

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 24

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

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

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

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

ISSN: 1022-467X

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

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
44-11	نافع عفاش محمود بني المرجة فردوس الحاج	تصميم قبضة روبوتية تحاكي حركة فك الأفعى
74- 45	د. مجد الدين العلي د. مازن يوسف هلال احمد تكروني	أداء وفعالية خلايا <i>SRAMs</i> عند الاستخدام في التطبيقات المختلفة
96-75	د. م. ايلي خليل	دراسة ومقارنة خوارزميات تحسين وثوقية طريقة <i>MVDR</i> لتشكيل حزمة الاشعاع
118-97	د. محمد سلامي د. عبد الله يوسف م. وسيم هندي	فعالية استخدام <i>SSIS</i> كأداة لاستخراج وتحويل وتحميل البيانات (<i>ETL</i>) عند عدم تجانس المصادر
154-119	د. وسيم حبيب بلال	مساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة لدعم منظومة النقل في المشافي

تصميم قبضة روبوتية تحاكي حركة فك الأفعى

فردوس الحاج⁽¹⁾، محمود بني المرجة⁽²⁾، نافع عفاش⁽³⁾

1 - طالبة ماجستير. 2- أستاذ، قسم هندسة التصميم الميكانيكي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

3- باحث في مركز الدراسات والبحوث العلمية.

المخلص

تم تصميم وتنفيذ مقبض روبوت بالاستفادة من أسلوب العض والابتلاع في فك الأفعى. تتألف هذه القبضة من فكين: الفك العلوي وهو عبارة عن زوج من ميكانيزم رباعي المحاور (*4bar*) والفك السفلي عبارة عن قطعتين صُممتا بطريقة تسمح للفك بالتمدد الجانبي من أجل استيعاب الأحجام الكبيرة. يتم تحريك الفكين العلوي والسفلي بواسطة ميكانيزم ساعدي مرفقي لكل من الفكين، وتتم قيادة هذه القبضة ككل عن طريق ميكانيزم برغي _ صامولة. بعد ذلك تم دراسة النموذج الهندسي المباشر والعكسي للمقبض، وقمنا بتمثيل هذه العلاقات على برنامج الـ *MatLab*. ثم قمنا بدراسة القوى الستاتيكية للميكانيزم وتحديد العزم المطلوب للمحرك لإتمام عملية القبض. ثم تم التأكد من النتائج عن طريق إجراء المحاكاة الديناميكية للميكانيزم عن طريق برنامج الـ *Inventor*.

الكلمات المفتاحية: مقبض، ميكانيزم ساعدي مرفقي، محاكاة ديناميكية.

Design of Robot Gripper Using Simulation of Snake Jaw

Fardos AIHAJ ⁽¹⁾, Mahmoud BANI AI MARJEH ⁽²⁾, Nafee AFFASH ⁽³⁾

1-M-A Candidate; 2- Professor; Department of Mechanical Design Engineering; Faculty of Mechanical and Electrical Engineering; University of Damascus. 3- Researcher at the Scientific Studies and Research Center.

Abstract

Inspired by the bite and swallowing function of a snake's mouth, a robot end-effector grabbing mechanism was designed and implemented. This gripper consists of two jaws: the upper jaw consists of a double four-bar linkage mechanism and the lower jaw mechanism consists of two pieces designed to allow the jaw to extend laterally to accommodate the large sizes of the loads. The upper and lower jaws are moved by a slider-crank mechanism for each of the jaws. This gripper driven as a whole by a screw-bolt mechanism. The direct and invers a geometry of the gripper were studied. Where these relationships were represented on the *Matlab* program. Then we studied the static forces of the mechanism and determine the torque required for the motor to achieve the gripping process. Then the results were confirmed by performing the dynamic simulation of the mechanism on the *Inventor* program.

Key words: gripper, slider-crank mechanism, dynamic simulation.

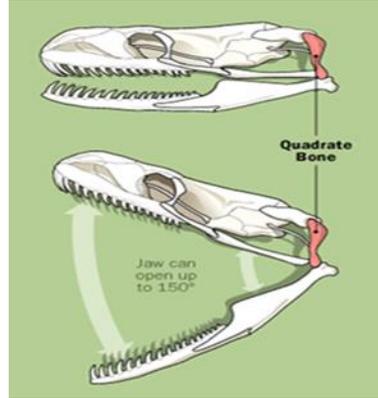
1- مقدمة:

تعتبر قبضات الروبوتات الصناعية من أهم المسائل الدراسية عند تصميم ودراسة الروبوتات. فهي مخصصة لحمل الأجسام على اختلاف أشكالها وأبعادها. حيث يجب أن تتمتع هذه القبضات بإمكانيات وظيفية معينة.

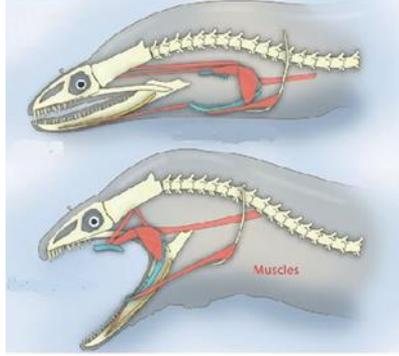
فالقبضات ونهايات الأذرع هي الأدوات التي يتفاعل بها الروبوت مع الوسط المحيط. وكلما كان تصميم هذه النهايات متقناً كلما زاد ارتفاع الروبوت في عمله، ولهذا أصبح تصميم هذه النهايات له أهمية كبيرة يوماً بعد يوم.

في هذه الورقة البحثية تم تصميم مقبض الروبوت اعتماداً على أسلوب العض والابتلاع في فك الأفعى، وذلك لما تتميز به الأفاعي من التصميم الفريد لهيكلها العظمي وخاصة الرأس الذي يُوفّر لها المرونة، والقدرة على الحركة، كما تتكيف الأفاعي لالتهام فريسة أكبر من حجمها بعدة مرّات؛ وذلك لأنها تحتوي على الكثير من المفاصل، كما أنّ كلّ فك يتكوّن من قطعتين غير مُلتحمتين من الأمام، وتكون عظام الفك متّصلةً بالجمجمة بشكل فضفاض بواسطة أربطة قابلة للتمدّد ممّا يسمح للأفعى بفتح فمها عمودياً وجانبياً، وهذا تكيفٌ مهمٌ يسمح للفكين بالتوسّع عندما تبتلع الأفعى فريسةً كبيرة [1-7]. بالإضافة إلى أن فم الأفعى يمكن أن يفتح بزاوية 150° ، لذلك فإن دراسة فك الأفعى له أهمية كبيرة في مجالات البحث العلمي، وبناءً على ذلك فإن دراسة تشريح الكائنات الحية وعلم حركتها هي الأساس النظري لدراسة ميكانيزم يحاكي حركة فك الأفعى [8-11].

الشكل 1: زاوية الفتح العظمي في فك الأفعى.



الشكل 2: الأربطة القابلة للتمدد التي تصل عظام الفك.



2- هدف البحث:

بما أن أهم المشاكل التي تواجهنا في القبضات الروبوتية هي:

- محدودية الوزن الممكن حمله.
 - محدودية الحجم الممكن التقاطه بواسطة هذه القبضات.
- لذلك كان الهدف من هذا المشروع هو تصميم وتنفيذ قبضة روبوتية صناعية تحقق المواصفات التالية:

- تحقيق أكبر حجم فضاء عمل ممكن (نسبياً تبعاً لحجم القبضة) بهدف الإمساك بأجسام ذات أشكال وحجوم كبيرة.
- مُقادة بالحد الأدنى من المفعلات.

3- الدراسة المرجعية:

حسب الدراسات المرجعية السابقة الخاصة بالتصميم الميكانيكي لفك مشابه لفك الأفعى فقد قام مجموعة من الباحثين:

(Zijuan Liu, Jian Fei, Zhuang Fu, Weixin Yan and Yanzheng Zhao (2011))،

بدراسة التصميم الميكانيكي لفك الأفعى [12]، حيث أن حركة القبضة تتم بواسطة 6 أسلاك فولاذية لكل جانب من جانبي الفك، ويقاد هذا الميكانيزم بواسطة 6 محركات لتأمين حركة الفكين العلوي والسفلي.

4- طرق وأدوات البحث النظرية:

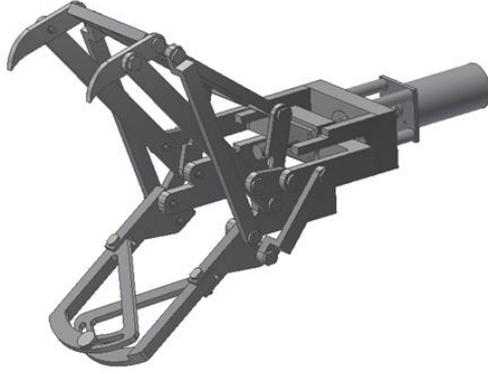
تم الاعتماد ضمن الدراسات اللاحقة على برنامج الـ *Inventor* بهدف التصميم الميكانيكي للقبضة ومحاكاتها الديناميكية، وكذلك على برنامج الـ *MatLab* لتمثيل العلاقات الهندسية للقبضة المدروسة.

4-1- التصميم الميكانيكي للميكانيزم المقترح:

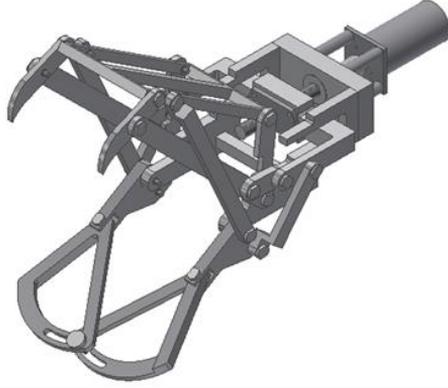
ضمن تصميمنا المقترح نسعى لإيجاد آلية لقيادة حركة الفك بواسطة محرك واحد فقط وبشكل يضمن تزامن الحركة للفكين العلوي والسفلي والناوب وتحقيق عملية القبض الصحيحة. حيث أن حركة فك الأفعى تنقسم إلى ثلاث حركات أساسية هي: الفتح - العض - الابتلاع.

بناءً على ذلك قمنا بتصميم القبضة الروبوتية على برنامج الـ *Inventor*، حيث تتألف هذه القبضة من فكين: الفك العلوي هو عبارة عن 4bar بما يضمن تزامن الحركة بين الناوب والفك العلوي، والفك السفلي عبارة عن قطعتين صُنعتا على شكل حرف L مع مجرى مفتوح بشكل قوس في الأمام وذلك لضمان أن الجزء الأيمن والأيسر للفك السفلي يتحركان حركة أفقية متناظرة لاستيعاب حجم الحمل، مع وجود خاصية الإرجاع النابضي بواسطة صفائح نابضية. يتميز الفك بقدرة الفتح بزواوية كبيرة بما يحاكي زاوية الفتح عند فك الأفعى. يتم تحريك الفكين العلوي والسفلي بواسطة ميكانيزم ساعدي مرفقي لكل منهما. وتتم قيادة هذه القبضة ككل عن طريق ميكانيزم برغي _ صامولة مُقاد بمحرك واحد. بذلك نكون قد حققنا تصميم مقبض روبوت يحاكي حركة فك الأفعى بمحرك وحيد.

الشكل 3: التصميم الميكانيكي للقبضة الروبوتية.



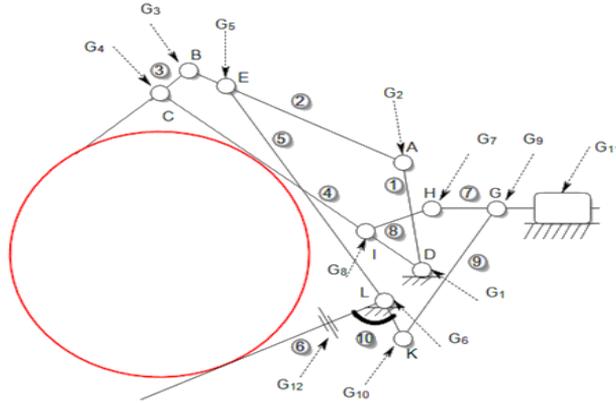
الشكل 4: القبضة الروبوتية في حالة التمدد الجانبي للفك السفلي.



4-2- المخطط الحركي لميكانيزم القبضة:

يبين الشكل التالي المخطط الحركي للميكانيزم والروابط التي يتألف منها.

الشكل 5: المخطط الحركي للميكانيزم.



نلاحظ من الشكل أن الأجسام ترتبط فيما بينها بالروابط التالية:

- G1: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (1) وجسم القبضة الثابت.
- G2: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (1) والقطعة (2).
- G3: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (2) والقطعة (3).
- G4: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (3) والقطعة (4).
- G5: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (5) والقطعة (2).
- G6: رابطة دورانية تربط بين القطعة (5) والقطعة (10) وكذلك مع جسم القبضة الثابت.
- G7: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (7) والقطعة (8).
- G8: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (8) والقطعة (4).
- G9: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (9) والقطعة (7).
- G10: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (10) والقطعة (9).
- G11: رابطة انسحابية بسيطة بين القطعة (7) وجسم القبضة الثابت.
- G12: رابطة دورانية بسيطة بين القطعة (10) والقطعة (6).

4-3- النمدجة الهندسية:

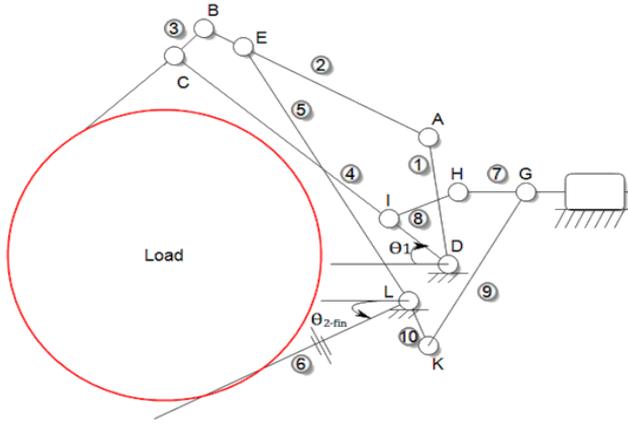
4-3-1- النموذج الهندسي المباشر:

يعرف النموذج الهندسي المباشر بأنه مجموعة العلاقات الرياضية التي تربط بين دخل النظام وهو قيمة المفعل الانسحابي x والخرج الذي هو قيمة زاوية الفتح للفكين العلوي والسفلي θ ونعبر عنه بالعلاقة التالية: $\theta = f(x)$.

نميز هنا بين نموذجين هندسيين للقبضة، الأول لنمذجة الفك العلوي والآخر للفك السفلي، حيث نعرف θ_1 زاوية الفك العلوي وكذلك θ_{2-fin} زاوية الفك السفلي وبالتالي يكون:

$$\theta = \theta_1 + \theta_{2-fin}$$

الشكل 6: زاويتا الفكين العلوي والسفلي.



❖ النموذج الهندسي المباشر للفك العلوي:

يحوي الميكانيزم الساعدي المرفقي القائد للفك العلوي (D,I,H,G) على مجالي عمل:

➤ الأول: عندما تكون النقطة D تقع قبل النقطة H .

➤ الثاني: عندما تكون النقطة H تقع قبل النقطة D.

حيث من أجل كل مجال عمل لدينا علاقة رياضية تُوصف النموذج، والحالة المشتركة تكون عندما تقع H و D على استقامة واحدة. وبالتالي يمكن تقسيم مجال العمل إلى جزأين:

1. مجال العمل الأول عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$.

2. مجال العمل الثاني عندما تكون $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$.

حيث قيمة الزاوية 24.5° تكافئ الزاوية التي توافق الحالة المشتركة عندما تكون النقطتان H و D على استقامة واحدة (حيث تم تحديد قيمة هذه الزاوية بالاعتماد على أبعاد التصميم الميكانيكي المقترح للميكانيزم).

يمكن استنتاج علاقة الحالة الأولى للفك العلوي عندما تكون الزاوية $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ من الشكل 7 كما يلي:

نطبق نظرية فيثاغورث على الشكل 7 فنتنتج العلاقة التالية:

$$L_2^2 = (L_1 \cos \theta_1 - X)^2 + (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

نقوم بفك تربيع الأقواس:

$$L_2^2 = L_1^2 \cos^2 \theta_1 - 2L_1X \cos \theta_1 + X^2 + L_3^2 - 2L_1L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 \sin^2 \theta_1$$

نضع بدلاً عن $\sin^2 \theta_1$ الصيغة $(1 - \cos^2 \theta_1)$:

$$L_2^2 = L_1^2 \cos^2 \theta_1 - 2L_1X \cos \theta_1 + X^2 + L_3^2 - 2L_1L_3 \sin \theta_1 + L_1^2 (1 - \cos^2 \theta_1)$$

نحذف الحدود المتعكسة بالإشارات:

$$L_2^2 = -2L_1X \cos \theta_1 + X^2 + L_3^2 - 2L_1L_3 \sin \theta_1 + L_1^2$$

نعزل الحدود التي فيها الزاوية θ_1 :

$$2L_1X \cos \theta_1 + 2L_1L_3 \sin \theta_1 = L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2$$

نقسم طرفي المعادلة على المقدار $2L_1X$ فنتنتج المعادلة التالية:

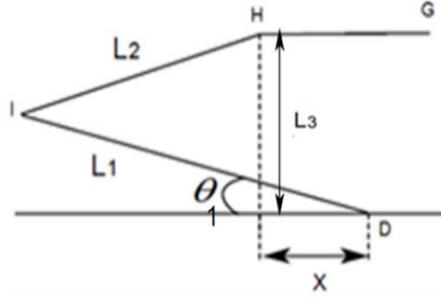
$$\cos \theta_1 + \frac{L_3}{X} \sin \theta_1 = \frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{2L_1X}$$

نقوم بحل المعادلة فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{2L_1X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(\frac{L_3}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(\frac{L_3}{X}\right)^2}}$$

حيث L_1, L_2, L_3 هي اطوال الميكانيزم الساعدي المرفقي الخاص بالفك العلوي.

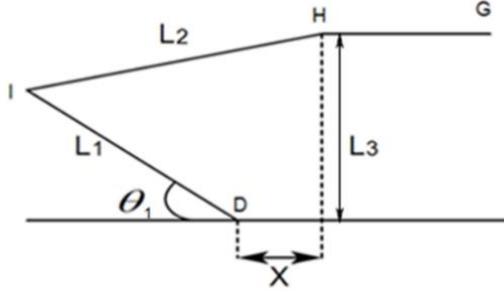
الشكل 7: المخطط الحركي للفك العلوي عندما $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$.



بنفس الطريقة السابقة نستطيع استنتاج علاقة الحالة الثانية للفك العلوي وذلك عندما تكون الزاوية $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$ فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{\frac{L_3^2 + L_1^2 + X^2 - L_2^2}{-2L_1X}}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_3}{X}\right)^2}} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_3}{X}\right)^2}}$$

الشكل 8: المخطط الحركي للفك العلوي عندما $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$.



❖ النموذج الهندسي المباشر للفك السفلي:

يحوي الميكانيزم الساعدي المرفقي القائد للفك السفلي (L,K,G) على مجال عمل: $\theta_{2-fin} \in [0^\circ, 50^\circ]$ والتي تكافئ $\theta_2 \in [45^\circ, 95^\circ]$ ، حيث تم اعتماد الزاوية θ_2 وذلك لتبسيط نمذجة العلاقات الرياضية وتُعرف حسب العلاقة التالية (الشكل 9):

$$\theta_{2-fin} = \pi - \theta_0 - \theta_2$$

حيث أن: $\theta_0 = 85^\circ$ (هذه القيمة تؤخذ من التصميم الميكانيكي المقترح) وبالتالي تصبح العلاقة:

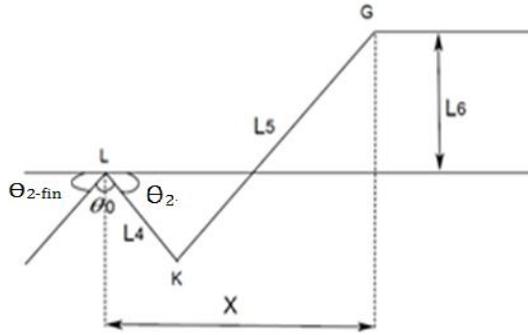
$$\theta_{2-fin} = 95^\circ - \theta_2$$

بنفس الطريقة السابقة أيضاً نستطيع استنتاج علاقة النموذج الهندسي المباشر للفك السفلي وبالتالي نكتب العلاقة بالشكل التالي:

$$\theta_2 = \sin^{-1} \frac{L_6^2 + L_4^2 + X^2 - L_5^2}{2L_4X} - \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + \left(-\frac{L_4}{X}\right)^2}}$$

حيث L_4, L_5, L_6 هي اطوال الميكانيزم الساعدي المرفقي الخاص بالفك السفلي.

الشكل 9: المخطط الحركي للفك السفلي عندما $\theta_2 \in [45^\circ, 95^\circ]$.



4-3-2- النموذج الهندسي العكسي:

يعرف النموذج الهندسي العكسي بالعلاقة: $x=f(\theta)$

❖ النموذج الهندسي العكسي للفك العلوي:

نستنتج علاقة النموذج الهندسي العكسي للحالة الأولى للفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ كما يلي:

نطبق نظرية فيثاغورث على الشكل 7 فنتتج العلاقة التالية:

$$L_2^2 = (L_1 \cos \theta_1 - X)^2 + (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

$$(L_1 \cos \theta_1 - X)^2 = L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2$$

للتخلص من التربيع نقوم بجذر الطرفين:

$$L_1 \cos \theta_1 - X = \pm \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

نختار الحل الموجب فنتتج لدينا العلاقة:

$$X = L_1 \cos \theta_1 - \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

بنفس الطريقة السابقة نستطيع استنتاج علاقة النموذج الهندسي العكسي للحالة الثانية لفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$ والتي نُكتب بالشكل التالي:

$$X = \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2} - L_1 \cos \theta_1$$

❖ النموذج الهندسي العكسي للفك السفلي:

باستخدام طريقة الاستنتاج السابقة أيضاً نستطيع استنتاج علاقة النموذج الهندسي للفك السفلي عندما تكون الزاوية $\theta_{2-fin} \in [0^\circ, 50^\circ]$ والتي تكافئ $\theta_2 \in [45^\circ, 95^\circ]$ فتكون العلاقة:

$$X = L_4 \cos \theta_2 + \sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}$$

وبذلك نكون قد أوجدنا العلاقات الرياضية الحاكمة للنموذجين المباشر والعكسي للقبضة الروبوتية المقترحة.

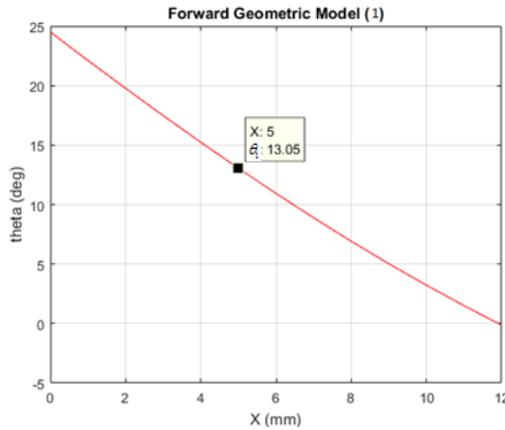
4-4- تمثيل علاقات النموذج الهندسي المباشر والعكسي على برنامج Matlab والتأكد من صحة العلاقات على برنامج Inventor:

تم تمثيل العلاقات الرياضية السابقة باستخدام برنامج *MatLab* وتم الوصول إلى مجموعة المنحنيات الممثلة لها (كما ستوضح الفقرات اللاحقة). وللتحقق من صحة العلاقات المدروسة تم أخذ نقطة عشوائية من كل منحنى وتم التأكد من مطابقتها للقيم العملية على برنامج *Inventor*.

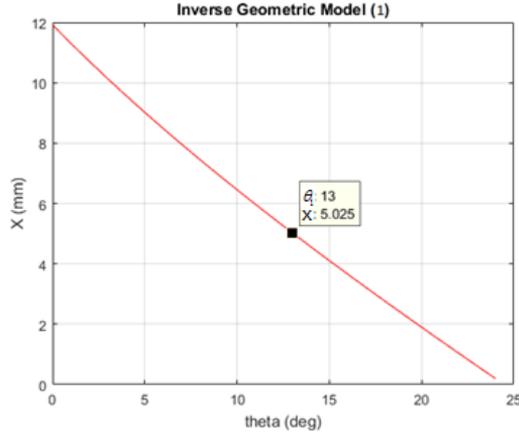
4-4-1- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للحالة الأولى للفتك العلوي:

بتمثيل العلاقات الرياضية الحاكمة للنموذجين المباشر والعكسي للحالة الأولى للفتك العلوي نحصل على الشكلين التاليين:

الشكل 10: المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للحالة الأولى للفتك العلوي .



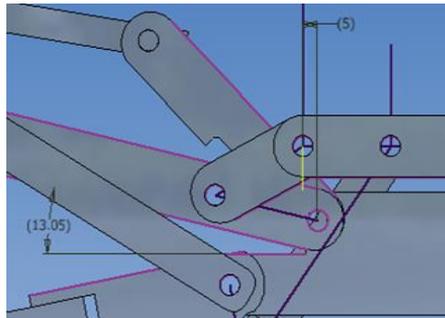
الشكل 11: المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للحالة الأولى للفتك العلوي.



من الشكلين السابقين نلاحظ وحدانية الحل لكل من النموذجين المباشر والعكسي على كامل مجال العمل، فمن أجل دخل معين نحصل على خرج مقابل وحيد، حيث من أجل نقطة عمل معينة ولتكن $(x=5\text{mm}, \theta=13\text{deg})$ نلاحظ تطابق الحل بين النموذجين المباشر والعكسي للقبضة.

نقوم كذلك بالتحقق عملياً من صحة نقطة العمل السابقة من خلال برنامج الـ *Inventor*، حيث نلاحظ تطابق النتائج العملية مع القيم النظرية للنموذج الممثلة على المخطط البياني ($\theta_{act}=13.05 \text{ deg}$ ، $x_{act}=5 \text{ mm}$).

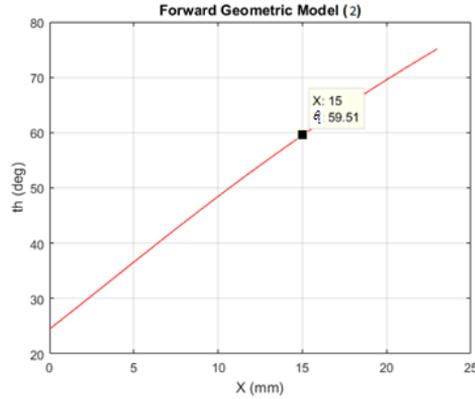
الشكل 12: التحقق العملي للحالة الأولى للفك العلوي على برنامج inventor.



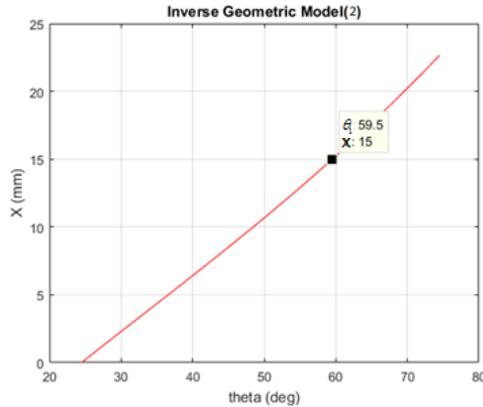
4-4-2- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للحالة الثانية للفتك العلوي:

تقوم كذلك بتمثيل العلاقات الرياضية الحاكمة للنموذجين المباشر والعكسي للحالة الثانية للفتك العلوي فنحصل على الشكلين التاليين:

الشكل 13: المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للحالة الثانية للفتك العلوي.



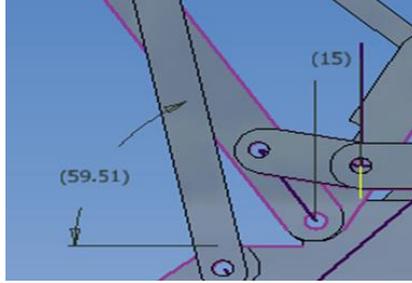
الشكل 14: المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للحالة الثانية للفتك العلوي.



كما في الحالة السابقة، نلاحظ هنا وحدانية الحل لكل من النموذجين المباشر والعكسي على كامل مجال العمل، حيث من أجل نقطة عمل معينة ولتكن $(\theta = 59.5 \text{ deg}, x = 15 \text{ mm})$ نلاحظ تطابق الحل بين النموذجين المباشر والعكسي للقبضة.

كما نلاحظ تطابق النتائج العملية مع القيم النظرية للنموذج ($x_{act}=15mm$ ، $\theta_{act}=59.51deg$).

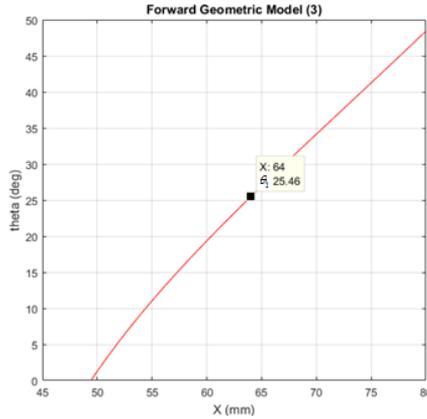
الشكل 15: التحقق العملي للحالة الثانية للفك العلوي على برنامج inventor.



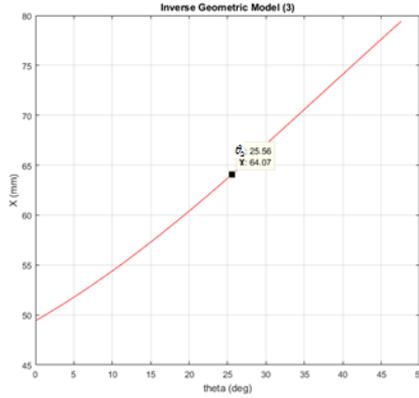
4-4-3- التمثيل البياني للنموذج الهندسي المباشر والعكسي للفك السفلي:

نقوم كذلك بتمثيل العلاقات الرياضية الحاكمة للنموذجين المباشر والعكسي للفك السفلي فينتج الشكلين التاليين:

الشكل 16: المخطط البياني للنموذج الهندسي المباشر للفك السفلي.

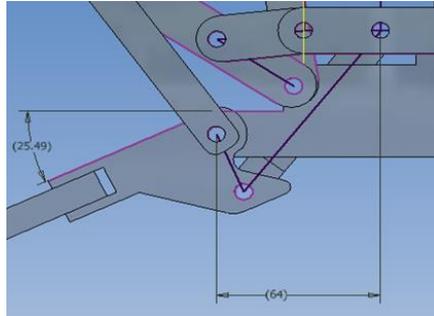


الشكل 17: المخطط البياني للنموذج الهندسي العكسي للفك السفلي.



من الشكلين السابقين نلاحظ هنا كذلك وحدانية الحل لكل من النموذجين المباشر والعكسي للفك السفلي على كامل مجال العمل، فمن أجل دخل معين نحصل على خرج مقابل وحيد، حيث من أجل نقطة عمل معينة ولتكن $(\theta_{2-fin}=25.5deg, x=64mm)$ نلاحظ تطابق الحل بين النموذجين المباشر والعكسي للقبضة. نقوم كذلك هنا بالتحقق عملياً من صحة نقطة العمل السابقة من خلال برنامج الـ *Inventor*، حيث نلاحظ تطابق النتائج العملية مع القيم النظرية للنموذج الممثلة على المخطط البياني $(\theta_{act}=25.49deg, x_{act}=64mm)$.

الشكل 18: التحقق العملي لحالة الفك السفلي على برنامج inventor.



مما سبق نستنتج تطابق القيم النظرية مع القيم العملية في كل من النموذجين الهندسي المباشر والعكسي لكل حالة من الحالات الثلاثة الموصفة لفناء عمل القبضة.

4-5 - النموذج الحركي للميكانيزم:

هو مجموعة العلاقات التي تربط سرعة دخل الميكانيزم X بالسرعة الزاوية ω للفكين. يعطى النموذج الحركي بالعلاقة التالية:

$$x' = \frac{dx}{dt}$$

$$x' = \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

$$x' = \frac{dx}{d\theta} \cdot \omega$$

$$x' = v(\theta) \cdot \omega$$

لكل حالة من الحالات الثلاثة السابقة لدينا علاقة رياضية حاكمة للنموذج الحركي. لإيجاد علاقة النموذج الحركي للحالة الأولى للفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$ ، نقوم أولاً بإيجاد $v(\theta)$ عن طريق اشتقاق العلاقة:

$$X = L_1 \cos \theta_1 - \sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}$$

وبالتالي فإن علاقة السرعة للحالة الأولى هي:

$$v(\theta) = -L_1 \sin \theta_1 - \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

نعوض علاقة السرعة $v(\theta)$ في علاقة النموذج الحركي فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$x' = \left[-L_1 \sin \theta_1 - \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \omega$$

بنفس الطريقة السابقة نستطيع إيجاد علاقة النموذج الحركي للحالة الثانية للفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$:

حيث نجد بالاشتقاق الرياضي أن علاقة السرعة للحالة الثانية للفك العلوي هي:

$$v(\theta) = L_1 \sin \theta_1 + \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}}$$

نعوض علاقة السرعة في علاقة النموذج الحركي فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$x' = \left[L_1 \sin \theta_1 + \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \omega$$

بنفس الطريقة السابقة أيضاً نستطيع إيجاد علاقة النموذج الحركي للفك السفلي:
حيث أن علاقة السرعة للفك السفلي تُكتب بالشكل التالي:

$$v(\theta) = -L_4 \sin \theta_2 + \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}}$$

نعوض علاقة السرعة في علاقة النموذج الحركي فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$x' = \left[-L_4 \sin \theta_2 + \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}} \right] \cdot \omega$$

4-6- النموذج التحريكي للميكانيزم:

هو مجموعة العلاقات التي تربط تسارع دخل الميكانيزم بالتسارع الزاوي للفكين.
يعطى النموذج التحريكي بالعلاقة التالية:

$$x'' = a(\theta) \cdot \omega^2 + v(\theta) \cdot \dot{\omega}$$

لإيجاد علاقة النموذج التحريكي للحالة الأولى للفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [0^\circ, 24.5^\circ]$
نوجد علاقة التسارع عن طريق اشتقاق علاقة السرعة.

بعد اشتقاق علاقة السرعة للحالة الأولى للفك العلوي تصبح علاقة التسارع بالشكل التالي:

$$a(\theta) = -L_1 \cos \theta_1 - \left[\frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

حيث أن:

$$A = \left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot (L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2)$$

$$B = L_1^2 L_3^2 \cos^2 \theta_1$$

$$C = L_1^4 \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_1$$

نعوض علاقة التسارع للحالة الأولى للفك العلوي في علاقة النموذج التحريكي فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$x'' = \left[-L_1 \cos \theta_1 - \frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] \cdot \omega^2 - \left[L_1 \sin \theta_1 - \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \dot{\omega}$$

بنفس الطريقة السابقة نستطيع إيجاد علاقة النموذج التحريكي للحالة الثانية للفك العلوي عندما تكون $\theta_1 \in [24.5^\circ, 75^\circ]$:

حيث أن علاقة التسارع للحالة الثانية للفك العلوي هي:

$$a(\theta) = L_1 \cos \theta_1 + \frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

حيث أن:

$$A = \left[L_1^2 (\sin^2 \theta_1 - \cos^2 \theta_1) - L_1 L_3 \sin \theta_1 \right] \cdot (L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2)$$

$$B = L_1^2 L_3 \cos^2 \theta_1$$

$$C = L_1^4 \sin^2 \theta_1 \cdot \cos^2 \theta_1$$

نعوض علاقة التسارع للحالة الثانية للفك العلوي في علاقة النموذج التحريكي فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$x'' = \left[L_1 \cos \theta_1 + \frac{A - B + C}{\left[L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] \cdot \omega^2 + \left[L_1 \sin \theta_1 + \frac{(L_3 - L_1 \sin \theta_1)(L_1 \cos \theta_1)}{\sqrt{L_2^2 - (L_3 - L_1 \sin \theta_1)^2}} \right] \cdot \dot{\omega}$$

وعلاقة التسارع للفك السفلي تكتب بالشكل التالي:

$$a(\theta) = -L_4 \cos \theta_2 + \frac{A - B - C - D}{\left[L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

حيث أن:

$$A = \left[L_4^2 (\sin^2 \theta_2 - \cos^2 \theta_2) + L_4 L_6 \sin \theta_2 \right] \cdot \left(L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right)$$

$$B = L_4^2 L_6^2 \cos^2 \theta_2$$

$$C = 2L_4^3 L_6 \sin \theta_2 \cdot \cos^2 \theta_2$$

$$D = L_4^4 \sin^2 \theta_2 \cdot \cos^2 \theta_2$$

نعوض هذه العلاقة في علاقة النموذج التحريكي فتصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$x'' = \left[-L_4 \cos \theta_2 + \left(\frac{A - B - C - D}{\left[L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right) \right] \cdot \omega^2 - \left[L_4 \sin \theta_2 + \frac{-(L_6 + L_4 \sin \theta_2)(L_4 \cos \theta_2)}{\sqrt{L_5^2 - (L_6 + L_4 \sin \theta_2)^2}} \right] \cdot \dot{\omega}$$

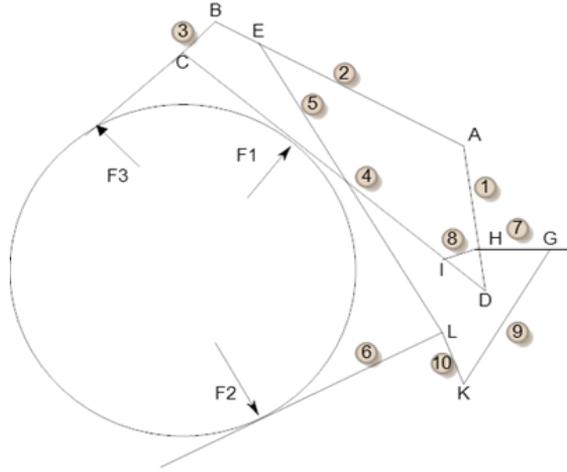
وبذلك نكون قد وصفنا نموذجي القبضة الحركي والتحريكي من خلال مجموعة العلاقات الرياضية السابقة.

4-7 - دراسة القوى الستاتيكية للميكانيزم:

نهدف خلال هذه الدراسة إلى تحديد قيمة عزم المحرك اللازم لقيادة القبضة وتحقيق عملية إمساك الحمل المفروض، حيث سيتم بدايةً حساب قيمة العزوم اللازم تطبيقها من قبل الفكين العلوي والسفلي على الحمل، ومن ثم يتم استنتاج قيمة القوة الانسحابية اللازم تطبيقها عن طريق الميكانيزم الساعدي المرفقي لكل من الفكين، وبالتالي يتم بالنهاية تحديد قيمة عزم المحرك المطلوب.

تم تقسيم أجزاء الميكانيزم إلى مجموعة وصلات لدراسة تأثير القوى فيما بينها. نفرض أن الحمل يؤثر على الفك العلوي والسفلي والناوب بثلاثة قوى متساوية القيمة هي F_1, F_2, F_3 على التوالي. تتم الدراسة بفرض أن الوزن المطلوب التقاطه وحمله هو 15 kg.

الشكل 19: تأثير قوى الحمل على القبضة الروبوتية.



لإيجاد قيمة مجموعة القوى انطلاقاً من الحمل يلزم معرفة معامل الاحتكاك بين مادة الحمل ومادة القبضة.

تم اعتماد مادة القبضة من *Aluminum* ونفرض أن الحمل مادته *Steel* وهي الحالة الأسوأ، وبالتالي نختار معامل الاحتكاك السكوني بين *Steel* و *Aluminum* من الجدول التالي:

الجدول 1: جدول معاملات الاحتكاك السكوني والحركي.

Material 1	Material 2	Coefficient Of Friction			
		DRY		Greasy	
		Static	Sliding	Static	Sliding
Aluminum	Aluminum	1.05-1.35	1.4	0.3	
Aluminum	Mild Steel	0.61	0.47		
Brake Material	Cast Iron	0.4			
Brake Material	Cast Iron (Wet)	0.2			
Brass	Cast Iron		0.3		
Brick	Wood	0.6			
Bronze	Cast Iron		0.22		
Bronze	Steel			0.16	
Cadmium	Cadmium	0.5		0.05	
Cadmium	Mild Steel		0.46		

بدايةً نحسب قوى الحمل المؤثرة على الميكانيزم:

$$F_{f_1} = \mu_s F_1$$

$$F_1 = \frac{F_{f_1}}{\mu} = \frac{50}{0.61} = 82N$$

$$F_{f2} = \mu_s F_2$$

$$F_2 = \frac{F_{f2}}{\mu} = \frac{50}{0.61} = 82N$$

$$F_{f3} = \mu_s F_3$$

$$F_3 = \frac{F_{f3}}{\mu} = \frac{50}{0.61} = 82N$$

حيث:

F_f : هي قوة الاحتكاك السكوني، μ_s : معامل احتكاك مادة الجسم مع مادة القبضة،

F : القوة الناظرية المطبقة على الجسم.

بعد ذلك عن طريق حساب القوى لكل وصلة من الميكانيزم وبالإستفادة من مثلثات القوى نستطيع إيجاد القوة اللازمة لإتمام عملية القبض والتي تساوي:

$$F = 957N$$

4-7-1 - تحديد مواصفات المفعل الانسحابي:

لتحديد عزم المحرك اللازم لإتمام عملية القبض نطبق المبدأ الأساسي في التحريك:

$$T_M = T_L + \dot{\omega} \sum I$$

حيث: T_M العزم الذي يقدمه المحرك، $\sum I$ مجموع عزوم العطالة، $\dot{\omega}$ التسارع الزاوي، T_L عزم تحريك الحمل.

يعطى عزم تحريك الحمل بالعلاقة التالية:

$$T_L = \frac{P(F + mg \cdot \sin \alpha)}{2\pi\eta}$$

حيث: P هي خطوة المحور المقلوظ، F القوة اللازمة لتحريك ميكانيزم القبضة، m كتلة الميكانيزم، g تسارع الجاذبية الأرضية، α زاوية توجيه الميكانيزم، η مردود المحور المقلوظ.

بتعويض القيم العددية المعتمدة تصميمياً ($p=2 \text{ mm}$ ، $\alpha=90^\circ$) نجد أن قيمة العزم هي:

$$T_L = \frac{2(957 + 2.5 * 10 * 1)}{2\pi * 0.9} = 347.5N.mm \approx 0.35N.m$$

نقوم بحساب مجموع عزوم العطالة $\sum I$ والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$\sum I = I_L + I_S$$

حيث أن:

$$I_L = M * \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2$$

$$I_S = M_S * \left(\frac{D_S}{2} \right)^2$$

حيث: I_L عزم العطالة للحمل، I_S عزم العطالة للمحور المقلوظ، P هي خطوة المحور المقلوظ، M كتلة الحمل الكلي، M_S كتلة المحور المقلوظ، D_S قطر المحور المقلوظ. نعوض القيم العددية في العلاقات السابقة:

$$I_L = M * \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2$$

$$I_L = 15 * \left(\frac{2 * 10^{-3}}{2\pi} \right)^2 = 10 * 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

$$I_S = M_S * \left(\frac{D_S}{2} \right)^2$$

$$I_S = 0.147 * \left(\frac{14 * 10^{-3}}{2} \right)^2 = 49 * 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

ومنه نجد أن مجموع عزوم العطالة يساوي:

$$\sum I = 59 * 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

ولحساب السرعة الزاوية والتسارع الزاوي نفرض أن الزمن اللازم لإتمام عملية القبض هو $t = 1s$ خلال شوط حركة قدره $d=36\text{mm}$ (وذلك حسب التصميم الميكانيكي).

ومنه فإن السرعة الخطية هي:

$$V = \frac{d}{t} = \frac{36}{1} = 36 \text{ mm / s}$$

والسرعة الزاوية:

$$W = \frac{V}{p} = \frac{36}{2} = 18 \text{ tr / s} = 113 \text{ rad / s} = 1080 \text{ rpm}$$

نفرض أننا نريد الوصول لهذه السرعة الزاوية من لحظة الإقلاع بزمن قدره 0.1 s

$$\omega = \frac{1080 * 2\pi}{60 * 0.1} = 1130.4 \text{ rad} / \text{s}^2$$

وبالتالي:

$$\omega \sum I = 6.7 * 10^{-2} N . m$$

وبالتالي نجد أن عزم المحرك الذي نحتاجه هو:

$$T_M = 0.35 + 6.7 * 10^{-2} = 0.4 N . m$$

وبالتالي سيتم اختيار المحرك المطلوب وفق المواصفات المذكورة أعلاه.

5- النتائج ومناقشتها:

5-1- المحاكاة الديناميكية للقبضة الروبوتية:

قمنا بإجراء المحاكاة الديناميكية للقبضة المدروسة على برنامج الـ *Inventor* للتأكد من صحة النتائج النظرية.

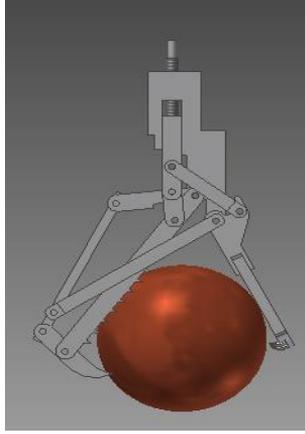
حيث قمنا بدراسة الوضعين الشاقولي والأفقي للقبضة. ولإجراء عملية المحاكاة قمنا بما يلي:

- ✓ إدخال نوع الروابط بين القطع (دورانية - انسحابية - كروية).
- ✓ إدخال قيمة العزم.
- ✓ إدخال قيمة معامل الاحتكاك بين مادة الحمل ومادة القبضة.
- ✓ إدخال قوة تسارع الجاذبية الأرضية.

5-1-1- الوضعية الشاقولية:

يبين الشكل التالي قبضة الروبوت في الوضعية الشاقولية وهو مُحمل بوزن 15 kg .

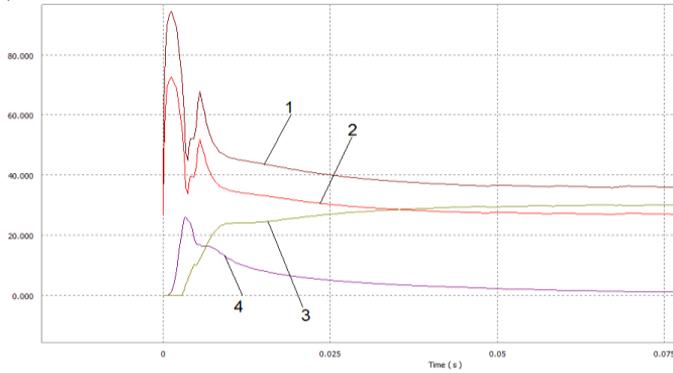
الشكل 20: القبضة الروبوتية في الوضعية الشاقولية.



تم تطبيق العزم النظري المدروس ($T_m=0.4 \text{ N.m}$) على محور المحرك، فكانت نتائج محاكاة القبضة في الوضعية الشاقولية كما هو موضح بالشكل:

الشكل 21: التمثيل البياني لقيم القوى بالنسبة للزمن في حالة الوضعية الشاقولية للميكانيزم.

$F(\text{Newton})$



حيث:

- 1 هو الخط البياني للقوة المطبقة من قبل الفك السفلي (الجانب الأيسر) على الحمل.
- 2 هو الخط البياني للقوة المطبقة من قبل الفك السفلي (الجانب الأيمن) على الحمل.
- 3 يعبر عن خطين بيانيين متطابقين للقوة المطبقة من قبل الفك العلوي (بجانبيه الأيمن والأيسر) على الحمل.

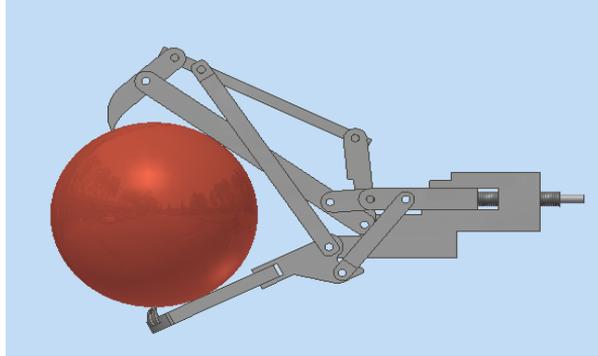
4 يعبر عن خطين بيانيين متطابقين للقوة المطبقة من قبل النايبين الأيمن والأيسر على الحمل.

نلاحظ من الشكل السابق:

- وجود اضطراب في قيم القوى المؤثرة على الحمل في بداية عملية المحاكاة ويعود ذلك لعملية الصدم البدائية الناتجة عن تصادم فكي القبضة مع الحمل، بينما نلاحظ استقرار قيم هذه القوى فيما بعد على القيم اللازمة.
- تطابق الخطوط البيانية للنايبين في الجانبين الأيمن والأيسر وكذلك للقطعة العلوية في كلا الجانبين ويعود ذلك لتوضع الحمل في مركز القبضة بشكل متناظر. أما سبب تباين الخطوط البيانية للقطعة السفلى في الجانبين فهو نتيجة توضع قطعة فوق الأخرى تصميمياً.
- التقارب بين قيم القوى المؤثرة من قبل الفكين العلوي و السفلي على الحمل، ويعود ذلك لتحمل الفكين الحمل بشكل متناظر تقريباً ضمن الوضعية الشاقولية.

5-1-2- الوضعية الأفقية:

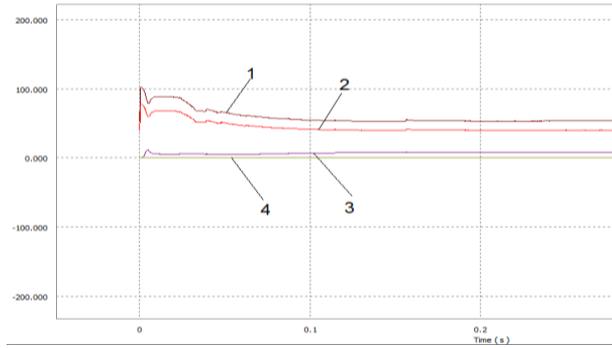
الشكل 22: القبضة الروبوتية في الوضعية الأفقية.



كذلك تم تطبيق العزم النظري المدروس ($T_m=0.4 \text{ N.m}$) على محور المحرك، فكانت نتائج المحاكاة للقبضة في الوضعية الافقية كما هو موضح بالشكل:

الشكل 23: التمثيل البياني لقيم القوى بالنسبة للزمن في حالة الوضعية الأفقية للميكانيزم.

$F(\text{Newton})$



من الشكل السابق نلاحظ أيضاً:

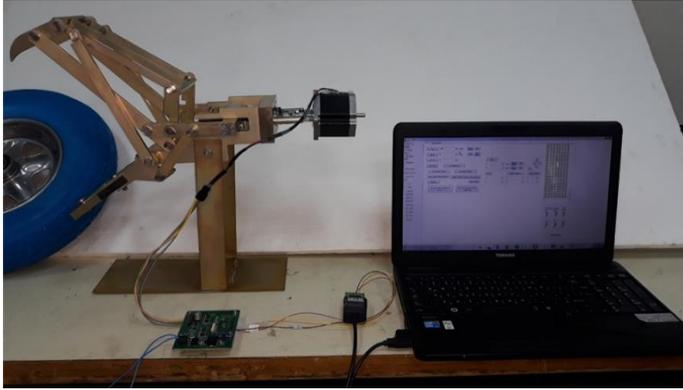
- وجود اضطراب في قيم القوى المؤثرة على الحمل في بداية عملية المحاكاة.
- تطابق الخطوط البيانية للنايين في الجانبين الأيمن والأيسر وكذلك للقطعة العلوية في كلا الجانبين وتباين الخطوط البيانية للقطعة السفلى في الجانبين.
- أن قيم القوى المؤثرة من قبل الفك السفلي على الحمل في هذه الحالة (الوضعية الأفقية) ذات قيم أعلى من الوضعية السابقة (الرأسية)، ويعود ذلك لتحمل الفك السفلي الجزء الأكبر من الحمل.

ختاماً، من خلال الدراسة الديناميكية السابقة نجد أن القبضة الروبوتية المُصممة قادرة على القبض والإمساك بالحمل المفروض عليها في الوضعيتين الشاقولية والأفقية.

5-2- التنفيذ العملي للقبضة الروبوتية:

تم تنفيذ وتجميع القبضة الروبوتية عملياً. لقيادة هذه القبضة عملياً تم الاعتماد على محرك خطوي يحقق المواصفات المطلوبة: $T=0.5 \text{ N.m}$ ، $\omega=1000 \text{ Rpm}$ حيث تم التحكم بعملية فتح وإغلاق القبضة مع إمكانية تحديد قيمة الوضع الزاوي لفكيها. وتتم القيادة عن طريق إرسال الأوامر من الواجهة التخاطبية إلى الدارة الالكترونية التي بدورها تولد الإشارات اللازمة للمحرك.

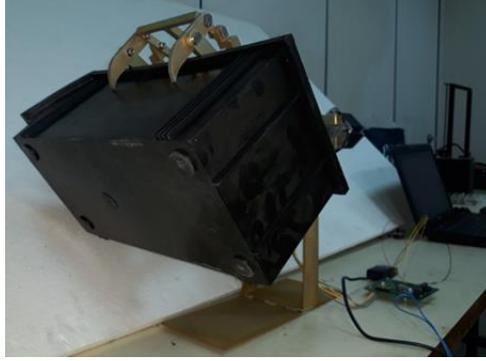
الشكل 24: القبضة الروبوتية المنفذة.



ثم تم اختبار قدرة القبضة على إمساك عدة أجسام بأحجام وأشكال وأوزان مختلفة كما هو موضح بالأشكال التالية.

الشكل 25: إمساك القبضة لأجسام بأحجام وأشكال مختلفة.





6- الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا المشروع تصميم وتنفيذ قبضة روبوتية تحاكي حركة فك الأفعى، مُفاداة بمفعل وحيد وتتمتع بزاوية فتح كبيرة تصل إلى 125 درجة لفيها العلوي والسفلي. تم بدايةً نمذجة القبضة هندسياً وحركياً مع توضيح آلية عملها. حيث تم تمثيل العلاقات الرياضية الخاصة بنموذجي القبضة الهندسيين (المباشر والعكسي) بيانياً من خلال برنامج الـ *Matlab* والتحقق من صحة هذه العلاقات من خلال مطابقة بعض النقاط التجريبية عملياً على برنامج الـ *Inventor*. بالإضافة لذلك تم دراسة القوى الستاتيكية للميكانيزم وإيجاد عزم المحرك المطلوب لإتمام عملية القبض. ثم تم التأكد من صحة النتائج عن طريق إجراء المحاكاة الديناميكية للميكانيزم بواسطة برنامج *Inventor*، ختاماً تم التحقق العملي من قدرة القبضة الروبوتية المقترحة على الإمساك بأجسام ذات أشكال وحجوم مختلفة.

يمكن العمل مستقبلاً على إضافة حساسات ضغط لمعرفة القوى التي يطبقها فكي القبضة العلوي والسفلي على الجسم. كذلك يمكن إضافة نظام رؤية للنظام بحيث يتمكن من تحديد شكل الجسم المراد إمساكه واختيار الوضعية المناسبة تلقائياً، كما يمكن دراسة التصميم الأمثلي للميكانيزم.

- [1] Endo,G, Togawa,K, Hirose,S, 1999 - **Study on self contained and terra in adaptive active cord mechanism.** Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, Tokyo: IEEE: 111-117.
- [2] Frazzetta,Th, 1966 - **Studies on the morphology and function of the skull in the Aoidae (Serpentes).** Part 11. Morphology and function of the jaw apparatus in Python sebae and Python molurus. Morph. j. 118: 217-296.
- [3] Dullemeijer,P, Povel,Gde, 1972 - **The construction for feeding in rattlesnakes. Zoologische mededelingen.** j. 47(46):570-575.
- [4] Bolt,Re, Ewer,Rr, 1964 - **The functional anatomy of the head of the puff adder.** Bitis arietans (Merr.). Morph. j. 114:83-106.
- [5] Kley,Nj, 2006 - **Morphology of the Lower Jaw and Suspensorium in the Texas Blindsnake, Leptotyphlops dulcis (Scoleophidia: Leptotyphlopidae).** Journal of morphology. j. 267:494-515.
- [6] Paolo,D, Eugenio,G, 1996 - **Robotics for medical applications.** IEEE Robotics and Automation Magazine. j. 9:44-56.
- [7] Gutt,Cn, Oniu,T, Mehrabi,A, 2004 - **Robot-assisted abdominal surgery.** Br J Surg. j.91:1390-1397.
- [8] G,Endo, K,Togawa and S,Hirose, 1999 - **International Conference on Intelligent Robots and Systems.** (Tokyo, Japan, October 17-21, 1999). Vol. 3, p.1399.
- [9] T.H,Frazzetta, 1966 - **J. Morph.** Vol. 118 (1966) No.2,p.217.
- [10] K.V,Kardong, P,Dullemeijer and J.A.M,Fransen, 1986 - **Amphibia-Reptilia.** Vol.7 (1986) No.3, p.271.
- [11] Alexandra,Deufel, David,Cundall, 2010 - **Journal of Morphology.** Vol.271 (2010) No.1, p.75.
- [12] Zijuan,Liu, Jian,Fei, Zhuang,Fu, Weixin,Yan and Yanzheng,Zhao, 2011 - **Mechanical Design of Bionic Snake Mouth and its Analysis.** Advanced Materials Research Vols. 299-300 (2011) pp 1024-1027.

أداء وفعالية خلايا SRAM_s عند الاستخدام في التطبيقات المختلفة

طالب الماجستير: هلال احمد تكنولوجي كلية الهمك قسم الهندسة الالكترونية والاتصالات

الدكتور المشرف: مجد الدين العلي المشرف المشارك: الدكتور مازن يوسف

المخلص

تعد ذاكرة الوصول العشوائي الستاتيكية (Static Random Access Memory (SRAM)) جزءاً أساسياً في الدارات عالية التكامل جدا (Very Large Scale Integration (VLSI)) و الأجهزة الإلكترونية وتستخدم على نطاق واسع في الأنظمة المضمنة وتطبيقات النظام على رقاقة (System On Chip (SOC)) الحديثة.

قمنا في هذه المقالة بتحليل خلية 6T SRAM التقليدية بالإضافة لعدة خلايا SRAMs أخرى وهي خلية HVT 6T SRAM و خلية 10T SRAM و خلية SE PPN 10T SRAM من حيث استهلاك الاستطاعة والاستقرار وتأخير القراءة والكتابة والمساحة ومن ثم مقارنتها فيما بينها لتحديد التطبيق المناسب لها. حيث أظهرت نتائج المحاكاة بأن الخلية HVT 6T SRAM تتمتع بأقل استهلاك استطاعة بين الخلايا المدروسة وبالتالي فإن هذه الخلية مناسبة للتطبيقات التي تتطلب استهلاك استطاعة منخفض، كما أظهرت خلية 10T SRAM التأخير الأقل في كل من عمليات القراءة والكتابة بين الخلايا المدروسة ولذلك تعتبر هذه الخلية مناسبة للتطبيقات عالية السرعة، وأظهرت الخلية SE PPN 10T SRAM استقرار قراءة عالٍ جداً مقارنةً بباقي الخلايا وبالتالي هذه الخلية مناسبة للتطبيقات التي تتطلب استقراراً عالٍ.

الكلمات المفتاحية:

6T SRAM التقليدية ، HVT 6T SRAM ، 10T SRAM ، SE PPN 10T SRAM ، هامش الضجيج الستاتيكي SNM، تطبيقات خلايا SRAM.

Performance and efficiency of SRAMs cells when used in various applications

Abstract

Static Random Access Memory (SRAM) is an essential part of Very Large Scale Integrated (VLSI) circuits and electronic devices and is widely used in embedded systems and modern System On Chip (SOC) applications.

In this article, we analyzed the conventional 6T SRAM cell in addition to several other SRAMs cells, namely HVT 6T SRAM cell, 10T SRAM cell, and SE PPN 10T SRAM cell in terms of power consumption, stability, reading and writing delay and area, and then comparing them with each other to determine the appropriate application for them. The simulation results showed that the HVT 6T SRAM cell has the lowest power consumption among the studied cells and thus this cell is suitable for applications that require low power consumption. The 10T SRAM cell also showed the least delay in both reading and writing processes between the studied cells and therefore this cell is suitable for high speed applications , SE PPN 10T SRAM cell showed very high reading stability compared to the rest of the cells and thus this cell is suitable for applications requiring high stability.

key words:

6T SRAM conventional, HVT 6T SRAM, 10T SRAM, SE PPN 10T SRAM, static noise margin SNM, SRAM cell applications.

1. المقدمة:

تتطلب الأجهزة المحمولة التي تعمل بالاعتماد على البطاريات مثل الهواتف الذكية وأجهزة الحاسب المحمولة العمل المستمر من أجل التقليل من استهلاك الطاقة بهدف إطالة عمر البطارية قدر الإمكان. تشغل ذواكر الوصول العشوائي الساتيكية SRAM مساحة كبيرة في أنظمة (VLSI) الحديثة حيث أنه وفقاً لتوقعات خارطة طريق التكنولوجيا الدولية لأنصاف النواقل ((ITRS) International Technology Roadmap for Semiconductors) فان SRAMs تشغل حوالي 90% من مساحة النظام على الرقاقة (SOC) وتعتبر SRAM المستهلك الرئيسي للاستطاعة في هذه الأنظمة [1]. لذلك يعتبر تصميم خلية SRAM ذات استهلاك استطاعة منخفض أمر في غاية الأهمية وتم اقتراح العديد من البنى لخلايا SRAM وذلك لحل هذه المشكلة ومنها خلية 8T SRAM التي استخدمت تقنية Power Gating التي تعمل على تخفيض استهلاك الاستطاعة الساتيكية [2]. كما تم اقتراح خلية 10T SRAM تعتمد على بنية عاكس مختلفة وهو عاكس محيز المصدر يساهم في تخفيض الاستطاعة الكلية المستهلكة [3].

إضافةً إلى مشكلة استهلاك الاستطاعة في خلايا SRAM فان هناك مشكلة أخرى لا تقل أهميةً عنها وهي استقرار خلية SRAM ومدى قدرتها على القيام بالعمليات المطلوبة بنجاح وقدرتها على تحمل الضجيج، حيث ان الاستمرار في تصغير حجم التكنولوجيا بالاعتماد على تصغير أبعاد الترانزستورات سيرافقه انخفاض في الجهد الذي تتحمله هذه الترانزستورات وبالتالي انخفاض جهد التغذية لخلية SRAM وهو ما يجعل استقرار خلايا SRAM يتدهور بشكل كبير وتصبح أكثر حساسيةً للضجيج. لذلك من الضروري تصميم خلايا SRAM جديدة قادرة على تعزيز الاستقرار وخاصة استقرار القراءة الذي يعتبر من أهم مشاكل خلية 6T SRAM التقليدية. تم اقتراح عدة خلايا لتحسين الاستقرار ومنها خلية 10T SRAM القائمة على قاذح شميت (Schmitt Trigger (ST)) وهو عاكس يتميز بخصائص نقل جهد ((VTC) Voltage Transfer Characteristics) حاد جداً مما يحسن من استقرار القراءة والقدرة على الكتابة [4]. كما تم اقتراح خلية 11T SRAM التي تعتمد على إضعاف حلقة التغذية العكسية أثناء عملية الكتابة وذلك لزيادة القدرة على الكتابة [5].

تتميز ذواكر SRAM بسرعة عالية مقارنةً بذواكر DRAM لذلك تستخدم في التطبيقات عالية السرعة ويعمل الباحثون دائماً على تطوير خلايا جديدة تتميز بتأخير منخفض في عمليات القراءة والكتابة كما هو الحال في خلية 5T SRAM والتي تتميز بسرعة عالية نتيجة استخدام 5 ترانزستورات فقط في الخلية [6].

قمنا في هذا البحث بتحقيق عدة بنى لخلايا SRAM باستخدام برنامج Cadence Virtuoso 6.1.5 وذلك من أجل الوصول إلى معرفة واضحة عن مختلف خصائص هذه الخلايا من أجل تحديد المجال التطبيقي الأنسب لكل منها.

2. هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة عدة أنواع من خلايا SRAM_s لتحديد الخلية الأنسب استخداماً لكل مجال تطبيقي سواءً كانت هذه التطبيقات تهتم بالدرجة الأولى بالسرعة العالية أو استهلاك الاستطاعة المنخفض أو الاستقرار العالي.

3. مواد وطرق البحث:

طريقة البحث تجريبية واستخدمنا برنامج Cadence Virtuoso 6.1.5 الذي يعمل على نظام Linux عند التقنية 90 nm gpdk على حاسب بمواصفات RAM 4 GB و CPU 2.5 GHZ لأجراء عمليات المحاكاة لخلايا الذاكرة المختلفة.

4. تحليل خلايا SRAM :

نقوم بتحليل خلايا SRAM من خلال دراسة كل من:

1. الاستقرار: يعبر عن مدى قدرة خلية SRAM على أداء عملياتها المختلفة بنجاح بوجود الضجيج ومن أهم طرق حساب الاستقرار هو هامش الضجيج الستاتيكي ((Static Noise Margin (SNM)).
2. الاستطاعة: هي الاستطاعة التي تقوم خلية SRAM باستهلاكها خلال قيامها بوظائفها المختلفة وهي القراءة والكتابة والمسك.

3. الزمن: يعبر عن مدى سرعة خلية SRAM بالقيام بكل من عمليات القراءة والكتابة.

4. المساحة: هي المساحة التي تشغلها خلية SRAM على الرقاقة.

وسوف نعتمد على البارامترات السابقة في تحليل أداء مختلف أنواع خلايا SRAM من أجل الوصول إلى معرفة واضحة عن خصائصها.

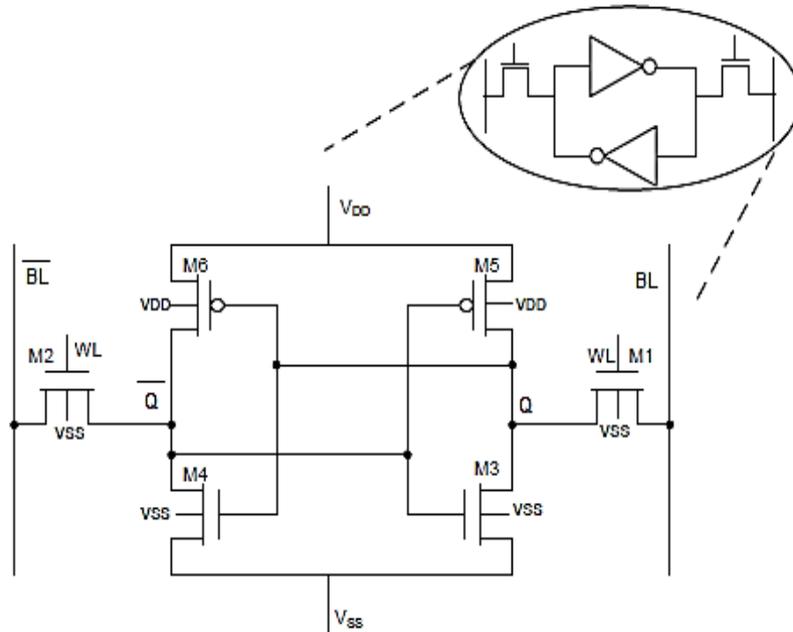
5. أنواع خلايا SRAM:

أدت الأهمية الكبيرة للذواكر SRAM في مختلف التطبيقات والناجحة عن تأثيرها الكبير على أداء الأنظمة إلى العمل المستمر على اقتراح بنى جديدة لتحسين بارامترات معينة وفقاً لمتطلبات هذه التطبيقات.

قمنا في الفقرة التالية بتحليل أداء عدة انواع من خلايا SRAM وهي على الشكل التالي:

5.1 خلية 6T SRAM التقليدية:

تتكون خلية 6T SRAM التقليدية من 6 ترانزستورات حيث تعمل على تخزين بت واحد. 4 ترانزستورات PMOS (M5 M6) ، NMOS (M3 M4) تشكل عاكسين متصلين بشكلٍ متقاطع يقومان بالاحتفاظ بالبيانات عند العقدة الأساسية Q ومكملتها \bar{Q} وترانزستورين وصول NMOS (M1 M2) يستخدمان للوصول إلى الخلية عند تفعيل خط الكلمة (Word Line (WL)) لإجراء عمليات القراءة والكتابة، حيث أنه بمجرد تنشيط ترانزستورات الوصول فإنه يمكن وصل العقد الداخلية للخلية بمنافذ الدخل/ الخرج والتي تسمى خطوط البت (BL) و \bar{BL} كما هو مبين في الشكل (1) [7].



الشكل (1): خلية 6T SRAM التقليدية [7].

تقوم خلية SRAM بثلاث عمليات:

أ- عملية المسك:

تهدف هذه العملية إلى الاحتفاظ بالبيانات ويتم ذلك عن طريق عدم تفعيل ترانزستورات الوصول بتطبيق $WL=0$.

ب- عملية القراءة:

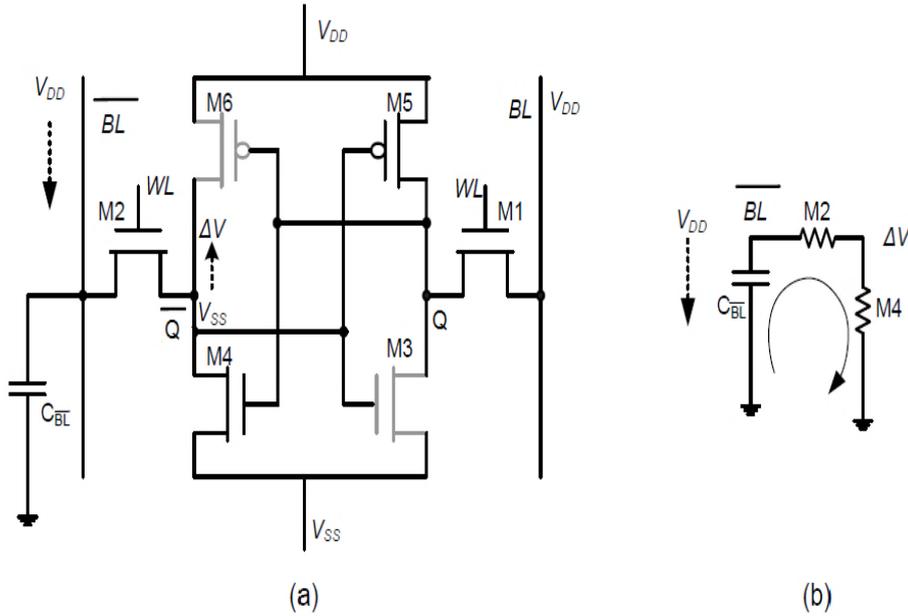
يتم خلالها قراءة البيانات المخزنة في خلية SRAM دون أن تؤثر هذه العملية على البيانات المخزنة في الذاكرة، أي أن عملية القراءة يجب ان تكون غير مدمرة للبيانات.

يوضح الشكل (2a) آلية عمل الخلية أثناء عملية القراءة حيث تحمل العقدة \bar{Q} المنطق "0" وتحمل العقدة Q المنطق "1" وبالتالي تكون الترانزستورات M3 و M6 بحالة قطع والترانزستورات M4 و M5 بحالة عمل.

وتتم عملية القراءة وفق الخطوات التالية:

1. يتم شحن خطوط البت BL و \bar{BL} مسبقاً إلى V_{DD} .
2. يتم تفعيل خط الكلمة بتطبيق $WL=V_{DD}$ وبالتالي تفعيل ترانزستورات الوصول M1 و M2.
3. بسبب فرق الجهد بين خط البت \bar{BL} والعقدة \bar{Q} إلى مرور تيار من خلال الترانزستورات M2 و M4 يسمى تيار القراءة مما يؤدي لتفريغ خط البت \bar{BL} وانخفاض جهده عن V_{DD} ، بينما يبقى خط البت BL عند الجهد المرتفع V_{DD} .
4. يتم تضخيم فرق الجهد بين خطي البت BL و \bar{BL} باستخدام مضخم حساس (sense amplifier) لإنتاج مستويات الجهد المطلوبة حيث يعطي جهداً منطقياً مرتفعاً أو منخفضاً وذلك وفقاً لخط البت الذي قام بالتفريغ.

تشكل الترانزستورات M2 و M4 مقسماً للجهد ويرفعان جهد العقدة \bar{Q} بمقدار ΔV . لضمان عملية قراءة غير مدمرة للبيانات المخزنة في الذاكرة فإنه يجب أن لا تؤدي ΔV إلى تشغيل العاكس M3-M5 وبالتالي هذا يضمن بقاء العقدة Q عند القيمة V_{DD} خلال عملية القراءة.



الشكل (2): (a) حالة الخلية أثناء عملية القراءة ، (b) النموذج المكافئ لمسار تفريغ خط البت \overline{BL} [7].

يوضح الشكل (2b) النموذج المكافئ لمسار تفريغ خط البت \overline{BL} حيث يتم شحن سعة خط البت $C_{\overline{BL}}$ مسبقاً إلى V_{DD} وعند تنشيط $M2$ فإنه يتم تفريغ $C_{\overline{BL}}$ عبر $M2$ و $M4$ مما يسبب انخفاض جهد خط البت \overline{BL} . من الواضح أنه يمكن تحقيق تفريغ أسرع لخط البت عن طريق تقليل المقاومة في مسار التفريغ ولكن ذلك يتم مقابل أحجام ترانزستورات أكبر للخلية وهو ما لا ينصح به لذاكرة SRAM عالية الكثافة.

من المهم أن نشير إلى أنه لضمان عملية قراءة غير مدمرة للبيانات يجب أن يكون الجهد ΔV أقل من جهد العتبة للترانزستور $M3$ لكي لا يتغير خرج العاكس $M5-M3$ عند العقدة Q ، يتم التحكم في مستوى الجهد ΔV بواسطة نسبة المقاومة $M2$ و $M4$. لتقييم استقرار البيانات المخزنة أثناء عملية القراءة فإنه يتم تحديد نسبة الخلية ((Cell Ratio (CR)) التي تعرف بنسبة ترانزستورات الخفض ($M3$ و $M4$) إلى ترانزستورات الوصول ($M1$ و $M2$) وفق العلاقة:

$$CR = \frac{(W/L)_{M4}}{(W/L)_{M2}} \dots \dots \dots (1)$$

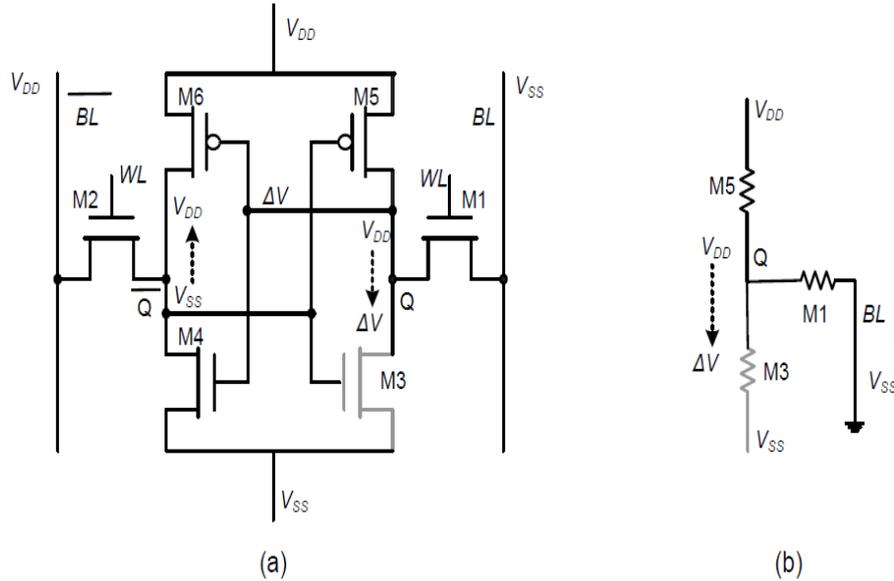
W و L هما عرض وطول ترانزستورات MOS على التوالي. حيث تؤدي نسبة الخلية CR الأعلى إلى انخفاض ΔV وينتج عنها عملية قراءة أكثر استقراراً.

ت- عملية الكتابة:

يتم من خلال عملية الكتابة ضبط بيانات خلية SRAM على القيمة المراد كتابتها بغض النظر عن بياناتها الأصلية.

يوضح الشكل (3a) آلية عمل الخلية أثناء عملية الكتابة حيث أنه تم افتراض أن الحالة الأولية للعدتين هي $\bar{Q}=V_{SS}$ و $Q=V_{DD}$. تكتمل عملية الكتابة إذا أصبح مستوى الجهد على العقد $Q=V_{SS}$ و $\bar{Q}=V_{DD}$ وذلك بتطبيق القيمة المراد كتابتها على خط البت BL والقيمة المكملة لها على خط البت \bar{BL} ويتم ذلك وفق الخطوات التالية:

1. يتم تطبيق القيم $BL=V_{SS}$ و $\bar{BL}=V_{DD}$ على خطي البت.
2. يتم تفعيل خط الكلمة بتطبيق $WL=V_{DD}$ وبالتالي تفعيل ترانزستورات الوصول M1 و M2.
3. بسبب فرق الجهد بين خطي البت BL و \bar{BL} والعقد Q و \bar{Q} فإن العقدة Q تبدأ بالتفريغ عبر خط البت BL والعقدة \bar{Q} تبدأ بالشحن عبر خط البت \bar{BL} الى ان تقلب الحالة المنطقية للخلية وتصبح $Q=V_{SS}$ و $\bar{Q}=V_{DD}$.



الشكل (3): (a) حالة الخلية أثناء عملية الكتابة، (b) النموذج المكافئ لمسار تفريغ العقدة Q عبر خط البت

[7] BL.

كما ذكرنا سابقاً فإنه وبالنسبة إلى قيمة CR مناسبة لا يمكن أن يتسبب تنشيط خط الكلمة في زيادة جهد العقدة \bar{Q} بشكل كافٍ لتغيير حالة العاكس (M3-M5)، لذلك يتم الاعتماد على تفريغ العقدة Q عبر خط البت BL إلى الجهد ΔV وفق مسار التفريغ M5 و M1 المبيّن في الشكل (3b) من اجل قلب حالة العاكس (M4-M6) والذي بدوره يقوم بقلب حالة العاكس (M3-M5) وبالتالي تتغير الحالة المنطقية للخلية.

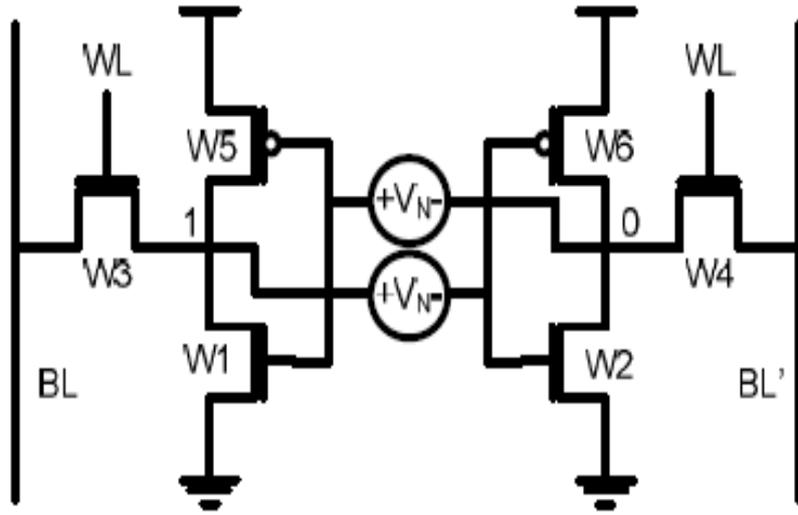
تشكل عملية الكتابة مقسم جهد يتكون من M5 و M1 والتي تحديد نسبة السحب ((Pull Up Ratio (PR) التي تعرف بأنها نسبة ترانزستورات الرفع (M5 و M6) إلى ترانزستورات الوصول (M1 و M2) وفق العلاقة:

$$PR = \frac{(W/L)_{M5}}{(W/L)_{M1}} \dots \dots \dots (2)$$

يحدد PR الجهد ΔV الذي يظهر في العقدة Q عند تنشيط خط الكلمة في عملية الكتابة وبالتالي يمكن ضمان عملية كتابة ناجحة عن طريق اختيار قيمة PR مناسبة، حيث أنه ينتج عن انخفاض قيمة PR انخفاض في ΔV والتي يجب أن تكون أصغر ما يمكن لضمان قلب حالة العاكس (M4-M6) وبالتالي تغيير البيانات المخزنة في الخلية. من أجل تحقيق قيمة PR منخفضة فإنه من المستحسن استخدام ترانزستورات وصول تمتلك قيمة (W/L) أكبر مع الانتباه إلى أن ذلك يهدد استقرار الخلية أثناء عملية القراءة بسبب تأثير نسبة الخلية CR وهذا يستدعي مقايضة بين استقرار البيانات في عملية القراءة والقدرة على الكتابة.

5.1.1 الاستقرار:

يعتبر هامش الضجيج الستاتيكي (SNM) من أهم المقاييس للتعبير عن استقرار الخلية والذي يتم الحصول عليه بافتراض وجود منبعين للضجيج DC ذات قطبية متعاكسة V_N (الحالة الأسوأ للضجيج) على العقد الداخلية لخلية SRAM كما هو مبيّن في الشكل (4)، ومن ثم رسم منحنى خصائص نقل الجهد VTC للعاكس الأول ومعكوس منحنى VTC للعاكس الثاني لتشكيل ما يسمى منحنى الفراشة (Butterfly curve) والذي يعتبر طريقة لقياس استقرار الخلايا المصمّمة في وجود الضجيج [8].



الشكل (4): خلية SRAM مع منابع ضجيج V_N ذات قطبية متعاكسة [8].

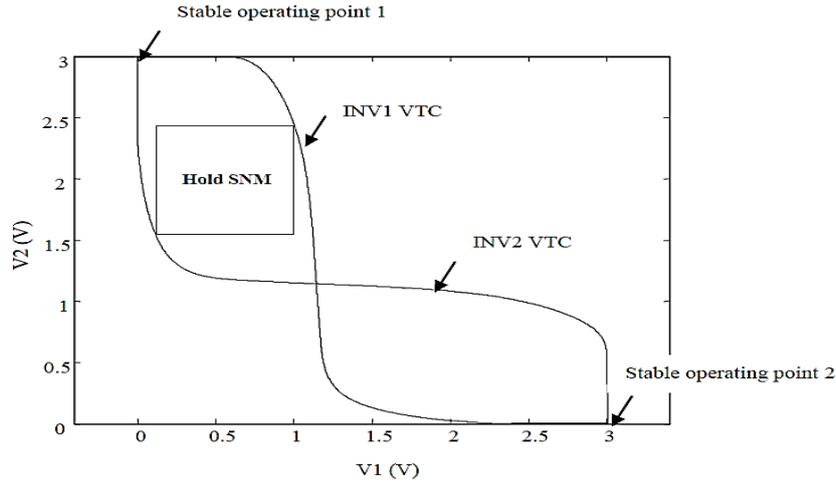
لتحديد القيمة المعبرة عن الاستقرار يتم رسم أكبر مربع ممكن في كل عين لمنحني الفراشة حيث أن إحداها يدل على استقرار البيانات (0) والآخر على استقرار البيانات (1) ونختار المربع الأصغر بينهما والذي يعبر عن حالة الاستقرار الأسوأ ونأخذ طول الضلع له كقيمة تمثل هامش الضجيج الستاتيكي SNM.

عن طريق هامش الضجيج الستاتيكي نحصل على ثلاث قيم تعبر عن مدى استقرار الخلية في كل من عملية المسك (HSNM) Hold Static Noise Margin وعملية القراءة (RSNM) Read Static Noise Margin وعملية الكتابة (WSNM) Write Static Noise Margin.

أ- هامش الضجيج الستاتيكي للمسك HSNM:

يعرف هامش الضجيج الستاتيكي للمسك HSNM بأنه أقصى جهد ضجيج DC تتحمله خلية SRAM أثناء عملية المسك قبل ان تقلب البيانات وتفضل عملية الاحتفاظ بها.

يمكن الحصول على هذه القيمة من خلال رسم منحني الفراشة عندما تكون $WL=0$ فنحصل على الشكل (5) [9].

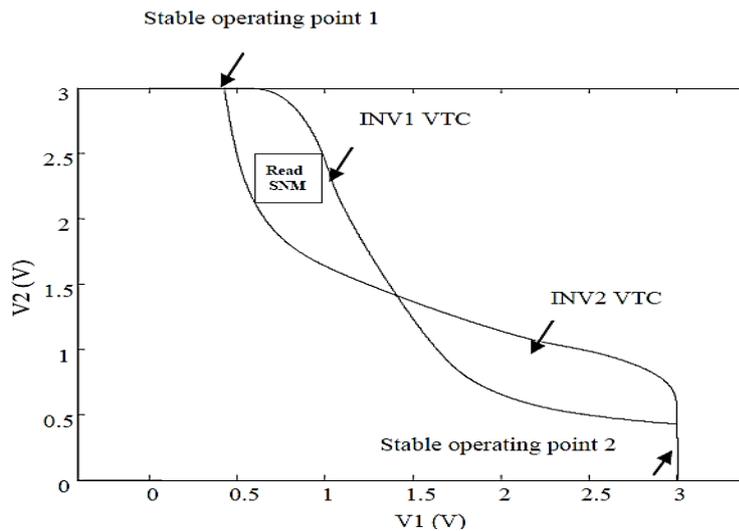


الشكل (5): منحنى الفراشة خلال عملية المسك لاستخراج HSNM [9].

ب- هامش الضجيج الستاتيكي للقراءة RSNM:

يعرف هامش الضجيج الستاتيكي للقراءة RSNM بأنه أقصى جهد ضجيج DC تتحمله خلية SRAM أثناء عملية القراءة قبل أن تقلب البيانات وعادةً ما تكون هذه القيمة أقل من HSNM لأن الخلية يجب أن تقوم بالاحتفاظ بالبيانات رغم وجود تأثير خارجي عليها من خطوط البت ما يجعل حصانة الخلية للضجيج أقل بكثير.

يمكن الحصول على هذه القيمة من خلال رسم منحنى الفراشة عندما تكون $WL=1$ وشحن خطوط البت BL و \overline{BL} حتى V_{DD} فنحصل على الشكل (6).

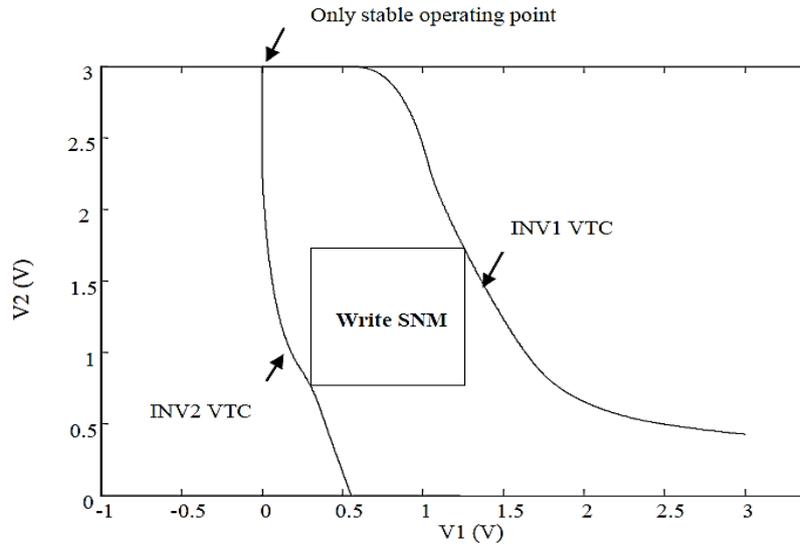


الشكل (6): منحنى الفراشة خلال عملية القراءة لاستخراج RSNM [9].

ت- هامش الضجيج الستاتيكي للكتابة $WSNM$:

يعبر هامش الضجيج الستاتيكي للكتابة $WSNM$ عن مدى القدرة على كتابة البيانات في الخلية ويعرف $WSNM$ على أنه أقل جهد ضجيج قادر على منع الخلية من كتابة البيانات الجديدة.

يمكن الحصول على هذه القيمة من خلال رسم منحنيات VTC_s للعاكسين عندما تكون $WL=1$ ووضع القيمة المراد كتابتها ومكملها على خطوط البت BL و \overline{BL} فنحصل على الشكل (7).



الشكل (7): منحنيات $VTCs$ للعاكسين خلال عملية الكتابة لاستخراج $WSNM$ [9].

من أجل عملية الكتابة الناجحة يجب أن تكون الخلية أحادية الاستقرار وأن تتقاطع منحنيات VTC_s في نقطة واحدة والتي تمثل الحالة المرغوب الانتقال إليها وفي حال وجود ضجيج كبير فإنه من الممكن أن تحدث إزاحة على كل من المنحنيين ويلتقيان في نقطة استقرار ثانية مما يسبب فشل عملية الكتابة.

5.1.2 الاستطاعة:

تقسم مصادر تبديد الاستطاعة في الذاكرة $SRAM$ إلى ثلاث أقسام [10]:

1. **الاستطاعة الديناميكية:** هي الاستطاعة المبددة أثناء الحالة النشطة مثل عمليات القراءة والكتابة عندما تتغير حالة الترانزستورات مما يؤدي لشحن أو تفريغ سعة عقد الخرج.
2. **الاستطاعة الستاتيكية (استطاعة التسرب):** هي الاستطاعة المبددة في الذاكرة أثناء حالة المسك والناجمة عن تيارات التسرب وخاصةً تيار العتبة الفرعية.

3. استطاعة دارة القصر: هي الاستطاعة المستهلكة عندما يبذل كلاً من ترانزستورات NMOS و PMOS حالتها معاً ويكون كلاهما بحالة توصيل لفترة قصيرة ويمكن اعتبار هذه الاستطاعة جزءاً من الاستطاعة الديناميكية.

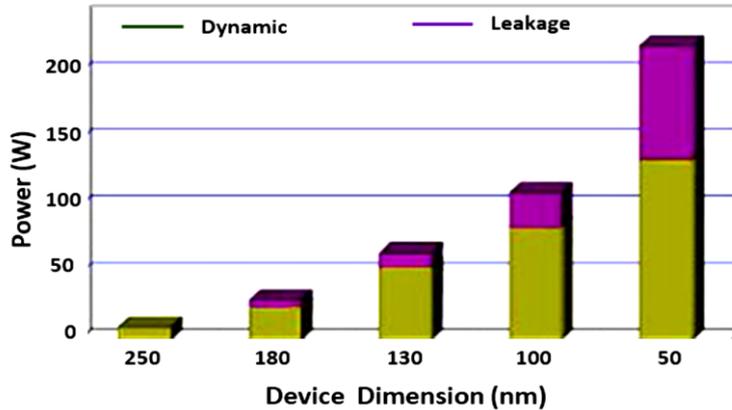
نلاحظ من الشكل (8) ان استهلاك الاستطاعة يزداد مع تصغير حجم التكنولوجيا ومن الواضح ازدياد تأثير استطاعة التسرب (الستاتيكية) التي في العقد الأصغر حيث تصبح أكثر أهمية لأن تقلص الترانزستورات يوافقه تقلص بجهد العتبة V_T والذي يؤدي بدوره لزيادة تيار تسرب العتبة الفرعية وفق العلاقة (3) [11] بالنسبة لترانزستور NMOS وبالتالي زيادة استطاعة التسرب.

$$I_{ds}^{sub} = \frac{W}{L} I_{D0} e^{\left(\frac{V_{gs}-V_T-V_{off}}{n v_t}\right)} \left[1 - e^{-\frac{V_{ds}}{v_t}}\right] \quad \text{when } V_{gs} < V_T \dots\dots\dots (3)$$

W : عرض الترانزستور ، L : طول الترانزستور ، I_{D0} : ثابت ، VT : جهد العتبة.

$v_t = kT / q$: الجهد الحراري و يساوي 26 mV في درجة حرارة الغرفة، حيث k هو ثابت Boltzmann و q هي شحنة الإلكترون.

n : بارامتر تأرجح العتبة الفرعية (ثابت)، V_{off} : ثابت و يساوي عادة -0.08 V .



الشكل (8): تبديد الاستطاعة عند تكنولوجيا المايكرو الفرعية العميقة (deep submicron) [10].

5.1.3 زمن التأخير (القراءة والكتابة):

هناك بارامترين يعبران عن الزمن في ذواكر الـ SRAM:

1. **تأخير القراءة:** بالنسبة للخلايا التفاضلية هو الفارق الزمني بين لحظة تنشيط WL إلى الزمن الذي يحدث عنده فرق الجهد بين خطي البت بمقدار 50 mv نتيجة تفريغ إحداهما، وفي حالة الخلايا أحادية النهاية هو الفارق الزمني بين لحظة تنشيط WL إلى الزمن الذي يحدث عنده فرق الجهد بين خط بت القراءة والجهد المرجعي (V_{DD}) بمقدار 50 mv [1].

2. **تأخير الكتابة:** يعرف زمن كتابة البيانات "0" بالفارق الزمني بين لحظة تفعيل WL إلى الزمن الذي ينخفض فيه جهد العقدة Q إلى 10 % من قيمتها العظمى [12].

يتأثر التأخير T_d بالتيار المار في الخلية بشكل عكسي كما هو مبين في المعادلة التالية [5]:

$$T_d = \frac{(C_L \times V_{dd})}{I} = \frac{(C_L \times V_{dd})}{\frac{\mu C_{ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right) (V_{dd} - V_T)^2} \dots\dots\dots (4)$$

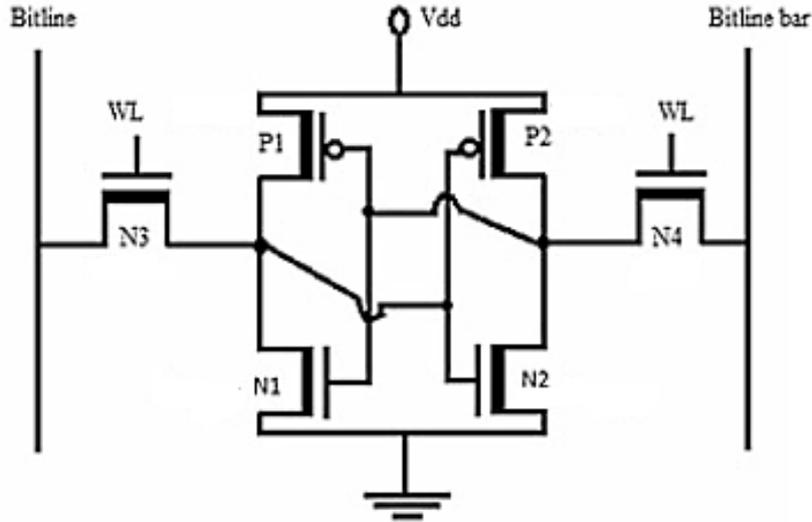
C_L : سعة الحمل، μ : حركية حوامل الشحنة، C_{ox} : سعة أكسيد البوابة.

5.1.4 المساحة:

هي المساحة التي تشغلها الخلية ونحصل عليها برسم مخطط layout للخلية [13].

5.2 خلية 6T SRAM HVT (High Threshold Voltage SRAM):

هذه الخلية مشابهة تماماً لخلية 6T SRAM التقليدية ولها نفس آلية العمل في كل من عمليات القراءة والكتابة والمسك مع فارق أنه تم استخدام ترانزستورات ذات جهد عتبة عالٍ بدلاً من استخدام ترانزستورات ذات جهد عتبة منخفض كما هو مبين في الشكل (9) [14].



الشكل (9): خلية HVT 6T SRAM ذات جهود عتبة عالية [14].

ان استخدام ترانزستورات ذات جهد عتبة عالٍ يؤدي إلى انخفاض التيار المار في الترانزستور كما هو مبين في العلاقات (5 و 6) [11] التي تعبر عن تيار ترانزستور NMOS في المنطقة الخطية ومنطقة الاشباع:

المنطقة الخطية:

$$I_{ds}^{lin} = \beta \left([V_{gs} - V_T] V_{ds} - \frac{V_{ds}^2}{2} \right) \quad \text{when } 0 < V_{ds} < V_{gs} - V_T \dots\dots\dots (5)$$

منطقة الاشباع:

$$I_{ds}^{sat} = \frac{\beta}{2} (V_{gs} - V_T)^2 \quad \text{when } 0 < V_{gs} - V_T < V_{ds} \dots\dots\dots (6)$$

حيث أن:

$$\beta = (\mu\epsilon / t_{ox}) \cdot (W / L)$$

ϵ : سماحية أكسيد البوابة، t_{ox} : سماكة أكسيد البوابة.

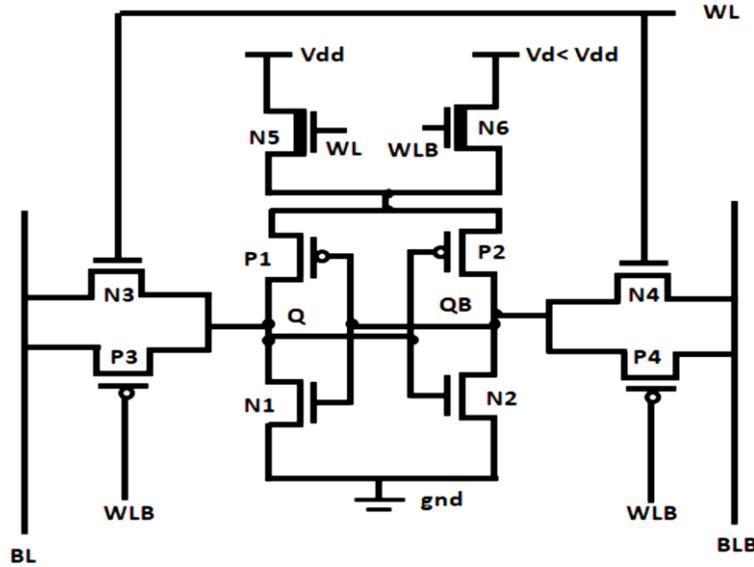
ونتيجةً لانخفاض التيار فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض الاستطاعة المستهلكة وزيادة الاستقرار ولكن ذلك على حساب زيادة التأخير في كل من عملية القراءة والكتابة بشكلٍ كبير جداً.

5.3 خلية 10T SRAM:

تحتوي هذه الخلية على أربع ترانزستورات إضافية مقارنةً بخلية 6T SRAM التقليدية كما هو مبين في الشكل (10) وهي: (N5 و N6) NMOS ذات جهد عتبة عالي و (P3 و P4) PMOS [15].

تملك الترانزستورات N5 و N6 على دخلها إشارتي التحكم WL و WLB التي تملكان قيم متعاكسة دائماً وبالتالي عندما يكون إحداهما بحالة عمل يكون الآخر بحالة قطع.

في الوضع النشط (عمليات القراءة والكتابة) يتم تطبيق القيم $WL=1$ و $WLB=0$ وبالتالي يكون الترانزستور N5 وترانزستورات الوصول الأربعة N3، N4، P3، P4 بحالة عمل والترانزستور N6 بحالة قطع، وبما أن N5 بحالة عمل فتكون تغذية الخلية هي Vdd.



الشكل (10): خلية 10T SRAM [15].

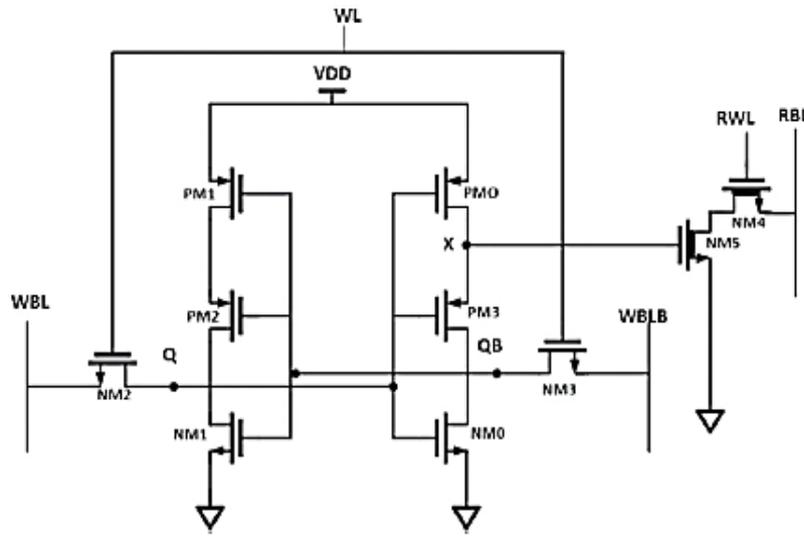
تم إضافة الترانزستورات P3 و P4 على النقر مع ترانزستورات الوصول N3 و N4 لأن ترانزستورات الـ PMOS تتمتع بخاصية نقل الجهد العالي (1 منطقي) بشكلٍ مثالي وهو ما يزيد من استقرار وسرعة الخلية خلال الوضع النشط.

عندما تعمل الخلية في وضع المسك يتم تطبيق القيم $WL=0$ و $WLB=1$ ، فتكون ترانزستورات الوصول الأربعة و N5 بحالة قطع بينما N6 بحالة عمل وبالتالي تكون تغذية الخلية هي Vd التي تملك قيمة أقل من Vdd. بسبب انخفاض جهد التغذية خلال وضع المسك فإن ذلك سوف يخفض من استهلاك الاستطاعة الستاتيكية

واستخدام الترانزستور N5 ذو جهد العتبة المرتفع سوف يساهم ايضاً بتخفيض تيار التسرب وبالتالي تخفيض استهلاك الاستطاعة الستاتيكية.

5.4 خلية SE PPN 10T SRAM أحادية النهاية (Single Ended):

تمتلك هذه الخلية المبيّنة في الشكل (11) آلية عمل مختلفة عن الخلايا السابقة حيث تعتمد على استخدام مسار منفصل لكل من عمليات القراءة والكتابة وذلك لحل مشكلة التضارب بين هاتين العمليتين ولذلك يسمى مثل هذا النوع من الخلايا بالخلية أحادية النهاية (Single Ended) [16].



الشكل (11): خلية SE PPN 10T SRAM أحادية النهاية [16].

تحتوي هذه الخلية على إشارة التحكم WL التي تعمل على تنشيط ترانزستورات وصول الكتابة NM2 و NM3 وعلى إشارة التحكم RBL التي تعمل على تنشيط ترانزستور وصول القراءة NM4، وبما أنه لكل عملية لها ترانزستورات وصول خاصة بها فيمكن حل مشكلة التضارب بين القراءة والكتابة التي تعاني منها الخلايا التي تملك مسار مشترك للعمليتين (ترانزستورات وصول مشتركة) وأصبح بإمكاننا زيادة W/L لترانزستورات وصول الكتابة NM2 و NM3 لتحسين القدرة على الكتابة دون التأثير على استقرار القراءة.

تعمل الخلية وفق ثلاث أنماط عمل:

- المسك: تتم هذه العملية بتطبيق $WL=0$ و $RWL=0$ مما يؤدي لإيقاف ترانزستورات الوصول للقراءة والكتابة.

• **القراءة:** تتم هذه العملية بتطبيق $WL=0$ و $RWL=1$ و $RBL=1$ مما يؤدي لتنشيط ترانزستور وصول القراءة NM4. لكي يمر تيار في مسار القراءة المكون من NM4 و NM5 فإنه يجب أن يكون NM5 بحالة عمل وذلك يعتمد على قيمة العقدة X المبيّنة في الشكل (11) حيث أنه عندما تكون العقدة $Q=0$ فإنها ستقوم بتشغيل الترانزستورات PM0 و PM3 مما يوفر جهد عند X يبلغ حوالي 1 V وبالتالي يعمل الترانزستور NM5 ويمر تيار في مسار القراءة ويبدأ RBL بالتفريغ.

عندما تكون العقدة $Q=1$ فإنها ستقوم بإيقاف تشغيل الترانزستورات PM0 و PM3 مما يوفر جهد عند X يبلغ حوالي 0 V وبالتالي لا يعمل الترانزستور NM5 ولا يمر تيار في مسار القراءة وبذلك يحافظ RBL على قيمته، أي أنه عندما يتم تفريغ RBL فإن العقدة Q تخزن القيمة 0 وعندما لا يفرغ RBL فإن العقدة Q تخزن القيمة 1.

أهم ما يميز عملية القراءة هذه بان تيار القراءة لا يمر من خلال أي عقدة التخزين وبالتالي لا يرتفع جهدها خلال عملية القراءة مما يجعل استقرار القراءة RSNM مشابه لاستقرار المسك HSNM.

• **الكتابة:** تتم هذه العملية بتطبيق $WL=1$ و $RWL=0$ مما يؤدي لتنشيط ترانزستورات وصول الكتابة ويتم وضع القيمة المراد كتابتها والقيمة المكمل لها على خطوط البت WBL و WBLB، أي أن عملية الكتابة تبقى تقاضلية كما بحالة 6T SRAM التقليدية حيث أنها تعتمد على خطي البت WBL و WBLB.

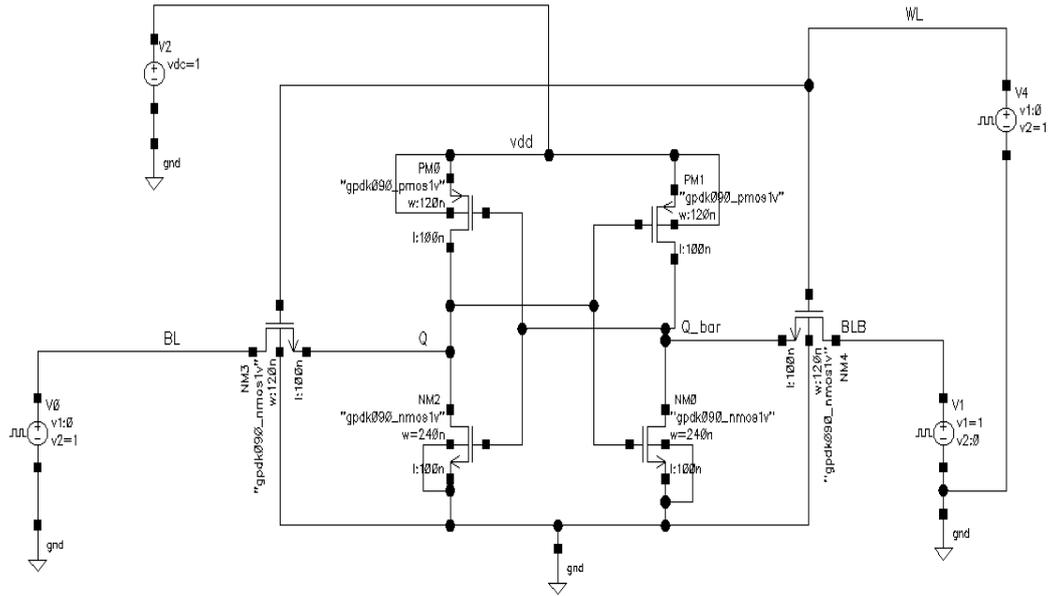
6. النتائج والمناقشة:

6.1 خلية 6T SRAM التقليدية:

تمت محاكاة خلية 6T SRAM التقليدية المبيّنة في الشكل (12) عند بارامترات التشغيل التالية [17]:

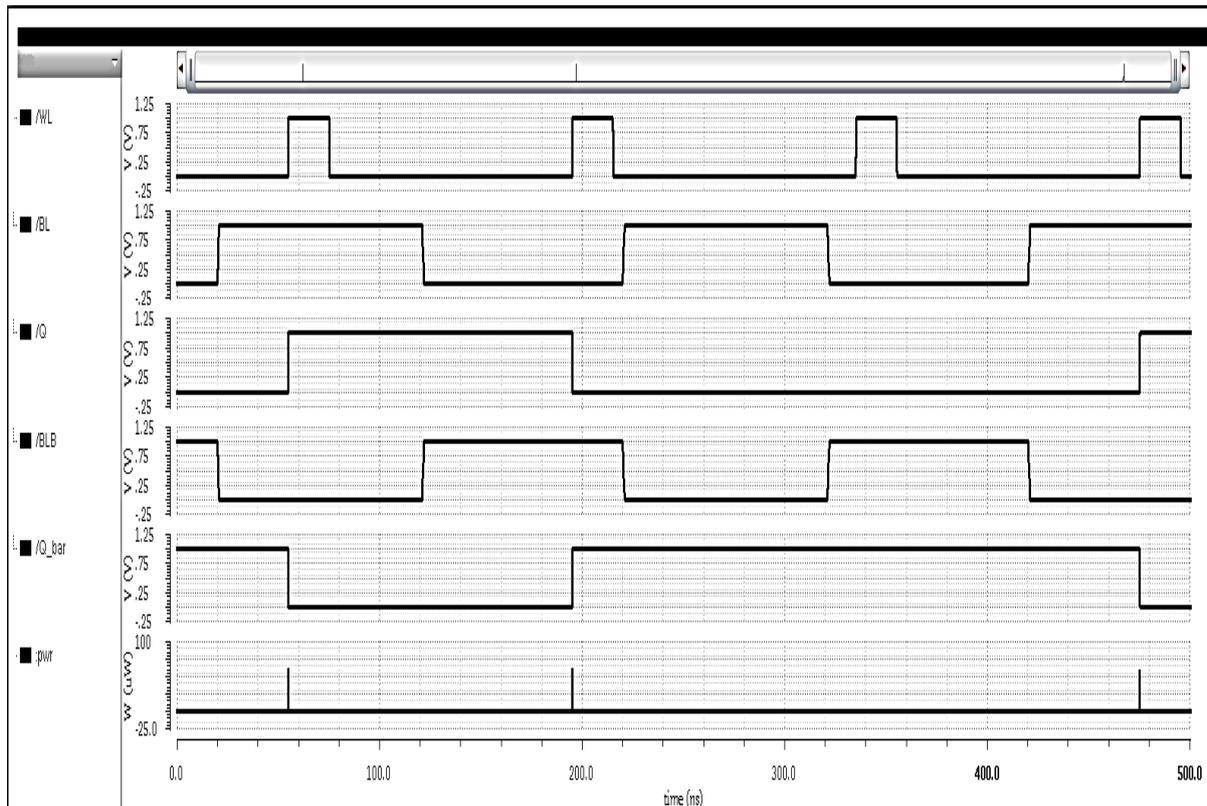
$$.(W/L)_{\text{access}} = (W/L)_{\text{pu}} = 120/100 \text{ nm} , (W/L)_{\text{pd}} = 240/100 \text{ nm} , T=27 \text{ }^\circ\text{C} , V_{\text{dd}}=1 \text{ v}$$

أي أنه تم اختيار: $CR=2$ و $PR=1$.



الشكل (12): محاكاة خلية 6T SRAM التقليدية.

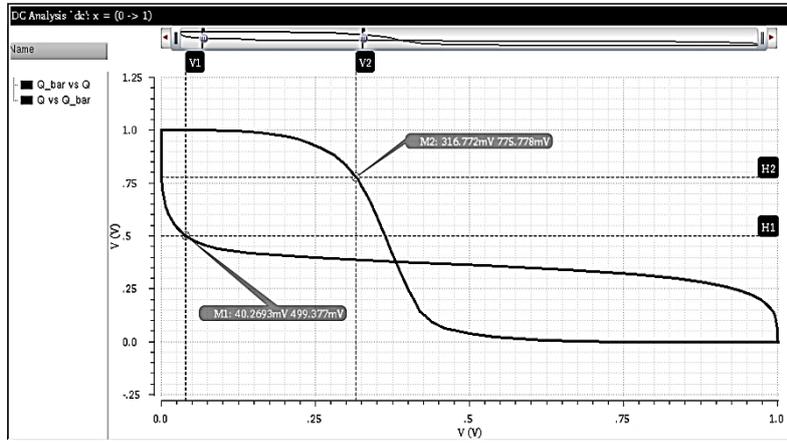
يظهر الشكل (13) المحاكاة العابرة لخلية 6T SRAM التقليدية:



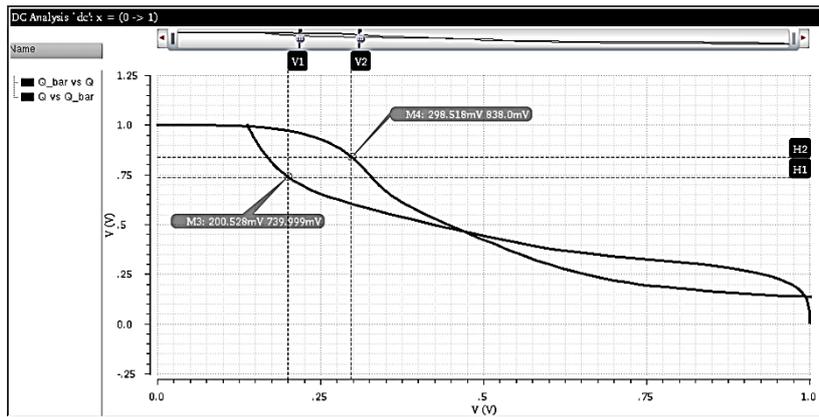
الشكل (13): المحاكاة العابرة لخلية 6T SRAM التقليدية.

وقمنا بحساب النتائج التالية:

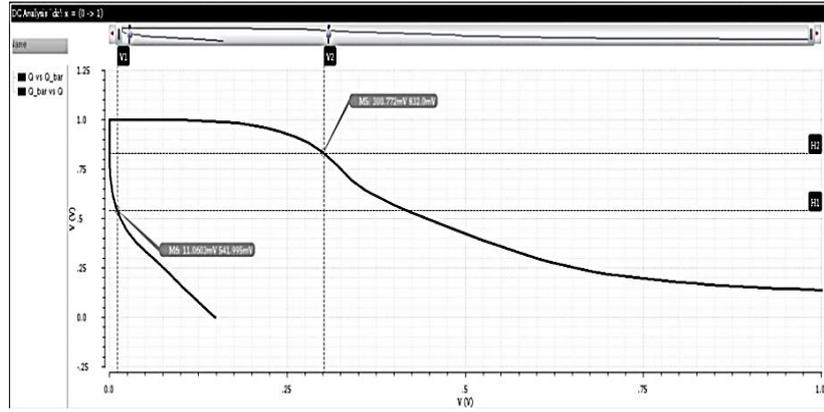
1. الاستطاعة المتوسطة (Average Power): هي القيمة المتوسطة لاستهلاك الاستطاعة الكلي المبين في الشكل (13).
2. الاستطاعة الستاتيكية (Static Power): هي الاستطاعة المستهلكة بحالة المسك عندما $WL=0$.
3. تأخير الكتابة.
4. تأخير القراءة.
5. قيم SNM المعيرة عن الاستقرار لأنماط العمل الثلاث $HSNM$ و $RSNM$ و $WSNM$ المبينة في الشكل (14):



(a)



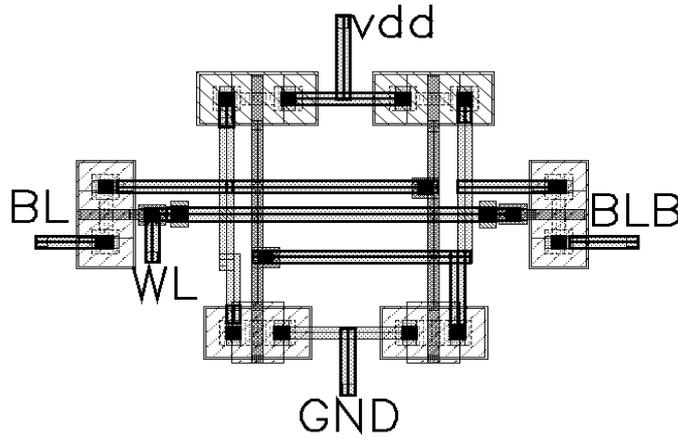
(b)



(c)

الشكل (14): محاكاة (a) HSNM، (b) RSNM، (c) WSNM لخلية 6T SRAM التقليدية.

6. المساحة: تم الحصول عليه من خلال تخطيط layout للخلية كما هو مبين في الشكل (15):



الشكل (15): تخطيط layout لخلية 6T SRAM التقليدية.

يبين الجدول (1) نتائج محاكاة خلية 6T SRAM التقليدية:

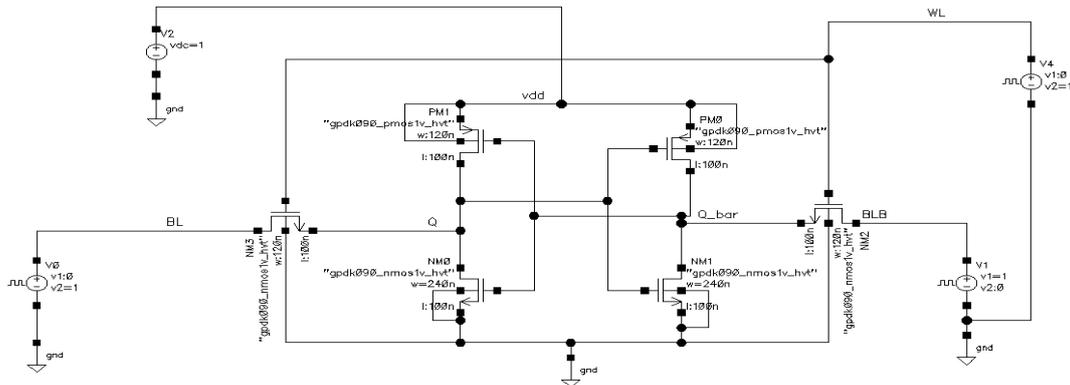
الجدول (1) : نتائج محاكاة خلية 6T SRAM التقليدية

المساحة (μm^2)	WSNM (mv)	RSNM (mv)	HSNM (mv)	تأخير القراءة (ps)	تأخير الكتابة (ps)	الاستطاعة الستاتيكية (nw)	الاستطاعة المتوسطة (nw)	
19.84	290	98	276	161.845	162.5	53.6962	81.93	6T SRAM

6.2 خلايا SRAM الأخرى:

• خلية HVT 6T SRAM:

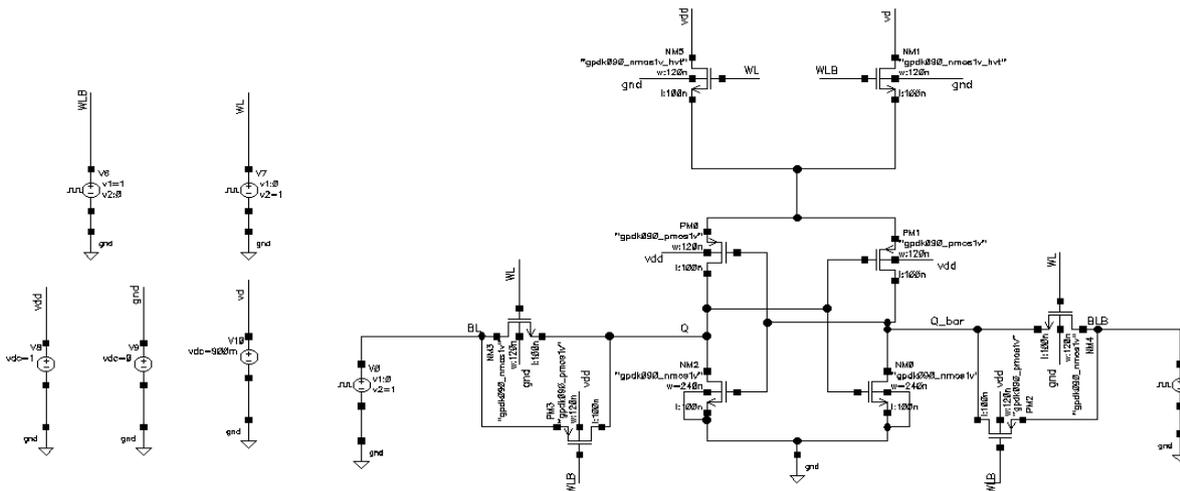
تمت محاكاة خلية HVT 6T SRAM المبيّنة في الشكل (16) عند نفس بارامترات التشغيل لخلية 6T SRAM التقليدية ولكن تم استخدام ترانزستورات ذات جهد عتبة عالٍ ونتائج المحاكاة مبيّنة في الجدول (2).



الشكل (16): محاكاة خلية HVT 6T SRAM.

• خلية 10T SRAM:

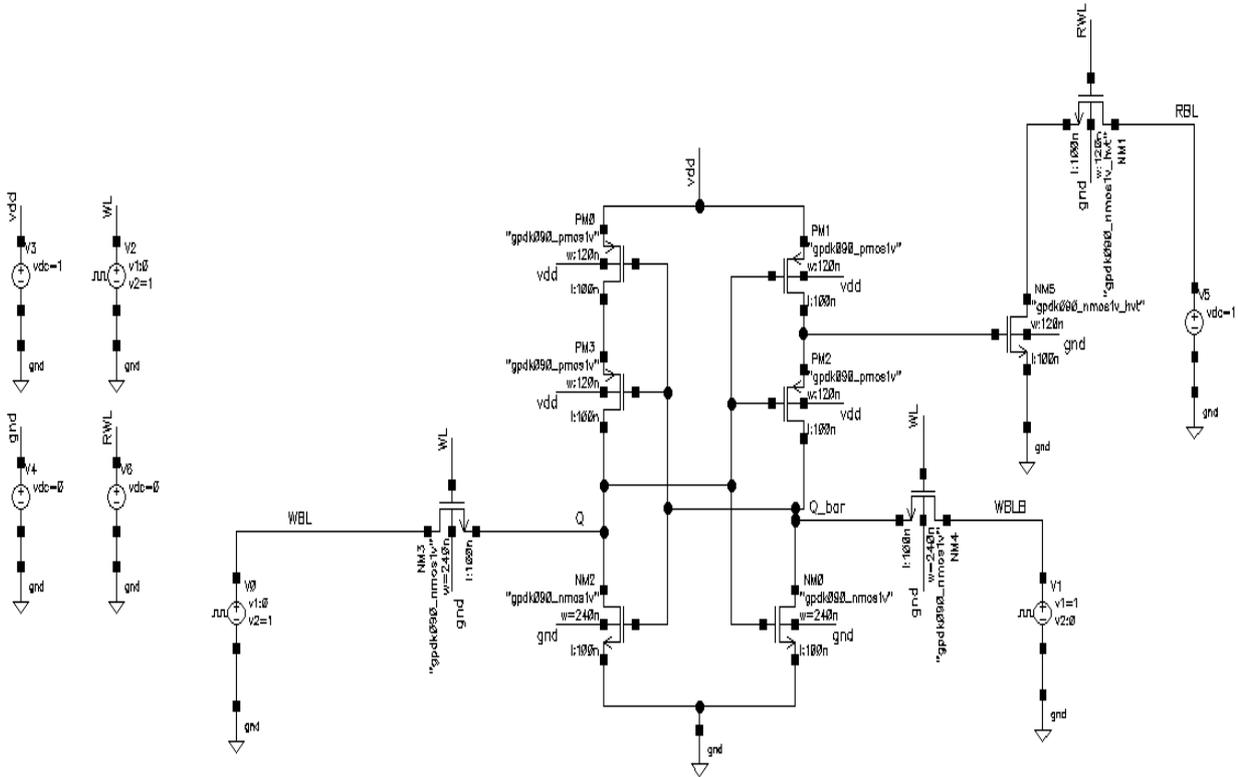
تمت محاكاة خلية 10T SRAM المبيّنة في الشكل (17) عند نفس بارامترات التشغيل لخلية 6T SRAM التقليدية مع تحديد قيمة $(W/L)=120/100$ nm للترانزستورات الأربعة الإضافية وقيمة $V_d=0.9$ V وتم استعراض نتائج المحاكاة في الجدول (2).



الشكل (17): محاكاة خلية 10T SRAM.

• خلية SE PPN 10T SRAM:

تمت محاكاة خلية SE PPN 10T SRAM في الشكل (18) عند نفس بارامترات التشغيل لخلية 6T SRAM مع تغيير قيمة (W/L) لترانزستورات وصول الكتابة من 120/100 nm إلى 240/100 nm وذلك لتحسين القدرة على الكتابة دون التأثير على استقرار القراءة وبالتالي الاستفادة من ميزة هذه الخلية بفصل مسار القراءة عن مسار الكتابة مع تحديد قيمة (W/L)=120/100 nm لترانزستورات الأربعة الإضافية ونتائج المحاكاة مبينة أيضاً في الجدول (2).



الشكل (18): محاكاة خلية SE PPN 10T SRAM.

الجدول (2): نتائج محاكاة الخلايا 6T SRAM التقليدية و HVT 6T SRAM و 10T SRAM و SE PPN 10T SRAM

SE PPN 10T SRAM	10T SRAM	HVT 6T SRAM	6T SRAM	
78.4	40.6	17.39	81.93	الاستطاعة المتوسطة (nw)
56.654	33.8968	1.015	53.6962	الاستطاعة الستاتيكية (nw)
128.8	123.4	190.3	162.5	تأخير الكتابة (ps)
363.992	120.378	267.398	161.845	تأخير القراءة (ps)
265	179.6	350	276	(mv) HSNM
263.5	54.5	159	98	(mv) RSNM
306	398.5	370.3	290	(mv) WSNM
33.866	33.476	19.84	19.84	المساحة (μm^2)

6.3 المناقشة:

1. خلية HVT 6T SRAM:

- بالمقارنة ما بين خلية HVT 6T SRAM و خلية 6T SRAM فإننا نلاحظ انخفاض في استهلاك الاستطاعة الكلية والستاتيكية بشكلٍ كبير بهذه الخلية بسبب انخفاض التيار المار بالخلية سوءاً بالوضع النشط أو بوضع المسك (تيار التسرب) بسبب جهود العتبة العالية لترانزستورات الخلية والعلاقة العكسية ما بين التيار المار و جهد العتبة V_T وفق العلاقات (3 و 5 و 6).
- الانخفاض في التيار (تيار القراءة و تيار الكتابة) سوف يسبب زيادة في التأخير لكل من عملية القراءة والكتابة وفق العلاقة (4).
- نلاحظ زيادة استقرار الخلية خلال العمليات الثلاثة HSNM و RSNM و WSNM بسبب زيادة جهد العتبة وبالتالي زيادة الجهد المطلوب لفتح الترانزستورات مما يؤدي لزيادة الجهد المطلوب لقلب البيانات.

2. خلية 10T SRAM:

- بالمقارنةً بين هذه الخلية وخلية 6T SRAM التقليدية نلاحظ انخفاض استهلاك الاستطاعة الكلية والساتاتيكية بسبب استخدام تقنية التغذية المزدوجة (اختلاف تغذية الخلية ما بين الحالة النشطة Vdd وحالة المسك Vd) واستخدام ترانزستورات ذات جهد عتبة عالٍ N5 و N6 .
- توفر ترانزستورات التمرير الإضافية P3 و P4 مرور تيار أعلى وبالتالي تخفض من تأخير الخلية في كل من عمليات القراءة والكتابة.
- بالنسبة لاستقرار الخلية فنلاحظ أنه بسبب استخدام جهد تغذية منخفض أثناء وضع المسك (Vd) فإن استقرار المسك HSNM قد انخفض بسبب العلاقة العكسية ما بين استقرار الخلية والتغذية.
- بالنسبة لاستقرار القراءة RSNM نلاحظ انخفاضها وذلك بسبب انخفاض مقاومة ترانزستورات الوصول الموصولة على التفرع مما يزيد من جهد العقدة "0" أثناء عملية القراءة.
- نلاحظ زيادة القدرة على الكتابة WSNM وذلك بسبب انخفاض مقاومة ترانزستورات الوصول الموصولة على التفرع وزيادة مقاومة مسار السحب بسبب الترانزستور N5 المضاف.

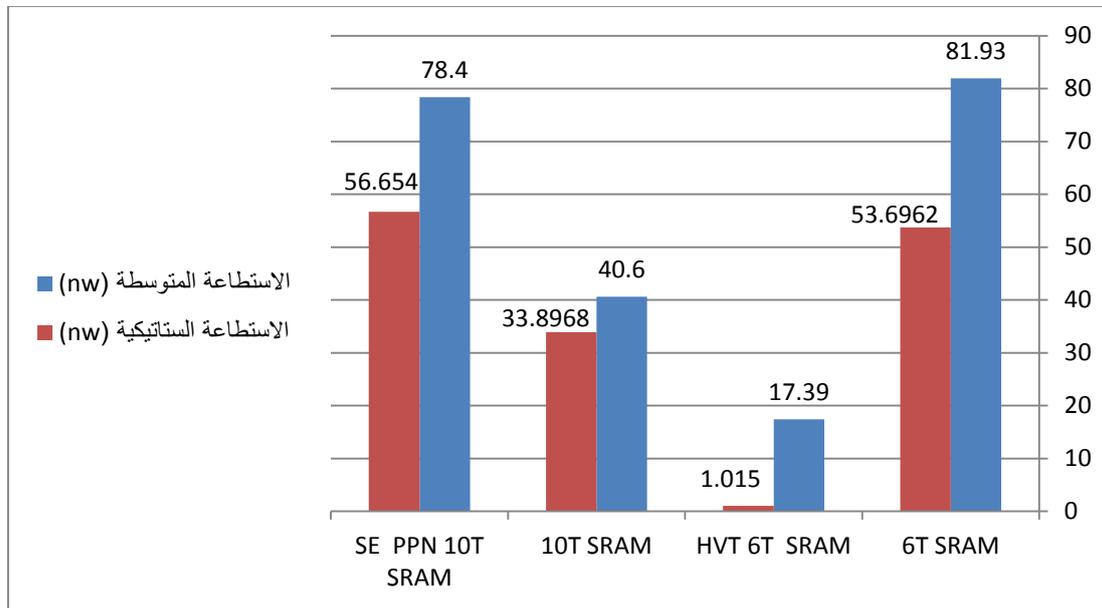
3. خلية (Single Ended) SE PPN 10T SRAM:

- نلاحظ ان الاستطاعة الساتاتيكية والكلية بقيت تقريباً ثابتة على الرغم من استخدام مسار قراءة إضافي الذي يسبب عادة زيادة تيار التسرب إلا أنه نتيجة استخدام ترانزستورين PMOS إضافيين في العواكس واستخدام ترانزستورات قراءة (NM4 و NM5) ذات جهد عتبة عالٍ وبالحجم الأدنى 120/100 nm فإن ذلك يخفض من قيمة تيار التسرب ويجعل استهلاك الاستطاعة مشابه تقريباً لخلية 6T SRAM التقليدية.
- نلاحظ انخفاض تأخير الكتابة وذلك بسبب زيادة حجم ترانزستورات وصول الكتابة لتصبح W/L=240/100 nm والتي تم اختيارها في باقي الخلايا 120/100 nm مما يسبب زيادة التيار المار، حيث تمكناً من زيادة حجم هذه الترانزستورات دون التأثير على استقرار القراءة بسبب فصل مسار القراءة عن الكتابة وهذا ما يميز هذه الخلية.
- نلاحظ زيادة تأخير القراءة بشكلٍ كبير جداً بسبب استخدام ترانزستورات في مسار القراءة بالحجم الأدنى 120/100 nm وذات جهد عتبة عالٍ مما يسبب انخفاض التيار بشكلٍ كبير ويزيد التأخير ويمكن حل هذه المشكلة بزيادة قيمة W/L.
- نلاحظ ان استقرار القراءة RSNM كبير جداً ومثابه لـ HSNM بسبب فصل عقدة التخزين عن مسار تيار القراءة.
- نلاحظ زيادة القدرة على الكتابة WSNM بسبب زيادة W/L لترانزستورات وصول الكتابة.

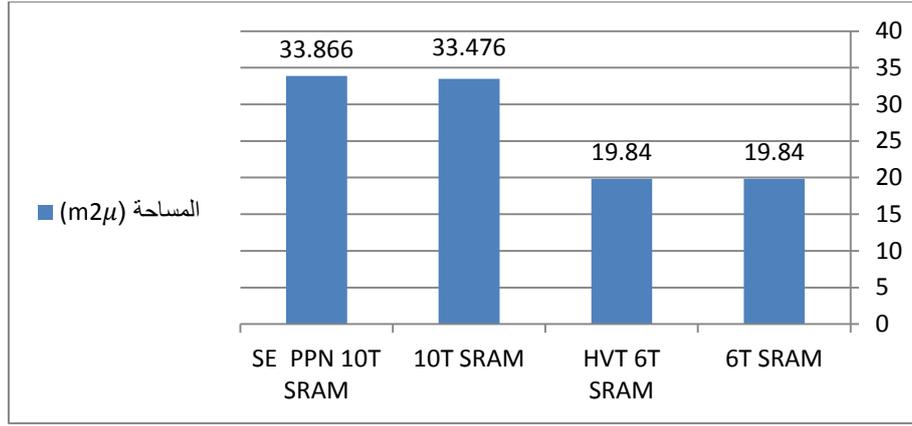
7. الاستنتاجات والتوصيات:

بالمقارنة ما بين الخلايا المدروسة في هذه المقالة نستنتج ما يلي:

- ان الخلية الأقل استهلاكاً للاستطاعة الكلية والستاتيكية هي خلية HVT 6T SRAM كما هو مبين في الشكل (19) حيث خفضت من استهلاك الاستطاعة الكلية والستاتيكية مقارنةً بخلية 6T SRAM التقليدية بمقدار % 78.77 و % 98.11 على التوالي، وكما أن مساحة هذه الخلية مطابقة لخلية 6T SRAM التقليدية وأقل من الخلايا الأخرى كما هو مبين في الشكل (20). لذلك تعتبر هذه الخلية ملائمة جداً للتطبيقات التي تتطلب استهلاك استطاعة منخفض مثل التطبيقات التي تعتمد على البطاريات كالأجهزة المحمولة وشبكات الحساسات اللاسلكية وانظمة اكتشاف الاجسام وتعقبها التي تستهلك عادة استطاعة عالية وكما يمكن استخدامها في انظمة SOC مثل تلك المستخدمة في انترنت الأشياء (Internet of Things (IOT)) التي من اهم تطبيقاتها الأجهزة القابلة للارتداء والتي تستخدم خلايا SRAM لها مساحة صغيرة واستهلاك منخفض للاستطاعة وهو ما يميز خلية HVT 6T SRAM.

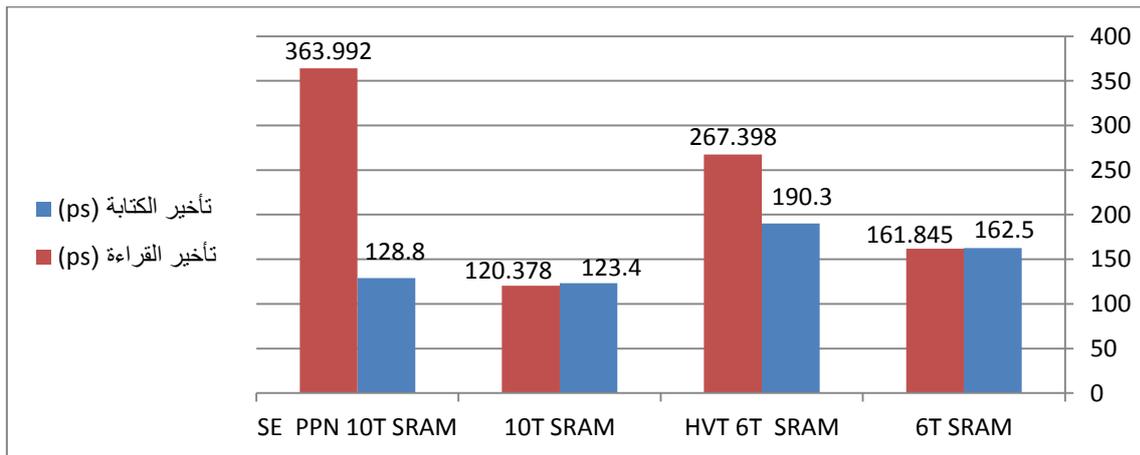


الشكل (19): مقارنة بين الخلايا المدروسة من حيث استهلاك الاستطاعة المتوسطة والاستطاعة الستاتيكية.



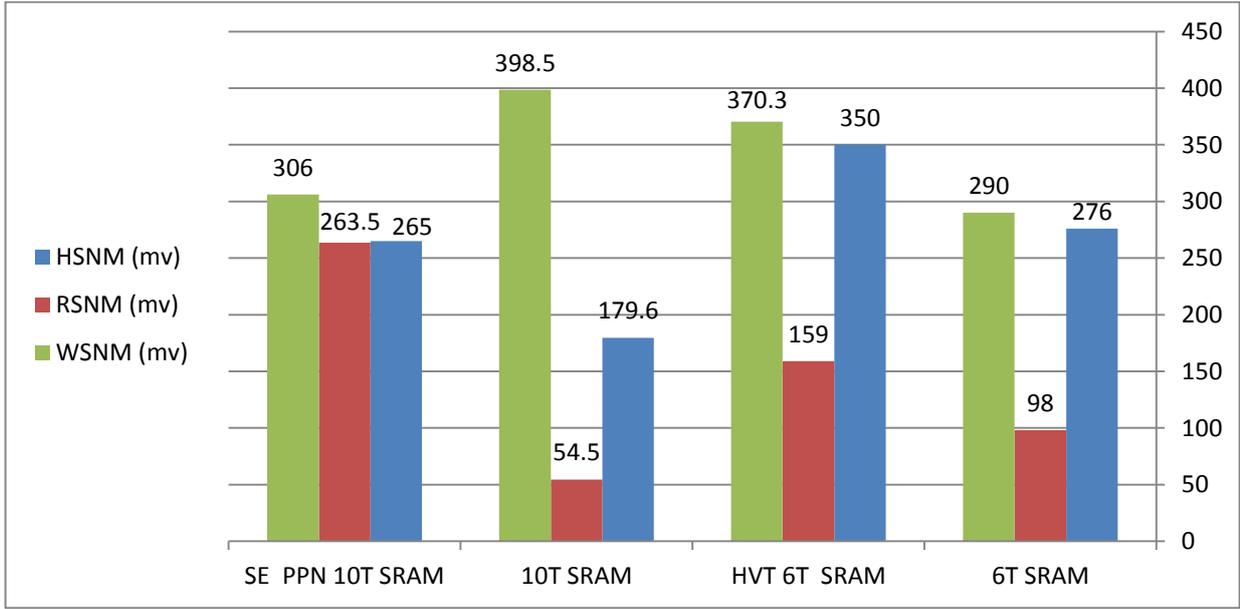
الشكل (20): مقارنة بين الخلايا المدروسة من حيث المساحة.

- نلاحظ أن الخلية الأسرع بين الخلايا (الأقل تأخير في كل من عمليات القراءة والكتابة) هي خلية 10T SRAM كما هو مبين في الشكل (21) حيث خفضت من تأخير القراءة والكتابة مقارنةً بخلية 6T SRAM التقليدية بمقدار % 25.62 و % 24.06 على التوالي، وبالتالي هي مناسبة للتطبيقات عالية السرعة مثل استخدامها في المعالجات الدقيقة السريعة كذاكرة مخبئية (cache memory) لوحدة المعالجة المركزية لحل مشكلة الفجوة ما بين سرعة المعالج وسرعة الذاكرة، ويمكن استخدام هذه الخلية في بعض تطبيقات الشبكات التي تتطلب سرعة عالية مثل ذاكرة جدول البحث (lookup-table) التي تقوم بتخزين عناوين ال IP وعناوين المنافذ وتوجه الحزم الى المنافذ، وذاكرة إدارة قائمة الانتظار (Queue Management) التي تقوم بالمسك والتحكم في تدفق البيانات والتي أيضاً تحتاج ازمناً وصول للذاكرة منخفضة.



الشكل (21): مقارنة بين الخلايا المدروسة من حيث تأخير القراءة والكتابة.

- أظهرت الخلية SE PPN 10T SRAM استقرار قراءة عالٍ جداً مقارنةً بباقي الخلايا كما هو مبين في الشكل (22) حيث حسنت من استقرار القراءة RSNM بمقدار % 168.88 مقارنةً بخلية 6T SRAM التقليدية وبالتالي تعتبر الخلايا أحادية النهاية من أهم الطرق لحل مشكلة استقرار القراءة ومناسبة للتطبيقات التي تتطلب استقراراً عالٍ مثل الاجهزة الطبية الحيوية والتطبيقات العسكرية والتطبيقات الفضائية، وخاصة أنه يمكن تحسين القدرة على الكتابة بزيادة W/L لترانزستورات وصول الكتابة دون التأثير على استقرار القراءة.



الشكل (22): مقارنة بين الخلايا المدروسة من حيث الاستقرار.

8. الخاتمة:

قمنا في هذه المقالة بدراسة ومحاكاة خلية 6T SRAM التقليدية بالإضافة لعدة خلايا SRAMs أخرى وهي خلية HVT 6T SRAM و خلية 10T SRAM و خلية SE PPN 10T SRAM باستخدام برنامج Cadence Virtuoso 6.1.5 عند تقنية 90 nm والمقارنة فيما بينها لتحديد التطبيق المناسب لكل نوع من الخلايا. لاحظنا من نتائج المحاكاة ان الخلية الأقل استهلاكاً للاستطاعة الكلية والستاتيكية هي خلية HVT 6T SRAM وبالتالي تعتبر هذه الخلية ملائمة جداً للتطبيقات التي تتطلب استهلاك استطاعة منخفض، ولاحظنا أن الخلية الأسرع بين الخلايا المدروسة هي خلية 10T SRAM وبالتالي هي مناسبة للتطبيقات عالية السرعة، وقد كانت الخلية SE PPN 10T SRAM هي الخلية الأكثر استقراراً بعملية القراءة RSNM وبالتالي مناسبة للتطبيقات التي تتطلب استقراراً عالٍ وخاصة مع إمكانية تحسين القدرة على الكتابة بزيادة W/L لترانزستورات وصول الكتابة دون التأثير على استقرار القراءة.

9. المراجع:

1. Mehrabi, Kolsoom, Behzad Ebrahimi, and Ali Afzali-Kusha. "A robust and low power 7T SRAM cell design." 2015 18th CSI International Symposium on Computer Architecture and Digital Systems (CADSD). IEEE, 2015.
2. Kumar, Hemant, and Shikha Saun. "Power gated technique to improve design metrics of 6T SRAM memory cell for low power applications." J. Microelectron. ICTACT 5.3 (2019).
3. Krishna, R., and Punithavathi Duraiswamy. "A Technique of Designing Low Leakage SRAM in Deep Sub-micron Technology." 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT). IEEE, 2020.
4. Sachdeva, Ashish, and V. K. Tomar. "Statistical Stability Characterization of Schmitt Trigger Based 10-T SRAM Cell Design." 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). IEEE, 2020.
5. Sachdeva, Ashish, and V. K. Tomar. "Design of a stable low power 11-T static random access memory cell." Journal of circuits, Systems and Computers 29.13 : 2050206, (2020).
6. Prasad, Govind, Bipin chandra Mandi, and Megha Jain. "Design and Analysis of Area and Power Optimised SRAM Cell for High-speed Processor." 2020 First International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T). IEEE, 2020.
7. Sharifkhani, Mohammad. "Design and analysis of low-power SRAMs." (2006).
8. Arandilla, Christiensen DC, Anastacia B. Alvarez, and Christian Raymund K. Roque. "Static noise margin of 6T SRAM cell in 90-nm CMOS." 2011 Uksim 13th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE, 2011.
9. Tanvir, Tanvir. Design and Stability Analysis of a High-Temperature SRAM. Diss. University of Akron, 2012.

10. Chauhan, Kinshuk.. Design and Analysis of Sram Cell for Reducing Leakage in Submicron Technologies Using Cadence Tool. IOSR JOURNAL ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING. 10. 52–57, (2015).
11. Jayakumar, Nikhil, Suganth Paul, and Rajesh Garg. Minimizing and exploiting leakage in VLSI design. Springer Science & Business Media, 2009.
12. Aastha Singh, Preet Jain, Tarun Kumar Gupta, 2014, High Performance & Improved 8T SRAM Cell, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) Volume 03, Issue 09 (September 2014),
13. Prasad, Govind, and Alekhya Anand. "Statistical analysis of low–power SRAM cell structure." Analog Integrated Circuits and Signal Processing 82.1: 349–358, (2015).
14. Parihar, Priyanka, et al. "6T SRAM Cell Design and Investigation for Ultra–Low–Power Application." Nanoelectronics, Circuits and Communication Systems. Springer, Singapore, 527–534, 2019.
15. Prasad, Govind, et al. "Process Variation Analysis of 10T SRAM Cell for Low Power, High Speed Cache Memory for IoT Applications." 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). IEEE, 2020.
16. Sanvale, Prachi, et al. "An improved read–assist energy efficient single ended PPN based 10T SRAM cell for wireless sensor network." Microelectronics Journal 92: 104611, (2019).
17. Nayak, Debasish, et al. "Design of low–leakage and high writable proposed SRAM cell structure." 2014 International Conference on Electronics and Communication Systems (ICECS). IEEE, 2014.

دراسة ومقارنة خوارزميات تحسين وثوقية طريقة MVDR لتشكيل حزمة الاشعاع

د. م. ايلي خليل

ملخص

تعتبر تقنية التباين الأدنى للاستجابة غير المشوهة minimum variance distortionless response (MVDR) beamformer من أكثر الطرق المستخدمة من أجل تشكيل حزمة الاشعاع، وتتمتع هذه الطريقة بأداء جيد في كبح اشارات التداخل اذا كان شعاع توجيه المصفوفة Array Steering Vector (ASV) المطابق للاشارة المحددة معروفا بدقة ، وهذا الأمر غير مضمون عملياً بسبب عيوب المصفوفة المتنوعة .

وقد تم استعمال عدة خوارزميات من أجل حل هذه المشكلة منها طريقة التمديد القطري Diagonal Loading (DL) ، و طريقة الحالة الأسوء، وطريقة التحميل القطري المتغير، وطريقة تخمين شعاع التوجيه .

سوف ندرس في هذا البحث هذه الطرائق وسنستخدم برنامج الماتلاب من أجل محاكاتها ومقارنة أدائها ، وتوضيح سلبيات وإيجابيات كل منها.

Study and compare Improvement The Algorithms of improvement the MVDR Beamforming

Dr. Eng. Elie Khalil

ABSTRACT

The minimum variance distortionless response (MVDR) beamformer is one of the most common method, minimizes the array output power while constraining the gain to be one at the direction of interest, It has high performance in interference suppression if the array steering vector (ASV) corresponding to the target signal is known accurately, that isn't guaranteed practically due to the existence of array imperfections .

therefore the performance of MVDR degrades significantly because MVDR is too sensitive to the steering vector mismatches. To compact with this drawback many approaches have been proposed , such Diagonal Loading Method, Worst –case beamforming, Variable diagonal Loading Method, and steering Vector estimation method.

In this paper, we will study this methods and use the MATLAB program to model and compare its performance.

1- مقدمة:

تعرف عملية تشكيل حزمة الاشعاع بأنها عملية توجيه أو استقبال الاشارة المرغوبة (Signal of Interest) من اتجاه محدد، وكبح التداخلات الأخرى من باقي الاتجاهات ويتم ذلك عبر وزن الاشارات المرسله أو المستقبله عبر عدد من الهوائيات بأوزان محددة، وبما أن نموذج اشعاع المصفوفة يتألف من حزمة رئيسية باتجاه محدد، وعدد من الحزم الجانبية، كما يحوي عدد من الأصفار، فبالتالي تعني عملية تشكيل الحزمة توجيه الحزمة الرئيسية باتجاه الاشارة المرغوبة، ومحاولة وضع أصفار نموذج اشعاع المصفوفة في جهات ورود اشارات التداخل، أي يمكن وصف تشكيل حزمة الاشعاع بأنها عملية ترشيح مكانية لعدد من الحساسات المتباعدة، ونطلق على التحسين الذي نصل اليه بالمقارنة مع الحالة الغير موجهة بريح المصفوفة أو ربح تشكيل الحزمة.

وقد تم استخدام هذه التقنية على نطاق واسع في الاتصالات اللاسلكية والميكروفون وأنظمة الرادار، والسونار، والتصوير الطبي، كحل جذاب للكشف عن الإشارة وتقديرها بشكل جيد في بيئات الخفوت القاسية [1].

أصبح مؤخراً هنالك اهتمام متزايد بهذه التقنية نظراً للطلب الكبير على تطبيقات الاتصالات اللاسلكية، والنمو السريع في عدد المستخدمين لهذه الشبكات اللاسلكية، واحتياجهم الملحة لمعدلات عالية لنقل البيانات.

قُدمت عدة تقنيات من أجل تحقيق تشكيل حزمة الاشعاع المتكيف adaptive beamforming، حيث صممت هذه التقنيات لتأمين الحل الأمثل بالاعتماد على معايير ومحددات معينة مثل الحد الأدنى للتباين minimum variance ، الحد الأقصى للأنتروبيا maximum entropy ، و الحد الأقصى لنسبة الاشارة الى الضجيج مع التداخل maximum signal-to-interference-plus noise ratio (SINR) ، وتعتبر تقنية

التباين الأدنى للاستجابة غير المشوهة minimum variance distortionless response (MVDR) beamformer من أكثر الطرق انتشاراً من أجل تشكيل حزمة الإشعاع، حيث تعتمد على تصغير طاقة خرج المصفوفة الى أكبر قدر ممكن مع الحفاظ على الريح واحدياً في الاتجاه المطلوب [2].

تعد طريقة MVDR حساسة للغاية لعدم التطابق في شعاع توجيه المصفوفة array steering vector (ASV)، وبالتالي فإن أداءها سينخفض بشكل ملحوظ عند عدم معرفة ASV الخاص بالإشارة بدقة، وينجم ذلك عن عيوب المصفوفة المتنوعة مثل الاقتران المشترك لهوائيات المصفوفة mutual coupling effect of the antenna array، و التشنت المحلي local scattering، وعدم تطابق حيز الفراغ near-far spatial signature mismatch، وأخطاء توجيه الشعاع steer direction errors، وعيوب معايرة المصفوفات imperfectly calibrated arrays [3].

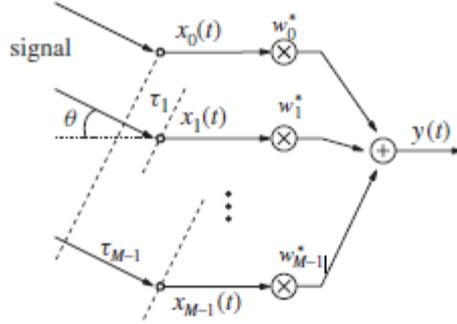
قدمت عدة طرق من أجل ايجاد حل لهذه المشكلة، مثل تقنية التحميل القطري (DL) والتي تعد أحد الأساليب المخصصة الأكثر شيوعاً لتحسين مائة تقنية MVDR وتجنب إلغاء الإشارة الذاتية، الى جانب طريقة القيمة الذاتية لمصفوفة ترابط التداخل مع الضجيج، وتقنية الحالة الأسوأ Worst-Case وتقنية التحميل القطري المتغير.

2- هدف البحث:

يهدف البحث الى دراسة الطرائق المستخدمة لزيادة وثوقية طريقة MVDR لتشكيل حزمة الإشعاع تجاه اخطاء التوجيه وتحسين أداءها، ومقارنة هذه الطرائق عبر محاكاتها باستخدام برنامج الماتلاب وؤسم النموذج الإشعاعي ومخطط SINR مقابل SNR وتوضيح نقاط القوة والضعف لكل خوارزمية .

3- طريقة MVDR:

نفترض لدينا مصفوفة هوائيات خطية مؤلفة من M حساس وبوجود اشارة ضيقة الحزمة narrowband signal قادمة من حقل بعيد.



الشكل (2) البنية العامة لتشكيل حزمة الاشعاع الضيقة الحزمة

يمثل شعاع خرج المصفوفة من أجل K snapshot بالمعادلة التالية:

$$x(k) = a(\theta)s(k) + v(k) \quad (1)$$

حيث: θ هي زاوية الورد DOA

$a(\theta) \in C^{M \times 1}$ هي شعاع التوجيه المصفوفة ويعطى بالعلاقة [4]:

$$a(\theta) = [1 \quad e^{jKd \sin(\theta)} \quad e^{2jKd \sin(\theta)} \quad \dots \quad e^{(m-1)jKd \sin(\theta)}] \quad (2)$$

و $v(k)$ هو الضجيج مع اشارات التداخل.

يكتب تابع تشكيل الحزمة الاشعاعية الضيقة The narrowband beamforming operation بالشكل التالي:

$$y(k) = w^H x(k) \quad (3)$$

حيث $w \in C^{M*1}$ تشير الى المعاملات العقدية للمرشح.

يصغر MVDR Beamformer طاقة خرج المصفوفة مع الحفاظ على الربح مساوي للواحد في اتجاه الإشارة المطلوب ، وبالتالي عبارة تكبير ال SINR لخرج المصفوفة الى اعظم قدر ممكن يمكن التعبير عنها عبر مشكلة الأمثلية المحدبة التالية[4]:

$$\begin{aligned} \min_w & w^H R_{i+n} w \\ \text{s.t.} & w^H a(\theta) = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

تكون الفائدة العملية للمصفوفات التكيفية في العديد من التطبيقات محدودة بمعدل التبديل حيث يجب أن تتغير الأوزان في هذه الأنظمة بمعدل يساوي أو أكبر من معدل تغيير مجال الضجيج الخارجي (على سبيل المثال المسح في الرادار) .

يغد معدل التقارب هذا المشكلة الأكثر حدة في النظم التكيفية مع عدد كبير من درجات التكيف وفي المواقف التي تكون فيها القيم الذاتية للمصفوفة تتباين الضجيج مختلفة على نطاق واسع .

لذا تم السعي لتوفير تبديل سريع لمصفوفة الوزن وذلك بالاعتماد على مصفوفة التباين البسيطة

$$\hat{R} \text{ Sample covariance Matrix [5] .}$$

حيث تم بالاعتماد على طريقة Maximum Likelihood لتقدير المصفوفة $R_{i+n}(k)$

بمصفوفة التباين البسيطة والتي تحسب وفق العلاقة [6]:

$$\hat{R}_{i+n} = 1/K \sum_{k=1}^K v(k)v^H(k) \quad (5)$$

تقدم طريقة MVDR أداءً عالياً إذا كان شعاع توجيه المصفوفة ASV للإشارة المطلوبة معروف بدقة.

وهذا الأمر غير مضمون في الحياة العملية حيث أن أخطاء ASV قد تحدث نتيجة عيوب المصفوفة المتعددة وينجم ذلك عن عيوب المصفوفة المتنوعة مثل الاقتران المشترك لهوائيات المصفوفة mutual coupling effect of the antenna array، و التشتت المحلي local scattering، و الاضطرابات في مواقع الحساسات sensor position perturbation وعدم التطابق الفراغي بين المجال القريب والبعيد near-far، وأخطاء توجيه الشعاع spatial signature mismatch، و عيوب معايرة المصفوفات imperfectly calibrated arrays مما يسبب مشكلة خطيرة تتمثل بإلغاء الإشارة المطلوبة [7,8].

4- خوارزميات زيادة وثوقية طريقة MVDR :

ينخفض أداء طريقة MVDR بشكل ملحوظ عند عدم معرفة ASV الخاص بالإشارة بدقة، كما أن استعمال مصفوفة التباين البسيطة Sample covariance Matrix في حساب أوزان طريقة MVDR ستجعل أداء هذه الطريقة ينخفض بشكل واضح، وخاصة في حال وجود إشارة بيانات في اشارات التدريب Snapshot Training، وهو الحال في معظم تطبيقات المصفوفات المتكيفة كالسونار و التصوير الطبي وانظمة الميكروفونات ومعالجة الصوت والاتصالات الخليوية، مما سيجعل من هذه الطريقة غير موثوقة الاستعمال .

قُدّمت عدة طرائق من أجل ايجاد حل لهذه المشكلة، وتعد تقنية التحميل القطري (DL) إحدى الأساليب الأكثر شيوعاً لتحسين متانة تقنية MVDR تجاه أخطاء التوجيه وتجنب إلغاء الإشارة الذاتية [9]، ولكن طريقة اختيار عامل التحميل القطري غير واضحة عملياً، والفشل الرئيسي في نهج DL التقليدي هو أنه لا توجد طريقة سهلة وموثوقة لاختيار

عامل DL ، ولتجنب العيوب في اعتماد معامل تحميل قطري ثابت تم ايجاد طريقة لإضافة معامل التحميل المتغير [10].

فيما بعد طورت طريقة التحميل القطري [11] حيث اعتبر شعاع التوجيه الحقيقي موجود داخل مجموعة عدم يقين كروية .

ثم لاحقاً تم اقتراح طريقة الأمثلية وفق الحالة الأسوأ worst-case-based adaptive beamforming ، لتحسين متانة طريقة MVDR ضد أخطاء التوجيه المحتملة [12-13] .

الى جانب الطرائق السابقة اقترح في طريقة لتخمين شعاع التوجيه بدقة بهدف تصحيح الخطأ في شعاع التوجيه [14].

A. طريقة التحميل القطري:

تعد طريقة التحميل القطري (DL) Diagonal loading احدى اهم الطرق لزيادة الوثوقنة لطريقة MVDR ولتجنب الحذف الذاتي للاشارة

حيث أن الفكرة المفتاحية لضبط الحل لا MVDR هو بإضافة مصطلح جزائي من الدرجة الثانية $w\lambda w^H$ الى تابع الملاحظة حيث λ هي عامل DL المقترح .

بالتالي يعبر عن مشكلة التشكيل الأمثل لطريقة DL يعبر عنها بالشكل [3]:

$$\begin{aligned} \min w^H (R + \lambda I) w \\ \text{s.t. } w^H a(\theta) = 1 \end{aligned} \quad (6)$$

حيث I هي $m \times m$ مصفوفة واحدة

λ عامل DL المقترح يجب أن يختار من قبل المستقبل وبشكل ملاحظ فان هذا الاختيار سيأخذ الاهتمام الأكبر لضبط استجابة المرشح.

السؤال الأساسي في هذه الطريقة هو حول اختيار البارامتر، حيث تحقق هذه الطريقة نتيجة جيدة في حال اختيار معامل التخميل بشكل مناسب، ولكن عملية الاختيار غير واضحة في الواقع، وقد قدمت الكثير من الدراسات من أجل الاختيار الأمثل للبارامتر، حيث اقترح Vincent and Besson في [11] قيمة طبيعية تقريبية ل λ معتمدة على التحليل الذاتي eigendecomposition لمصفوفة التباين البسيطة، و عملياً تختار معادلة ل $10\sigma^2$ حيث σ^2 هي تباين الضجيج في هوائي مستقل،

B. طريقة استخدام تخمين شعاع التوجيه - MVDR - SV-estimation:

تحتاج طريقة MVDR إلى معرفة شعاع التوجيه استناداً إلى بعض المعلومات السابقة، وتقدير مصفوفة تباين البيانات، وعندما يكون هناك عدم تطابق بين شعاع التوجيه الفعلي والمقدر، فإن أداء MVDR سيندهور، وهذا حفز باتجاه تطوير تقنية جديدة لتقدير شعاع التوجيه عبر أقل قدر ممكن من المعلومات المسبقة. يتم تخمين شعاع التوجيه من خلال تعظيم قدرة خرج مشكل حزمة الإشعاع تحت شرط أن لا يتقارب التقدير إلى أي من أشعة توجيه التداخل ومجموعاتها الخطية [14]، والمعلومات السابقة الوحيدة المستخدمة هي المعرفة غير الدقيقة للقطاع الزاوي الخاص بالإشارة المرغوبة وهندسة مصفوفة الهوائي، والتي يمكننا الحصول عليها باستخدام طرق تحديد الاتجاه منخفضة الدقة [15]، في حين لا يلزم معرفة شعاع التوجيه المفترض.

بفرض لدينا مصفوفة هوائيات خطية مكونة من M هوائي وبحال وجود خطأ في شعاع التوجيه δ فعندها تعطى معاملات الوزن بطريقة SMI-MVDR بدلالة δ على الشكل:

$$w = \frac{R_y^{-1}(P + \delta)}{(P + \delta)(P + \delta)^H R_y^{-1}} \quad (7)$$

حيث P هو شعاع التوجيه المقدر، عندها تعطى استطاعة خرج ال-Beamformer [14]:

$$P = \frac{1}{(P + \delta)^H R^{-1}(P + \delta)} \quad (8)$$

بالتالي لتكبير استطاعة الخرج لابد من تصغير مقام المعادلة (9-2) ، لذا اقترح [16] تخمين شعاع التوجيه عبر مسألة الأمثلية التالية:

$$\begin{aligned} & \min (P + \delta)^H R^{-1}(P + \delta) \\ & s.t \quad \|\hat{a}\|^2 = M \end{aligned} \quad (9)$$

القيد $\|\hat{a}\|^2 = M$ وضع لإجبار شعاع التوجيه أن يكون له نفس المطال كشعاع التوجيه المفترض.

تم في [14] اضافة قيد جديد لتجنب تقارب شعاع التوجيه المخمن إلى أي من أشعة توجيه اشارات التداخل ومكوناتها الخطية.

فبفرض أن الاشارة المرغوبة متواجدة في قطاع زاوي معروف $\Theta = [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ ، عندها يمكن تشكيل مسألة أمثلية لتخمين شعاع التوجيه على النحو التالي:

$$\begin{aligned} & \min \hat{a}^H R^{-1} \hat{a} \\ & s.t \quad \|\hat{a}\|^2 = M \\ & \quad \hat{a}^H C \hat{a} \leq \Delta_0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$C = \int_{\Theta} a(\theta)a(\theta)^H \quad \text{حيث}$$

$$\Delta_0 = \max a(\theta)Ca(\theta)^H \quad \text{و}$$

إن المشكلة غير محدبة Non-convex وبالتالي سيكون من الصعب حلها لذا تم تحويلها الى مشكلة محدبة عبر استخدام Semidefinite programming relaxation (SDP) ، حيث بفرض $\mu = \widehat{a}\widehat{a}^H$ يمكن أن نكتب:

$$\begin{aligned} \min \quad & Tr(\mu R^{-1}) \\ & Tr(\mu) = M \\ \text{s.t} \quad & Tr(\mu C) \leq \Delta_0 \\ & (\mu) > 0 \end{aligned} \quad (11)$$

القيد $(\mu) > 0$ وضع لضمان أن تكون المصفوفة μ مصفوفة positive semidefinite.

C. طريقة التحميل القطري المتغير:

اقترحت مؤخراً عدة طريق لتحميل قطري متغير من أجل زيادة الوثوقية لتقنيات تشكيل حزمة الاشعاع المتكيفة (VLSMI) مما يمنع معاملات الوزن لل Beamformer من التقاطع مع مركبات الضجيج [17,18].

اقترح Jing Gu في البحث [10] طريقة لتحميل متغير من أجل زيادة الوثوقية لتقنيات تشكيل حزمة الاشعاع المتكيفة (VLSMI) مما يمنع معاملات الوزن لل Beamformer من التقاطع مع مركبات الضجيج .

حيث انطلاقاً من تحليل القيمة الفردية لمصفوفة التباين R ، يمكن أن نكتب R كمايلي:

$$R = UAU^*$$

حيث U تحوي الأشعة الذاتية للمصفوفة R و A هي مصفوفة قطرية تضم القيم الذاتية

$$U_1 \geq U_2 \geq \dots \geq U_m : R$$

$$z = U\alpha(\theta) : \text{ولنأخذ}$$

عندها يمكن أن نعرف تابع الترتيب التنازلي λ :

$$g(\lambda) = \sum_{m=1}^M \frac{|z_m|^2}{(1 + \lambda v_m)^2} = \varepsilon \quad (12)$$

بحل هذه المعادلة عبر طريقة Newton يمكن إيجاد القيمة المثلى λ

إن قيمة λ مرتبطة بقيمة مصفوفة التباين R أو مصفوفة التباين البسيطة \hat{R} .

بالاعتماد على ما سبق اقترحت طريقة تحميل متغيرة منخفضة التعقيد من أجل زيادة التحسين في

الأداء من دون تعقيد مبالغ فيه عبر إضافة معامل تحميل $\lambda \hat{R}^{-1}$ [17] ، حيث إن إضافة \hat{R}

لمعامل التحميل القطري سيؤمن حلاً وسطاً بين الوثوقية و المتانة من جهة وبين التكيفية من

جهة أخرى، فيصبح لدينا تابع الامثلية على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} \min w^H R_i + n w + w^H \lambda R^{-1} w \\ \text{s.t } w^H a(\theta) = 1 \end{aligned} \quad (13)$$

D. طريقة MVDR باستخدام الحالة الأسوأ worst-case-MVDR :

إن شعاع التوجيه الفعلي غير معروف عملياً، بسبب عدم التطابق Mismatch في زاوية ورود الاشارة SOI وبالتالي، إذا افترضنا عدم التطابق غير المعروف بين شعاع التوجيه الفعلي $a(\theta)$ وشعاع التوجيه المخمن $\tilde{a}(\theta)$:

$$\delta = \tilde{a}(\theta) - a(\theta) \quad (14)$$

يتمثل جوهر هذه الطريقة في إضافة متانة لطريقة MVDR القياسية لتشكيل الحزمة باستخدام قيد استجابة غير مشوه يجب تلبيته مع جميع أشعة توجيه الإشارة غير المتطابقة في مجموعة عدم اليقين الكروية المحددة.

يمكن عندئذٍ التعبير عن مشكلة التحسين لهذه الحالة على النحو التالي:

$$\begin{aligned} \min w^H R_{i+n} w \\ \text{s.t. } \left| w^H \tilde{a}(\theta) \right| \geq 1 \end{aligned} \quad (15)$$

بتعويض المعادلة (14) في (15) يصبح لدينا:

$$\begin{aligned} \min w^H R_{i+n} w \\ \text{s.t. } \left| w^H (\delta + a(\theta)) \right| \geq 1 \end{aligned} \quad (16)$$

من الصعب حل هذه المسألة نظرًا لأن القيد هو غير محدب nonconvex ، لذا يجب أن نتحول إلى قيد محدب تحت افتراض أن معيار الخطأ في ناقل التوجيه محدد من طرف ثابت معروف هو ε [12].

$$\|\delta\| \leq \varepsilon \quad (17)$$

بالتالي يكتب القيد في المعادلة (16) على الشكل التالي:

$$|w^H a(\theta) + w^H \delta| \geq 1 \quad (18)$$

باستخدام قاعدة عدم مساواة المثلث (Triangle inequality) و قاعدة عدم مساواة كونشي-شوارتز (Cauchy-Schwarz inequality) يمكن ان نكتب :

$$|w^H a(\theta) + w^H \delta| \geq |w^H a(\theta)| - |w^H \delta| \geq |w^H a(\theta)| - \|w\| \|\delta\|$$

بالتعويض في المعادلة (18) يصبح القيد على الشكل:

$$\begin{aligned} |w^H a(\theta)| - \|w\| \varepsilon &\geq 1 \\ |w^H a(\theta)| &\geq 1 + \|w\| \varepsilon \end{aligned} \quad (19)$$

لاتزال هذا القيد غير محدب بسبب القيمة المطلقة الموجودة في الجهة اليسارية من العلاقة (19) لذا سنجري دوران بالطور لـ $|w^H a(\theta)|$ بحيث تكون ذات قيمة حقيقة بالتالي تصبح مسألة الأمثلية على النحو التالي:

$$\begin{aligned} \min w^H R_y w \\ \text{s.t. } |w^H a(\theta)| &\geq 1 + \|w\| \varepsilon \\ \text{Im}(w^H a(\theta)) &= 0 \end{aligned} \quad (20)$$

وهي مسألة أمثلية محدبة من النوع (SOCP) second-order cone program [19].

نحل هذه المسألة المحدبة رياضياً بالاعتماد على طريقة Lagrange multiplier حيث نحصل على تابع Lagrange كما يلي:

$$H(w, \lambda) = w^H R_y w + \lambda (|w^H a(\theta)| - \|w\| \varepsilon - 1) \quad (21)$$

نشقق العلاقة (21) وجعلها مساوية للصفر ليصبح لدينا:

$$R_y w + \lambda \varepsilon \frac{w}{\|w\|} = \lambda a(\theta)$$

وبالتالي تكون قيمة معاملات الوزن :

$$w = (R_y + \frac{\varepsilon}{\|w\|} I)^{-1} a(\theta) \quad (22)$$

5- النتائج:

سنقوم بإجراء محاكاة باستخدام برنامج الماتلاب للطرائق السابقة و مقارنة أداءها والتحسين الذي تحققه على طريقة MVDR ومعالجتها لأخطاء توجيه الشعاع.

حيث اعتمدنا في دراستنا على مصفوفة خطية ULA مؤلفة من 10 هوائي بتباعد بين الهوائيات يساوي الى نصف طول الموجة وافترضنا وجود اشارة مرغوبة (SOI) واحدة عند زاوية الورد $\theta = 80^\circ$ ، و اشارتي تداخل عند الزوايا $105^\circ, 65^\circ = \theta$ ، وتمت الدراسة من أجل ضجيج غاوسي بمتوسط مساوي للصفر وتفاوت واحد، وافترضنا شدة الاشارة الى الضجيج (SNR) Single to- noise ratio تساوي 10 dB، وشدة اشارة التداخل الى الضجيج (INRs) interference-to-noise ratios تساوي الى 30 dB،

و حددنا قيمة عامل التحميل القطري بـ $\lambda = 10$ واعتمدنا عدد الـ Snapshot يساوي 30.

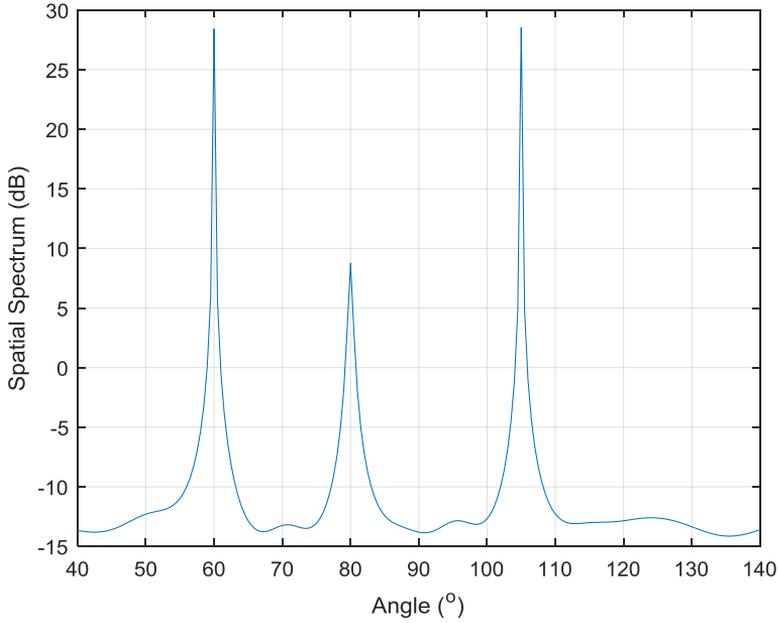
سنستعمل أداة CVX في الـ Matlab المستخدمة لحل مسائل الأمثلية المحدبة [20].

سنقوم برسم النموذج الإشعاعي للخوارزميات المدروسة

يبين الشكل (2) المخطط الطيفي على مدخل المصفوفة حيث يبين وجود الإشارة المطلوبة عند الزاوية $\theta = 80^\circ$ بشدة 10dB ووجود اشارتي تداخل عند الزاويتين $\theta = 65^\circ, 105^\circ$ بشدة 30dB.

ويبين الشكل (3) النموذج الإشعاعي للخوارزميات المدروسة وهي طريقة التحميل القطري و Diagonal loading (DL) وطريقة الحالة الأسوأ Worst-case-MVDR وطريقة تخمين شعاع التوجيه SV-Estimation-MVDR وطريقة التحميل القطري المتغير VLSM وذلك في الحالة التي لا يوجد فيها خطأ في توجيه الإشعاع.

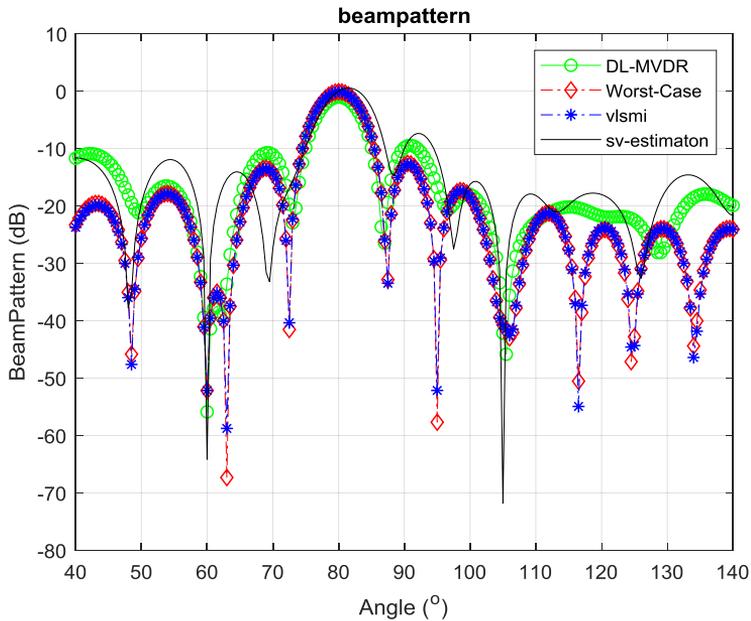
بينما يبين الشكل (4) النموذج الإشعاعي للخوارزميات المدروسة في حالة وجود خطأ في شعاع التوجيه مقداره 2° .



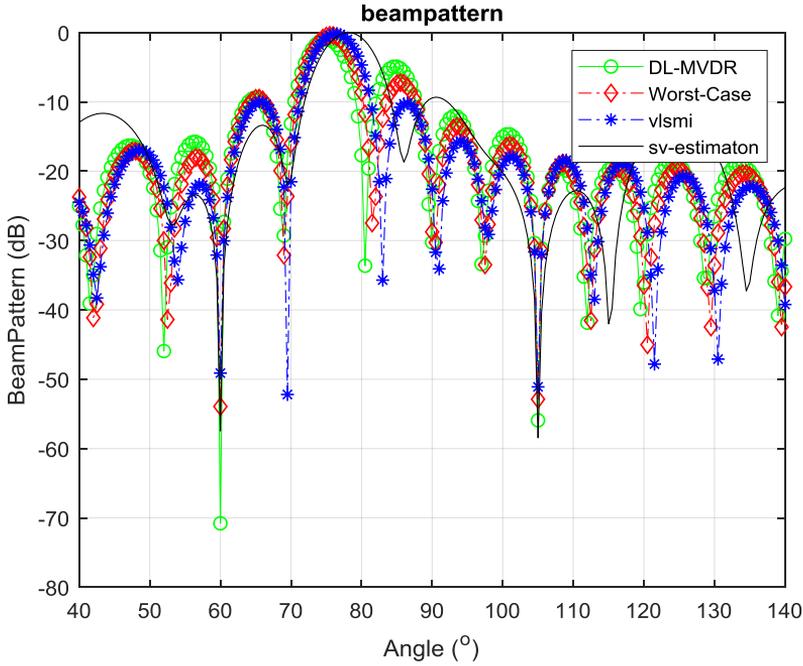
الشكل (2) المخطط الطيفي على مدخل المصفوفة

ونستنتج من الشكل (3) أن طريقة Worst-case-MVDR و طريقة التحميل القطري المتغير VLSM تتميز بأقل حزم جانبية بينما تعاني طريقة SV-Estimation-MVDR من حزم جانبية أعلى من غيرها وهي إحدى العيوب الخاصة بطريقة MVDR.

ونستنتج من الشكل (4) أن طريقة SV-Estimation-MVDR تعيد تخمين شعاع التوجيه وتصحيح الخطأ وتوجيه الإشارة بدقة غير أنها تتميز بحزم جانبية أعلى من باقي الخوارزميات المدروسة، كما نلاحظ أن طريقة التحميل القطري سيتأثر أداءها مع وجود خطأ في شعاع التوجيه حيث يتضح من الشكل أن لها صفر قريب من الإشارة المرغوبة عند الزاوية 80 بينما تتمكن طريقة Worst-case-MVDR و طريقة التحميل القطري المتغير VLSM من تلافي الحذف بصورة أفضل حيث إن صفرها أبعد عن الإشارة المطلوبة عند الزاوية 80.

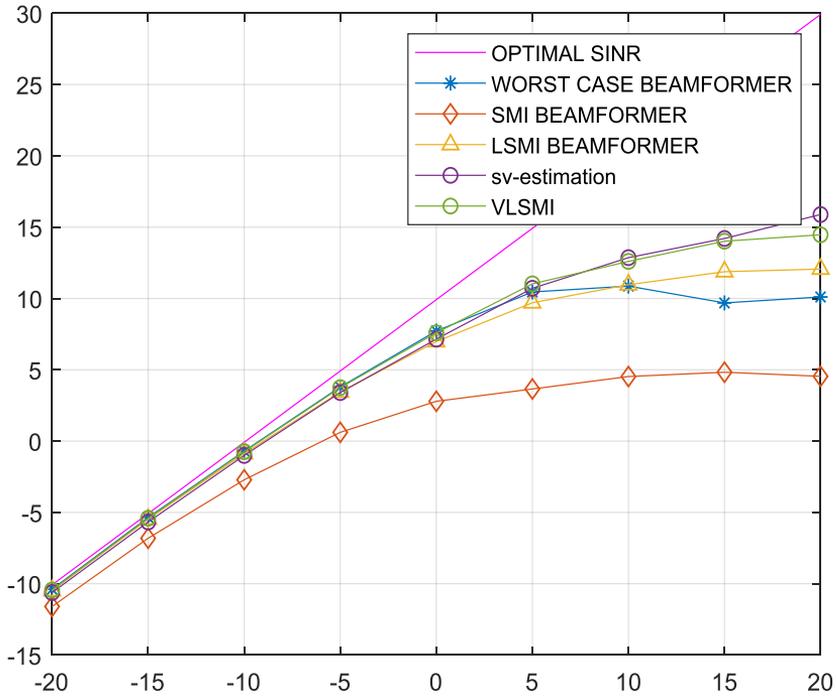


الشكل (3) النموذج الإشعاعي للخوارزميات المدروسة في حالة No mismatch



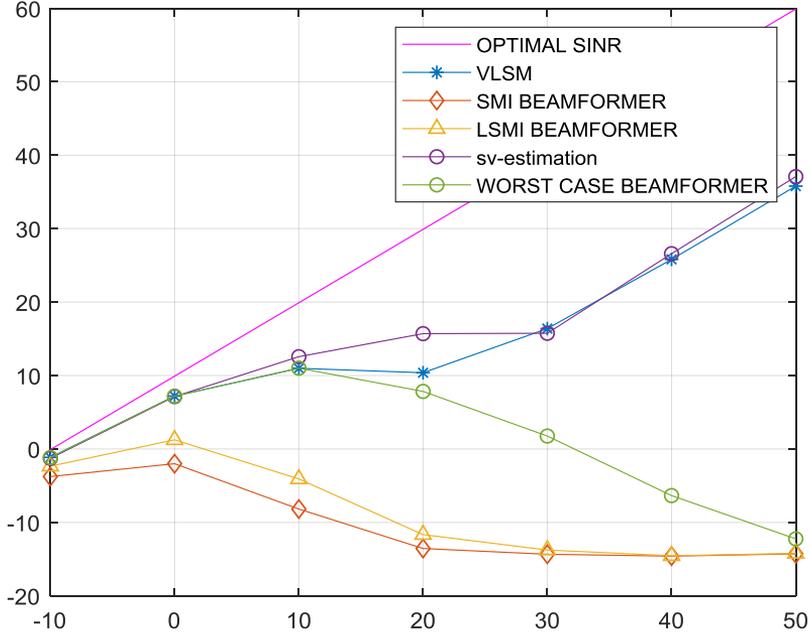
الشكل (4) النموذج الإشعاعي للخوارزميات المدروسة في حالة $2^\circ = \text{mismatch}$

يبين الشكل (5) خرج ال SINR للخوارزميات المدروسة ولطريقة SMI-MVDR مقابل ال SNR للإشارة المرغوبة في حالة عدم وجود خطأ في شعاع التوجيه ويتضح من هذا المخطط أن طريقة SV-Estimation -MVDR و طريقة التحميل القطري المتغير تقدمان الأداء الأفضل وتتفوق طريقة SV-Estimation -MVDR من أجل قيم ال SNR العالية عند 20dB ، بينما تقدم طريقة التحميل القطري أداء جيد وأفضل من بخوارزمية Worst-case-MVDR .



الشكل (5) Output SINR مقابل ال SNR في حالة No mismatch

ويبين الشكل (6) خرج ال SINR للخوارزميات المدروسة مقابل ال SNR للاشارة المرغوبة في حالة وجود خطأ في شعاع التوجيه 2° ويتبين تراجع أداء طريقة SMI-MVDR و طريقة التحميل القطري بشكل كبير بينما تبقى طريقة طريقة SV-Estimation-MVDR و طريقة التحميل القطري المتغير تقدمان الأداء الأفضل مع تفوق بسيط لطريقة SV-Estimation-MVDR



الشكل (6) Output SINR مقابل الـ SNR في حالة عدم وجود خطأ mismatch = 2°

بالتالي تبين معنا أن طريقة Steering Vector Estimation تقدم أفضل قيم SINR كما أنها تتلافى الحذف الذاتي للإشارة حيث أنها تعيد تخمين شعاع التوجيه للإشارة المطلوبة غير أنها تعاني من مشكلة الحزم الجانبية العالية

بينما تقدم طريقة التحميل القطري المتغير أداءً قريباً من طريقة Steering Vector Estimation وتتمتع بمرونة في تلافى الحذف الذاتي للإشارة وتقدم أفضل أداء من ناحية الحزم الجانبية، أما طريقة Worst-case فنقدم أداءً متوسطاً في تلافى حذف الإشارة المطلوبة وفي قيم الـ SINR بينما تقدم طريقة التحميل القطري أقل قيم SINR غير أنها تعد من أبسط الخوارزميات وأقلها كلفة ويمكن تحسين أداؤها عبر زيادة عدد اللقطات التدريجية Snapshot حيث ستزداد وثوقته هذه الطريقة عبر زيادتها

6- المراجع

- [1] H. L. Van Trees, Optimum Array Processing. New York, USA: Wiley, 2002.
- [2] J. E. Hudson, Adaptive Array Principles. Stevenage, U.K.: Peregrinus, 1981.
- [3] J. Li and P. Stoica, Eds, Robust Adaptive Beamforming. New York: Wiley, 2006.
- [4] Wei Liu, University of Sheffield, Stephan Weiss, University of Strathclyde, "WIDEBAND BEAMFORMING CONCEPTS AND TECHNIQUES," This edition first published 2010, UK
- [5] L. J. Griffiths, "A simple adaptive algorithm for real-time processing in antenna arrays," in Proceedings of the IEEE, vol. 57, no. 10, pp. 1696-1704, Oct. 1969.
- [6] J. Benesty, I. Cohen, Jingdong Chen, "Fundamentals of Signal Enhancement and Array Signal Processing", IEEE, 2018, pp. 283-320
- [7] B. Liao, S.-C. Chan, and K.-M. Tsui, "Recursive steering vector estimation and adaptive beamforming under uncertainties," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol. 49, no. 1, pp. 489-501, 2013
- [8] W. Zhang, S. Wu, and J. Wang, "Robust Capon beamforming in presence of large DOA mismatch," Electron. Lett., vol. 49, no. 1, pp. 75-76, Jan. 2013.
- [9] H. Cox, R. M. Zeskind, and M. H. Owen, "Robust adaptive beamforming," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. 35, pp. 1365-1376, Oct. 1987.
- [10] J. Li, P. Stoica, and Z. Wang, "On robust Capon beamforming and diagonal loading," IEEE Trans. Signal Process., vol. 51, no. 7, pp. 1702-1715, Jul. 2003.
- [11] Vincent, Francois, and Ulivier Besson. "Steering vector uncertainties and diagonal loading." Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop Proceedings, 2004. IEEE, 2004.
- [12] S. Vorobyov, A. B. Gershman, and Z.-Q. Luo, "Robust adaptive beamforming using worst-case performance

- optimization: A solution to the signal mismatch problem,” IEEE Trans. Signal Processing, vol. 51, pp. 313–324, Feb. 2003
- [13] M. Rübsamen, A. El-Keyi, A. B. Gershman, and T. Kirubarajan, “Robust broadband adaptive beamforming using convex optimization,” in *Convex Optimization in Signal Processing and Communications*, D. Palomar and Y. C. Eldar, Eds. Cambridge, MA: Cambridge Univ. Press, 2010, ch. 9, pp. 315–337.
- [14] A. Khabbazibasmenj, S.A. Vorobyov, and A. Hassanien, „Robust adaptive beamforming based on steering vector estimation with as little as possible prior information,” IEEE Transactions on Signal Processing. vol. 60, pp. 2974-2987, 2012.
- [15] Jie Yang, Yixin Yang, Bo Lei,” An Efficient Robust Adaptive Beamforming Method Using Steering Vector Estimation and Interference Covariance Matrix Reconstruction” IEEE conference 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO).
- [16] A. Hassanien, S. A. Vorobyov, and K. M. Wong, “Robust adaptive beamforming using sequential programming: An iterative solution to the mismatch problem,” IEEE Signal Process. Lett., vol. 15, pp.733–736, 2008.
- [17] Jie Zhuang, “Low-complexity variable loading for robust adaptive beamforming”, ELECTRONICS LETTERS, vol. 52, no. 5, pp. 338- 340,2016.
- [18] Wenxing Li, Bin Yang, Yu Zhao, “Low-Complexity Non-Uniform Diagonal Loading for Robust Adaptive Beamforming”, International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES), 2017.
- [19] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2004.
- [20] M. Grant and S. Boyd, “CVX: Matlab software for disciplined convex programming,” version 1.22. <http://cvxr.com/cvx>, Feb. 2015.

فعالية استخدام SSIS كأداة لاستخراج وتحويل وتحميل البيانات (ETL) عند عدم تجانس المصادر

طالب دراسات عليا (ماجستير): م. وسيم هندي
كلية الهندسة المعلوماتية، أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية
إشراف الدكتور: محمد سلامي + د. عبد الله يوسف،

المخلص

يعتبر اختيار أداة ETL المناسبة لتحقيق مستودع البيانات أمراً بالغ الأهمية، ويُعطل ذلك بأن الاختيار الخاطئ للأداة قد يؤدي إلى سلسلة من الخسائر المالية والوقتية، ناهيك عن مقدار الجهد الشاق الذي سيتم بذله. تُواجه عملية استخراج وتحويل وتحميل البيانات إلى المستودع صعوبات كثيرة، أهمها عدم تجانس مصادر البيانات. يمكن لمصمم مستودع البيانات الاختيار من بين مجموعة متنوعة من أدوات الاستخراج والتحويل والتحميل (ETL Tools)، ولكن بدون استكشاف أو معرفة ميزاتها، سيؤدي ذلك إلى عملية اتخاذ قرار غير صحيح. في هذا البحث تمّ تقييم فعالية الأداة (SSIS-Microsoft SQL Server Service) في استخراج البيانات من مصادرها الغير مُتجانسة وتخزينها في مستودع البيانات.

الكلمات المفتاحية: مستودع البيانات، أدوات الاستخراج والتحويل والتحميل، تكامل البيانات، تدفق البيانات.

ورد البحث للمجلة بتاريخ / 2021

قبل للنشر بتاريخ / 2021

Effectiveness of using SSIS as a tool to extract, transform and load data (ETL) when data sources are heterogeneous

Mohamad Salami, Abdalla Yousef, Waseem Hindi*

AL- Assad Academy, For Military Engineering

Postgraduate Student (MSc.)

Abstract

Choosing the right ETL tool for the realization of the data warehouse is critical, reasoning that the wrong choice of tool can lead to a series of financial and time losses, not to mention the amount of hard work that will be put in. The process of extracting, transforming and uploading data to the repository faces many difficulties, the most important of which is the heterogeneity of data sources.

The data warehouse designer can choose from a variety of ETL tools, but without exploring or knowing their features, it will lead to an inaccurate decision-making process. In this paper, the effectiveness of the tool (SSIS-Microsoft SQL Server Service) will be evaluated in extracting data from its heterogeneous sources and storing it in a data warehouse.

Keywords: Data Warehouse, ETL Tools, Data Integration, Data Flow.

Received / /2021

Accepted / /2021

1- مقدمة

نتيجة تضخم الحجم المخزنة في قواعد البيانات بصورة كبيرة جدا أصبح من الصعب معالجة هذه البيانات والاستفادة منها ضمن القيود الزمنية المسموحة، مما أدى إلى بروز تحدي جديد في كيفية تحويل قواعد البيانات من قواعد بيانات تشغيلية إلى مستودعات للبيانات (Data Warehouses)[1].

تدعم مستودعات البيانات عمليات اتخاذ القرار والوصول إلى البيانات بهدف اجراء المعالجة التحليلية المباشرة (OLAP)، والمساعدة في اتخاذ القرار والتخطيط والرؤية المستقبلية[2]. من أجل الحصول على نتائج تحليلية للبيانات وإعداد تقارير صحيحة لها، من المهم جداً أن تكون هذه البيانات المُحملة ضمن المستودع متكاملة (Integrated)، ومن أجل تحقيق هذا التكامل في ظل عدم تجانس مصادر البيانات لا بدّ من استخدام أدوات لاستخراج البيانات من مصادرها وتحويلها إلى الشكل المناسب لتحميلها في مستودع البيانات، هذه الأدوات هي أدوات استخراج وتحويل وتحميل البيانات (ETL Tools) [3,4].

يختصر مصطلح ETL الكلمات الثلاثة التالية: Extract, Transformation, Load. تُعرف أدوات ETL على أنها جزء من البرنامج المستخدم يتم من خلاله استخلاص البيانات من المصادر غير المتجانسة (قاعدة بيانات، جدول بيانات، ملف، وغيرها)، ثم تحويلها (حذف القيم الخاطئة والمكررة، تطبيق الحسابات، ضم الحقول، وغير ذلك) لكي تتوافق مع نموذج البيانات الخاص بمستودع البيانات، وتحميلها أخيراً في مستودع البيانات[5].

قامت الشركات البرمجية بتطوير عدد كبير من أدوات (ETL) يُقدر عددها بحوالي 75 أداة، تُصنف هذه الأدوات تبعاً للوظيفة وبيئة التطوير. إنّ 80% من أدوات (ETL) مُطورة حسب الطلب، وهذه تُمثل صعوبة إضافية إذ أن تعدد وتنوع أدوات (ETL) تبعاً لطلب المستخدم يجعل منها أدوات غير معيارية ولا يمكن استخدامها بشكل واسع في مشاريع مستودعات البيانات[6].

2- أهمية البحث وأهدافه

الغرض من البحث هو تقييم فعالية أداة SSIS لاستخلاص وتحويل وتحميل البيانات من مصادرها الغير مُتجانسة إلى مستودع البيانات، وذلك بغية توفير معرفة مسبقة للمستخدمين حول معايير استخدام هذه الأداة وتوافقها مع المصادر الغير مُتجانسة للبيانات. لا شك أن هناك أدوات أخرى متاحة للمستخدم أيضاً، لكننا اخترنا أكثر الأدوات شهرةً وفقاً لتقرير Gartner 2021 [7]. تمّ في هذا البحث تقييم آخر اصدار من أداة SSIS بعد تضمينها في بيئة Visual Studio 2019. تمّ استخراج وتحويل البيانات من ثلاثة مصادر (قاعدة بيانات تشغيلية Oracle، وملف اكسل Excel File، وملف نصي Text File) وتحميلها إلى مستودع البيانات وذلك باستخدام الأداة SSIS.

3- دراسات سابقة

إن العديد من الأبحاث في هذا المجال ركزت على مقارنات نظرية بين أداة SSIS مع أدوات أخرى مثل Talend, PID-Pentaho Data Integrated [9][8]، في حين تمحورت بعض الأبحاث حول مقارنة عدة أدوات ETL من خلال معايير معينة مُستندة في مُقارنتها إلى تحليل التقارير والمقالات والمجلات [6]، قدم البحث [10] في عام 2018 مقارنة عملية بين أداة SSIS وأداة PID-Pentaho Data Integrated، غير أن هذه المقارنة اقتصرت على استخلاص وتحويل وتحميل عدد قليل من سجلات البيانات (1000) سجل، بالإضافة إلى أن الاصدار المُستخدم للأداة يعود إلى عام 2006 مع استخدام SQL Server 2008. ناقش البحث [11] كيفية بناء مستودع بيانات يُساعد صنّاع القرار في اتخاذ القرارات المُناسبة ضمن مؤسسة افتراضية، وناقش البحث حلول نظرية فقط وشرح كيفية استخراج وتحويل وتحميل البيانات إلى مستودع البيانات باستخدام أداة SSIS.

4- مواد البحث وطرائقه

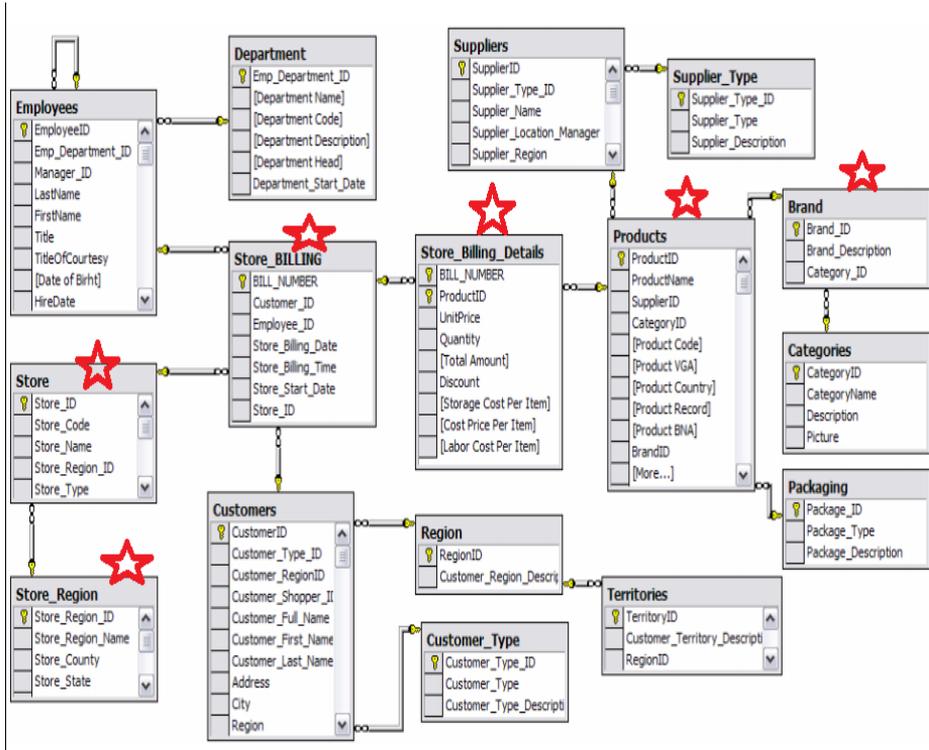
في هذا البحث تمّ اشتقاق نموذج بيانات لشركة تجارية افتراضية من قاعدة بيانات معيارية (Database Benchmark) [3]، ثمّ بناء مستودع البيانات لهذه الشركة، وبعد ذلك تمّ اجراء عملية ETL لاستخراج البيانات من قاعدة البيانات التشغيلية للشركة بالإضافة إلى مصدرين آخرين هما (Excel File) و (Text File) من خلال

الأداة SSIS، ثم تحويل البيانات إلى الصيغة المناسبة لنموذج مستودع البيانات وتحميلها إلى المستودع.

1-4 بناء قاعدة البيانات المعيارية

تمّ بناء قاعدة بيانات تشغيلية (Operational Database) موافقة لمبيعات شركة تجارية افتراضية لها عدة متاجر في المحافظات، وذلك بناءً على قاعدة بيانات معيارية، واستُخدم لتحقيق قاعدة البيانات المذكورة نظام إدارة قواعد المعطيات Oracle 11g.

يوضح الشكل (1) قاعدة البيانات المعيارية وإشارة فوق كل جدول تمّ استخدامه ضمن قاعدة البيانات التشغيلية المقترحة.



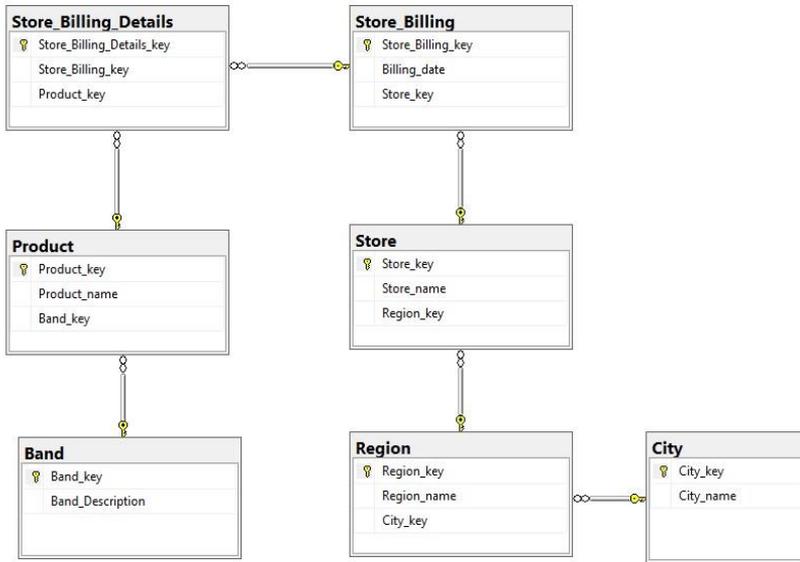
الشكل (1) قاعدة بيانات معيارية لشركة مبيعات افتراضية [3]

يوضح الشكل (2) قاعدة البيانات المقترحة والتي تحوي الجداول التالية:

- 1- جدول العلامة التجارية (Brand Table).
- 2- جدول المنتجات (Products Table).
- 3- جدول تفاصيل الفاتورة (Store_Billing_Details Table).
- 4- جدول فاتورة متجر (Store_Billing Table).
- 5- جدول المتجر (Store Table).
- 6- جدول المنطقة (Region Table).
- 7- جدول المدينة (City Table).

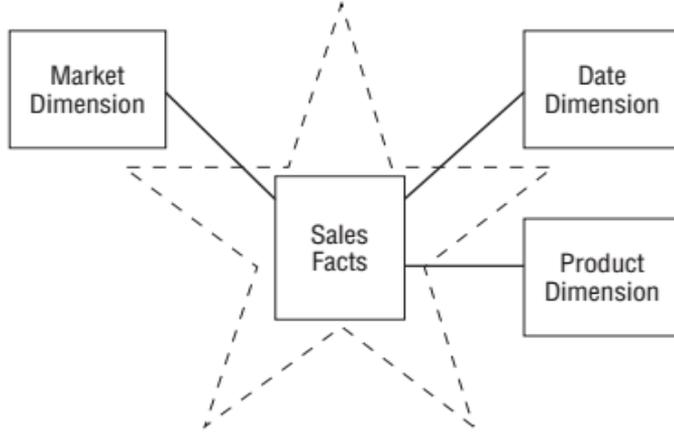
4-2 نموذج مستودع البيانات

تم إعداد النموذج النجمي (Star Schema) لمستودع البيانات باستخدام نمذجة الأبعاد، وتم تحقيق هذا النموذج في بيئة SQL Server 2019، قبل البدء بإعداد النموذج النجمي كان لا بد من التعرف على المفاهيم الأساسية لهذا النموذج، واستيعابها بشكل جيد. يستخدم نموذج الأبعاد ثلاثة مفاهيم أساسية لتنظيم البيانات هي: الحقائق (Facts)، الأبعاد (Dimensions)، المقاييس (Measures).



الشكل (2) نموذج ER مُقترح لمبيعات شركة تجارية افتراضية

تقوم نمذجة الأبعاد بتنظيم المفاهيم السابقة من خلال مخطط يسمى بالمخطط النجمي، يبين الشكل (3) مثال مبسط عن مخطط نجمي لمبيعات شركة تجارية:



الشكل (3) مخطط نجمي لمبيعات شركة

3-4 خطوات بناء مستودع البيانات وفق نموذج الأبعاد

يتم بناء نموذج الأبعاد باتباع أربع خطوات هي:

1- تحديد عملية الأعمال (Choose the business process)

يتم في هذه المرحلة وصف المهام التي يجب أن ينفذها النموذج، وبمعنى آخر دراسة المتطلبات وإجراء التحليلات اللازمة.

2- تحديد مستوى التمثيل الأدنى (Declare the grain)

يتم في هذه المرحلة تعريف الحقائق المطلوب تنفيذها من قبل النموذج، بمعنى آخر ماذا يمثل كل سطر بيانات يتم إدخاله إلى جدول الحقيقة، وهذا ما يُسمى بتحديد أصغر مستوى تمثيل.

الخطأ الأكثر شيوعاً هو عدم تحديد أصغر مستوى تمثيل في بداية عملية التصميم، إذ أنّ التصميم بأكمله يعتمد على ذلك، قد يتم إكتشاف أخطاء في الخطوة 3 أو 4 من عملية التصميم ناتجة عن التحديد الخاطي لأصغر مستوى تمثيل. لذلك يتحكم على المصمم العودة إلى الخطوة 2، وإعادة ضبط ذلك بشكل صحيح، ثم إعادة زيارة الخطوتين 3 و 4 مرة أخرى.

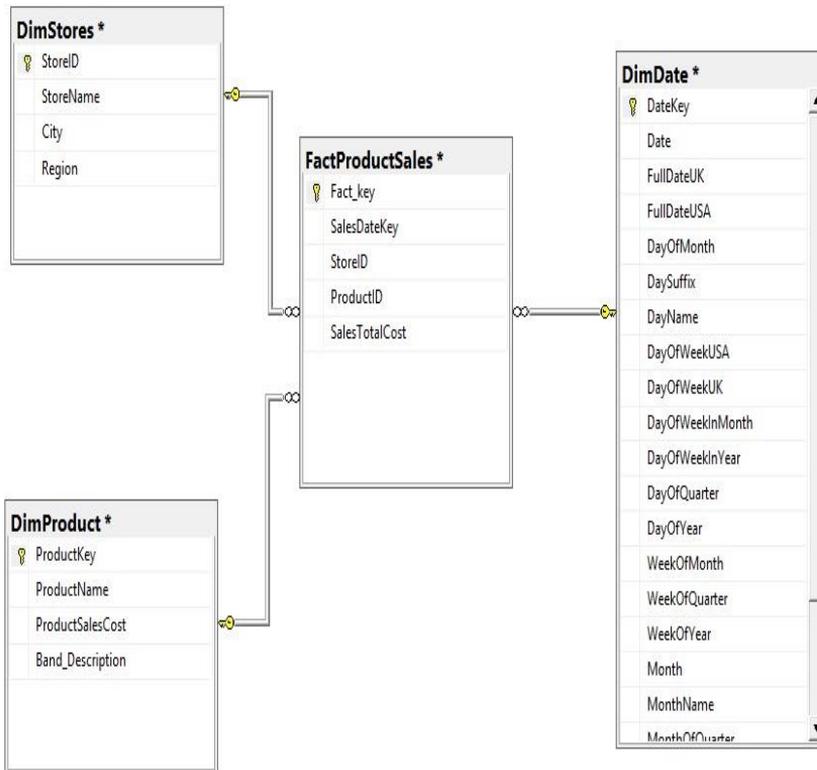
3- تعريف الأبعاد (Identify the dimensions) وبناء جداولها.

بعد أن تمّ تعريف المتطلبات و توحيد قياسات جدول حقائق النموذج، يجب إختيار الأبعاد التي تمثل جميع الوصوفات المحتملة التي تأخذ قيمة مفردة في سياق كل قياس.

4- تعريف الحقائق (Identify the fact) وبناء جدولها.

تُعتبر المرحلة الأخيرة من بناء نموذج الأبعاد هي بناء جدول الحقائق. يجب أن تكون جميع الحقائق المرشحة للإستخدام في التصميم مطابقة لمستوى التمثيل الأصغر المُعرف في الخطوة 2.

يوضح الشكل (4) نموذج الأبعاد الموافق لمبيعات شركة تجارية، حيث تمّ بناء النموذج بعد تطبيق المراحل الأربعة آنفة الذكر.



الشكل (4) نموذج الأبعاد لمبيعات شركة تجارية

4-4 إدخال البيانات الى قاعدة البيانات التشغيلية

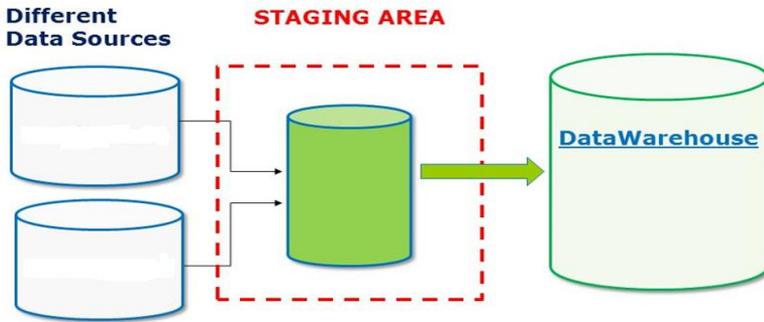
تم إدخال بيانات تجريبية عشوائياً إلى قاعدة البيانات التشغيلية بهدف شحنها بالبيانات التي سيتم لاحقاً إجراء عمليات الاستخراج والتحويل والتحميل لها إلى مستودع البيانات الهدف، سيتم ذلك من خلال الأداة SSIS. تم إدخال البيانات إلى الجداول Region, Band, Store, City, Product من خلال عبارة insert، أما الجدولين Store_Billing, Store_Billing_Details تم استخدام إجراءات (procedureGenerateRandomData) وذلك لأن هذين الجدولين يحويان سجلات كثيرة ممكن أن تصل بياناتها إلى مرتبة الملايين.

5-4 الخطوات الأساسية لعملية ETL

هناك ثلاثة خطوات أساسية لإجراء عملية ETL وهي:

1- استخراج البيانات (Data Extraction)

هي الخطوة الأولى في عملية جلب البيانات إلى مستودع البيانات. في هذه المرحلة يتم قراءة البيانات من المصادر الغير متجانسة إلى منطقة تُسمى منطقة تقديم البيانات (Data staging area)، وهي منطقة تخزين متوسطة تقع بين أنظمة المصدر و مستودع البيانات، وهي عادةً منطقة تخزين مؤقتة حيث تُحذف منها البيانات بعد تحميلها إلى المستودع بنجاح. لأنه قد يؤدي نقل البيانات مباشرة إلى المستودع إلى أخطاء في نقل البيانات. تُستخدم منطقة تقديم البيانات لتنقية البيانات وتنظيمها. يوضح الشكل (5) عملية اسخلائ البيانات من مصادرها الغير مُتجانسة إلى منطقة تقديم البيانات.



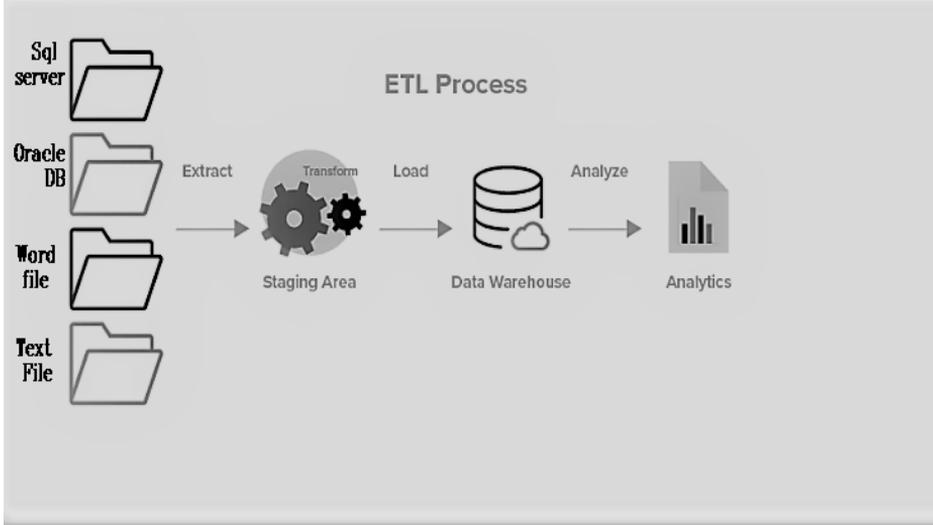
الشكل (5) استخراج البيانات (Data Extraction)

2- تحويل البيانات (Data Transformation)

يتم في هذه المرحلة حذف البيانات الغير مُنمذجة في مستودع البيانات، وإزالة البيانات المكررة، وتغيير التنسيق لبعض البيانات عند اللزوم لكي يتوافق مع التنسيق الموجود ضمن المستودع، وإجراء العمليات الحسابية اللازمة على البيانات. إن الإجراءات المذكورة سابقاً تُؤمن تكامل البيانات (Data integration) ضمن مستودع البيانات، هذا التكامل يُعزز التحليل الفعال للبيانات.

3- تحميل البيانات (Data Loading)

في هذه المرحلة يتم تحميل البيانات التي تم استخراجها في المرحلة السابقة إلى مستودع البيانات، يجب مراعاة تحميل البيانات عندما يكون مستودع البيانات معطل عن العمل (Offline). يوضح الشكل (6) الخطوات الأساسية لعملية ETL الآتفة الذكر.



الشكل (6) الخطوات الأساسية لعملية ETL

4-6 أداة SSIS

هي أداة مرنة وسريعة من إنتاج شركة (Microsoft)، تُستخدم من أجل استخراج البيانات من مصادر بيانات مُتعددة وتحويلها إلى الشكل المُناسب لتحميلها في مستودع البيانات. يتم تضمين هذه الأداة في بيئة SQL Server 2019.

أهم مكونات أداة SSIS التي تم استخدامها في هذا البحث هي:

-1 Data Flow Task

هي أهم مكون من مكونات الأداة، حيث يتم من خلال هذه الأداة التحكم بتدفق البيانات من المصدر إلى المآل.

-2 ADO NET Source

يتم من خلال هذا المكون الربط مع مصدر بيانات بغرض الوصول إلى البيانات في قاعدة بيانات مثل Oracle Database، Microsoft SQL Server، MySQL، PostgreSQL وغيرها الكثير، في البحث نحتاج لهذا المكون من أجل الربط مع قاعدة البيانات التشغيلية التي تم تصميمها في نظام ادارة قواعد بيانات Oracle.

-3 OLE DB Destination

يتم من خلال هذا المكون الربط مع المآل الذي تم بناؤه في نظام ادرة قواعد بيانات Microsoft SQL Server 2019.

-4 Excel Source

من خلال هذا المكون يتم الربط مع مصدر بيانات Excel.

-5 Flat File Source

من خلال هذا المكون يتم الربط مع مصدر بيانات Text File.

-6 Sequence Container

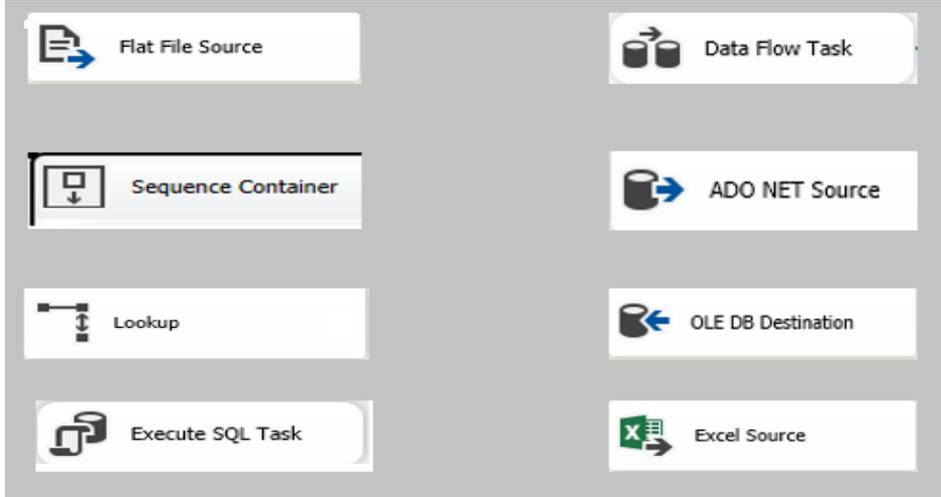
إن تحميل البيانات إلى مستودع البيانات يتم من خلال تسلسل مُعين للإدخال إلى جداول البيانات، حيث لا يمكن إدخال البيانات إلى جدول الحقيقة قبل الإدخال إلى كافة الأبعاد، لأن جدول الحقيقة يحوي مفاتيح أجنبية لكافة الأبعاد في المستودع.

-7 Look up

يقوم هذا المكون بعملية بحث في الجدول المآل عن القيم الغير موجودة في المصدر، حيث يتم إضافة السجلات الغير موجودة فقط في جدول المآل.

-8 Execute SQL

يُعتبر من أهم مكونات أداة SSIS حيث يقوم هذا المكون بتنفيذ استعلام من بيانات المصدر بحيث تُصبح البيانات متوافقة لجدول البيانات الموجود في المستودع. يوضح الشكل (7) المكونات آنفة الذكر.



الشكل (7) مكونات SSIS التي تم استخدامها في البحث

7-4 استخراج وتحويل البيانات من المصادر الغير مُتجانسة

سيتم استخراج البيانات من مصادرها الغير مُتجانسة إلى مستودع البيانات

باستخدام الأداة SSIS، يوجد ثلاثة مصادر للبيانات وهي:

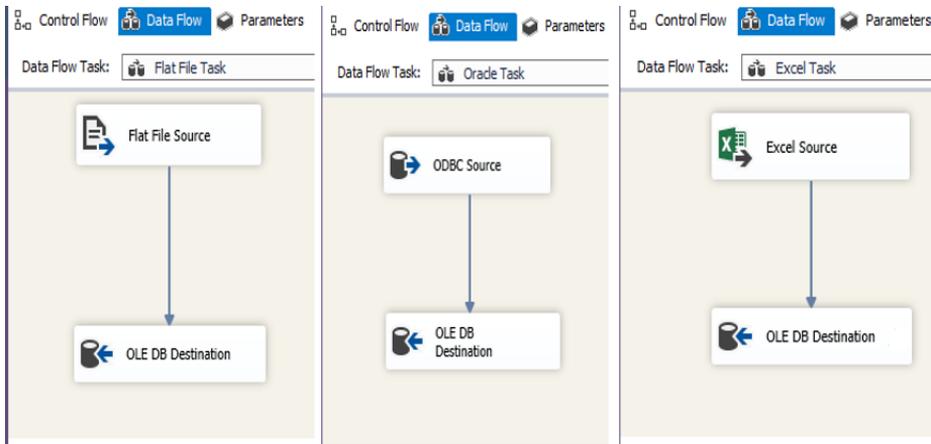
1- قاعدة بيانات تشغيلية لمبيعات الشركة التجارية الافتراضية موضحة بالشكل (2).

2- مبيعات أحد متاجر الشركة يتم تخزين بياناتها ضمن ملف نصي Text File.

3- مبيعات لمتجر آخر للشركة يتم تخزين بياناتها ضمن ملف إكسل Excel File.

وبالتالي لدينا ثلاثة مهام يتوجب على الأداة تنفيذها متوافقة مع المصادر الثلاثة

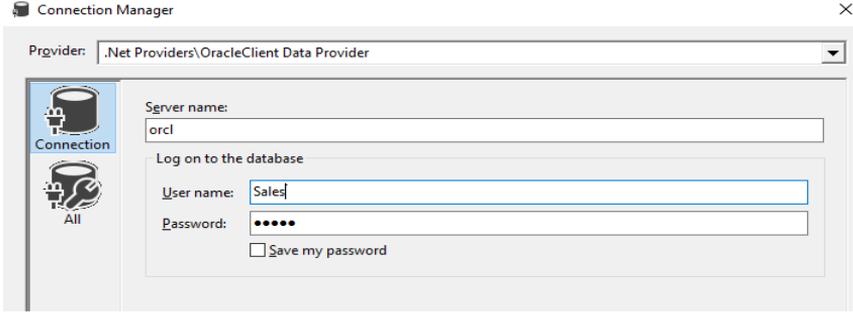
للبيانات يوضحها الشكل (8).



الشكل (8) مهام SSIS

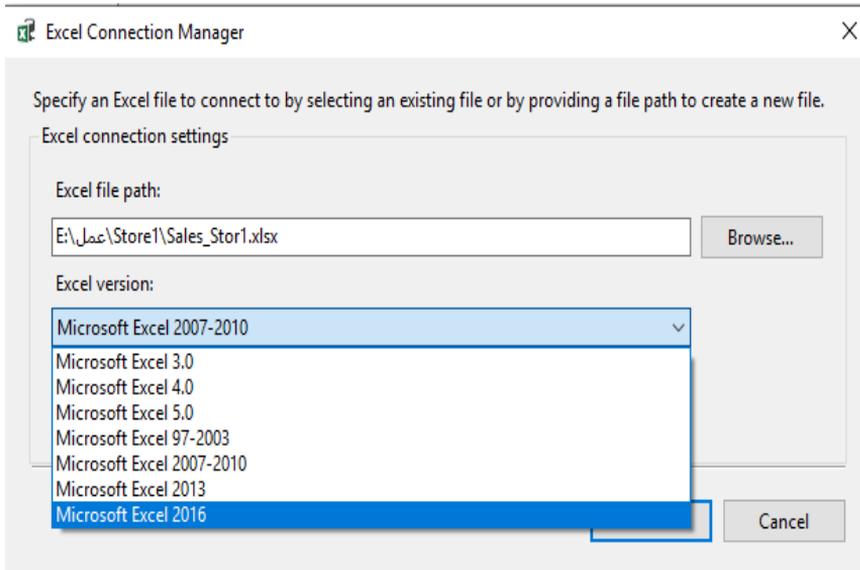
يتم تنفيذ هذه المهام وفق المراحل التالية:

- 1- تأمين الربط مع مصدر البيانات: يتم ذلك من خلال الربط مع مخدم قاعدة البيانات التشغيلية لمبيعات الشركة التجارية كما هو موضح بالشكل (9)، حيث يتم تحديد اسم المخدم واسم قاعدة البيانات التشغيلية وكلمة المرور الخاصة بالقاعدة.

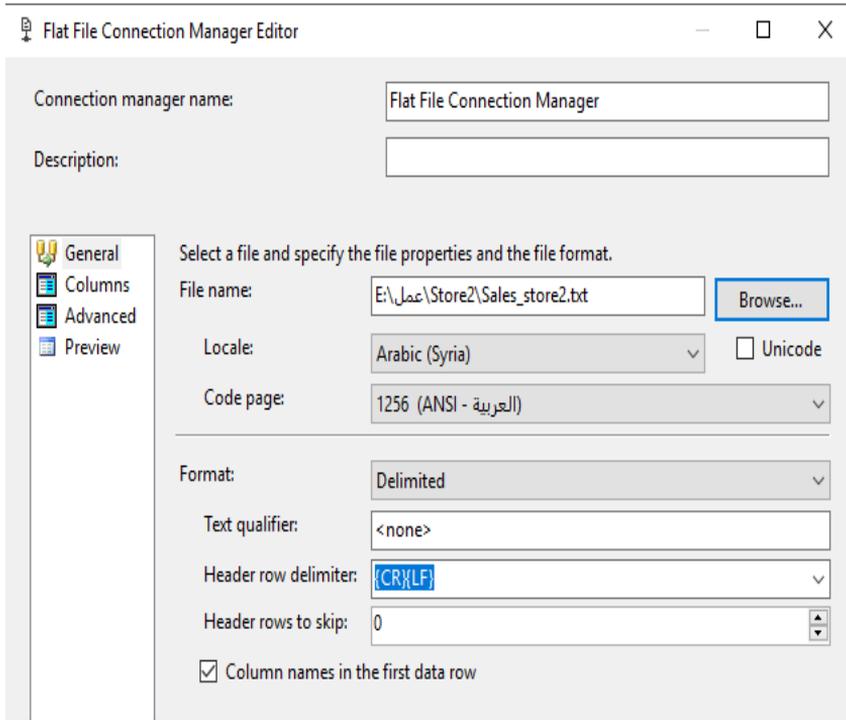


الشكل (9) الربط مع قاعدة البيانات التشغيلية Oracle

- يتم الربط مع الملف النصي (Text file) من خلال تحديد مسار الملف كما هو مبين بالشكل (10)، وكذلك الأمر مع ملف الإكسل (Excel File) يتم الربط من خلال تحديد المسار وإصدار الإكسل المتوفر كما هو موضح بالشكل (11).

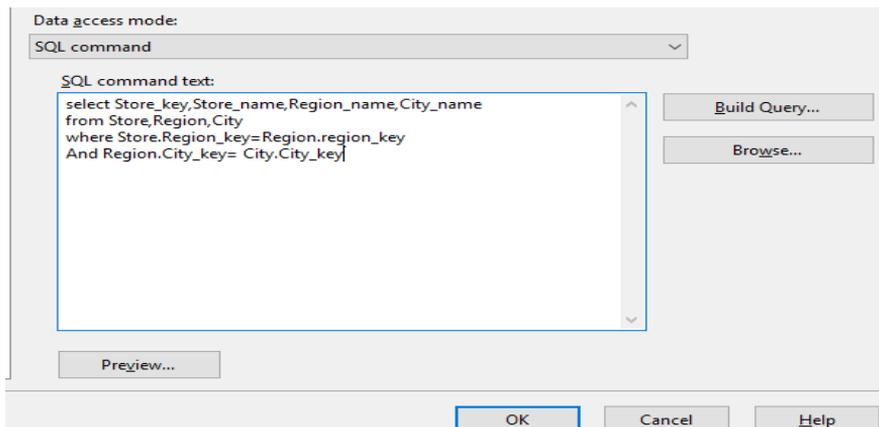


الشكل (10) الربط مع مصدر بيانات Excel File



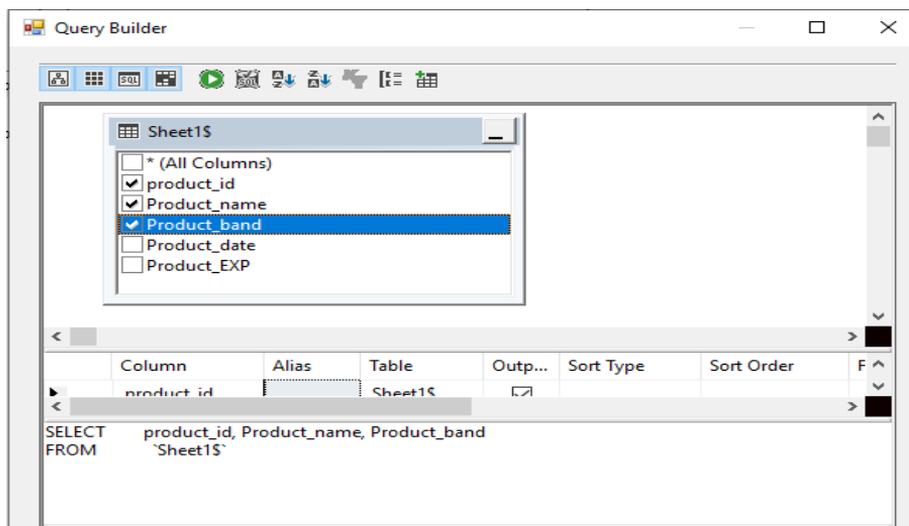
الشكل (11) الربط مع مصدر البيانات Text File

2- استخراج وتحويل البيانات إلى الصيغة الموافقة لنموذج مستودع البيانات: بعد أن تم تأمين الربط مع مصادر البيانات يتم استخراج البيانات من مصادرها وتحويلها إلى الصيغة الموافقة لنموذج البيانات الخاص بمستودع البيانات الموضح بالشكل (4). تُؤمن أداة SSIS استخراج البيانات من المصادر بصيغ مختلفة أهمها صيغة جدول كامل Full Table وعلى شكل أمر استعلام SQL Command، يتم الاختيار وفق نموذج مستودع البيانات، فبعد المتجر Dim_Store يتم استخراج بياناته من ثلاثة جداول لقاعدة البيانات التشغيلية وفق أمر استعلام كما هو موضح بالشكل (12). بالنسبة لمصدر البيانات Text File تُؤمن أداة SSIS إمكانية تحديد فواصل الأعمدة، وتحديد فيما إذا كان السطر الأول من الملف يعبر عن أسماء الأعمدة، وأنواع البيانات Data Type لتوافق نوع البيانات لمستودع البيانات كما هو موضح في الشكل (11).



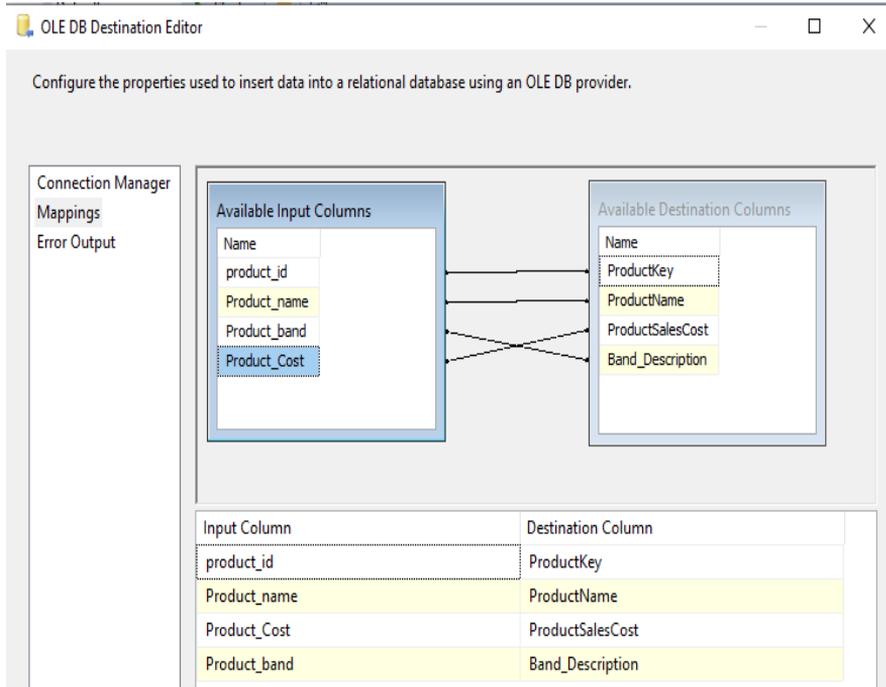
الشكل (12) استخراج وتحويل البيانات وفق SQL Command

يتم استخراج البيانات من مصدر البيانات Excel على شكل جدول بيانات، في حال كانت الصيغة موافقة لنموذج البيانات يتم ذلك بصيغة جدول، أما في حال وجود اختلاف فإن أداة SSIS تدعم إمكانية استخراج البيانات من الملف إكسل على شكل استعلام قاعدة بيانات، تُسمى هذه العملية ببناء الاستعلام Query Builder، يُوضح الشكل (13) عملية بناء الاستعلام لملف إكسل يحوي بيانات المنتجات التي يتوجب تخزينها في بعد المنتج DimProduct، من خلال ذلك يتم جلب البيانات التي نحتاج لها في عملية التحليل فقط.



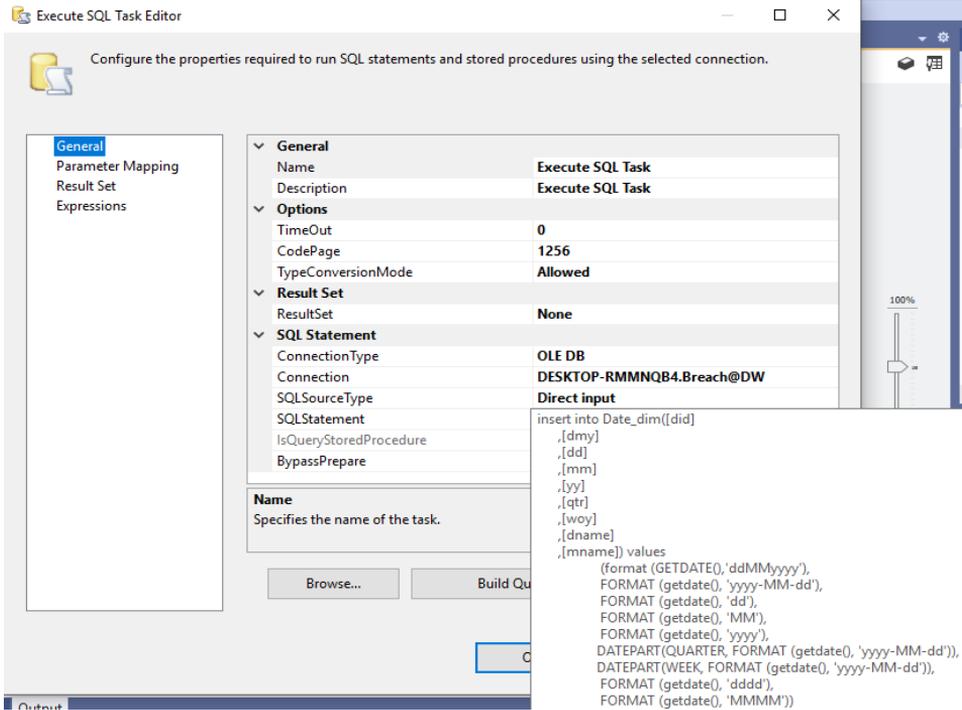
الشكل (13) بناء الاستعلام في ملف Excel File

3- الربط بين مصادر البيانات ومستودع البيانات وتحميل البيانات من مصادرها إلى المستودع: بعد أن تم استخراج البيانات وتحويلها إلى الشكل الموافق لنموذج مستودع البيانات يتوجب ربط نتائج التحويل مع مستودع البيانات، تُؤمن أداة SSIS هذا الربط من خلال عملية Mapping كما هو موضح بالشكل (14)، حيث يتم ربط كل عمود من المصدر مع العمود الموافق له في مستودع البيانات. تُنفذ هذه العملية لربط كافة نتائج الاستخراج والتحويل مع مستودع البيانات.



الشكل (14) عملية الربط Mapping

إن الخطوة الأولى لتحميل البيانات إلى المستودع تتمثل بإضافة سجل تاريخ اليوم إلى البعد DimDate، يتم ذلك باستخدام المكون Execute SQL في أداة SSIS كما هو مُبين بالشكل (15).

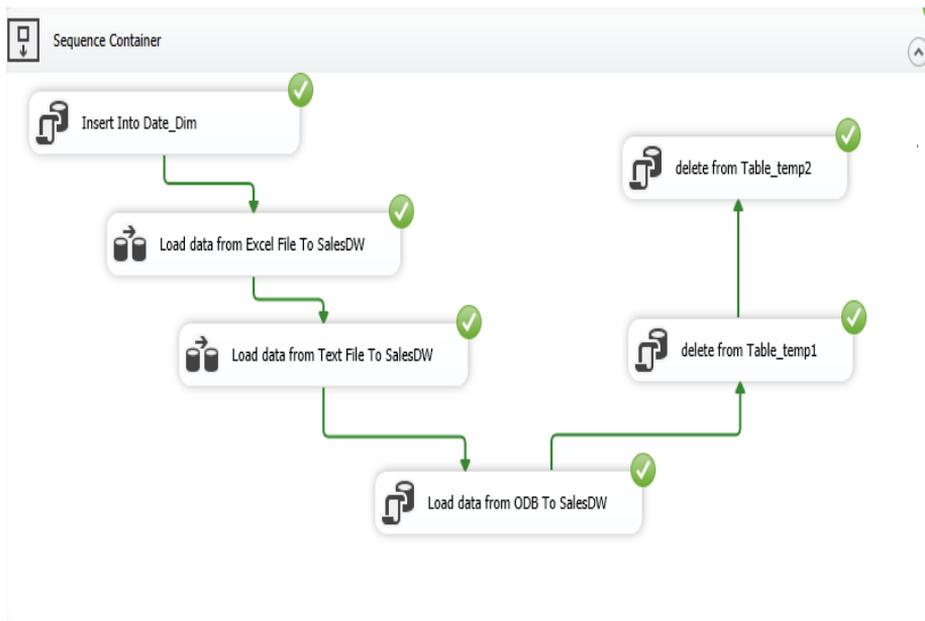


الشكل (15) اضافة سجل تاريخ اليوم الى DimDate

بعد إضافة سجل تاريخ اليوم يتم تحميل البيانات من مصادرها الغير مُتجانسة إلى مستودع البيانات بتنفيذ الحزمة Package التي تعمل على تحميل البيانات في المستودع وفق تسلسل يوافق نموذج مستودع البيانات الموضح بالشكل (4)، حيث يتم تحميل البيانات الى الأبعاد أولاً ثم إلى جدول الحقائق، يتم ذلك باستخدام المكوّن Sequence Container، يوضح الشكل (16) تنفيذ الحزمة التي تقوم بتحميل البيانات من مصادرها إلى مستودع البيانات بعد إضافة سجل تاريخ اليوم إلى بعد الزمن.

عند تنفيذ حزمة SSIS يتم وبشكل متسلسل تنفيذ ما يلي:

- 1- تحديث بعد التاريخ.
- 2- استخراج وتحويل البيانات من ملف إكسل Excel File وتحميلها إلى مستودع البيانات.
- 3- استخراج وتحويل البيانات من ملف نصي Text File وتحميلها إلى مستودع البيانات.



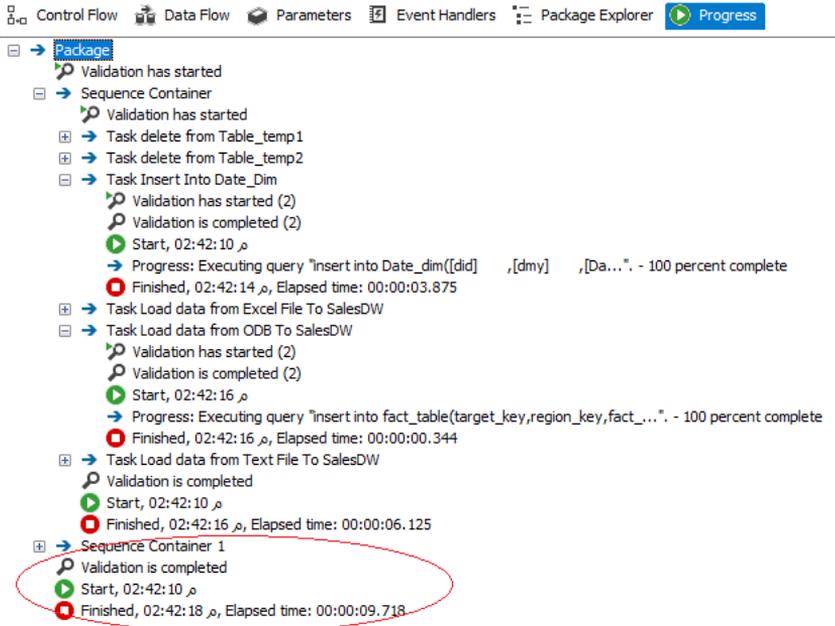
الشكل (16) حزمة SSIS لتحميل البيانات من مصادر البيانات المستودع البيانات

4- استخراج وتحويل البيانات من قاعدة البيانات التشغيلية وتحميلها إلى مستودع البيانات.

5- حذف البيانات من منطقة تقديم البيانات Data Stage Area، وهي المنطقة المتوسطة بين مصادر البيانات ومستودع البيانات، تُخزن فيها البيانات اللازمة لعملية التحويل بشكل مؤقت، حيث يتم حذفها بعد التحميل الناجح للبيانات إلى مستودع البيانات.

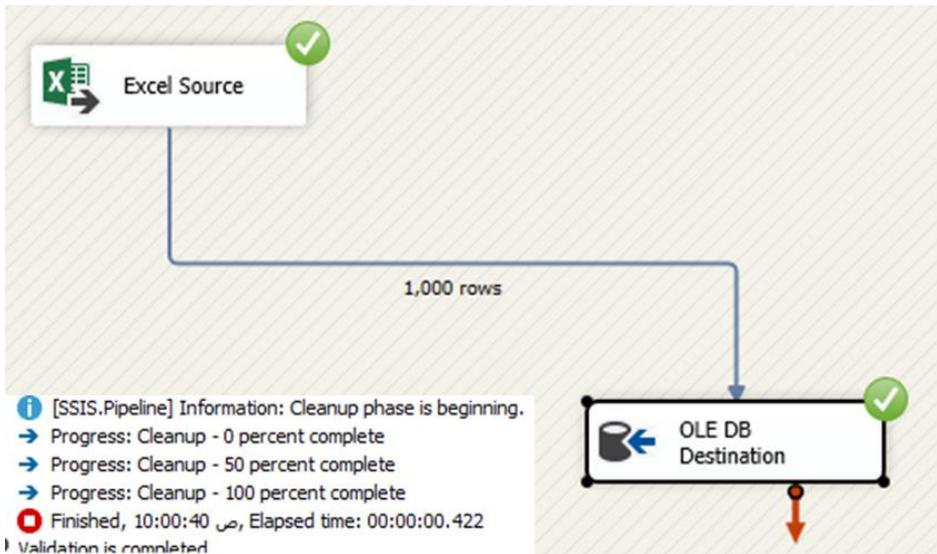
يوضح الشكل (17) الوقت اللازم لتنفيذ الحزمة بشكل مُفصل، حيث يُمكن معرفة زمن تنفيذ كل مهمة تدفق للبيانات ضمن الحزمة. احتاج استخراج وتحويل البيانات من مصادرها الغير متجانسة ثم تحميلها الى مستودع البيانات زمن قدره 9.718 ثانية فقط.

بالمقارنة مع نتائج البحث [10] الذي استخدم أداة SSIS بنسختها 2008، فإن استخراج وتحويل وتحميل 1000 سجل من مصدر Excel File إلى مستودع بيانات مبني في بيئة SQL Server 2008 احتاج الى 0.655 ثانية.



الشكل (17) زمن تنفيذ حزمة SSIS

في ظروف تجريبية مشابهة وباستخدام أداة SSIS قيد البحث ومستودع بيانات مبني في بيئة SQL Server 2019 احتاج استخراج وتحويل وتحميل 1000 سجل بيانات من مصدر Excel File إلى مستودع البيانات 0.422 ثانية، يُبين الشكل (18) نتيجة تنفيذ عملية الاستخراج والتحويل والتحميل مع زمن التنفيذ.



الشكل (18) استخراج وتحويل وتحميل 1000 سجل من مصدر Excel File إلى مستودع البيانات

5- مناقشة النتائج

- تمّ في هذا البحث تقييم أداة SSIS في استخراج وتحويل وتحميل البيانات من مصادرها الغير مُتجانسة إلى مستودع البيانات والتوصل إلى النتائج التالية:
- 1- أبدت أداة SSIS فعالية ومرونة وسهولة في الاستخدام نسبياً عند التعامل مع مصادر غير مُتجانسة للبيانات.
 - 2- إنّ أداة SSIS تُمكن المستخدم من تحويل البيانات إلى تنسيقات وأنواع مُختلفة بحيث يُؤمن التوافق الضروري مع تنسيق ونوع البيانات المُستخدم في نموذج مستودع البيانات، بالإضافة الى إمكانية عرض نتائج التحويل للتأكد من موافقتها لنموذج البيانات قبل تحميلها إلى المستودع، وبذلك تحمي المستخدم من الوقوع في الخطأ.
 - 3- يمكن للمستخدم عند استخدام أداة SSIS التحكم بتدفق البيانات من مصادر البيانات إلى مستودع البيانات.

المراجع

- [1] KIMBALL R., 2013 – **The Data Warehouse Toolkit**. 3rd Ed, USA, pp: 37–109.
- [2] INMON W.H, 2002 – **Building the Data Warehouse**. 3rd Ed, USA, pp 81–145.
- [3] BALLARD C.; FARRELL D.; GUPTA A.; MAZUELA C.; VOHNIK S., 2006 – **Dimensional Modeling in a Business Intelligence Environment**. 1st Ed, USA, pp 47–73.
- [4] https://www.tutorialspoint.com/etl_testing/index.htm.
- [5] <https://www.alooma.com/blog/etl-tools-comparison>.
- [6] Runtuwene J P A., Tangkawarow I R H T., 2018 – **A Comparative Analysis of Extract, Transformation and Loading (ETL) Process**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 306(12066).
- [7] <https://www.gartner.com/reviews/market/data-integration-tools-2021>.
- [8] SOUBGUI M.; ATIGUI F.; ZAMMAI S.; CHERFI S.; BEN YAHIA S., 2019 – **Data quality in ETL process: A preliminary study**. ScienceDirect Procedia Computer Science, 159(676).
- [9] TEJNANI P., 2017 – **Study of ETL Tools: Talend Open Studio and SQL Server Integration Services (SSIS)**. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 2321(9653).
- [10] AMINE A.; AIT DAOUD R.; BOUIKHALENE B., 2021 – **Performance and analyses using two ETL extraction**

software solutions. International Journal on Optimization and Applications IJOA, 1(2).

[11] YANGENG W, LEI W, 2011 – **The Research of Enterprise Data Center Based on SSIS**. International Conference on Business Management and Electronic Information, 12074510.

مساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة لدعم منظومة النقل في المشافي.

- الاسم: د. وسيم حبيب بلال

- البريد الإلكتروني: w.bilal@au.edu.sy

Wasem_b@hotmail.com

جامعة الاندلس الخاصة للعلوم الطبية – (كلية إدارة المشافي – كلية الهندسة الطبية)
قسم العلوم الأساسية. المرتبة العلمية: مدرس

الملخص

ندرس في هذا البحث إمكانية المساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ
زمنية صارمة *Vehicle Routing Problem With Hard Time Windows (VRPHTW)*،
التي هي واحدة من مشاكل الأمثلة حيث أخذت الكثير من الاهتمام في الوقت الحاضر،
والتي هي مسألة من النوع *NP-HARD*، ولا توجد حتى الآن خوارزمية تقدم لنا الحل
الأمثل لهذه المشكلة، فكل الخوارزميات المستخدمة تعطي حلولاً تقريبية.

سنعرض في بحثنا الخوارزمية الهجينة *Hybrid Algorithm (HA)* التي
تدمج خوارزمية البحث المحلي الموجه *Guided Local Search (GLS)* وخوارزمية
البحث المحظور *Tabu Search (TS)*، والمستندة على خوارزمية الاقتصاد *Sav*
Savings Algorithm، ثم مقارنة الحل الناتج عن هذا النهج الهجين *(GLS – Sav)*
مع نتائج تجارب قياسية معروفة لتحديد فعالية النهج المقدم.

الكلمات المفتاحية: الخوارزميات التقريبية (الهجينة – البحث المحلي الموجه – التوفير،
البحث المحظور).

Contribute to solve Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows (VRPHTW) To Support the Transportation System in Hospitals.

Abstract

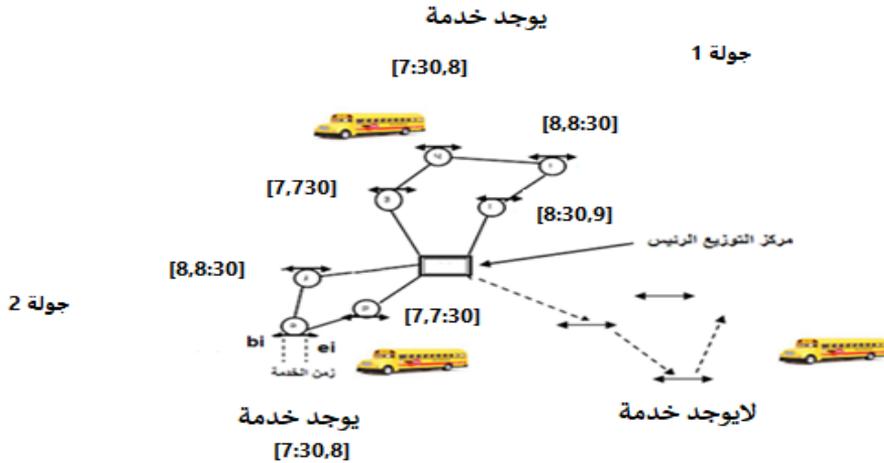
In this research, we study the possibility of contribution in solving Vehicle Routing Problem with *Hard Time Windows* (VRPHTW), which is one of the optimization problems that, has attracted a lot of attention at the present time. It is a problem of the NP-hard type. There is still no algorithm providing us with the optimal solution of this problem. All the used algorithms give approximate solutions.

In our research, we will present the Hybrid Algorithm (HA), which integrates the *Guided Local Search Algorithm (GLS)* and the *Tabu Search Algorithm (TSA)*, which is based on the Saving Algorithm (*SA_v*). We will then compare the quality of the solution resulted from this hybrid approach (*GLS – TS*) – *SA_v* with the results of well-known standard tests to determine the effectiveness of the presented approach.

Keywords: *Approximate Algorithms (Hybrid, Guided Local Search m, Tabu Search, Savings).*

مقدمة:

يمكن وصف مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة كأحد أكثر مسائل الأمثلة صعوبة لأنها من الصنف $NP - HARD$ ، وتعدّ امتداداً هاماً لمسألة توجيه المركبة الكلاسيكية (CVRP) بقيود الزمن الإضافية ، و هذه القيود الزمنية الإضافية تجعل حل المسألة أكثر صعوبة ، لقد تمت دراسة هذه المسألة من قبل الباحث (1987, *Solomon, M. M*)، [3]. والباحث (*Luca Maria Gambardella,2000*) [2]، و كانت مسألة توجيه المركبة قد قدمت من قبل الباحثين *J. H. Dantzig*¹ , *Ramser* [1] في عام 1959 و تم وضع النموذج الرياضي لها ، و أضافت مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة لمسألة توجيه المركبة الكلاسيكية تعقيداً جديداً هو نافذة الزمن ، و يتضمن التوجيه الكلي و جدولة الكلفة و مسافة السفر الكلية ، و زمن خدمة (S_i) ، و كلفة زمن الانتظار عندما تصل المركبة مبكراً الى موقع الزبون والشكل (1) يوضح مشكلة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة. [4].



الشكل (1) جولات المركبة مع نوافذ زمنية صارمة.

1 عالم رياضيات أمريكي، ولد 1914 وتوفي 2005، قدم خوارزميات بسيطة.

إن عدد المركبات هو متغير القرار في كثير من الأحيان، ويرتبط تابع الهدف مع هذه المسائل بهرمية، حيث يتم تخفيض عدد المركبات، وتقليل المسافة الإجمالية للسفر.

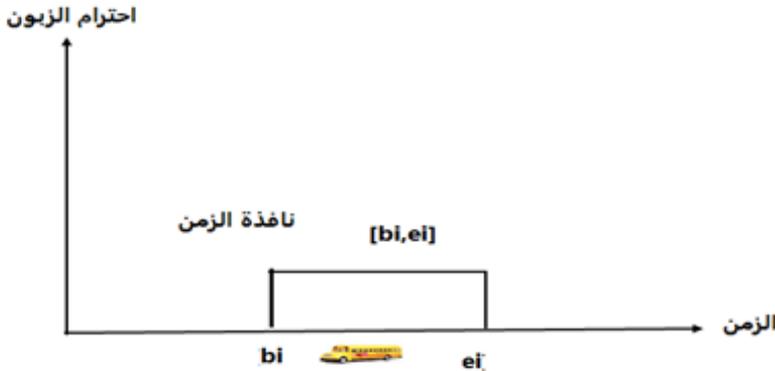
الخدمة غير مسموح بها	الخدمة مسموح بها	الخدمة غير مسموح بها
زمن انتظار	b_i	e_i زمن انتظار

الشكل (2): الفاصل الزمني المسموح به للخدمة مع نوافذ زمنية صارمة.

و كل زبون i لديه فاصل زمني تكون الخدمة فيه مسموحة $[b_i, e_i]$ ، و b_i الحد الأدنى لنافاذة الزمن القاسية للعقدة i ، و e_i الحد الأعلى لنافاذة الزمن القاسية للعقدة i كما هو مبين في الشكل (3) ، و $[b_i, e_i]$ نافذة الزمن التي يجب أن تحصل فيها الخدمة ، والخدمة خارج هذه الفترة غير مسموح فيها، و وصول المركبة قبل الحد الأدنى لنافاذة الزمن يسبب زمن انتظار إضافي على الجولة ويعطى بالعلاقة:

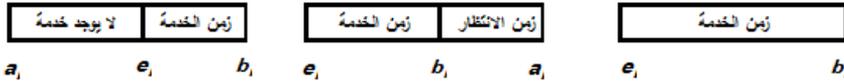
$$.w_i = (b_i - t_i)$$

والشكل (3) يصف احترام الزبون لنافاذة الزمن الصارمة [5].



الشكل (3): احترام الزبون للنافذة الزمنية الصارمة.

كما يتم تمثيل نافذة الزبون خلال الفترة $[b_i, e_i]$ حيث b_i و e_i أقرب وآخر زمن وصول على التوالي، ولن يتم توفير الخدمة للزبون من قبل المركبة إلا إذا وصلت خلال هذه الفترة الزمنية كما هو مبين في الشكل (4-أ)، ويمكن للمركبة أن تصل إلى موقع الزبون قبل أن تفتح نافذة الزمن ولكن يجب أن تنتظر حتى تفتح النافذة كما هو مبين في الشكل (4-ب)، ولكن لا يمكن أن تصل الى موقع الزبون بعد إغلاق النافذة كما هو مبين في الشكل (4-ت).



أ-إذا كانت $b_i \leq a_i \leq e_i$ ب-إذا كانت $a_i \leq b_i \leq e_i$ ت-إذا كانت $b_i \leq e_i \leq a_i$

الشكل (4): النوافذ الزمنية للزبون .

أهمية البحث وأهدافه:

ترجع أهمية البحث لكثرة تطبيقاته في النقل، حيث يسهل الاستعداد لحالات الطوارئ، والإغاثة من الكوارث، والعناية الصحية والإمداد بأقصر مسار ممكن وضمن زمن معقول. وهو بحث علمي يتعلق بالمجتمع.

يهدف هذا البحث للمساهمة في حل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة باستخدام الخوارزميات التقريبية من خلال اقتراح خوارزمية هجينة مؤلفة من ثلاث خوارزميات، تدمج خوارزمية البحث المحلي الموجه *Guided Local Search (GLS)* وخوارزمية البحث المحظور *Tabu Search (TS)*، والمستندة على خوارزمية التوفير *Savings Algorithm (SAV)*، ثم مقارنة الحل الناتج عن هذا النهج الهجين المقترح *SAV - (GLS - TS)* مع نتائج تجارب قياسية معروفة لتحديد فعالية النهج المقترح. [5].

مواد وطرق البحث:

اعتمدت طرائق البحث على التحليل والتجريب والمقارنة وحل المسألة باستخدام الخوارزميات الهجينة المطورة ولغات البرمجة، و مراجعة العديد من المراجع العلمية والبحوث النظرية المنشورة، والمصادر البرمجية المفتوحة وتم برمجة الخوارزمية الهجينة المقترحة بلغة $turbo C^{++}$.

1- معادلات مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة:

تمثل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة ببيان تام موزون غير موجه $G = (V, E)$ حيث إن $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$ مجموعة العقد، وتمثل $V^* = V \setminus \{v_0\} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ مجموعة الزبائن، وكل زبون $i \in V^*$ ، و $E = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ تمثل مجموعة الأضلاع التي تصل بين العقد بالكامل و $L = (l_{ij})$ مصفوفة المسافة بين كل العقد في البيان وبين مركز التوزيع الرئيس v_0 ، و بالنسبة للمسافة والزمن على حد سواء اتخذت لتكون مسافات إقليدية متماثلة. [6].

2- الفرضيات:

- 1- استخدام مركبات متماثلة مع استطاعات معروفة Q .
- 2- إن تكاليف زمن الراحة، وزمن المغادرة، وزمن الانتظار، وزمن الخدمة، وزمن الحمولة متماثلة.
- 3- مطلب كل زبون i محدد ضمن نافذة زمنية $[b_i, e_i]$ وهو $q_i > 0$.
- 4- يجب أن يكون إجمال الطلب من أي زبون أقل من استطاعة المركبة، التي يمكن صياغتها كما يلي:

$$\sum_{i \in cust(r)} q_i \leq Q, (1 \leq r \leq m), \quad (1)$$

- حيث إن $cust(r)$ مجموعة من الزبائن في الطريق r ، و q_i مطلب الزبون في العقدة i ، و Q الاستطاعة الكلية لكل مركبة.
- 5- مركز التوزيع الرئيس v_0 هو مركز توزيع وحيد.
- 6- لكل طريق حد أقصى للمسافة والزمن والتكلفة.
- 7- كلفة الانتقال ذهاباً وإياباً بين عقدة وأخرى هي نفسها $c_{ij} = c_{ji}$.
- 8- جميع المركبات فارغة في المستودع، و من أجل كل مركبة $q_0(k) = 0$.
- 9- لكل ضلع (i, j) كلفة c_{ij} والزمن الذي يستغرقه السفر $t_{ij} = c_{ij}$.
- 10- كل الطلبات لجميع المركبات K محددة ومعروفة.
- 11- تابع المسافة يعرف إجراء المسافة كما يلي: $d: E \rightarrow Z^+$
 $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad \& \quad i \neq j;$

$$\min \rightarrow \sum_{i,j} d_{ij}, \forall i, j \in N, \quad (2)$$

 $d_{ij} > 0$ و d_{ij} تمثل المسافة بين العقدة i والعقدة j .

3- القيود:

- 1- كل زبون v_i يخدم مرة واحدة من خلال مركبة واحدة ضمن نافذة زمنية $[b_i, e_i]$ يجب توفير الخدمة من خلالها و $b_i < e_i$.
- 2- إجمالي طلبات الزبائن في كل جولة يجب أن لا يتجاوز استطاعة المركبة Q .
- 3- جميع الجولات يجب أن تبدأ وتنتهي في مركز التوزيع v_0 .
- 4- تصنيف مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة (VRPHTW):

إن مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة (VRPHTW) هي من الصنف NP - HARD ، وهي النوع الأكثر أهمية لوجود نوافذ زمنية يتطلب تقنيات معقدة للتعامل معها . إن تعقيد هذه المسألة دفع الباحثين إلى إيجاد طرقاً للحل تعطي حلولاً تقريبية مرضي صانع القرار لكنها ليست حلولاً مثلى، وبالتالي لا توجد حتى الآن خوارزميات فعّالة للحصول على الحل الأمثل لها [3] .

5 - نافذة الزمن :

إن نافذة الزمن $[b_i, e_i]$ ترتبط بكل زبون i و $b_i < e_i$ ، حيث المركبة لا تستطيع الوصول في زمن سابق عن b_i ، ولا تستطيع الوصول بعد الزمن الاخير e_i ، و مسألة توجيه المركبة الكلاسيكية VRP بدون نافذة زمن يقابلها الحالة $b_i = 0$ و $e_i = \infty$ من أجل $1 \leq i \leq n$ ، و عندما يحدد كل زبون نافذة زمنية ، فإن مشكلة العثور على طرق المركبات التي تلي قيود الاستطاعة و النافذة الزمنية تصبح هذه القيود أكثر صعوبة [4] .

6. قيود نافذة الزمن:

تصنف قيود نافذة الزمن إلى نوعين هما:

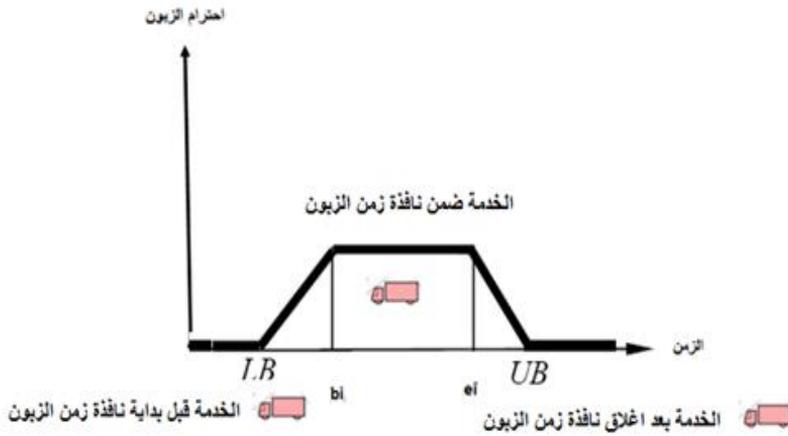
1.6 قيود زمنية صارمة:

يتم زيارة الزبائن ضمن نافذة زمنية صارمة و محددة ($Hard$ (HTC) $Time$ $Constraint$ بـ $[b_i, e_i]$ و لا يمكن أن تنتهك ، ويجب أن تصل المركبة وفقا لمتطلبات الزبائن في الزمن المحدد والبدء بالخدمة عند اقرب زمن ممكن و زمن بداية خدمة كل زبون s_i يجب ان يكون محتوى في نافذة الزمن الصارمة $[b_i, e_i]$ ، و بسبب الحدود الصارمة لهذه النافذة يسمح بزمن انتظار محدود جداً من دون فرض أية عقوبات و يحظر على المركبات الوصول في زمن متأخر للخدمة [4] .، و يشكل هذا النوع مجموعة كبيرة من التطبيقات العملية في النقل و الخدمات اللوجستية ويرجع ذلك لأهمية الخدمة فقط في الزمن المحدد ($just - in - time$ (JIT) ، و إن $[b_i, e_i]$ هي نافذة الزمن التي يجب أن تحصل فيها الخدمة ، والخدمة خارج هذه الفترة غير مسموح فيها ، و وصول المركبة قبل الحد الأدنى لنافذة الزمن يسبب زمن انتظار إضافي على الجولة هو $w_i = (b_i - t_i)$ ، و الشكل (3) يصف إرضاء الزبون للنافذة الزمنية الصارمة ، و

على سبيل المثال يكون الضلع (i, j) عملياً أو ممكناً إذا كان : $b_i + t_{ij} + s_i \leq e_j$

2.6 قيود زمنية ناعمة (STC): Soft Time Constraints

يتم خدمة الزبائن خارج النافذة الزمنية المحددة $[b_i, e_i]$ بحيث يسمح بخدمة الزبائن قبل وبعد حدود نافذة الزمن، و يمكن تقديم الخدمة أو تأخيرها وفقاً لرغبة الزبون من خلال فرض عقوبات ثابتة أو متغيرة اعتماداً على نوع الانتهاك ، و عن طريق تحديد ملائم لمعاملات عقوبة التقديم أو التأخير المستخلصة ، وهذا التخفيف يأتي على حساب العقوبة المناسبة التي تضاف كعقوبة لقيمة تابع الهدف f التي تعكس بان انتهاك نوافذ الزمن لإرضاء الزبائن الى حد كبير [6]، علماً بأن مكون العقوبة لا يصلح لتقييم الزمن الثابت ، ويوضح الشكل (5) حالة النافذة الزمنية الناعمة ، و يظهر إن الخدمة في هذه الحالة يسمح بها لكن العقوبة تفرض على هذه الخدمة خارج نافذة الزمن المحددة ، و إرضاء الزبون في الفترة $[b_i, e_i]$ يخفض كما يلي $[e_i, UB_i]$ & $[LB_i, b_i]$.



الشكل (5) : يظهر كيف يمكن تخديم الزبون خارج نافذة $[b_i, e_i]$ في نوافذ الزمن الناعمة مع فرض عقوبة على الخدمة .

7- صياغة مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة:

تم وضع النموذج الرياضي لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة من قبل العالم (Solomon, M. M, 1987) [7] ، و يحتوي النموذج على نوعين من متغيرات القرار هما x و y من أجل كل ضلع (i, j) ، ومن أجل كل مركبة نعرف متغيرات القرار : $x_{ij}^k, y_i^k, x_{ij}^k \in \{0,1\}$ كما يلي :

$$x_{ij}^k \triangleq \begin{cases} 1 & \text{إذا زارت المركبة } k \text{ العقدة } j \text{ بعد العقدة } i \\ & i, j \in \{1, 2, \dots, n\}, |i \neq j, \quad k \in \{1, 2, \dots, m\} \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \quad (3)$$

و متغير القرار الثاني y_i^k معرف لكل زبون $i \in V$ ، ولكل مركبة $k \in K$ ، ويشير إلى الزمن الذي تبدأ فيه المركبة k خدمة الزبون i ، وإذا كانت المركبة k لا تخدم الزبون i عندئذ y_i^k ليس له معنى، ولذا نحن نفترض $b_0 = 0$ وبالتالي $y_0^k = 0$ من أجل كل مركبة k .

$$y_i^k = \begin{cases} 1 & \text{إذا خدمت المركبة } k \text{ الزبون } i \\ 0 & \text{خلاف ذلك} \end{cases} \quad (4)$$

ويعبر تابع هدف المسألة عن تخفيض التكلفة الكلية كما في العلاقة.

$$\min z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{V^*} \sum_{j=1}^{V^*} x_{ij}^k C_{ij}^k, \quad \forall i, j \in V^*, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V^*} x_{0j}^k = 1, \quad \forall j \in V^*, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V^*} x_{i0}^k = 1 \quad , \quad \forall i \in V^*, \forall k \in \mathbf{K} \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{\mathbf{K}} \sum_{j=1}^{V^*} x_{0j}^k \leq m \quad , \quad \forall j \in V^*, \forall k \in \mathbf{K} \quad (8)$$

$$t_i \geq b_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$t_i + w_i \leq e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$t_0 = w_0 = s_0 = 0 \quad , \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{V^*} q_i \leq Q \quad , \quad \forall i \in V^* \quad (12)$$

$$\sum_{i \in V^*} x_{ij}^k - \sum_{j \in V^*} x_{ij}^k = 0 \quad , \quad \forall i, j \in V^*, \forall k \in \mathbf{K} \quad (13)$$

$$\sum_{k \in \mathbf{K}} \sum_{j \in V^*} x_{ij}^k = 1 \quad , \quad \forall i, j \in V^*, \quad \forall k \in \mathbf{K} \quad (14)$$

$$\sum_{i \in V^*} q_i \sum_{j \in V^*} x_{ij}^k \leq Q \quad , \quad \forall i, j \in V^*, \quad \forall k \in \mathbf{K} \quad (15)$$

$$y_i^k + s_i^k + t_{ij} - k(1 - x_{ij}^k) \leq s_j^k, \forall i, j \in V^*, \forall k \in \mathbf{K} \quad (16)$$

$$b_i \leq y_i^k \leq e_i \quad , \quad \forall i \in V^*, \quad \forall k \in \mathbf{K} \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^{\mathbf{K}} \sum_{j=1, i \neq j}^{V^*} x_{ij}^k (t_i + t_{ij} + s_i + w_i) \leq t_j, \forall k \in \mathbf{K}, \forall i \in \mathbf{V} \quad (18)$$

$$\sum_{k=1}^{\mathbf{K}} \sum_{i=0}^{V^*} d_{ij}^k x_{ij}^k \leq D_k \quad , \quad \forall k \in \mathbf{K} \quad (19)$$

تمثل كلاً من المعادلتين (6) و (7) قيوداً تضمن زيارة كل عقدة مرة واحدة فقط بواسطة مركبة واحدة فقط.

أما المتراجحة (8) تضمن الحد الأقصى لعدد المركبات من مركز توزيع وحيد بحيث تغادره وتعود إليه.

والقيود (9)، (10)، (11) تتضمن قيد نافذة الزمن، أما المتراجحة (12) فهي قيد طلبات الزبائن.

والقيد (13) يدل على أن كل مركبة يجب أن تترك الزبون بعد الانتهاء من التسليم.

والقيد (14) يعني أن كل زبون يمكن أن يزار من مركبة واحدة فقط.

و القيد (15) يظهر بان الطلب الكلي q_i من أي جولة k لمجموعة من الزبائن i يجب أن يكون أقل من استطاعة المركبة Q_k .

والقيد (16) لا يسمح للمركبة k الوصول الى الزبون j من خلال الزبون i قبل انقضاء زمن تحديد الزبون S_i^k .

والقيد (17) يشير إلى أن زمن الخدمة لكل زبون i يجب أن يكون ضمن نافذة الزمن.

والقيد (18) يشير إلى قيد زمن الرحلة الأقصى.

والقيد (19) يشير إلى أن الطول الكلي لكل جولة k له حد D_k .

8- الدراسة المرجعية :

إن حل مسألة توجيه المركبة بنوافذ زمنية صارمة $VRPHTW$ مازال أصعب بكثير من حل مسألة توجيه المركبة الكلاسيكية VRP بسبب تحديد زمن خدمة الزبائن، وهذا يزيد من تعقيدها.

يستخدم لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة ثلاثة أنواع من الخوارزميات نعرضها فيما يأتي:

8-1 الخوارزميات المضبوطة²: Exact Algorithms

توفر الخوارزميات المضبوطة الحلول المثلى ولكن يمكن أن تكون مكلفة حسابياً أو ببساطة مستعصية، وبالتالي هذه الخوارزميات المضبوطة ملائمة لحالات ذات قياس صغير نسبياً، ولا يمكن أن تحل حالات المسألة لأكثر من 50 زبوناً في فترة زمنية معقولة لأنها من الصنف $NP - HARD$ وهي صعبة الحل حتى باستعمال الحاسبات. [7] ،

إن مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة لا يمكن أن تحل بالطرق المضبوطة، وخصوصاً عندما يكون لدينا حالات أكبر أو نوافذ زمنية أوسع.

8-2 الخوارزميات التقريبية: Approximate Algorithms

إن عدم قدرة الخوارزميات المضبوطة في حل العديد من المسائل الامثلية التوافقية ضمن زمن معقول، دفع الباحثون لتطوير خوارزميات تقريبية [4] تحاول تجاوز صعوبة المسائل من الصنف $NP-HARD$ ، وهي طرق تسعى للحصول على حلول جيدة

² : هي الخوارزميات التي تُنتج دائماً الحلّ الأمثلّ المضبوط ضمن شروط وقياسات محددة.

تقريبية مخفضة الكلفة الحسابية نسبياً دون أن تكون قادرة على ضمان أمثلية الحلول ، ويمكن تصنيفها إلى نوعين :

8-2-1 النوع الأول: طرائق الحل الإرشادية الكلاسيكية:

إن هذه الخوارزميات تنتج حلولاً مثالية تقريبية جيدة وعملية وسريعة في اغلب الأحيان في زمن معقول للحالات ذات القياس الكبير، ولديها زمن تشغيل كثيرة الحدود، وبالتالي استخدام هذه الخوارزميات يوفر حلولاً جيدة في فترة زمنية معقولة، ومن ناحية أخرى فإنها تجري بحثاً محدوداً في فضاء الحل. [8].

8-2-2 النوع الثاني: الخوارزميات ما وراء الإرشادية:

إن اغلب الأبحاث في العقود الأخيرة ركزت منذ عام 1990 على تصميم خوارزميات ما وراء إرشادية *Meta-Heuristics* فعالة وأكثر عمومية من الخوارزميات الإرشادية الكلاسيكية وتعطي حلولاً عالية الجودة لمجموعة متنوعة من المسائل المعقدة ذات الطابع اليومي المعقدة لسنوات عديدة [9]، ولكن هي غير قادرة على التكيف مع التغيرات في تركيب المشكلة المحددة ، أو حتى لحالات مشكلة مختلفة بنفس التركيب، وتتضمن الخوارزميات ما وراء الإرشادية العديد من البارامترات التي من الضروري ان تضبط بشكل جيد لكل مسألة قبل عملية التطبيق، و يمكن تقسيم ما وراء الإرشادي إلى صنفين :

الصنف الأول: الحل الوحيد

يقوم هذا الصنف بتحسين حل واحد فقط بشكل متكرر، ومن الأمثلة على ما وراء الإرشادي أحادية الحل خوارزمية البحث المحظور *TS* [16]. والتي يمكن أن تكون جزءاً لا يتجزأ من إجراءات التحسين، وخوارزمية محاكاة التعدين *SA*، و

تتحرك الخوارزميات من حل إلى آخر في الجوار الأقرب طالما المعايير محترمة [17].

الصف الثاني: ما وراء الإرشادي المستندة على السكان.

هذا الصف يستخدم حلولاً متعددة، ومن الأمثلة عليها خوارزميات مستعمرة النمل *ACO* والخوارزمية الجينية *GA*، وهما تعتمدان على آلية بناء توجد العديد من الحلول في كل تكرار بناء اعتماداً على المعلومات من الأجيال السابقة [17]. أما خوارزميات ذكاء السرب *PSO* التي تستخدم ذكاء السلوك الاجتماعي للكائنات الطبيعية، وخوارزميات التطور وهي مجموعة أوسع من ما وراء الإرشادي المستندة على السكان التي تطبق التطور الاصطناعي للسكان، وذلك باستخدام العمليات القائمة في الطبيعة، مثل الاختيار الطبيعي، والطفرة، والتكاثر لتطوير الحل تكراراً. [17].

8-2-3 الخوارزميات الهجينة:

لم يتم قبول مفهوم ما وراء الإرشادي الهجين إلا في السنوات الأخيرة، بالرغم من أن فكرة الجمع بين استراتيجيات ما وراء إرشادية مختلفة يعود إلى 1980، ولقد وجد الباحثون إن توظيف التهجين في مسائل الامثلية يمكن أن يحسن نوعية الحلول التي يمكن إيجادها مقارنة بالنهج الإرشادي وما وراء الإرشادي وعلى الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات إلا أنها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة، و إن تطوير الخوارزميات الهجينة هو مجال من البحوث ينمو بسرعة فائقة و هو مجموعة من الطرق التقريبية لإيجاد حلول مثالية تقريباً بتكلفة حسابية معقولة لكن دون أن يكون قادراً على ضمان المثالية، و يسعى الباحثون لصياغة

استراتيجيات هجينة للحد من الزمن الحسابي لهذه الخوارزميات ، وهذه التقنيات الهجينة منتشرة في مجالات متنامية كبحوث العمليات والذكاء الاصطناعي [12].

9. أنواع التهجين:

على الرغم من الاختلافات الكبيرة والهامة بين هذه الخوارزميات التقريبية، إلا أنها تشترك ببعض العناصر التي تم تجاهلها وتركت غير مستغلة. قسم الباحثان *Blum & (Roli, 2003)* الخوارزميات ما وراء الإرشادي الهجين [12]. إلى ثلاثة نماذج مختلفة هي:

• النموذج الأول: تبادل المكونات ما بين الخوارزميات ما وراء الإرشادية.

يعتبر هذا النموذج من أكثر الطرق شعبية للتهجين ويقسم هذا النموذج إلى نوعين من الطرائق.

- أ. **الطرائق القائمة على السكان:** تستند هذه الطرائق على مفهوم إعادة الربط بين الحلول للحصول على حلول جديدة، وعادة ما يكون الحل الناتج عن إعادة تركيب الحلول في الأساليب القائمة على السكان أكثر اختلافاً من الوالدين.
- ب. **طرائق المسار:** يتم البحث فيها عن منطقة واعدة في فضاء البحث بطريقة أكثر تنظيماً من الطرق القائمة على السكان، وبالتالي فإن خطر فقدان حلول قريبة من الجيدة ليس مرتفعاً كما هو الحال في الأساليب القائمة على السكان.

إن معظم التطبيقات الناجحة تستفيد من إجراءات البحث المحلية فمثلاً الحساب التطويري *EC* ، وأمثلي *m* مستعمرة النمل *ACO* تستفيد من إجراءات البحث المحلية .

• النموذج الثاني: البحث التعاوني.

يتكون البحث التعاوني من التنفيذ المتوازي لخوارزميات البحث مع مستويات متفاوتة أو مختلفة من خلال تبادل المعلومات حول الجوار والحلول الناتجة أو غيرها من خصائص فضاء البحث، والنماذج والمشاكل الفرعية بأكملها وتنفذ مع ضبط بارومتري مختلفة، ويحظى البحث التعاوني في الوقت الحاضر مزيداً من الاهتمام، والهدف من البحث التعاوني ما وراء إرشادي مزدوج، وحتى يتحقق ذلك بشكل فعال يجب مراعاة الآتي:

أولاً: ينبغي إعادة تصميم ما وراء الإرشادي لجعلها مناسبة للتنفيذ المتوازي من أجل استغلال التوازي الجوهري.

ثانياً: يجب العثور على مزيج فعال من ما وراء الإرشادي، على حد سواء للجمع بين مختلف الخصائص، ونقاط القوة، وتصميم آلية اتصال فعالة.

• النموذج الثالث: تكامل الخوارزميات ما وراء الإرشادية.

يتم أحياناً تهجين طرق الحل ما وراء الإرشادية من أجل البحث عن حل تقريبي من خلال التكامل بين الخوارزميات الإرشادية التقريبية، ويوجد مثال ناجح جداً على هذا التكامل هو الجمع بين ما وراء الإرشادي، والبرمجة المقيدة (Focacci et al., CP (2002)، وعادة ما يتحقق التهجين من خلال دمج المفاهيم التي تم تطويرها لما وراء الإرشادي وهي على سبيل المثال، الخيارات الاحتمالية، ومعايير

10- معالجة المسألة:

إن مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة هي من صنف المسائل القياسية *NP-hard*، سنستخدم خوارزميات هجينة مطورة من تهجين خوارزميات إرشادية وما وراء إرشادية للتركيز على المزايا الإيجابية والتعويض عن المزايا السلبية في

الخوارزميات التقريبية المذكورة، والهدف هو الجمع بمهارة بين العناصر الرئيسية للمنهجيات المتنافسة لإيجاد حل متفوق، والخوارزميات المقترحة ستشكل إطار عمل مختلف لمعالجتها.

وسنستعرض الخوارزميات المستخدمة لمعالجة المشكلة والخوارزمية الهيمنة المقترحة.

1-10 خوارزمية البحث المحلي الموجه: *Guided Local Search (GLS)*

إن خوارزمية البحث المحلي الموجه *GLS* هي استراتيجية بحث ما وراء إرشادية تعتمد على مبدأ تطبيق العقوبات على الحلول ذات التكلفة العالية لاستبعادها أي تتبّع بعض مزايا الحل وتستخدم لتوجيه بحث الجوار في فضاء البحث ، وتركز على أجزاء واعدة من فضاء البحث ، بحيث يكون لكل حل ميزة وكل ميزة لها كلفة و يحاول البحث المحلي الموجه معاينة واستبعاد الميزات المكلفة وتخطي الوقوع في الامتلية المحلية من خلال التغيير في فضاء البحث ، و يستخدم تابع تعديل تقييم التحرك عندما سيقدر أي جار أفضل ، و يستعمل البحث المحلي الموجه المستند على العقوبات لتعديل شروطها بشكل مستمر وهو مرتبط بتابع هدف معزز من أجل إيجاد حل فعال [10].

تعرف خوارزمية البحث المحلي الموجه تابع الهدف المحسن على النحو الآتي:

$$h(s) = O(s) + \lambda \sum_{i \in F} f_i(s) \cdot P_i \cdot C_i \quad (20)$$

حيث $O(s)$: تابع الهدف الأساسي .

و λ وسيط يعدل تأثير العقوبات .

$f_i(s)$: تابع مؤشر على النحو الآتي :

$$f_i(s) = \begin{cases} 1 & , i \in F \text{ عنده الميزة} \\ 0 & , i \in F \text{ لا يملك الميزة} \end{cases} \quad (21)$$

المجموعة $F = \{1, \dots, G\}$ تمثل ميزات الحلول.

P : متجهة العقوبة : $P = [P_i]; i = 1, 2, \dots, G$

P_i : وهو عدد مرات معاقبة الميزة i .

C_i : يمثل تكلفة الميزة i .

2.10 خطوات خوارزمية البحث المحلي الموجه GLS :

pseudo-codes (GLS)

- 1- $P = \vec{0}$.
- 2- $S = InitialSolution()$.
- 3- $S^* = LocalSearch(S)$.
- 4- **while not stoppingCondition() do.**
- 5- $f = ChoosePenaltyFeatures(s, p)$;
- 6- **for each x in f do** $P_x = P_x + 1$.
- 7- $S = LocalSearch(S)$.
- 8- **if** $O(s) < O(S^*)$ **then**
- 9- $S^* = S$.
- 10- **return** S^* .

ومن المثير للاهتمام ملاحظة أن متجهة العقوبة P تعمل بمثابة ذاكرة طويلة الأمد لحفظ كافة الميزات غير المرغوب فيها والتي تظهر في الأمثلة المحلية الدنيا وتمت زيارتها سابقاً، كما توجد بعض الملاحظات التجريبية تؤكد أن قيمة الوسيط λ لها تأثير كبير على تحسين أداء خوارزمية البحث المحلي الموجه ، وبالتالي التأثير على نوعية الحل الناتج وجودته من أجل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية إذ إنه عندما تراوحت قيمة λ بين 0.1 و 0.3 وأعطت الخوارزمية أفضل نتيجة وكانت بالضبط من أجل $\lambda = 0.2$ [10].

3.10 خوارزمية البحث المحظور من أجل مسألة توجيه المركبة مع

نوافذ زمنية:

تعد من أكثر الخوارزميات ما وراء الإرشادية انتشاراً حيث يمثل استخدام الذاكرة الذي يقوم بتخزين المعلومات المتعلقة بعمليات الأضلاع ميزة خاصة للبحث المحظور.

إن خوارزمية البحث المحظور TS تتصرف مثل خوارزمية البحث المحلي LS ، لكنها تقبل حلولاً غير محسنة للهروب من الوقوع في الامتلية المحلية، وعندما يتم التوصل إلى نقاط مثلى محلية يعمل البحث المحظور على اختيار حل مرشح أسوأ من الحل الحالي.

لكن البحث المحظور قد ينظر إليه كتحويل يزيد من عدد الجوار وفي هذا النهج قد يؤدي إلى الدخول في دورات مفرغة يمكن اختيار حلول مزاره سابقاً مرة ثانية، ولتجنب الدخول في دورات البحث المحظور TS يتجاهل الجوار الذي تم زيارته سابقاً من خلال حفظ مسار البحث الأخير، والبحث المحظور يدير ذاكرة الحل أو التحركات المطبقة مؤخراً والتي تدعى القائمة المحظورة، وتشكل ذاكرة قصيرة المدى، وفي كل تكرار للبحث المحظور TS يحدث الذاكرة على المدى القصير.

إن تخزين كل الحلول المزاره في القائمة المحظورة هو استهلاك للذاكرة والزمن، ويجب ان ندقق في كل تكرار إذا كان حلاً مولداً لا يعود إلى قائمة كل الحلول المزاره، وتحتوي القائمة المحظورة على عدد ثابت من الحركات المحظورة. ومن خلال إدخال مفهوم ميزات الحل وخواص هذه الحركات، ربما نفقد بعض المعلومات حول ذاكرة البحث ويمكن أن نرفض الحلول التي لم تولد حتى الآن، وإذا كان التحرك جيداً من القائمة المحظورة والتي تكون مقيدة جداً فإن حلولاً غير مولدة قد تكون ممنوعة ومع ذلك فإن معايير الطموح تحدد قبولاً للحلول المحظورة، وهي حلول الجوار المقبولة غير محظورة وتحمل معايير التطلع.

4.10 تطبيق البحث المحظور لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية:

لكي نطبق البحث المحظور لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية يجب أن نعرف ميزات البحث المحظور، وأن نصف مجموعة من مكونات البحث المستخدمة واستراتيجياته العالية المستوى كالآتي: [13].

1. فضاء البحث: يشمل مجموعة الحلول العملية المحتملة.

2. تمثّل الحل.

يتمثّل الحل الممكن في سلسلة من الزبائن التي تظهر حسب ترتيب زيارتها ويزار كل زبون مرة واحدة فقط، ويمثّل مركز التوزيع الرئيس العقدة الأولى والأخيرة.

3. إجراء إيجاد الحل الأولي.

إن إيجاد الحل الأولي هو الخطوة الأولى في الحصول على الحل النهائي، ولإيجاده نتبع الآتي:

1- نوجد حل عملي ممكن على أساس بسيط من زمن السفر والانتظار.

2- نحاول تحسينه من قبل البحث المحظور.

3- تطبيق مرحلة ما بعد الحل الأمثل.

تستخدم الخوارزميات الإرشادية مثل الخوارزمية الطماعة للحصول على حل أولي جيد بطريقة فعالة ثم تدريجياً تعمل على تحسين هذا الحل عن طريق تبادل الجوار أو عمليات البحث المحلية، وعند إيجاد حل مبدئي لمشكلة التوجيه، تشير معايير التهيئة

لعملية العثور على أول زبون لإدراجه في الطريق، ومعايير التهيئة الأكثر شيوعاً هو أبعد الزبائن، مع أقرب موعد نهائي، أو أقرب زمن وصول مسموح به.

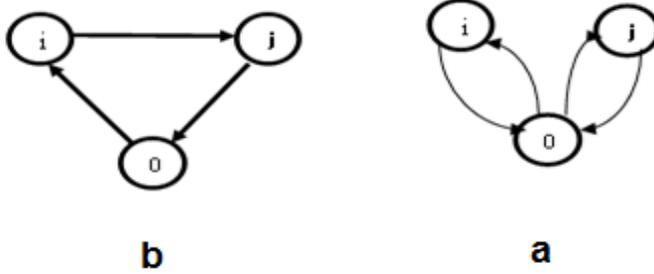
5.10 خطوات خوارزمية البحث المحظور TS لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية:

pseudo-codes (TS)

- 1- Choose an initial solution x in S .
 - i. Set $x^* = x$ & $k = 0$.
- 2- Set $k = k + 1$ & generate a subset V^* of solution in $N(x, k)$ such that either one of the Tabu conditions is violated or at least one of the aspiration conditions holds.
- 3- Choose a best j in x^* and set $x = j$.
- 4- If $f(x) < f(x^*)$ then set $x^* = x$.
- 5- Update Tabu and aspiration conditions.
- 6- If a stopping condition is met then stop. Else go to Step 2.

6-10 خوارزمية التوفير:

إن خوارزمية التوفير $Savings Algorithm(SA)$ هي خوارزمية إرشادية و لا تضمن الحل الأمثل بصورة مؤكدة ولكن تنتج حلاً جيداً نسبياً [14]، و هي تعبر عن وفورات في التكاليف التي تم الحصول عليها كما هو موضح في الشكل (6):



الشكل (6): يوضح مفهوم الادخار حيث 0 يمثل مركز التوزيع الرئيس

إن تقدير الحل الأولي لبناء الحل بحساب المطلب الذي يوفر بين كل العقد وفرزها بترتيب تنازلي عن طريق خوارزمية التوفير في الحلول السابقة، والاحتفاظ بالحل الذي تم الحصول عليه كأقل كلفة حتى الآن [15].

تمت زيارة الزبائن i ، j من خلال طرق منفصلة في الشكل (a-6) والبديل الأفضل أن يزار الزبائن على نفس الطريق، على سبيل المثال في التسلسل $i - j$ كما هو موضح في الشكل (b-6) لأن مصاريف النقل معطاة، ويمكن حساب الوفورات التي تتجم عن الانتقال على الطريق في الشكل (b-6) بدلاً عن الطريقين في الشكل (a-6) و c_{ij} تدل على كلفة النقل بين العقدتين i ، j و إجمالي تكلفة النقل D_a كما في الشكل (a-6) هي:

$$D_a = c_{0i} + c_{i0} + c_{0j} + c_{j0}$$

و بشكل مكافئ، D_a تكلفة النقل كما في الشكل (a-3) هو:

$$D_b = c_{0i} + c_{ij} + c_{j0}$$

و من خلال الجمع بين الطريقين بطريق واحد نحصل على التوفير S_{ij} :

$$S_{ij} = D_a - D_b = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij} \quad (22)$$

والقيم الناتجة من الجمع كبيرة نسبياً وجذابة لأننا انتقلنا مباشرة من العقدة i إلى j .

1.6.10 خطوات خوارزمية التوفير:

pseudo-codes Savings Algorithm(SA)

1. Make n routes : $v_0 \rightarrow v_i \rightarrow v_0$, for each $i \geq 1$.
2. Compute the savings for merging delivery locations i & j , which is given by:

$$S_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij} , \text{ for all } i, j \geq 1 \text{ \& } i \neq j.$$

3. Sort the savings in descending order.
4. Starting at the top of the (remaining) list of savings, merge the two routes associated with the largest (remaining) savings, provided that:
 - a. The two delivery locations are not already on the same route
 - b. Neither delivery location is interior to its route, meaning that both notes are still directly connected to the depot on their respective routes
 - c. The demand G & distance constraints D & time window are not violated by the merged route.
5. Repeat step (3) until no additional savings can be achieved.

نتائج ومناقشة:

1.11 خطوات الخوارزمية الهجينة المقدمة: (GLS – TS) – SAV

الخوارزمية الهجينة المقدمة (البحث المحلي الموجه-البحث المحظور) والمستندة

على خوارزمية التوفير:

نقترح في هذا العمل خوارزمية هجينة تعتمد على مبدأ الدمج بين خوارزمية

البحث المحلي الموجه مع خوارزمية البحث المحظور والمستندة على خوارزمية التوفير

SAV من ناحية تابع الهدف المحدد لتحقيق الكثير من الوفورات و لتحسين الحلول التي بنيت من قبل خوارزمية البحث المحظور باستخدام بنية ذاكرة متصلة بقائمة محظورة ، وسوف نستخدم القائمة المحظورة التي يمكن أن نتقلنا إلى حالة اضطراب هو أمر جديد، ومن خلال التحكم بحجم القائمة المحظورة لتجنب التكرار و الوقوع في الامثلية المحلية والتطلع إلى حل معقول نسبياً و استخدم البحث المحظور مع البحث المحلي الموجه بدلاً من استخدام المعلومات المحلية الوحيدة لأن تقدم البحث يحتاج إلى تحولات تصحيح لصالح التحركات الواعدة ، ولهذا سنستخدم الخوارزمية الهجينة (*GLS-TS*) التي تجمع بين هذه المزايا الجيدة لكل من الخوارزميتين بهدف الحصول على حل ذي جودة عالية لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة .

11-2 خطوات الخوارزمية الهجينة المقدمة *SAV - (GLS - TS)*:

قبل عرض خطوات الخوارزمية الهجينة لنوضح دلالات الرموز المستخدمة:

- **NH** : أحد الجوار المولدة للحل الحالي .
- **Best_NS** : أفضل جوار مولد حتى الآن من خلال خوارزمية البحث المحظور .
- **Opt_NS** : أفضل حل ولد حتى تحقق شروط التوقف .
- **NHG** : أفضل جوار للحل الحالي مولد من خلال خوارزمية البحث المحلي الموجه .
- **Best_NSG** : أفضل جوار مولد حتى الآن من خلال خوارزمية البحث المحلي الموجه .
- **Opt_NSG** : يمثل أفضل حل وجد من خلال البحث المحلي الموجه حتى تحقق شروط التوقف .
- **S** : الحل الحالي .
- **M(S)** : التكلفة الإجمالية للتوجيه انطلاقاً من الحل الحالي .

pseudo-codes (GLS – TS) – SAV:

1-The First Stage:

- i. *initialization*
- ii. $S = InitialSolution(S_{ij})$.// $S_{ij} = cd_{i0} + cd_{0j} - cd_{ij}$
- iii. $S^* = S$,

// توليد الحل الأولي S من خلال تطبيق خوارزمية التوفير بين جميع العقد من خلال العلاقة
// S_{ij} والاحتفاظ بالحل الذي تم الحصول عليه بأقل كلفة من ناحية تابع الهدف المحدد
// *the best solution S^* found and keeping the solution obtained at the lowest cost in terms of the follower of the specified target.*

- iv. $TL = 0$, // القائمة المحظورة تم تحديدها $Tabu List TL=12$.

2-The second stage:

Generation $N(s)$ by 2 – opt local search algorithm.

3- Third stage:

$$TL = TL + 1$$

تطبيق خوارزمية البحث المحظور لتجنب التكرار من خلال القائمة المحظورة والتطلع إلى حل معقول نسبياً //

4- The fourth stage:

Apply Guided LocalSearch(Tabu list)

// تطبيق البحث المحلي الموجه على القائمة المحظورة للتوجيه في منطقة البحث بدلاً من استخدام المعلومات المحلية الوحيدة. //

4-1 When there is no improvement S (in the 13 consecutive times)

$$Best_NS = InitialSolution$$

// **Best_NS** as a primary solution in the Guided local search area,

$$Best_NS = InitialSolution$$

$$Best_NSG = Best_NS$$

4-2 $Generation N(s) = InitialSolution$

توليد جوار للحل الحالي الأولي من خلال البحث المحلي الموجه NHG ..//

4-3 *Initial = Initialsolution(). //Initial is current solution*
S = Localsearch(Initial). //Make sure we start with a local minimum

S = NHG // S* = best represent the best solution found*

If** S < S* **then

Best = s

Endif

P = $\vec{0}$.

***whilenot** stoppingCondition()do. .*

f = ChoosePenaltyFeatures(s,p);

//and continuous visits impose a penalty on her 0.2 If the node is visited before the specified time to avoid node repeat visit

***for each** x in f **do** P_x = P_x + 1*

4-4 Calculate total cost $M(s)$ for the current solution **S** generated

If $M(S) < M(Best_NSG)$ then we proceed

Else go to step 3 (Third stage).

4-5 Repeat

step (3-4) & (4-4)

Choose $Opt_NSG = new\ solution$

Until (Terminating Condition in the **50** consecutive times)

5- The fifth stage:

***whilenot** stoppingCondition()do:*

Repeat the steps of the algorithm.

// تكرار خطوات الخوارزمية حتى تحقق معيار التوقف (الحصول على حل محسن أو تحديد زمن تنفيذ)

النتائج:

أجريت الاختبارات التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة التي تدمج (خوارزمية البحث المحلي الموجه و خوارزمية البحث المحظور) والمستندة على خوارزمية التوفير، و تم استخدام ++ C لتنفيذ الخوارزمية و نفذنا التجارب الحاسوبية في PC باستخدام معالج *corei7* و *8 GB* من ذاكرة الوصول العشوائي، و أعطت هذه الخوارزمية ثمانية حالات جيدة من أصل 14، و البيانات المستخدمة لتقييم أداء الحل المقترح للباحث *Solomon's* [17,16]. لمسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة هي من النوع *R,RC* حيث *RC* تتكون من مسألتين و *R* تتكون من 12 مسألة في هذه المشكلة من هذه المشاكل تم اختيار ذلك من 100 حالة منتشرة جغرافياً . في البداية ننظر في خصائص كل نوع من هذه الأنواع ونقسم المشكلة *R* إلى ثلاث مجموعات:

- المجموعة الأولى: *R101~R104* والفاصل الزمني في هذه المشكلة هو 10.
 - المجموعة الثانية: *R105~R108* وفاصلها الزمني هو 30.
 - المجموعة الثالثة: *R109~R112* وفاصلها الزمني هو 60.
 - والنوع *RC* (*RC105~RC106*) وفاصلها الزمني هو 60.
- ويوجد ثلاثة معايير يجب تحديدها قبل التنفيذ:

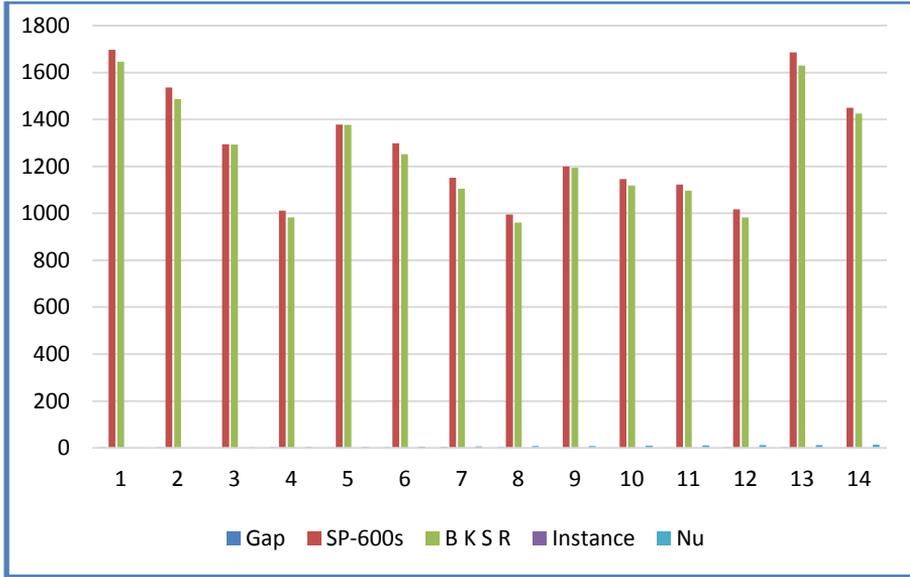
- 1- حجم القائمة المحظورة: تم ضبط حجم القائمة المحظورة $TL=12$.
- 2- تحولات التصحيح: إن تقدم البحث المحظور يحتاج إلى تحولات تصحيح باستخدام البحث المحلي الموجه من أجل التحركات الواعدة.
- 3- درجة الجودة: إن استكشاف الفضاء البحث في عدد من التكرارات يختلف وفقاً لدرجة الجودة.

و من خلال التجارب المتكررة تم تحديد أفضل قيمة للبارامترات، حيث تم ضبط الأزمنة في البحث المحظور: 13,11,10,9,8، و عدد التكرارات ضمن منطقة البحث : 50,40,30 ، وسوف نقارن نتائجنا مع نتائج قياسية معروفة .
 الجدول (1): يبين النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة (GLS – Sav) – TS ضمن 600 ثانية ومقارنتها مع نتائج قياسية هجينة معروفة [19,18].

Nu	Instance	B K S R	SP-600s	Gap
1	R101	1645.79	1696.54	2.991382461
2	R102	1486.12	1535.81	3.235426257
3	R103	1292.68	1294.01	0.102781277
4	R104	982.01	1011.97	2.960562072
5	R105	1377.11	1377.56	0.032666454
6	R106	1252.03	1298.54	3.581714849
7	R107	1104.66	1151.47	4.065238348
8	R108	960.88	995.14	3.442731676
9	R109	1194.73	1199.51	0.398496053
10	R110	1118.84	1145.63	2.338451332
11	R111	1096.72	1123.19	2.356680526
12	R112	982.14	1017.21	3.447665674
13	RC105	1629.44	1685.43	3.00952381
14	RC106	1424.73	1450.11	1.742758621
Average percentage deviation				2.407577101

Best-Known Standard Results: B K S R.

The Solution Provided By the Algorithm Is 600 Seconds: SP-600s



الشكل (7): مخطط للمقارنة بين الخوارزمية الهجينة المقدمه ونتائج قياسية.

تبين النتائج التجريبية الموضحة في الجدول (1) إن الخوارزمية الهجينة المقترحة التي تدمج خوارزمية البحث المحظور و خوارزمية البحث المحلي الموجه ، تعطي نتائج أفضل ضمن زمن معقول و توفر إمكانية لتحقيق أداء أفضل من حيث سرعة التقارب والقدرة على إيجاد حلول أفضل ، وكانت الفجوة صغيرة بين هذه الخوارزمية ونتائج خوارزميات هجينة قياسية معروفة كما هو موضح في الشكل (7) ، و إنّ متوسط نسبة الانحرافات المثوية للحالات التي تم اختبارها هو 2.41 % ، وأظهرت النتائج كفاءة الخوارزمية المقترحة وامتلاكها الكثير من المزايا الحسنة فقد ساهمت في حل المسألة بكلفة منخفضة وحسنت الأداء .

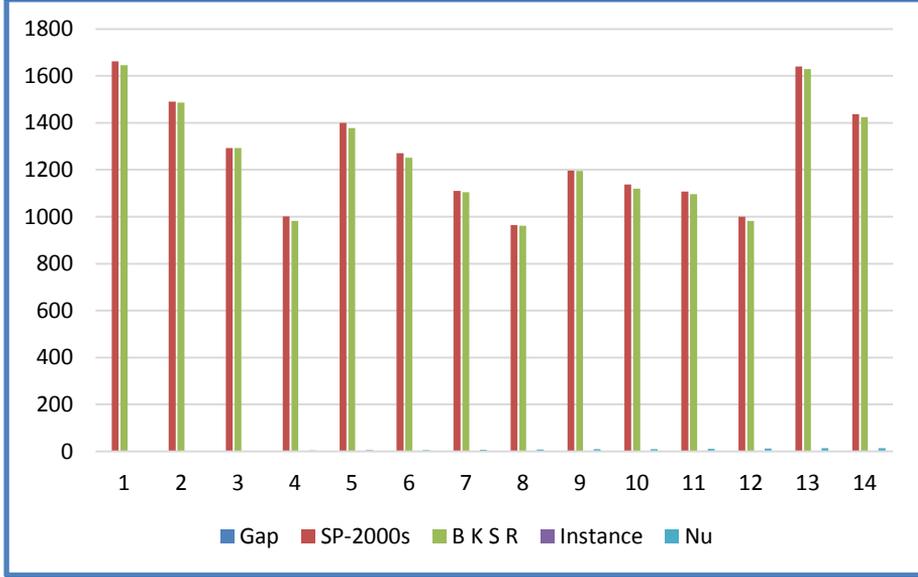
ويظهر الجدول (2) النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة ضمن 2000 ثانية.

الجدول (2): النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة $(GLS - TS) - Sav$ ضمن 2000 ثانية ومقارنتها مع نتائج قياسية هجينة معروفة [19,18].

Nu	Instance	B K S R	SP-2000s	Gap
1	R101	1645.79	1661.8	0.963413166
2	R102	1486.12	1490.89	0.319943121
3	R103	1292.68	1292.81	0.010055615
4	R104	982.01	1001.09	1.905922544
5	R105	1377.11	1399.99	1.634297388
6	R106	1252.03	1270.85	1.480898611
7	R107	1104.66	1109.85	0.467630761
8	R108	960.88	964.05	0.328821119
9	R109	1194.73	1196.97	0.187139193
10	R110	1118.84	1137.94	1.678471624
11	R111	1096.72	1106.96	0.925056009
12	R112	982.14	999.86	1.772248115
13	RC105	1629.44	1639.88	0.636631949
14	RC106	1424.73	1437.05	0.857311854
Average percentage deviation				0.940560076

Best-Known Standard Results: B K S R.

The Solution Provided By the Algorithm Is 2000 Seconds: SP-2000s



الشكل (8): مخطط يوضح الفجوة بين الخوارزمية الهجينة المقدمة $SAV - (GLS - TS)$ خلال 2000 ثانية ونتائج خوارزميات هجينة قياسية .

ويظهر الجدول (2) النتائج التجريبية للخوارزمية الهجينة المقدمة ضمن 2000 ثانية.

ومن خلال نظرة أولى إلى الشكل (7) بناء على الجدول (2) نلاحظ أن الفجوة صغيرة وأن متوسط نسبة الانحراف المئوية هو 0.94% . ومن خلال النظر في واقع المقارنة بين القيم التي تم الحصول عليها نلاحظ أنها ستتقارب بعض الشيء مع مرور الزمن، وأن البيانات $R109, R103, RC105$ و البيانات الحالية الأخرى هي ملائمة وتقاربت بشكل رائع بمرور الزمن وخفضت التكاليف من خلال البحث المحلي الموجه المستند على خوارزمية البحث المحظور قدمت حلاً جيداً لفئة من الحالات ، ومن خلال فرض قيود تحد من عدد التباديل أثناء الانتقال من البحث المحظور إلى البحث المحلي الموجه ودرجة تأثير الحد على تحسين الحل .

التوصيات المستقبلية:

إن تطوير الخوارزميات الهجينة لحل مسألة توجيه المركبة مع نوافذ زمنية صارمة يقدم مساحة غير مستغلة بشكل جيد من قبل البحوث التجريبية ولاستغلالها يمكن التوصية بالاقتراحات المستقبلية الآتية:

- 1- اقتراح طرق وأساليب تكامل مع خوارزميات هجينة أخرى وتوظيفها لمسائل الامتلية.
- 2- يفتح التهجين اتجاهات عديدة يحتمل أن تكون مثيرة للاهتمام في المستقبل.
- 3- ادخال العوامل العشوائية (كالطقس وحالة الطرقات) في حسابات الأزمنة لتفادي التأخير والعقوبات.
- 4- اقتراح تحسينات بالاعتماد على نقاط ضعف ومشاكل الخوارزمية الهجينة لتطويرها وتحسينها.

المراجع:

- [1] B. G.DANTZIG.; J. H .RAMSER. "*The Truck Dispatching Problem*". Management Science, Vol. 6, No. 1, pp. 79-89.1959.
- [2] GAMBARDELLA ,L.M.; "*Course on vehicle routing problems*", Technische Universiteit Eindhoven, PP. 28-29. November 2000.
- [3] O.BRÄYSY., M.GENDREAU ;" *Vehicle routing problem with time windows*", Part II: Metaheuristics.Transportation Science 39(1), PP.119–139. 2005b.
- [4] B.H.WASSIM., H.H. MOHAMMED, M. LAINA.; "*An Integration between the Improved Ant Algorithm and the Simulated Annealing Algorithm to Contribute To Solve the Vehicle Routing Problem with Time Windows.*" International Journal of Novel Research in Physics Chemistry & Mathematics, Vol. 3, Issue 1, pp: (64-74).2016.
- [5] M.M.SOLOMON.;" *Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows*", Operations Research, 35:254-265.1987.
- [6] H.LAU., M.SIM, K. TEO.;" *Vehicle routing problem with time windows and a limited number of vehicles*". European Journal of Operational Research 148, 3, 559-569.2003.
- [7] S.N, KUMAR; R. A, PANNEERSELVAM; "*Survey on Vehicle Routing Problem and Its Variants*", Intelligent Information Management. 4, 66-74.2012.
- [8] G.M.DORIGO., G. DI CARO, "*Ant Colony Optimization: A New Meta- Heuristic*", in Congress on Evolutionary Computation, Vol. 2, IEEE.1999.
- [9] G. B.ALVARENGA; G. R. MATEUS; G.DE TOMI.;" *A genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows*". Computers and Operations Research, 34:PP.1561–1584, 2007.
- [10] B.H.Wassim., H.H. Mohammed., M. Laina. "*(Guided Local Search-Tabu Search) Hybrid Algorithm Integrated With Simulated Annealing Algorithm To Solve The Vehicle Routing Problem With*

- Time Windows.*", Journal of Al-Baath University for Research and Studies, Vol. 38, No. 10, pp. 79-89.2016.
- [11] A.BORTFELDT., T.HAHN. D.MANNEL, .L.MONCH, "**Hybrid algorithms for the vehicle routing problem with clustered backhauls and 3D loading constraints**". European Journal of Operational Research, 243(1):85-96.2015.
- [12] H.S. Asaad, A.M.Burhanuddin, C.H.Ngo, B.H.Wassim, M.L Modhi. "**An Efficient Hybrid Approach in Solving the Multiple Postman Problem,**" International Journal of Engineering & Technology, 7 (4.36), PP.154-159. , 2018.
- [13] N.AZI, M.GENDREAU, Y.POTVIN J.; "**An adaptive large neighborhood search for a vehicle routing problem with multiple routes**". Computers & Operations Research,41:167–173.2014.
- [14] H.S. Assad, A.M.Burhanuddin, C.H.Ngo, B.H.Wassim, M.L Modhi; "**Review on the Methods to Solve Combinatorial Optimization Problems Particularly: Quadratic Assignment Model**", International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.20), PP. 15-20.2018.
- [15] I .K. ALTINEL; T .ÖNCAN;"**A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle routing problem**". Journal Operations Research Soc 56:PP. 954-961.2005.
- [16] W.C .CHIANG; R.A. RUSSELL; "**Simulated annealing metaheuristics for the vehicle routing problem with time windows**". Annals of Operations Research 63(1):PP.3–27.1996.
- [17] L.MOCCIA; F.CORDEAU; G.LAPORTE;" **An Incremental Tabu Search Heuristic for the Generalized Vehicle Routing Problem with Time Windows.**" Journal of the Operational Research Society. PP. 238-244. 2012.
- [18] BEST KNOWN SOLOMON SOLUTION:
[http://www.sintef.no/Projectweb /TOP/Problems/VRPTW/Solomon-benchmark/100-customers/](http://www.sintef.no/Projectweb/TOP/Problems/VRPTW/Solomon-benchmark/100-customers/)
- [19] M.M.SOLOMON. **Solomon instances described and found at <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>.**

