجعة جغرافياً في الزمن الحقيقي مثل التوتر والاستطاعة، إلخ. يتم تخزين معلومات نظام الـ GIS في شرائح خرائط جغرافية تجعل من السهل ربط شروط عمل أنظمة الطاقة مع المعلومات الأخرى مثل حالة الطقس، وشبكات الطرقات، إلخ. حيث تساعد بيانات الطقس في الزمن الحقيقي، المتكاملة مع نظام الـ GIS، في رفع سويات الحذر والحيطه لدى مشغلي نظام الطاقة. مثلاً، بمساعدة هكذا نظام، فإن تحديد حالة الطقس المتوقعة المتحركة باتجاه منطقة ما يمكن المشغلين من التحديد

السريع لتجهيزات النظام التي قد تتعرض لمخاطر متزايدة مما قد يؤدي إلى خروجها عن العمل.

يمكن أن يتم ربط خرائط النمو السكاني في نظام الـ GIS مع معطيات حمولات الخطوط في الزمن الحقيقي لتحديد الخطوط التي تتعرض لمخاطر أعطال متزايدة إما بسبب الصواعق (البرق) أو بسبب الحمولة الزائدة. يمكن عندئذ أن تؤخذ هذه الخطوط بالحسبان كخطوط محتملة للانهايار أو الفشل في عملية تحليل الطوارئ ضمن نظام الطاقة. وبشكل معاكس، إذا أظهرت خرائط النمو السكاني في الـ GIS نمواً صغيراً فإن المشغل يمكن أن يضح كمية أكبر من الطاقة في خط النقل ضمن قيود التوتر.

يمكن أن تستخدم سجلات الحمولة أو التوليد عند رسم خرائط التوتر لإظهار شروط تشغيل النظام ككل مثل المكونات المحملة تحمياً زائداً مما يساعد المشغلين في تحديد نقاط الاضطراب في الشبكة من خلال نظرة سريعة إلى شاشة المراقبة في مركز التحكم. اعتماداً على التحديد السريع للمواقع، فإن تحليلات رقمية تفصيلية إضافية يمكن أن يتم إجراؤها من أجل بناء تصور أعمق للحلول الممكنة لحالة عمل الشبكة غير الطبيعية. في خارطة نظام الـ GIS يحدد اللون على الخارطة شدة أو خطورة التهديد في المناطق المحيطة بالموقع الجغرافي لمنطقة المشكلة. وحالماً يتم تحديد منطقة المشكلة على الخارطة، يستطيع المشغل أن يأخذ إجراءً وقائياً للتأكد من أن الحالة غير الطبيعية سوف لن تتطور إلى فشل كبير (عطل كبير) في النظام.

3) تقليل الضياعات في نظام الطاقة:

تتراوح ضياعات أنظمة النقل والتوزيع في البلدان النامية بين (35-40%). يمكن تقليل مثل هذه الضياعات وتحسين فعالية الطاقة عن طريق استخدام معطيات مكانية يتعامل معها نظام الـ (GIS) من خلال النقاط التالية:

- رسم خارطة توزع المستهلكين اعتماداً على خارطة الشبكة الكهربائية. إن الهدف من ذلك هو فهرسة كل المستهلكين وتصنيف كامل لقاعدة بياناتهم مع الأخذ بالحسبان عناوينهم الكهربائية لتسجيل المعطيات المكانية وغير المكانية حيث يعطى كل مستهلك عنوان مفرد يدعى رقم فهرس المستهلك.

- أخذ قياسات دقيقة للمستهلكين وربطها مع موقعهم المكاني أي بمعنى تركيب المقاييس في كل مراحل التحويل وفي جهة المستهلك أيضاً.
- أخذ قياسات للمغذيات ومحولات التوزيع حسب موقعها المكاني: تركيب مقاييس إلكترونية في جميع مخارج المغذيات ومحولات التوزيع.
- تسجيل قياسات الاستطاعة الفعلية لمقاييس المغذيات ومحولات التوزيع وكذلك عامل الاستطاعة ومعلومات الأحمال.
- أخذ قياسات الطاقة المستقبلية (المستلمة) في كل محطة فرعية وفي مخارج المغذيات والطاقة المفوترة (المدفوعة الثمن) وحساب ضياعات النقل والتوزيع في كل مغذي ومحولة.
- تحميل المعلومات إلى شبكة حاسوبية وبناء نظام إدارة معلومات فعال (MIS) مرتبط بأنظمة الـ (GIS) من أجل اتخاذ القرار السريع وتحسين نظام التوزيع.

4) تحليل نماذج الربحية (الريعية):

يُعدّ نظام القياسات والفوترة المصدر الرئيسي للعائدية (الريعية) في نظام الطاقة الكهربائي. يُساعد نظام الـ (GIS) المعتمد على الخرائط والصور الفضائية وخرائط جميع المستهلكين بمن فيهم الأفراد في تحديد نماذج الريعية وتغيراتها لنظام الطاقة على أساس موضعي محلي أو مناطقي. وهذا بدوره يمكن أن يستخدم بعد ذلك مع معلومات أخرى مثل مواقع أحياء محددة وأماكن الكثافة السكانية ونماذج اقتصادية أخرى لتحديد تغيّر أنظمة الريعية. عندما يتم تحديد هذه النماذج فإنّ الأولويات يمكن أن توضع لتحديد قضايا الاختلاس والتلاعب بالمقاييس.

يمكن أن تُقدّم هذه المعلومات لعناصر الجباية الحقلية لقمع مثل هذه السلوكيات السلبية. بالإضافة إلى ذلك فإن التحليل الزمني التسلسلي لنماذج الريعية للمستهلكين يمكن أن يساعد في تحديد الانخفاض أو الازدياد المفاجئ لنماذج الحمل في منطقة محددة مما يؤدي إلى إعطاء إنذار للتحقيق فيما إذا كانت هذه التغيرات نتيجة تغيّر عناصر نظام الطاقة نفسه أو حالة بسيطة لشاغل جديد في ذلك العنوان.

5) إدارة مكونات نظام الطاقة:

تتطلب أعمال إدارة مكونات نظام الطاقة الكهربائي توافر معلومات وبيانات من مصادر متعددة ضمن وخارج النظام. يمكن أن تشمل هذه المعلومات والبيانات حقوق التصرف بمكونات النظام ونقل أماكن توزيعها، وحق تمرير خطوط نقل الطاقة، وظروف الطقس، ومخططات الأرض ومعطيات البيئة. بالجمع بين المعرفة المتاحة عن موقع المكونات المحددة يمكن أن يساعد نظام الـ GIS في بناء آلية استجابة لحظية لتحديد أمور مثل الإصلاح، والاستبدال لهذه المكونات وهذا ما يؤمن تغذية أكثر موثوقية.

6- منهجية تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد ونظامي الـ GIS والـ GPS في

شبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية:

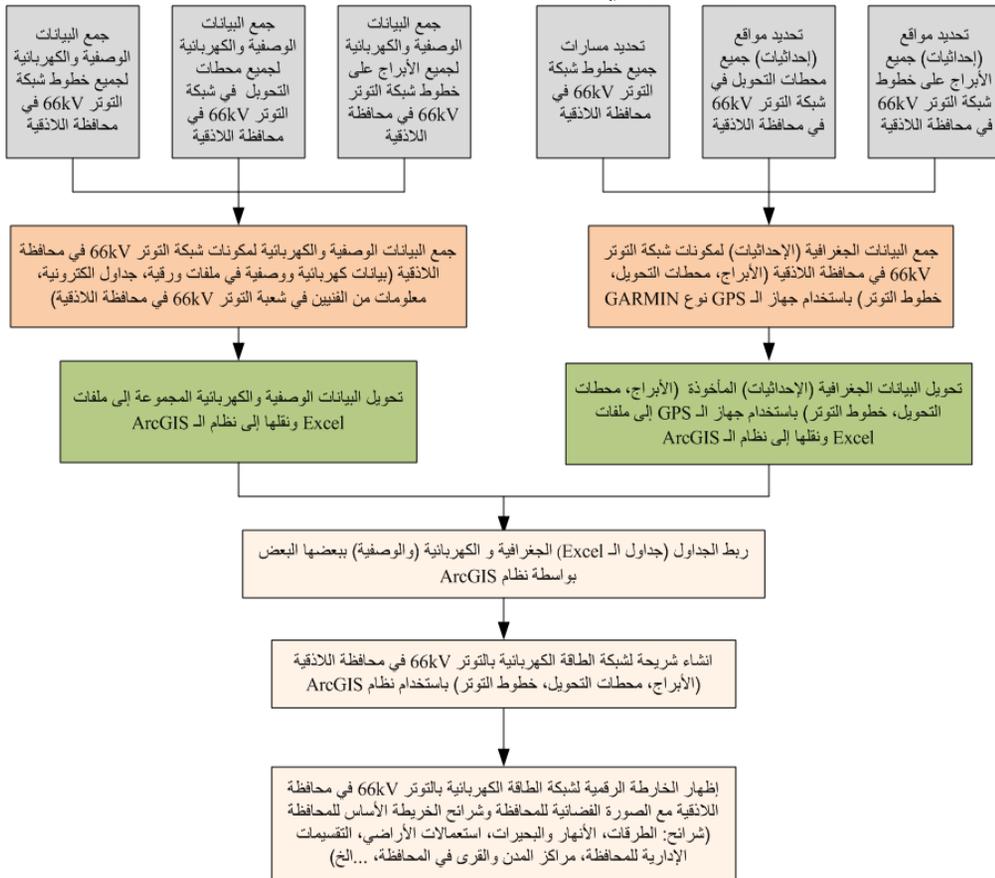
يتطلب التخطيط والتصميم الأمثل لمشاريع الطاقة الكهربائية مثل مشاريع بناء محطات التوليد أو مشاريع بناء شبكات النقل والتوزيع توافر كم هائل من البيانات الكهربائية والجغرافية المتعلقة بهذه المشاريع إذ تلعب قواعد البيانات الصحيحة دوراً هاماً في عملية التخطيط. يمكن أن تستخدم تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام الـ GIS لرسم الخارطة المكانية لكامل نظام الطاقة من التوليد إلى النقل والتوزيع وصولاً إلى أنظمة التوتر المنخفض ونقاط تزويد المستهلكين بالطاقة على صورة فضائية أو خارطة مساحية. حيث تكون شرائح المعلومات متضمنة في هذا التمثيل الخرائطي. يمكن أن تمثل الشريحة الأولى التوزيع المكاني لمكونات نظام الطاقة مثل محطات التوليد، أبراج وخطوط شبكات النقل والتوزيع، ومراكز التحويل. الخ. يمكن أن تستخدم الشريحة الثانية لإظهار الخارطة المكانية التي تحوي شرائح الطرقات، والعلامات الأرضية، والأبنية، والأنهار، وخطوط السكك الحديدية، الخ.

لبناء قاعدة بيانات بنظام الـ GIS لشبكة نقل طاقة كهربائية، فإن الأمر يتطلب بداية استخدام نظام تحديد المواقع العالمي GPS لأخذ إحداثيات جميع أبراج خطوط نقل الطاقة الكهربائية في هذه الشبكة وجميع مراكز التحويل فيها حيث يتم بعد ذلك إنشاء خارطة أساس رقمية دقيقة للشبكة. يسير المستقوصون على طول خطوط نقل الطاقة الكهربائية (باختلاف سويات التوتر فيها) ويلتقطون إحداثيات الموقع المكاني للأبراج (الأعمدة)، والمحولات، والمغذيات، والمحطات الفرعية، الخ. تجمع أيضاً في هذه المرحلة

البيانات الوصفية للشبكة الكهربائية. بعدها يتم تصحيح للبيانات المكانية التي تم جمعها. يجب أن تُظهر الخارطة الرقمية الأساس العلامات الأرضية الهامة مثل الطرقات، والأنهار، إلخ، والتي تكون ضرورية، على سبيل المثال، لتحديد أفضل توضع لمكونات الشبكة و/أو لتخطيط التوسع الجديد في الشبكة مستقبلاً، إلخ. من أجل إظهار أفضل، فإن الخارطة الرقمية للشبكة يمكن أن يتم وضعها فوق الخارطة الرقمية الأساس وإضافة الصورة الفضائية أيضاً إليها.

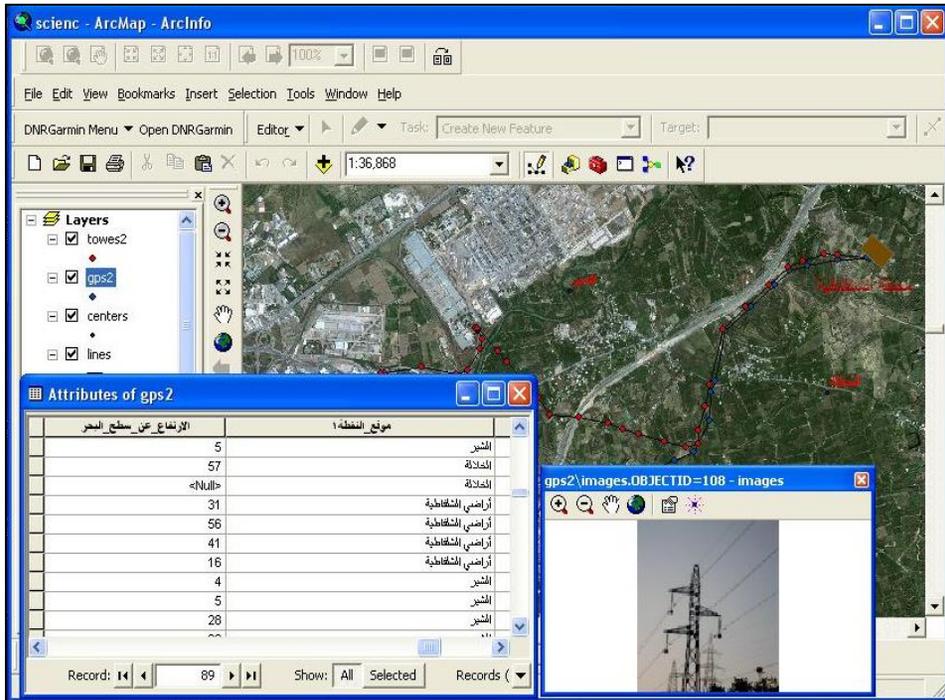
تضم الخارطة الرقمية مجموعة من شرائح البيانات الكهربائية والجغرافية التي يتم جمعها وإدخالها. ولتوضيح ما ذكرنا فإننا نوضح في الشكل (9) المخطط المنهجي الكلي لطريقة العمل التي تم اعتمادها من أجل بناء قاعدة بيانات بنظام المعلومات الجغرافية لشبكة نقل

الطاقة الكهربائية بالتوتر (66kV) في محافظة اللاذقية وإنشاء الخارطة الرقمية لها.



الشكل (9): المخطط المنهجي الكلي لطريقة العمل التي تم اعتمادها في انشاء الخارطة الرقمية بنظام المعلومات الجغرافية (ArcGIS) لشبكة نقل الطاقة بالتوتر (66kV) في محافظة اللاذقية

أخيرا يظهر الشكل (10) جزء من الخارطة الرقمية لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر (66kV) في محافظة اللاذقية مع الصورة الفضائية بين محطتي اللاذقية والشلفاطية. كما يظهر الشكل أيضاً صورة لأحد الأبراج التي تم الاستعلام عنها بواسطة نظام المعلومات الجغرافية (ArcGIS) مع إظهار البيانات الجغرافية والوصفية (الكهربائية) عن هذا البرج.



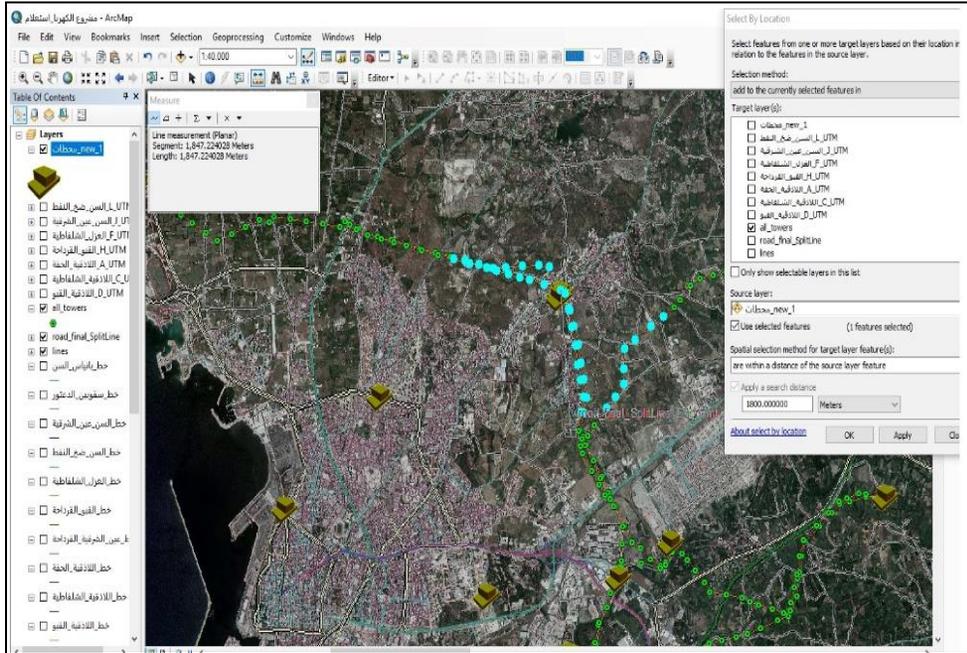
الشكل (10): جزء من الخارطة الرقمية لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر (66kV) في محافظة اللاذقية مع الصورة الفضائية بين محطتي اللاذقية والشلفاطية

7. التحليل المكاني والاستعلام لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر (66kV) في محافظة اللاذقية:

إن استخدام برنامج التحليل المكاني لنظام المعلومات الجغرافية بعد بناء الخارطة الرقيمة لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية على شكل شرائح GIS وربطها مع قواعد البيانات الجغرافية والكهربائية، يساعد في إنجاز عدد كبير من المهام المتعلقة بإدارة الشبكة وبالأخص عمليات الاستعلام عن مكونات الشبكة مما يسهل عملية اتخاذ القرار المتعلقة بتشغيل وصيانة الشبكة بشكل كبير. وسنستعرض فيما يلي عدد من الأمثلة عن عمليات الاستعلام التي يمكن إجراؤها على الشبكة باستخدام الخارطة الرقيمة:

1) الاستعلام عن أماكن وجود محطات التحويل والأبراج المزدوجة الموجودة في منطقة محددة من محافظة اللاذقية:

يُظهر الشكل (11) نتائج الاستعلام عن أماكن وجود محطات التحويل وأماكن توّصع الأبراج المزدوجة (وفقاً للإحداثيات الجغرافية الحقيقية) في منطقة محددة من محافظة اللاذقية. حيث تظهر أماكن المحطات على الشكل باللون الزيتي في حين أنّ أماكن توّصع أبراج النقل المزدوجة تظهر على الشكل باللون الفيروزي.



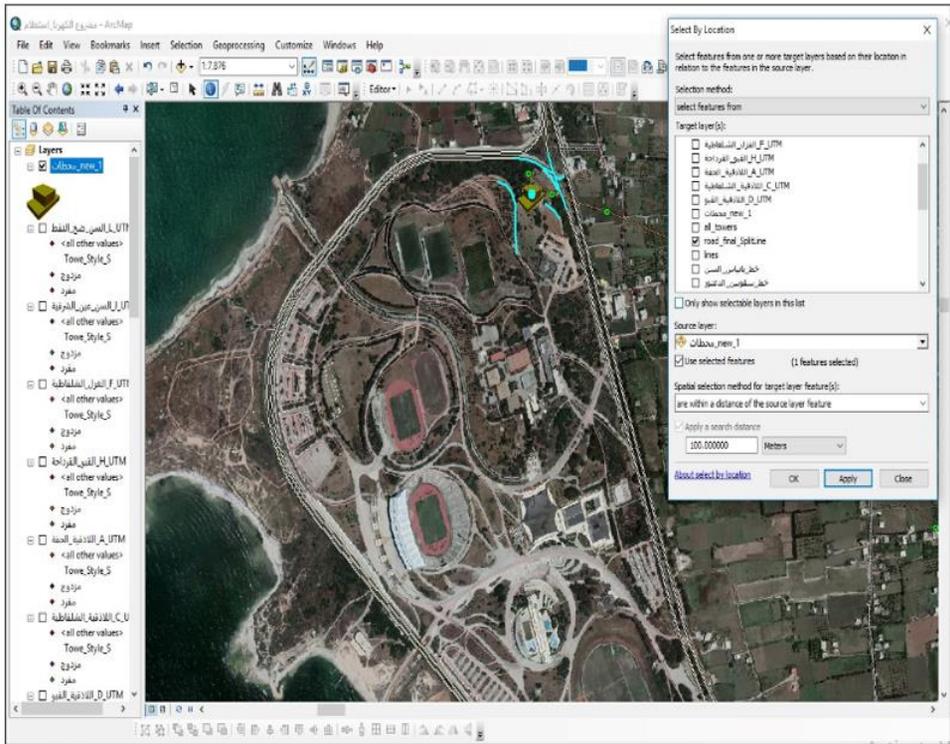
الشكل (11): جزء من شريحة GIS تُظهر الاستعلام عن أماكن توّضع محطات التحويل والأبراج المزدوجة في منطقة محددة من محافظة اللاذقية

2) الاستعلام عن المسافات (مقاسة بالأمتار) بين الأبراج في خط نقل (اللاذقية - حميشو) الذي يعمل بالتوتر 66kV:

يُظهر الشكل (12) نتائج الاستعلام قياسات المسافات (بالأمتار) بين أبراج خط نقل (اللاذقية - حميشو) الذي يعمل بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية. تظهر قياسات المسافات بين الأبراج (بالأمتار) على الخط باللون الأصفر.

الشكل (13): جزء من شريحة GIS تُظهر الاستعلام عن بيانات خط نقل الطاقة (الغزل – الشلفاطية) الذي يعمل بالتوتر 66kV في محافظة اللاذقية
4) الاستعلام عن الطرقات التي تقع ضمن مسافة 100 متر من محطة تحويل المدينة الرياضية:

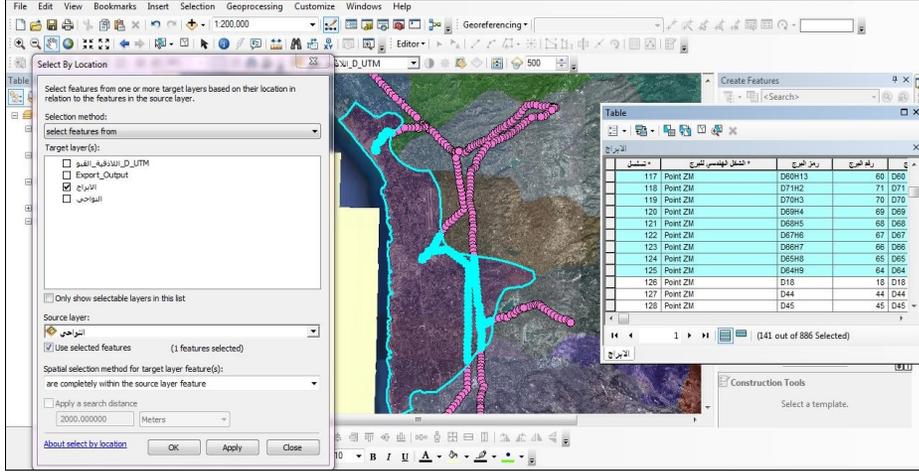
يُظهر الشكل (14) نتائج الاستعلام عن جميع الطرقات التي تقع ضمن مسافة 100 متر من محطة تحويل المدينة الرياضية. حيث يظهر على الشكل أجزاء من الطرقات التي تقع ضمن المسافة المحددة باللون الفيروزي وتظهر المحطة باللون الفوسفوري.



الشكل (14): جزء من شريحة GIS تظهر الاستعلام عن الطرقات التي تقع ضمن مسافة 100 متر من محطة تحويل المدينة الرياضية الموجودة ضمن شبكة نقل الطاقة الكهربائية (بالتوتر 66kV)

5) الاستعلام عن الأبراج الموجودة في منطقة مركز مدينة جبلة:

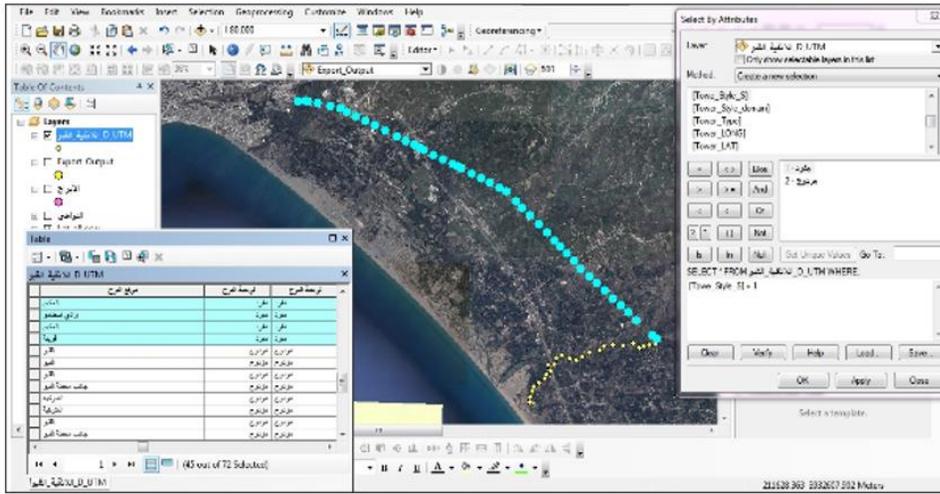
يُظهر الشكل (15) نتائج الاستعلام عن عدد وأماكن توّضع جميع الأبراج الموجودة في منطقة مركز مدينة جبلة. حيث يبيّن هذا الاستعلام أن عدد الأبراج الموجودة في هذه المنطقة هو 141 برج من أصل مجموع أبراج الشبكة. وتظهر هذه الأبراج على الشكل باللون الفيروزي داخل منطقة مركز مدينة جبلة.



الشكل (15): جزء من شريحة GIS تظهر الاستعلام عن عدد وأماكن توّضع الأبراج الموجودة في منطقة مركز مدينة جبلة في شبكة نقل الطاقة الكهربائية (بالتوتر 66kV)

6) الاستعلام عن الأبراج المفردة فقط الموجودة على خط اللاذقية - القبو:

يُظهر الشكل (16) نتائج الاستعلام عن عدد الأبراج المفردة فقط الموجودة على خط اللاذقية - القبو لشبكة نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر في محافظة اللاذقية وأماكن توّضعها على الصورة الفضائية. حيث تظهر الأبراج المفردة باللون الفيروزي وعددها 45 من أصل 72 برج على الخط. أما بقية الأبراج (المزدوجة) فتظهر باللون الأصفر.



الشكل (16): جزء من شريحة GIS تظهر الاستعلام عن عدد وأماكن توضع الأبراج المفردة فقط على خط اللاذقية - القيو في شبكة نقل الطاقة الكهربائية (بالتوتر 66kV) - الاستنتاجات والتوصيات:

- أظهرت هذه المقالة من خلال النتائج التي حصلنا عليها الاستنتاجات التالية:
- من الضروري جداً استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد وأنظمة الـ GIS في مشاريع الطاقة الكهربائية بجميع مراحلها حيث لم يعد هناك مجال للشك في الإمكانيات الكبيرة التي تقدمها هذه التقنيات من حيث جمع وتخزين ومعالجة وإظهار كم هائل من البيانات اللازمة لتنفيذ مثل هذه المشاريع بالشكل الأمثل.
 - يمكن باستخدام نظام الـ GIS مراقبة الطلب المتزايد على الطاقة بسبب النمو السكاني وهذا ما يساعد في تحديد الاحتياجات المستقبلية لنظام الطاقة.
 - طالما أن التخطيط لإنشاء خطوط جديدة لنقل الطاقة والتوسع في نظام الطاقة وإدارة الكوارث فيه تتأثر بالظروف السكانية والبيئية، فإنّ نظام الـ GIS يلعب دوراً هاماً في دراسة وتحليل تلك العوامل وعندها يمكن اتخاذ القرار السليم اعتماداً على تلك الدراسات والتحليلات.
 - من الضروري ربط البيانات الجغرافية والكهربائية لنظام الطاقة مع بعضها البعض بواسطة نظام الـ GIS على شكل خارطة رقمية تفاعلية للحصول على

رؤية أفضل لنظام الطاقة وإجراء جميع التحليلات اللازمة لإدارة هذا النظام بالشكل الأمثل.

وبناءً على نتائج هذه المقالة يمكن أن نوصي بما يلي:

- تعميم هذا البحث بحيث يشمل شبكات نقل الطاقة الكهربائية بالتوتر العالي والمتوسط والمنخفض على كامل مساحة محافظة اللاذقية وعلى كامل مساحة الجمهورية العربية السورية أيضاً.
- العمل على تبني مفهوم تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية بشكل علمي أكاديمي وبحثي وبشكل رسمي في مشاريع الطاقة الكهربائية.
- وضع مفاهيم الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية موضع التطبيق العملي والاستفادة من الخبرات المحلية الموجودة في تصميم وتخطيط وإدارة نظام الطاقة الكهربائية.
- إنشاء إدارات لنظام المعلومات الجغرافية في جميع دوائر وشركات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية في سورية وتعيين مهندسين أو فنيين يملكون الكفاءة في استخدام وإدارة نظام المعلومات الجغرافية.

9- المراجع:

- [1] PAUL, A, LONGLEY, M, GOODCHILD, F, DAVID, JM., DAVID WR, 2015- Geographic Information Systems and science, John Wiley & Sons Ltd, 496p.
- [2] WIERNES, PE, BRACHT, N, MOSER, NA, BOHLEN, S, 2015 A novel geo-spatial clustering tool applied to power system strategic planning, 2015 Modern Electric Power Systems (MEPS), pp. 1-6.
- [3] JUE, H, 2017 Design and research of cross-regional large power grid GIS platform architecture, 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, pp. 739-742.
- [4] KUIHUA, W, DONGLEI, S, XUELIANG, L, ZHONGFU, J, XINSHENG, N, JINHONG Y, 2017 Study of GIS-oriented graphical management system for power grid planning based on cloud service, IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA), Chengdu, pp. 504-508.
- [5] PHAYOMHOM, A, RUGTHAICHAROENCHEEP, N, CHAITUSANEY, S, 2015 GIS application to distribution substation planning in MEA's power system, 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Hua Hin, pp. 1-6.
- [6] SHU, J, WU, L, ZHANG, L, HAN, B, 2015 Spatial Power Network Expansion Planning Considering Generation Expansion, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 30, No. 4, 1815-1824
- [7] PHILIP, HS. 2005 Electrical Distribution Modeling, Blacksburg, Virginia, MS thesis.
- [8] LI, Y, ZHANG, H, ZHOU, G, LIU, G, FENG, Z, MENG, Q, 2017 Real-time synchronous data visualization for wide area power systems, IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), Beijing, pp. 1-6.
- [9] WU, L. LIN, Y. PANG, W. 2018 Distribution Network Topology Modelling and Automatic Mapping Based on CIM and GIS, IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), Chongqing, China, pp. 1-5.
- [10] SURYAWATI, O, PENANG, S, SUYANTO, N, 2017 Online power flow management based on GIS for active distribution network management, International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), Sanur, pp. 149-152.
- [11] KAIPPILLY, K, RADHAKRISHNAN, J. MOIRANGTHEM, S, PANDA, K. AND AMARATUNGA, G, 2018 GIS Integrated

- Automation of a Near Real-Time Power-Flow Service for Electrical Grids, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 54, No. 6, 5661-5670.
- [12] MOIRANGTHEM, J, KRISHNANAND, KR, PANDA, SK, AMARATUNGA, G, 2016 GIS integrated automation of a near real-time power-flow service for electrical grids, IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET), Hanoi, pp. 48-53.
- [13] RIHAN, M. KUMAR, V, 2016 GIS aided PMU placement for dynamic state measurement in power grid: A case study, International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), Noida, pp. 945-948.
- [14] BEYHAN, H, YALÇIN, M. KOCAMAZ, AF, 2019 Matching Voltage Drop and Power Losses with GIS In Middle Voltage Electric Distribution Network in Diyarbakır, International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), Malatya, pp. 1-6.
- [15] ALBASRI, FA, ALZAKI, Z, ALNAINOON, E, ALAWI, H, AYYAD, R, 2019 A Fault Location System Using GIS and Smart Meters for the LV Distribution System, International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT), Sakhier, pp. 1-6.
- [16] RAGHAV, SP, JAYANT, KS, 2006 Electrical Network Mapping and Consumer Indexing Using GIS, Conference Proceedings of Map India.
- [17] QIAN, Z, HU, C, 2019 Optimal Path Selection for Fault Repair Based on Grid GIS Platform and Improved Fireworks Algorithm, 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chengdu, pp. 2452-2456.
- [18] WANG, C, WANG, QL, YUAN, L, WANG, S, TIAN L, LUO L, 2010 Applications of GIS to Power Distribution Dispatching and analysis of technical questions, China International Conference on Electricity Distribution.
- [19] Zaidi, FB, Islam, SN, Mahmud, MA, AM, To, 2017 Information management of a power distribution network in real time through GIS mapping, Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), Melbourne, pp. 1-6.
- [20] DORJI, C, KHAWASH, S, LHAMO, C, DRUKCHEN, N, 2015 GIS Approach to Distribution Network of Phuentsholing Town,

- International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), Jabalpur, pp. 1515-1519.
- [21] LEITE, JB, MANTOVANI, JRS, DOKIC, T, YAN, Q, CHEN, P, KEZUNOVIC, M, 2019 Resiliency Assessment in Distribution Networks Using GIS-Based Predictive Risk Analytics, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 34, No. 6, 4249-4257.
- [22] Bhargava, P, Jain, A, Singh, S, Thakur, VK, 2015 GIS - SCADA: Integration and applications in Distribution network, International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), Chennai, pp. 0354-0357.
- [23] MONIKA, D. SRINIVASAN, N, REINDL, T. "Demand side management in residential areas using geographical information system," 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), Beijing, 2017, pp. 1-6.
- [24] MONIKA, D. SRINIVASAN AND T. REINDL, 2015 GIS as a tool for enhancing the optimization of demand side management in residential microgrid, IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), Bangkok, pp. 1-6.
- [25] Li, Y, et al, 2018 An efficient substation placement and sizing strategy based on GIS using semi-supervised learning, CSEE Journal of Power and Energy Systems, Vol. 4, No. 3, 371-379.
- [26] Wen, R, Wang, H, Wang, C, Xiang, Y, Zhou, C, 2015 A smart cable management system in support of the smart city, CIRED Workshop, Helsinki, pp. 1-4.
- [27] REZAAE, N, NAYERIPOUR, M, ROOSTA, A, NIKNAM, T, 2009 Role of GIS in Distribution Power Systems, World Academy of Science, Engineering and Technology Vol.36, 902-906.
- [28] JAYANT, S, GIS application in Power Distribution Utility, UPCL, Dehradun, 1-2
- [29] SAHEED, O, SALAWUDEEN, UR. 2006 Electricity Distribution Engineering and GIS.
- [30] NAGARAJA, A, SEKHAR, KS, AMIT, J, 2008 Application of GIS and Spatial Informatics to Electric Power Systems, IIT Bombay, 254-259.
- [31] GNANASEKARAN, L, MONEMI, S, 2018 GIS Role in Smart Grid, IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), Long Beach, CA, pp. 1-5.
- [32] CUSTODIO, G, TRINDADE, FL, PETROU, K, OCHOA, LF, 2019 An Advanced GIS-based Tool for the Analysis of Future Distribution Networks, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies

Conference - Latin America (ISGT Latin America), Gramado, pp. 1-6.

[33] Tutorial, 2007 Fundamental of Remote Sensing, A Canada Centre for Remote Sensing Remote Sensing, 258p.