

اختيار المسار الأمثل للمجمع المتحرك في شبكات الحساسات اللاسلكية باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية

د. بلال شيحا *

د. جمال خليفة **

م. آلاء صالح ***

(تاريخ الإيداع 12 / 9 / 2021 . قُبِلَ للنشر في 17 / 11 / 2021)

□ ملخص □

يعتبر تجميع البيانات باستخدام المجمع المتحرك (MS) Mobile Sink استراتيجية جيدة لإطالة زمن حياة شبكات الحساسات اللاسلكية (WSN) Wireless Sensor Networks وتقليل تأخير تسليم البيانات وتخفيف مشكلة تقوب الطاقة، ويلعب اختيار رؤوس الكتل (CHs) Cluster Heads دوراً مهماً في تحسين أدائها.

تقترح في هذا البحث، إنشاء مسار مجمع متحرك قائم على خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية (ACO) Ant Colony Optimization المُحسَّنة.

نحدد أفضل مجموعة من رؤوس الكتل CHs وأعضاء الكتلة (CMs) Cluster Members بالاعتماد على تحسين بروتوكول (LEACH) Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy وفق خوارزمية ضبابية حيث تحسب كل عقدة قرارها الخاص وفقاً لكمية البيانات المحسوسة.

أظهرت الخوارزمية المقترحة تفوقها من حيث زمن حياة الشبكة، واستهلاك الطاقة، وتأخير تسليم البيانات عند سرعات مختلفة للمجمع المتحرك.

الكلمات المفتاحية: شبكات الحساسات اللاسلكية، المجمع المتحرك، مستعمرة النمل الأمثلية، تجميع البيانات، المنطق الضبابي.

*أستاذ مساعد، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

**أستاذ، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

***طالبة دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Selecting the Optimal Mobile Sink Path in Wireless Sensor Networks using Ant Colony Optimization Algorithm

Dr. Bilal Chiha*
Dr. Jamal Khalifeh**
Eng. Alaa Saleh***

(Received 12 / 9/ 2021 . Accepted 17 / 11 / 2021)

□ ABSTRACT □

Data collection using mobile sink is considered as a good strategy to prolong Wireless Sensor Networks (WSNs) lifetime, to minimize the delay in data delivery and to mitigate the hotspot problem.

The selection of Cluster Heads (CHs) plays an important role in improving its performance.

In this paper, we propose mobile sink path construction based on an improved ant colony optimization (ACO).

In addition, we propose a mechanism for selecting the best set of CHs and cluster members (CMs) based on Low Energy Adaptive Clustering hierarchy (Leach) protocol optimization according to a fuzzy algorithm, each node calculates its own decision according to the amount of sensed data.

The proposed algorithm showed a superiority in terms of network lifetime, energy consumption, and data delivery delay at varying sink speed.

Keywords Wireless Sensor Networks, Mobile Sink, Ant colony optimization, Data Collection, Fuzzy Logic.

*Assistant Professor, Department of Computer and Control, Faculty of Mechanical and Electrical engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria.

**Professor, Department of Telecommunications and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria.

***Postgraduate student(M.A), Department of Computer and Control, Faculty of Mechanical and Electrical engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria.

1- مقدمة

تتكون شبكات الحساسات اللاسلكية (Wireless Sensor Networks (WSNs) من مجموعة محدودة من عقد الحساس (Sensor Nodes (SNs) المنتشرة عبر منطقة جغرافية ولديها القدرة على التحسس والمعالجة والاتصال عبر قناة لاسلكية ونقل البيانات إلى المحطة الأساسية (Base Station (BS) أو المجمع الثابت بطريقة قفزة واحدة أو متعددة القفزات.

تستهلك الطريقة متعددة القفزات الكثير من الطاقة أثناء عملية انتقال البيانات [1] بسبب قيود الطاقة لدى عقد الحساس SNS حيث أنها مزودة ببطارية صغيرة مثبتة في العقدة نفسها، وفي بعض الأحيان يكون من المستحيل تغيير البطارية وبالتالي يُفرض عليها استخدام الطاقة التي تمتلكها بالطريقة المثلى، ولأن انتقال البيانات هو السبب الرئيسي لاستهلاك الطاقة [2]، فإن عقد الحساس SNS بالقرب من المحطة الأساسية BS هي أكثر تأثراً من العقد الأخرى في الشبكة التي ستتحول إلى عقد مينة تؤدي إلى إلغاء جزء معين من الشبكة وإلى حدوث مشكلة ثقب الطاقة Hotspot [1]، ومع ذلك، فإن استخدام الانتقال بطريقة قفزة واحدة يتجنب مشكلة ثقب الطاقة لكن يزيد من استهلاك طاقة العقد في عملية الإرسال والاستقبال، لذلك تم استخدام المجمع المتحرك (Mobile Sink (MS لتجميع البيانات من عقد الحساس SNS عن طريق التنقل عبر الشبكة.

نظراً لأن المجمع المتحرك MS يحتاج إلى زيارة جميع عقد الحساس SNS، يصبح المسار طويل ويؤدي إلى استهلاك طاقة المجمع المتحرك MS وتأخير تسليم البيانات [15]، لذلك تم تطوير بروتوكولات التوجيه الهرمية للمحافظة على التوازن بين طاقة العقد وإطالة زمن حياة الشبكة قدر الإمكان. يقوم المجمع المتحرك MS بتجميع البيانات مباشرة من رؤوس الكتل (Cluster Heads (CHs) من خلال اتصالات قصيرة المدى عن طريق التحرك داخل الشبكة دون استخدام التوجيه ودون زيارة كل عقدة في الشبكة، توفر هذه الاستراتيجية التوازن من خلال توفير كفاءة أفضل للطاقة في الشبكة وتخفيف مشكلة ثقب الطاقة Hotspots، ومع ذلك قد يتسبب المجمع الأبطأ بزمن انتقال مرتفع عند تجميع البيانات [4]، كما أن مسار المجمع المتحرك له تأثير على تأخير تسليم البيانات [5]، ولتجاوز مسألة التأخير تم تطوير عدد كبير من الخوارزميات لتجاوز مسألة التأخير.

إن استخدام القرارات المستندة إلى المنطق الضبابي يعتبر مجالاً ناشئاً للدراسة في تحديد أولويات العقد في شبكات WSNs [6]، لذلك تم اقتراح خوارزمية مستندة إلى وحدة التحكم الضبابية لاختيار رأس الكتلة CH وأعضاء الكتلة CMs حيث تصنف العقد التي تتحسس البيانات بشكل عشوائي ولها معدل مرور Traffic Rate مرتفع وفقاً لعدد حزم البيانات الموجودة في المخزن المؤقت الخاص بها (سعة المخزن المؤقت Buffer Capacity).

ولتحقيق الموازنة بين استهلاك طاقة عقد الشبكة وتأخير تسليم حزم البيانات، تم الاعتماد على خوارزمية مستعمرة النمل الأمتلية (Ant Colony Optimization (ACO) المُحسَّنة في إيجاد مسار أمثلي للمجمع المتحرك بعد عدد معين من التكرارات بالاعتماد على المسافة بين رؤوس الكتل CHs وأوزانها. حيث تعتبر خوارزمية مستعمرة النمل الأمتلية ACO تقنية ذكاء سرب استكشافية مستوحاة من سلوك البحث عن الطعام لمستعمرات النمل الحقيقية [22]، مع قدرات إضافية للنمل الاصطناعي Artificial Ants مثل تعزيز الذاكرة، والقدرة على حفظ واسترجاع الأحداث الماضية، أي أنهم لن يزوروا رأس كتلة CH تمت زيارته سابقاً [7].

2- الدراسات المرجعية

في الدراسة [8]، اقترح الباحثون بروتوكول توجيه دائري متوازن (LBRR) Load Balanced Ring Routing لشبكات الحساسات غير المتجانسة واسعة النطاق مع دعم مجمع متحرك لتسليم البيانات بشكل موثوق في الشبكة. أظهرت النتائج أن البروتوكول المقترح المعتمد على اختيار عقدة موفرة للطاقة في كل قفزة لنقل البيانات نحو المجمع المتحرك MS أطال زمن حياة الشبكة. لكن أدى إلى تأخير تسليم بيانات مرتفع.

في الدراسة [9]، تم اقتراح خوارزمية بناء مسار للطاقة (EAPC) Energy-Aware Path Construction والتي تتمثل فكرتها في الحصول على مسار محسن لتجميع البيانات اعتماداً على تكلفة المسار بين نقط تجميع البيانات (DCPs) Data Collection Points، وتقوم خوارزمية EAPC ببناء شجرة اختيار مجموعة مناسبة من نقط تجميع البيانات DCPs، ويقوم المجمع المتحرك MS بتجميع البيانات منها. بينت الدراسة أن خوارزمية EAPC المقترحة تفوقت من حيث زمن حياة الشبكة، واستهلاك الطاقة ومؤشر الكفاءة، لكنها عانت من انتقال البيانات متعدد القفزات.

في الدراسة [10]، تم اقتراح خوارزمية توجيه قائمة على بنية معتمدة على شبكة افتراضية Virtual Grid Based Infrastructure (VGB) تعتمد في تجميع البيانات على حركة عشوائية للمجمع المتحرك MS، تقسم مجال الحساسات إلى خلايا متساوية الحجم على أساس عدد العقد المنتشرة. لتقليل تكلفة توفير معلومات موقع المجمع، تختار VGB أقرب العقد لتقاطع أربع خلايا كعقد تقاطع وتقوم بتحديثها بمعلومات موقع المجمع. على الرغم من سهولة إنشاء البنية الافتراضية في VGB، إلا أن عقد التقاطع سوف تستنفذ طاقتها بشكل أسرع من العقد الأخرى نظراً لأن عدد عقد التقاطع التي تستقبل وترسل البيانات أقل بكثير من عقد الحساس. وأظهرت المحاكاة أن الخوارزمية المقترحة أدت إلى تأخير تسليم البيانات بسبب انتقال البيانات متعدد القفزات ولم تضمن مساراً موفراً للطاقة من المصدر إلى المجمع المتحرك MS.

في الدراسة [11]، اقترح المؤلفون طريقة لتخطيط مسار المجمع المتحرك لتجميع البيانات تمكن الشبكة من اختيار نقط الالتقاء (RPs) Rendezvous Points ديناميكياً بناءً على تقنية التجميع بطريقة موزعة. تمر هذه الخوارزمية في أربع مراحل رئيسية: اكتشاف البيانات، واختيار نقطة الالتقاء، وتصميم المسار، ونقل البيانات لكن حدث فقدان لحزم البيانات بسبب تدفق المخزن المؤقت، كما لم يتم تحديد أولويات تجميع البيانات، ولم تؤخذ كفاءة الطاقة في المجمع المتحرك MS في الاعتبار.

في الدراسة [12]، تم اقتراح خوارزمية فعالة لاختيار مسار للمجمع المتحرك على أساس خوارزمية مستعمرة النمل الأمتلية ACO، أظهرت النتائج أن خوارزمية التجميع المقترحة قللت من استهلاك طاقة أعضاء الكتلة CMs أثناء نقل البيانات عن طريق اختيار رأس الكتلة CH في كل دورة وعززت زمن حياة شبكة WSN مع ضمان أقصى قدر من التشغيل كما اعتبرت الخوارزمية المقترحة أفضل من الخوارزميات Low Energy Particle Swarm و Genetic Algorithm (GA) و Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) Optimization (PSO). مع ذلك قد حدث ازدحام شديد في رسائل التحكم وهذا أدى إلى تدهور جودة الخدمة للشبكة، كما أنها لم تعتمد في تحسين مسار المجمع المتحرك على بارامترات فعالة.

في الدراسة [13]، اقترح الباحثون تقنية توجيه موثوقة وفعالة للطاقة لتجميع البيانات حيث تم تطوير خوارزمية لتحديد مسار متوازن لتأخير الطاقة بين المصدر والمجمع المتحرك MS مما يتيح تسليم البيانات بسرعة

من خلال قفزة فعالة للطاقة. يحقق مخطط Delay Aware Energy Efficient Reliable (DA-EERR) المقترح توازناً جيداً بين استهلاك الطاقة والتأخير من طرف إلى طرف عن طريق اختيار عقدة قفزة تالية بطاقة أقل أثناء مرحلة نقل البيانات. أظهرت النتائج أن اختيار العديد من وكلاء العقد (Agent Nodes (ANs) والتجميع أثناء مرحلة نقل البيانات قد حسّن بشكل كبير نسبة حزم البيانات المستلمة بنجاح في المجمع وقلل من إجمالي استهلاك الطاقة للشبكة لكن زاد من تأخير تسليم البيانات.

في الدراسة [14]، تم اقتراح طريقة جديدة للتوجيه المدرك للموقع للمجمع المتحرك Location Aware Routing for Controlled Mobile Sinks (LARCMS)، استخدمت التقنية المقترحة مجمعين متحركين في مسار محدد مسبقاً لتجميع البيانات. تم تقييم أداء LARCMS من خلال تغيير عدد العقد وسرعة المجمع. أظهرت النتائج أن الطريقة المقترحة قد ساعدت في تقليل تأخير التسليم، وتعزيز زمن حياة الشبكة، والتعامل مع تحديثات موقع المجمع، وتوفير استهلاك موحد للطاقة. ولكن استخدام المجمعات المتحركة ذات المسار المحدد مسبقاً قلل من قابلية تطبيق الخوارزمية المقترحة وزاد أيضاً من تكلفة التنفيذ.

في الدراسة [15]، اقترح خوارزمية تحديد مسار مجمع متحرك MS قائم على خوارزمية مستعمرة النمل الأمتلية (ACO) الواسعة Extended ACO-based Mobile Sink Path Determination (eACO-MSPD) لشبكات WSNs التي تحركها الأحداث في ظل توليد البيانات غير المتكافئ لعقد الحساس. اعتمد النهج المقترح ميزة بناء الشجرة لحساب وزن كل عقدة. تحدد eACO-MSPD المقترحة مجموعة من نقاط الالتقاء Rendezvous Point (RPs) وبناء المسار باستخدام خوارزمية مستعمرة النمل الأمتلية الموسعة. يوازن eACO-MSPD الطاقة بين عقد الحساس SNS من خلال اعتماد استراتيجية إعادة اختيار نقاط الالتقاء RPs. عزز هذا النهج أيضاً اختيار نقاط اللقاء افتراضية Virtual Rendezvous Points (VRPs)، حيث تنتقل عقد الحساس SNS البيانات مباشرة إلى المجمع المتحرك MS بدلاً من التواصل مع نقاط الالتقاء RPs. أظهرت خوارزمية eACO-MSPD أداء أفضل من حيث استهلاك الطاقة وزمن حياة الشبكة.

في الورقة [16]، تم اقتراح بروتوكول توجيه الشبكة السداسية الديناميكي Dynamic Hexagonal Grid Routing Protocol (DHGRP) لتسليم البيانات التي تم تجميعها من خلال توفير مسار ديناميكي عند حدوث الازدحام أو عند تغيير موقع المجمع المتحرك MS، بالتالي لا يحتاج المجمع المتحرك MS إلى الوصول إلى رؤوس الكتل CHs لتجميع البيانات، بل يتوقف عند مواقع محددة مسبقاً لتجميع بيانات الكتل. أظهرت النتائج التجريبية أن بروتوكول DHGRP وفر إنتاجية عالية واستهلاك طاقة منخفض لكن زاد تأخير تسليم البيانات.

في الدراسة المرجعية [17]، تم اقتراح خوارزمية تجميع البيانات قائمة على مجمع متحرك MS للتخفيف من مشكلة ثقب الطاقة. تهدف إلى الوصول إلى العدد الأمثل من نقاط الإقامة Sojourn Points (SPs) بحيث تكون كل نقطة إقامة SP محاطة بأكثر عدد ممكن من رؤوس الكتل CHs بمسافة قفزة واحدة وبالتالي تضمن تجميع البيانات دفعة واحدة من كل كتلة. بعد ذلك، يتم إنشاء أقصر مسار ممكن للمجمع المتحرك MS لزيارة جميع نقاط الإقامة SPs المعينين من قبل المحطة الأساسية BS عن طريق خوارزمية مستعمرة النمل الأمتلية ACO. حققت الخوارزمية المقترحة كفاءة في استخدام الطاقة من خلال ضمان انتقال البيانات بقفزة واحدة بين نقاط الإقامة SPs والمجمع المتحرك MS وقللت من زمن استجابة تجميع البيانات من خلال تصميم المسار الأقصر لتغطية نقاط الإقامة SPs. لكن لم يتم بتحسين

بارامترات اختيار رؤوس الكتل CHS كما أن جميع العقد شاركت في عملية تقسيم الشبكة إلى كتل وإرسال جميع البيانات المحسوسة إلى رؤوس الكتل CHS.

في الورقة [18]، اقترح المؤلفون مخطط توجيه هرمي Event-Driven Virtual Wheel-based Data Dissemination (EDVWDD) مستند إلى الحدث مع حركة عشوائية للمجمع المتحرك MS، حيث تنقل العقد بياناتها إلى المجمع المتحرك MS عند تحسس حدث مهم بهدف تقليل تكلفة تحديث موقع المجمع، إن المخطط EDVWDD يقوم ببناء هيكل عجلة افتراضية في مجال الحساس بهدف توفير سهولة الوصول إلى كل عقدة بقفزة واحدة، ويتم توفير موقع المجمع فقط للعقد التي شاركت في بناء هيكل العجلة بدلاً من جميع العقد في الشبكة. يمكن لعقد الحساس العادية الحصول على معلومات موقع المجمع عن طريق إرسال رسالة طلب من عقدة العجلة المجاورة. بعد تلقي معلومات موقع المجمع ترسل عقد الحساس بياناتها إلى المجمع باتباع خوارزمية التوجيه الجغرافية، والتي تحدد أقصر مسار للتوجيه وتقلل من تأخير تسليم البيانات. تم استخدام خوارزمية إعادة بناء العجلة للتعامل مع مشكلة ثقب الطاقة التي تواجهها عقد العجلة. أظهرت نتائج المحاكاة أن مخطط EDVWDD حقق أداء أفضل من حيث تأخير تسليم البيانات لكن استهلاك طاقة كان عالي.

من الدراسات السابقة ثبت أن هناك تأثير لاختيار مسار المجمع المتحرك على تجميع البيانات. وبخاصة في البيئات التي تتغير فيها أوزان العقدة مع الزمن وتنتج البيانات بشكل غير متساو في دورات زمنية مختلفة بناءً على حدوث الأحداث في جوار الحساسات. كما يجب تحديث مجموعة رؤوس الكتل CHS دورياً لتحقيق أفضل أداء.

3- أهمية البحث وأهدافه:

على الرغم من إجراء أبحاث مكثفة لعقود من الزمن حول التجميع Clustering في شبكة WSN، إلا أن تجميع البيانات المستندة إلى المجمع المتحرك MS من شبكة WSN هرمية لم يتم التطرق إليها وبشكل خاص في تطبيقاتها المقادة بالحدث [17]، حيث تتغير أوزان العقد، ومن هنا يكتسب البحث أهميته في تحقيق الموازنة بين استهلاك الطاقة وإطالة زمن حياة الشبكة وتقليل تأخير تسليم البيانات.

تتناول هذه الدراسة مشكلة تجميع البيانات باستخدام المجمع المتحرك MS لتحقيق الأهداف التالية:

1. تطوير خوارزمية للحصول على الحد الأدنى من رؤوس الكتل CHS التي تضمن تجميع البيانات من العقد ذات الأولوية.
2. استخدام خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية ACO المُحسَّنة للحصول على مسار أمثل للمجمع المتحرك يحقق زيارة جميع رؤوس الكتل CHS المحددين مرة واحدة فقط والعودة إلى نقطة البداية بحيث يتم الوصول إلى أقصر مدة جولة بين جميع الجولات الممكنة من أجل تقليل تأخير تسليم البيانات.
3. تقليل استهلاك الطاقة لعقد الحساس وإطالة زمن حياة الشبكة بالتالي تحسين أداؤها اعتماداً على اختيار المسار الأمثل.

4- أدوات البحث:

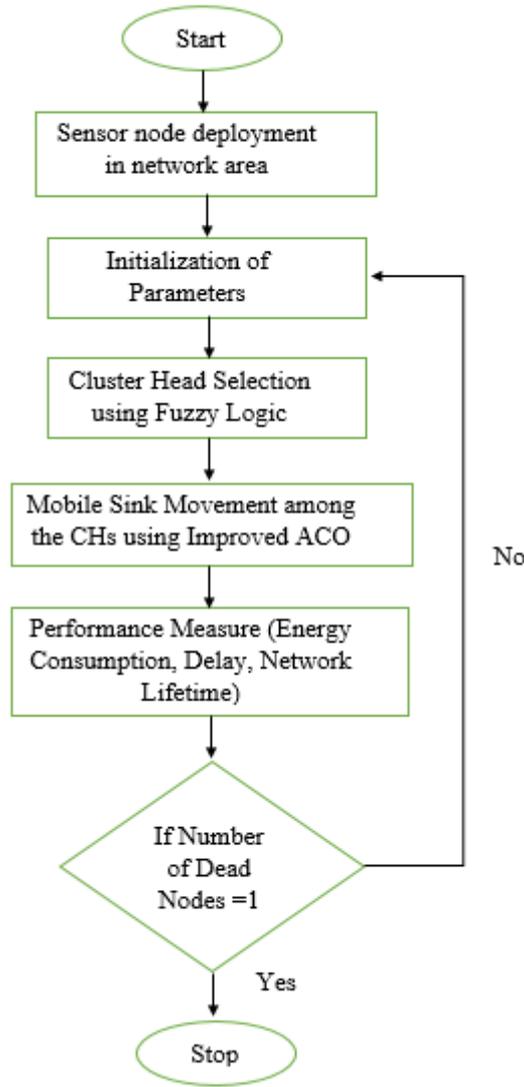
تتميز بنية شبكة الحساسات اللاسلكية WSN القائمة على مجمع متحرك MS بوجود جهاز متحرك داخل منطقة الشبكة لتجميع البيانات من عقد الحساس ضمن نطاق اتصال قصير المدى، وفيما يلي نوضح الأدوات المستخدمة في هذا البحث:

1. **عُقد الحساس Sensor Nodes**: عبارة عن عقد حساسات ذكية متعددة الوظائف صغيرة الحجم منخفضة التكلفة، تُنشر في منطقة الشبكة بشكل عشوائي للحصول على المعلومات التي تعكس التغيرات في البيئة المحيطة، عند تحسس الحدث تقوم هذه العقد بجمع ومعالجة ونقل بياناتها باتجاه المجمع المتحرك اعتماداً على مكان وجودها.
3. **المجمع المتحرك Mobile Sink**: جهاز غير مقيد من حيث الموارد يتحرك داخل منطقة نشر عقد الحساس لتلقي ومعالجة وتخزين البيانات المستلمة من عقد الحساس SNS. ويُرفق جهاز المجمع بكيان متحرك مثل إنسان أو سيارة أو روبوت [26].

5- طرائق البحث ومواده:

استخدمنا في البحث بيئة MATLAB لمحاكاة النموذج المقترح بهدف تجميع البيانات. في هذا البحث، تنقسم الشبكة إلى كتل ويجمع المجمع المتحرك MS البيانات من رؤوس الكتل CHs المختارة بطريقة قفزة واحدة من خلال تنقله بين هذه الكتل. تم تنفيذ النهج المقترح في المراحل التالية:

- المرحلة 1: **تشكيل بنية الشبكة**: في البداية تم إنشاء منطقة الشبكة عن طريق نشر عقد الحساس بشكل عشوائي.
- المرحلة 2: **تشكيل الكتل**: تم دمج عقد الحساس معاً لتشكيل كتل بشكل عشوائي باستخدام بروتوكول LEACH.
- المرحلة 3: **تطبيق خوارزمية ضبابية لتصنيف العقد**: كل عقدة تحسب قرارها الخاص وفقاً للمعلومات التي تم تجميعها.
- المرحلة 4: **اختيار رؤوس الكتل CHs**: لاختيار عقدة الحساس كرأس كتلة CH، يتم تحسين بروتوكول LEACH. تم تحديد عقد الحساس التي تكون على قيد الحياة وتمتلك أولوية عالية على أنها رأس كتلة CH كما يتم اختيار أعضاء الكتلة ذات الأولوية العالية لترسل بياناتها المحسوسة إلى رؤوس الكتل CHs.
- المرحلة 5: **اختيار المسار الأمثل**: تم إنشاء المسار الأمثل بين رؤوس الكتل CHs بواسطة خوارزمية مستعمرة النمل الأمتلية ACO المُحسَّنة. يوضح الشكل (1) المخطط التدفقي للنهج المقترح:



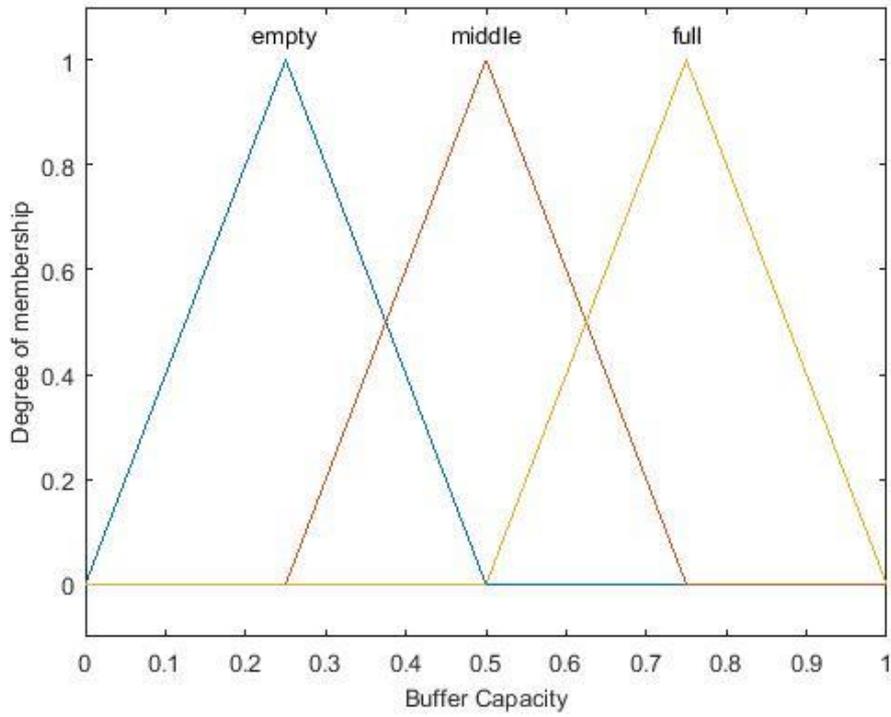
الشكل (1) المخطط التدفقي للنموذج المقترح

5-1 استخدام المنطق الضبابي لتصنيف العقد:

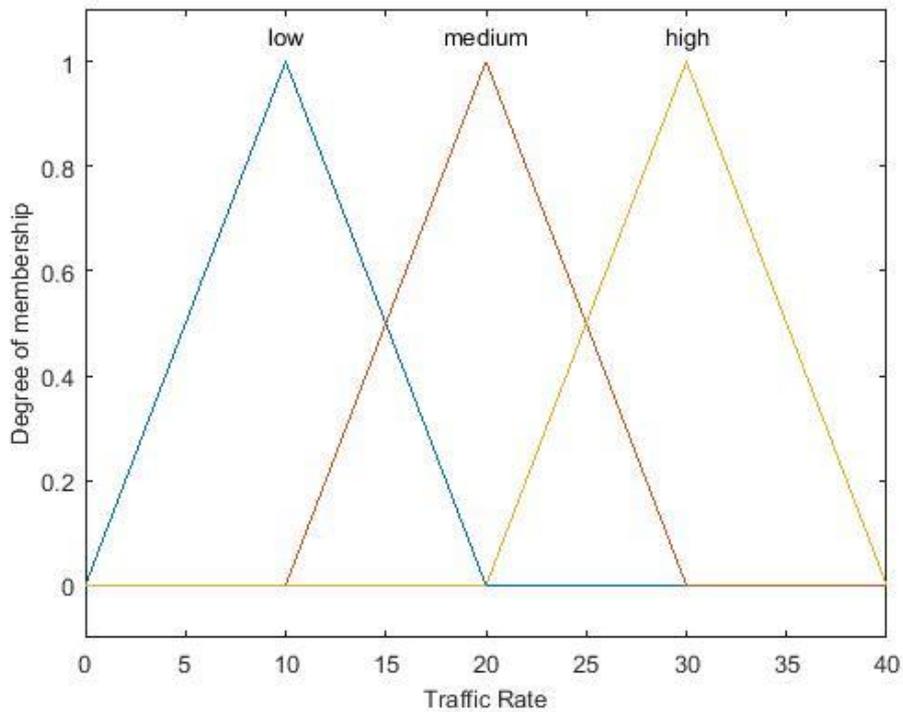
يعد استخدام القرارات المستندة إلى المنطق الضبابي مجالاً ناشئاً للدراسة في تحديد أولويات العقد في شبكات WSNs [6] وبما أن الخوارزميات الضبابية شديدة التكيف مع الظروف الديناميكية [19]، لذلك تم الاعتماد عليها لتحقيق أداء أفضل عند تحديد أولوية العقد مما يؤدي إلى تقليل تأخير تسليم حزم البيانات. يوضح الشكل (1) مخطط نظام المنطق الضبابي. من الشكل (2) نلاحظ أن النظام الضبابي المقترح يتكون من ثلاث كتل بناء:

1. التضييب Fuzzification: يحول كل متغير من متغيرات الدخل العددية إلى قيم ضبابية تنتمي لعدة مجموعات ضبابية في الوقت نفسه، وتعني تحديد قيمة لغوية Linguistic Value مناسبة من خلال وظائف العضوية Membership Functions.

2. الاستدلال Inference: يحاكي طريقة العقل البشري في اتخاذ القرار واستخلاص الاستنتاجات باستخدام القواعد التي تتكون من If-Then التي يحددها الفرد والتي تحدد بدورها السلوك الديناميكي للنظام الضبابي.



الشكل (3): وظائف العضوية لمتغير الدخل Buffer Capacity



الشكل (4): وظائف العضوية لمتغير الدخل Traffic Rate

تم استخدام طريقة Fuzzy min للجمع بين وظائف العضوية Membership Function. ثم تم تطبيق خطوة التجميع على جميع مخرجات القواعد الضبابية للحصول على الخرج باستخدام طريقة max [6].
 تُستخدم تقنية مركز الثقل "Center of Gravity" في مرحلة فك التضييب Defuzzification للحصول على قيم حقيقية للخرج، كما هو موضح في المعادلة (1) [21]. توفر هذه المعادلة القيمة النهائية لـ (Z) التي تحدد الإجراء لتخصيص الأولوية.

$$Z = \frac{Z_1 P_1 + Z_2 P_2}{P_1 + P_2} \quad (1)$$

حيث تشير Z_1 , Z_2 إلى قيم المتغيرات اللغوية للمخرجات. تمثل P_1 , P_2 القيم الناتجة للأوزان المحسوبة في مرحلة الاستدلال Inference أي تمثل دخل مرحلة فك التضييب Defuzzification.

2-5 تحسين بروتوكول LEACH لتشكيل الكتل واختيار رأس الكتلة CH:

LEACH هو بروتوكول توجيه هرمي قائم على الكتلة يعتمد على الدورات، يهدف إلى إطالة زمن حياة شبكات WSNS. يعمل هذا البروتوكول على موازنة الطاقة المستهلكة بين العقد مع مرور الوقت عن طريق تبديل وظيفة رأس الكتلة CH بين العقد واختيار رؤوس جديدة في كل دورة تجميع البيانات من أعضاء الكتل CHs ومعالجتها مما يؤدي إلى تخفيض الطاقة المستهلكة اللازمة لنقل البيانات، إلا أن هذا البروتوكول لا يأخذ طاقة العقد الابتدائية بالاعتبار ويفترض أن جميع العقد تملك نفس المقدار من الطاقة الابتدائية.

يقسم هذا البروتوكول فترة عمل الشبكة إلى دورات rounds ويقسم كل دورة إلى مرحلتين [2]:

1. مرحلة الإعداد Set-Up Phase: يتم في هذه المرحلة اختيار رأس كتلة CH عن طريق اختيار رقم عشوائي بين 0 و 1. إذا كان هذا الرقم أصغر من العتبة المحددة مسبقاً $T(n)$ والعقدة مصنفة أنها ذات أولوية عالية، فإن هذه العقدة تصبح رأس كتلة CH للدورة الحالية وتحسب العتبة كما يلي (2):

$$T(n) = \frac{P}{1 - P * \left(r \bmod \frac{1}{P}\right)} \quad \text{if } n \in G \quad (2)$$

P : النسبة المئوية التي تحدد الفرصة لاختيار عقدة لتكون CH، r : الدورة الحالية، G : مجموعة العقد التي لم يتم اختيارها CH في الدورات $\frac{1}{P}$ الأخيرة.

بعد أن يتم اختيار رؤوس الكتل CHs بنجاح فإنها تقوم بإرسال رسائل إعلان إلى العقد الأخرى والتي تقوم بدورها بحساب قوة الإشارة المستقبلية لهذه الرسائل وترسل طلب انضمام إلى رأس الكتلة الأقرب لنقرر بذلك رأس الكتلة الذي سترتبط به في هذه الدورة يقوم بعدها كل رأس كتلة CH بتحديد حيز زمني وفق جدول Time Division Multiple Access (TDMA) لكل عضو كتلة CM لتنظيم إرسال الرسائل إلى رأس الكتلة CH مما يمنع التصادمات داخل الكتلة.

2. مرحلة الحالة المستقرة Steady State Phase: المرحلة التي تؤدي فيها الشبكة اللاسلكية المهام المقصودة

من خلال تجميع البيانات من قبل رؤوس الكتل CHs ونقلها إلى المجمع المتحرك MS.

3-5 اختيار خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية المحسنة لإيجاد المسار الأمثل:

تعد خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية ACO جزء من الخوارزميات التجريبية Metaheuristic Algorithms تتكيف مع التغييرات الديناميكية غير المتوقعة لاعتمادها على بنية الذاكرة، مما يسمح لخوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية ACO بتذكر التجربة السابقة وبناء الحل تراكمياً [7]. يتم استخدام قيمة الفرمون Pheromone (مادة كيميائية فائدتها

معرفة الطريق الذي مرت به النملة وهي بالضبط الناقل لنقل المعلومات والتواصل بين النمل الفردي) لتحسين كفاءة الحل. في نهاية كل تكرار، سيعتمد الحل الأمثل الذي أنشأه النمل على قيم الفرمون وسيستمر في التكرار التالي من خلال المقارنة مع الحل الأمثل الوارد في التكرار السابق، يستخدم تحديث قيم الفرمون لفصل أفضل الحلول وأسوأها [24].

تتكون خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية ACO من ثلاثة خطوات رئيسية [3,23]:

1. التهيئة: تتضمن تهيئة توزيع النمل الاصطناعي على العقد وتهيئة الروابط بقيم ثابتة للفرمون (قيمة عشوائية تتراوح بين 0 و 1).

2. بناء الطريق: يتم اختيار رأس الكتلة CH التالية على أساس القانون الاحتمالي المعطى بالمعادلة

$$P_{i,j} = \begin{cases} \frac{(\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)(\omega_j^\gamma)}{\sum_{j \in all} (\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)(\omega_j^\gamma)} & \text{if } j \in all \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

all : هي القائمة التي تحتوي على جميع المسارات والتي اجتازها النمل بالفعل والتي يجب أن لا يتم اختيارها مرة ثانية (يعتبر بمثابة ذاكرة النمل)، $\tau_{i,j}$: تركيز الفرمون المقابل للمسار بين العقدة *i* والعقدة *j*، ω_j : عدد حزم البيانات الواردة من CM تعطى بالعلاقة (4)، $\eta_{i,j}$: المعلومات الحسية للتنقل من العقدة *i* إلى العقدة *j* والتي تم تحديدها هنا على أنها معكوس المسافة تعطى بالعلاقة (5)، γ و α و β : ثوابت تمثل مدى تأثير المعلومات الحسية.

$$\omega_i = \sum_{j \in ci} \omega_j + W_i \quad (4)$$

$$\eta_{i,j} = \frac{1}{d_{i,j}} \quad (5)$$

ω_i : عدد حزم البيانات الواردة من أعضاء الكتلة مع الحزم المحسوسة من قبل العقدة *i*، W_i : عدد حزم البيانات في العقدة *i*، $d_{i,j}$: المسافة بين *i* و *j*.

3. تحديث الفرمون: المقصود به زيادة قيم الفرمون المرتبطة بالحلول الجيدة، وتقليل تلك المرتبطة بالحلول السيئة. يتم تحقيق ذلك عن طريق تقليل جميع قيم الفرمون (تبخر الفرمون Pheromone Evaporation)، وعن طريق زيادة مستويات الفرمون المرتبطة بمجموعة مختارة من الحلول الجيدة حيث المسارات التي تحتوي على القليل من قيم الفرمون تختفي بسرعة.

سيتم الحفاظ على أفضل المسارات وبالنهاية فإن معلومات الفرمون الموجودة على الخطوط والتي تعدل في كل تكرار ستؤدي دور مهم في توجيه البحث الذي سيجريه النمل مستقبلاً وتستمر الخوارزمية بالعمل على نحو متكرر.

تعتمد خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية ACO في عملها على البنية الحلقية وفي نهاية كل تكرار يتم تحديث معلومات الفرمون للمسارات وفق قانون التحديث بين العقدتين *i*، *j* المعطى بالعلاقة (6):

$$\tau_{i,j}^k = (1 - p)\tau_{i,j} + \sum_{k=1}^l \Delta\tau_{i,j}^k \quad (6)$$

ρ : عامل التبخر و $\Delta\tau_{i,j}^k$: تغير قيمة الفرمون وتعطى بالعلاقة (7):

$$\Delta\tau_{i,j}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if ant } k \text{ travels on edge } (i, j) \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

L_k : مسافة المسار الإجمالية للنملة k ، Q : هي قيمة ثابتة.

6- النموذج التصميمي المقترح:

في النموذج المقترح اعتمد المجمع المتحرك MS على المسار الأمثل الذي تم تحديده بواسطة خوارزمية مستعمرة النمل الأمثلية ACO لزيارة مواقع رؤوس الكتل CHS لتجميع البيانات. تم تقليل استهلاك الطاقة في رؤوس الكتل CHS بشكل كبير نظراً لنطاق الإرسال القصير جداً بين المجمع المتحرك MS ورؤوس الكتل CHS [22].

اعتمدنا في هذا النموذج على الافتراضات التالية:

1. جميع عقد الحساس SNS بخلاف المجمع ثابتة وموزعة بشكل عشوائي في منطقة الشبكة.
2. جميع العقد في الشبكة متجانسة ومحدودة الطاقة.
3. الزمن الذي يقضيه المجمع المتحرك MS عند رأس الكتلة CH يكفي لتجميع البيانات.
4. يملك المجمع المتحرك MS مساحة كافية لتخزين البيانات المجمعة من عقد الحساس SNS.
5. تكتمل الجولة عندما يجمع المجمع المعلومات من جميع العقد.
6. لا يوجد أي عقبة على مسار المجمع المتحرك MS.

6-1 الدراسة العملية للنموذج التصميمي المقترح:

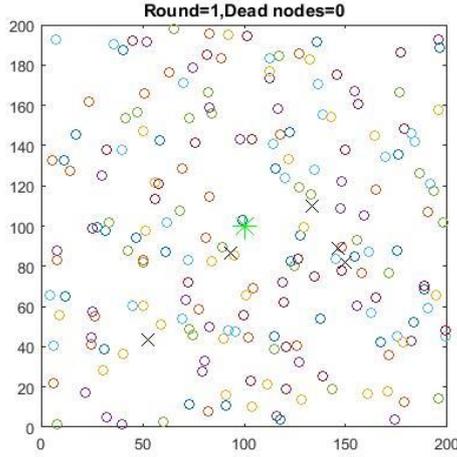
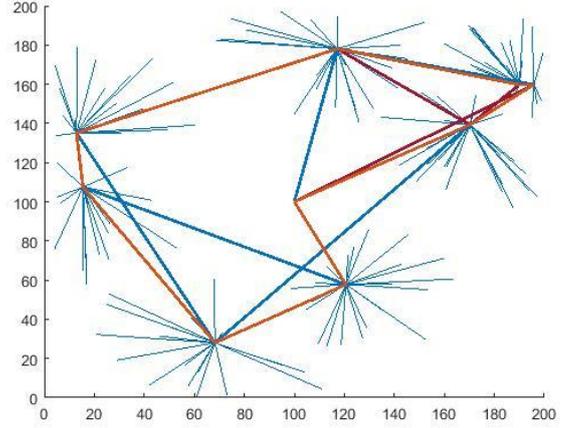
تم بناء شبكة في بيئة MATLAB بحيث تنتشر العقد فيها بشكل عشوائي حيث يتوسط المجمع المتحرك MS منطقة الشبكة كما يوضح الشكل (5). تم تنفيذ الخوارزمية المقترحة لاختيار رؤوس الكتل واختيار المسار الأمثل بينها كما يوضح الشكل (6).

في البنية المقترحة، تم استخدام نموذج الطاقة الراديوية المؤلفة من المرسل، والمضخم، والمستقبل، حيث تستهلك العقدة طاقة في تشغيل دائرة الإرسال، وتضخيم الإشارة لإرسال البيانات كما أنها تستهلك طاقة لتشغيل دائرة الاستقبال لاستقبال البيانات.

تُحسب الطاقة المستهلكة لإرسال رسالة طولها b بت مسافة قدرها δ بين المرسل والمستقبل بالعلاقة التالية (8)

[2,17]:

$$E_T(b, \delta) = \begin{cases} b \times E_{elec} + b \times \epsilon_{fs} \times \delta^2 & \text{if } \delta < \delta_{th} \\ b \times E_{elec} + b \times \epsilon_{mp} \times \delta^4 & \text{if } \delta \geq \delta_{th} \end{cases} \quad (8)$$

الشكل(5): يوضح نشر 200 عقدة في منطقة الشبكة 200×200 م²

الشكل(6): يوضح إيجاد المسار الأمثل بين رؤوس الكتل

تمثل E_{elec} الطاقة الالكترونية المستهلكة لتشغيل دارة المرسل للبت الواحد. أما طاقة المضخم تعتمد على

نوعين من نماذج القنوات:

○ يتم تطبيق نموذج الفضاء الحر the free space model الذي يحتاج طاقة تضخيم مساوية

حيث $\epsilon_{fs} \times \delta^2$ هي طاقة التضخيم في حال الفضاء الحر عندما تكون المسافة δ أقل من عتبة

البعد δ_{th} الممثلة بالعلاقة (9):

$$\delta_{th} = \epsilon_{fs} / \epsilon_{mp} m$$

(9)

○ يتم تطبيق نموذج التخماد متعدد المسارات the multipath model الذي يحتاج طاقة

تضخيم مساوية $\epsilon_{mp} \times \delta^4$ حيث ϵ_{mp} هي طاقة التضخيم في حال التخماد متعدد المسارات عندما

تكون المسافة δ أعلى من عتبة البعد δ_{th} [17]. ومنه نلاحظ أن أس الرمز δ يعتمد على مسافة

الإرسال.

كما وتحسب الطاقة المستهلكة لاستقبال رسالة طولها b بت بالعلاقة (10):

$$E_R(\delta) = E_{elec} \times b \quad (10)$$

E_{elec} : الطاقة الالكترونية المستهلكة لتشغيل دارة المستقبل للبت الواحد.

يعتمد توليد بيانات SNS على حدوث الحدث، ويفترض أن تكون بين 0 و 10 حزمة بيانات في الثانية

في عمليات المحاكاة. تم ضبط بارامترات عمل الشبكة وفق القيم المبينة في الجدول (2) [3,17]:

الجدول(2): بارامترات عمل الشبكة باستخدام MATLAB

البارامتر	القيمة
مساحة الشبكة	200×200 m ²
عدد عقد الحساس	200
إحداثيات الموقع الابتدائي للمجمع المتحرك	(100 , 100)
الطاقة الابتدائية لجميع عقد الحساس	5 J
طاقة الإرسال والاستقبال	E _{elec} = ETX = ERX
طاقة تجميع البيانات للبت الواحد	E _{DA}
طاقة المضخم في نموذج الفضاء الحر	ϵ_{fs}
طاقة المضخم في نموذج التخماد متعدد المسارات	ϵ_{mp}
حجم حزمة البيانات	512 Bytes
حجم حزمة التحكم	200 bits
نطاق الاتصال	50 m
عدد النمل	40
عدد التكرارات	100
α	0.2
β	0.4
γ	0.4
ρ	0.05
Q	1
سرعة المجمع المتحرك	5 , 10 , 15 km/hr

7- النتائج والمناقشة:

تم تقييم أداء الخوارزمية المقترحة من خلال تغيير عدد العقد وتغيير سرعة المجمع المتحرك، وتم إجراء المحاكاة في بيئة MATLAB ورسم المنحنيات البيانية ومقارنة النتائج من حيث المعايير التالية:

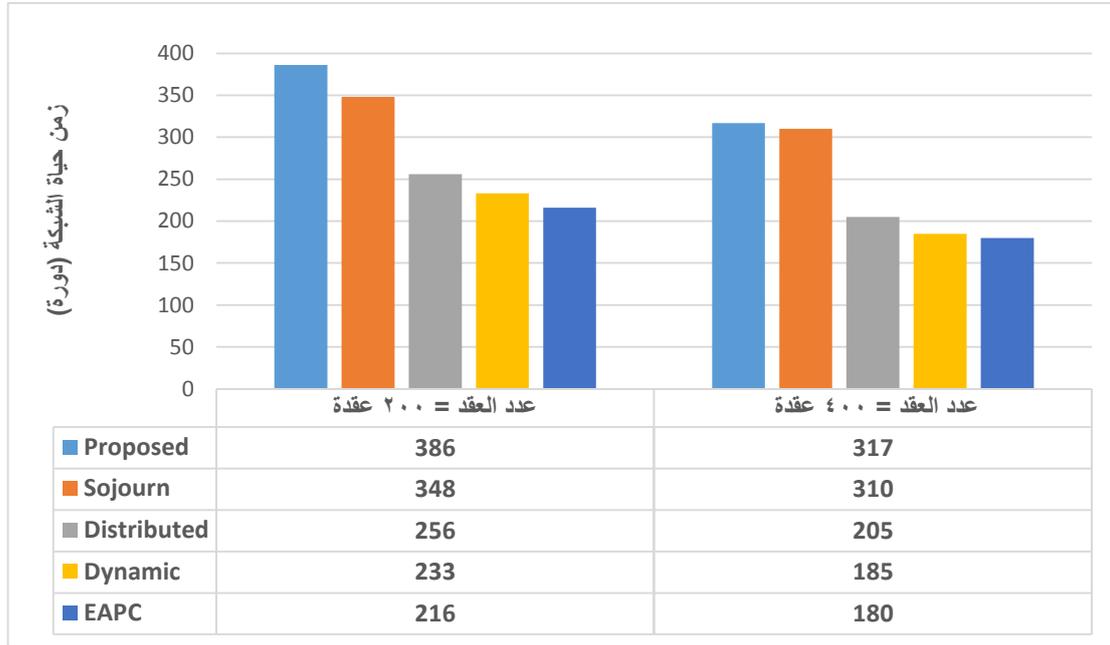
1. زمن حياة الشبكة **Network Lifetime**: تم وضع معيار لتقييم زمن حياة الشبكة وهو موت العقدة الأولى

(FND) First Node Die الذي يُشار إليه بعدد الدورات التي تُستهلك بعدها طاقة العقدة الحية الأولى [17].

تم إجراء المحاكاة مع تغيير في عدد العقد (200 عقدة، 400 عقدة) وتم تلخيص نتائج المحاكاة في مخطط الشكل (7) نلاحظ أنه عند عدد عقد 200 تحقق الخوارزمية المقترحة تحسناً كبيراً في إطالة زمن حياة الشبكة مقارنة بالخوارزميات الأخرى، وتؤدي زيادة عدد العقد (400 عقدة) إلى زيادة عدد حزم البيانات المرسله وبالتالي نفاذ طاقة الشبكة مقارنة مع عدد عقد 200.

من الشكل (7) نلاحظ مقارنة مع الدراسات المرجعية السابقة (EAPC [9], Dynamic [12], Distributed [17], Sojourn Location [11]) أن الخوارزمية المقترحة عند عدد عقد 200 تحسن في زمن حياة الشبكة بنسبة 11% مقارنة مع خوارزمية Sojourn Location [17] وبنسبة 50% مقارنة مع خوارزمية Distributed [11] و بنسبة 65% مقارنة مع خوارزمية Dynamic [12] وبنسبة 78% مقارنة مع خوارزمية EAPC [9]. نلاحظ عند إعادة تنفيذ المحاكاة مع تغيير عدد العقد (400 عقدة) أن الخوارزمية المقترحة تحسن في زمن حياة الشبكة بنسبة 2% مقارنة مع خوارزمية

Sojourn Location [17] ونسبة 54% مقارنة مع خوارزمية Distributed [11] و بنسبة 71% مقارنة مع خوارزمية Dynamic [12] ونسبة 76% مقارنة مع خوارزمية EAPC [9].



الشكل (7): زمن حياة الشبكة عند الخوارزميات المبينة

2. استهلاك الطاقة **Energy Consumption**: تعتبر الطاقة أحد أهم موارد العقد حيث يستمر تشغيل شبكة WSN حتى نفاذ طاقتها لذلك فإن الحفاظ على طاقة عقدة الحساس أمر مهم لأي تطبيق WSN مقيد بالطاقة لأنه يشير إلى زمن حياة الشبكة [17]. كلما انخفض استهلاك الطاقة، زاد زمن حياة الشبكة. يتم حساب متوسط استهلاك الطاقة للشبكة حتى تموت عقدة الحساس SN الأولى في شبكة WSN من خلال قياس متوسط الفرق بين المستوى الأولي للطاقة والمستوى النهائي للطاقة المتبقية في كل عقدة.

تم حساب متوسط استهلاك الطاقة من المعادلة التالية (11) [25]:

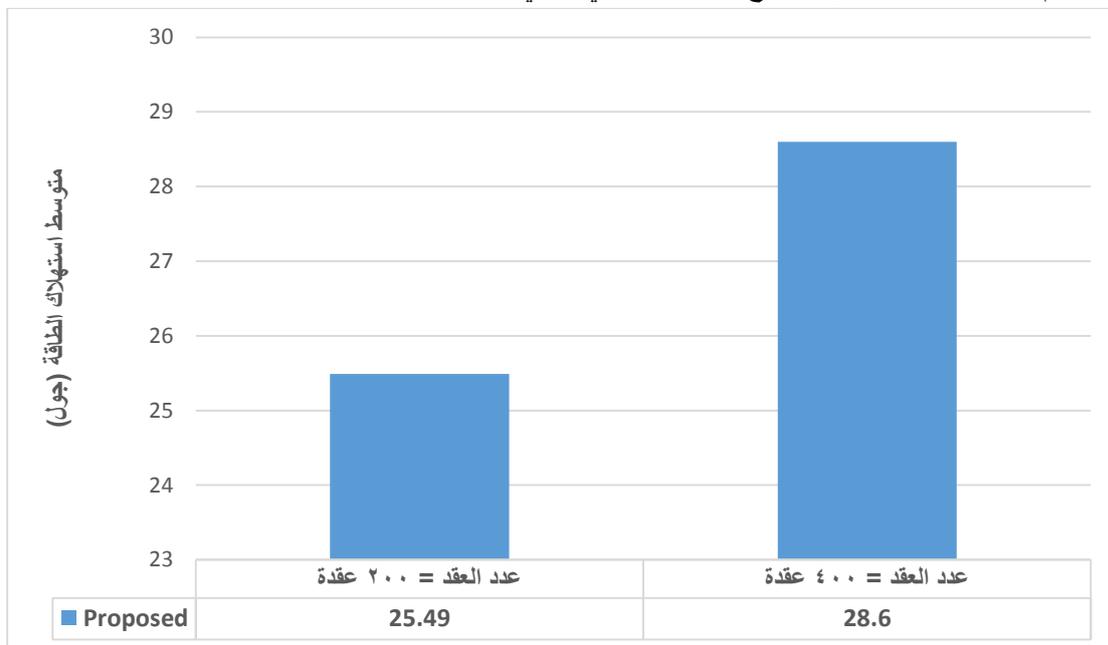
$$EC = \frac{\sum_{k=1}^n (E_{ik} - E_{fk})}{N} \quad (11)$$

E_{ik} مستوى الطاقة الأولي للعقدة، E_{fk} مستوى الطاقة النهائي للعقدة، N عدد العقد في المحاكاة.

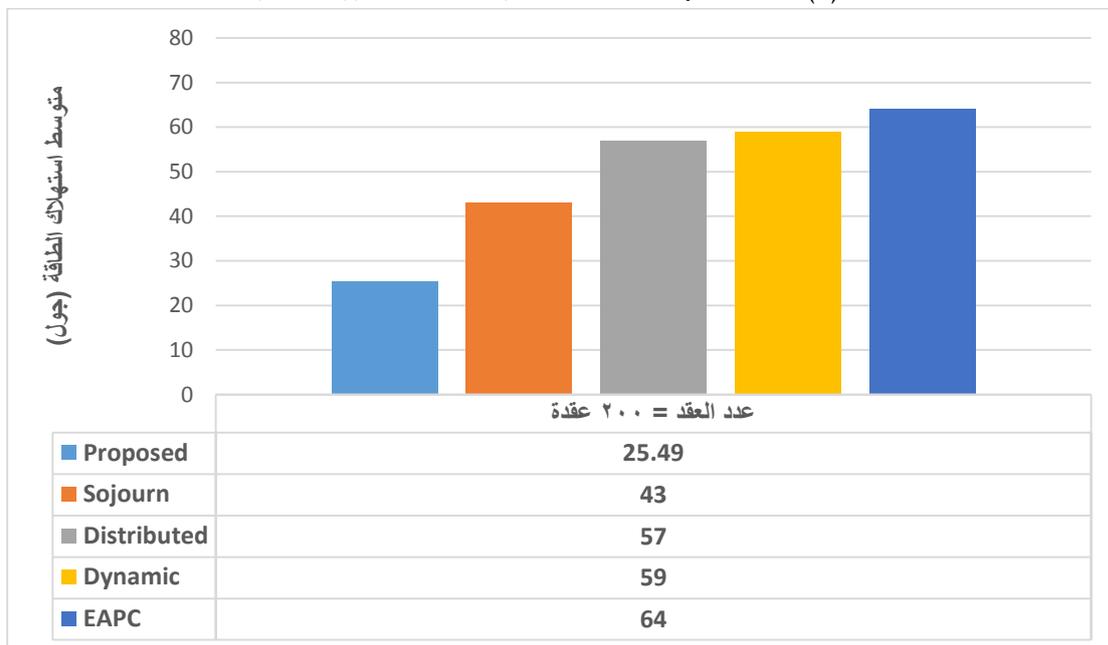
يتضمن الشكل (8) رسم بياني يوضح مقارنة في استهلاك طاقة العقد للخوارزمية المقترحة عند عدد عقد (200 عقدة، 400 عقدة)، كما يتضمن الشكل (9) رسم بياني يوضح مقارنة استهلاك الطاقة بين الخوارزمية المقترحة والخوارزميات التالية المذكورة في الدراسات المرجعية (EAPC [9], Dynamic [12], Distributed [17], Sojourn Location [11]) عند عدد عقد 200، حيث إجمالي استهلاك الطاقة يحسب وفق المعادلة (11). بين الرسم البياني (3) أنه مع زيادة عدد العقد تزداد عدد حزم البيانات المرسله وهذا يؤدي إلى استهلاك طاقة للعقد بشكل أكبر مقارنة مع عدد عقد 200، كما بين الرسم البياني (4) أن الخوارزمية المقترحة تحقق الحد الأدنى من استهلاك الطاقة من خلال ضمان تسليم البيانات المهمة دفعة واحدة إلى المجمع أما خوارزمية EAPC [9] يعتمد استراتيجية توجيه البيانات متعددة القفزات مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة أثناء انتقال البيانات وتعاني خوارزمية Dynamic [12]، خوارزمية Distributed [11] من ارتفاع استهلاك الطاقة على الرغم من

ضمان تسليم البيانات دفعة واحدة، ويرجع ذلك إلى وجود عدد كبير من نقاط تجميع البيانات مما يزيد من زمن انتقال .MS

تعتمد خوارزمية Sojourn Location [17] على انتقال البيانات من جميع العقد إلى رؤوس الكتل ثم إلى نقاط الالتقاء ليتم تسليمها بعد ذلك إلى المجمع المتحرك بالتالي تعاني من زيادة استهلاك طاقة مقارنة بالخوارزمية المقترحة.



الشكل (8): متوسط استهلاك الطاقة عند تغيير عدد العقد للخوارزمية المقترحة



الشكل (9): متوسط استهلاك الطاقة عند الخوارزميات المبينة

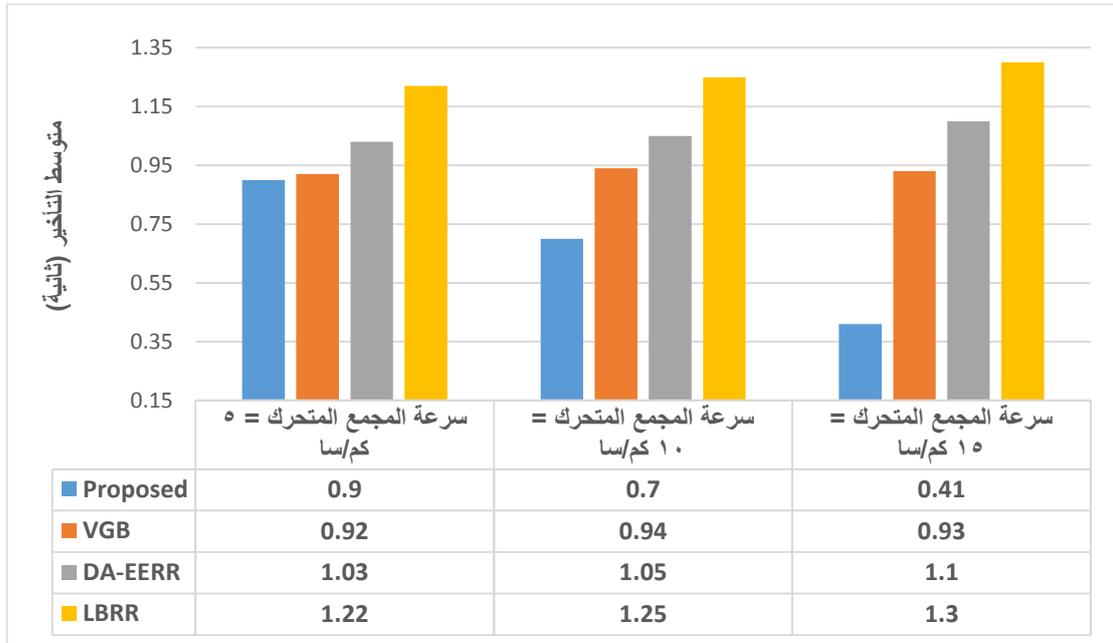
3. متوسط التأخير Average Delay: نظراً لتأثير سرعة المجمع المتحرك على متوسط تأخير تسليم البيانات، تم تقييم أداء الخوارزمية المقترحة مع تغير في سرعة المجمع المتحرك وتم إجراء المحاكاة في بيئة MATLAB ورسم المنحنيات البيانية ومقارنة النتائج.

يعتبر متوسط التأخير بين إرسال حزمة البيانات واستلامها من قبل المجمع مقياساً مهماً للتطبيقات الحساسة للزمن. يمكن حساب متوسط التأخير من المعادلة التالية (12) [25]:

$$Avg. Delay = \frac{\sum_{i=0}^n Tr_i - Ts_i}{Ptk_N} \quad (12)$$

Tr_i : زمن استلام حزم البيانات، Ts_i : زمن ارسال حزم البيانات، Ptk_N : عدد حزم البيانات المستلمة الكلية.

الخوارزمية المقترحة تستخدم مخطط مسار ديناميكي للاستجابة السريعة لتسليم البيانات وهي تعمل بشكل أفضل من الطرق الأخرى. حيث يقابل القيمة الأقل لمتوسط التأخير أداءً أفضل، كما يتناقص تأخير تسليم حزم البيانات مع زيادة السرعة نظراً للاتصالات قصيرة المدى بين رؤوس الكتل CHS والمجمع المتحرك MS، الذي يتحرك داخل منطقة الشبكة ويستلم البيانات بعد تجميعها دون استخدام التوجيه. يوضح مخطط الشكل (10) متوسط تأخير تسليم البيانات بالنسبة لسرعة المجمع المتغيرة مقارنة مع الخوارزميات التالية المذكورة في الدراسات المرجعية [10] VGB، [13] DA-EERR، [8] LBRR. نلاحظ أن أداء التأخير سيء في LBRR [8] بسبب اختيار العقدة ذات الطاقة الأعلى في كل قفزة وسيطة لنقل البيانات، مما يزيد من طول المسار من المصدر إلى المجمع، ونقل البيانات عبر المزيد من القفزات وهذا يزيد التأخير. من ناحية أخرى يقلل DA-EERR [13] عدد القفزات (أكبر من قفزة واحدة) ويستغرق للحصول على معلومات المجمع وقتاً أطول. أما في خوارزمية VGB [10] تُرسل حزم البيانات عبر الحد الأدنى من القفزات مما يكسب العقدة المصدر موقع المجمع على الفور من رأس الكتلة CH، لكن يعاني من التأخير بسبب انتقال البيانات بطريقة متعددة القفزات. نلاحظ في الخوارزميات السابقة عند زيادة سرعة المجمع يزداد التأخير لأن المجمع يعبر جزءاً كبيراً نسبياً من الشبكة في فترة زمنية قصيرة، مما يعطيه زمن أقل لتجميع البيانات، وبالتالي، يتم تسليم حزم البيانات مع تأخير إلى المجمع.



الشكل (10): متوسط تأخير تسليم البيانات عند الخوارزميات المبينة

ملاحظة:

تم تقييم أداء الخوارزمية المقترحة وإجراء المحاكاة في بيئة MATLAB ورسم المنحنيات البيانية ومقارنة النتائج من حيث المعايير السابقة عند عدد تكرار 100، حيث وجدنا من خلال التجربة أن التكرارات الكثيرة (أكثر من 100 تكرار) ستؤدي إلى المزيد من الوقت في تنفيذ الخوارزمية، أما عند عدد تكرار صغير (50 تكرار) لم يتم الحصول على المسار الأمثل بين رؤوس الكتل، وهذا أدى إلى زيادة طول مسار المجمع المتحرك وبالتالي تأخير في تسليم حزم البيانات.

8- الاستنتاجات والتوصيات:

- بينت النتائج أن اعتماد الخوارزمية المقترحة على مجمع متحرك MS قد حافظ على طاقة العقد وبالتالي تم تحسين زمن حياة الشبكة.
- بينت النتائج أن الخوارزمية المقترحة قللت إلى حد كبير عدد رؤوس الكتل CHS وبالتالي طول مسار المجمع المتحرك ومتوسط التأخير.
- أظهرت نتائج المحاكاة أن مخطط ضبط مسار المجمع المتحرك المعتمد كان لديه قدرة جيدة على التكيف مع تنوع معدل توليد البيانات وبالتالي ساهم في تقليل تأخير تسليم البيانات.
- نقترح في الدراسات المستقبلية تطوير الخوارزمية المستخدمة في هذا البحث لتكون ذات فعالية في شبكة كثيفة واسعة النطاق في ظل وجود عقبات بواسطة عدة مجتمعات متحركة.

9- المراجع

- [1] AL-JAMALI, N,A.; FAISAL, Z,G.,*Traffic Management in Wireless Sensor Network Based on Modified Neural Networks*. Iraqi Journal for Computers and Informatics. v41i1.90.2014.
- [2] AL-SHAIKH, A.; KHATTAB, H.; AL-SHARAEH, S.,*Performance Comparison of LEACH and LEACH-C Protocols in Wireless Sensor Networks*. ITB Journal Publisher, J. ICT Res. Appl. Vol. 12, No. 3, 219-236.2018.
- [3] MARCO, D.;MAURO, B.;THOMAS,S., *Ant colony optimization*, IEEE computational Intelligence Magazine, pp. 28-39.2006.
- [4] HAMIDOUCHE, R.; ALIOUAT, Z.; ARI, A,A.; GUEROUI, A.,*Mobile Sink Path Planning in Heterogeneous IoT Sensors: a Salp Swarm Algorithm Scheme*. KSII TRANSACTIONS ON INTERNET AND INFORMATION SYSTEMS VOL. 15, NO. 6. 2021.
- [5] KASWAN, A.; AZHARUDDIN, M.; JANA, P.,*A delay efficient path selection strategy for mobile sink in wireless sensor networks*.*International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, pp. 168-173.2017.
- [6] BOUAZZI, I.; ZAIDI, M.; USMAN, M.; SAMIM,M,Z.,*A new medium access control mechanism for energy optimization in WSN: traffic control and data priority scheme*. J Wireless Com Network.2021.
- [7] MAVROVOUNIOTIS, M.; YANG, S.; VAN, M.; LI, CH.; POLYCARPOU, M., *Ant Colony Optimization Algorithms for Dynamic Optimization: A Case Study of the Dynamic Travelling Salesperson Problem [Research Frontier]*. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 15, no. 1, pp. 52-63.2020.
- [8] MAURYA, S.; GUPTA, V.; JAIN, V.,*LBRR: Load balanced ring routing protocol for heterogeneous sensor networks with sink mobility*. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC),pp. 1-6.2017.
- [9] WEN, W.; ZHAO, SH.; SHANG, C.; CHANG, CH.,*EAPC: Energy-Aware Path Construction for Data Collection Using Mobile Sink in Wireless Sensor Networks*. IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 18, NO. 2.2018.
- [10] YARINEZHAD, R.; SARABI, A.,*Reducing delay and energy consumption in wireless sensor networks by making virtual grid infrastructure and using mobile sink*. International Journal of Electronics and Communications 84, 144-152.2018.
- [11] ALSAAFAN, A.; KHEDR, A, M.; AL AGHBARI, Z.,*Distributed trajectory design for data gathering using mobile sink in wireless sensor networks*, AEU-International Journal of Electronics and Communications, 96: 1-12.2018.
- [12] KRISHNAN, M.; YUN, S.; JUNG, Y,M., *Dynamic clustering approach with ACO-based mobile sink for data collection in WSNs*. Wireless Netw 25, 4859–4871.2019.
- [13] MAURAYA, S.; JAIN, V,K.; CHOWDHURY, D,R.,*Delay aware energy efficient reliable routing for data transmission in heterogeneous mobile sink wireless sensor network*. Journal of Network and Computer Applications.2019.
- [14] KUMAR, V.; KUMAR, A.,*Improving reporting delay and lifetime of a WSN using controlled mobile sinks*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing **10**, 1433–1441.2019.

[15] DONTA, P.K.; AMGOTH, T.; ANNAVARAPU, C,S,R.,*An extended ACO-based mobile sink path determination in wireless sensor networks*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing.2020.

[16] CHRISTOPHER, V,B.; JASPER, J.,*DHGRP: dynamic hexagonal grid routing protocol with mobile sink for congestion control in wireless sensor networks*. Wirel Pers Commun 112, 2213–2232.2020.

[17] ROY, S.; MAZUMDAR, N.; PAMULA, R.,*An optimal mobile sink sojourn location discovery approach for the energy-constrained and delay-sensitive wireless sensor network*. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing.2021.

[18] JAIN, S.; PATTANAIK, K,K.; VERMA, K,R.; BHARTI, S.; SHUKLA, A.,*EDVWDD: Event-Driven Virtual Wheel-based Data Dissemination for Mobile Sink Enabled Wireless Sensor Networks*. J Supercomput.2021.

[19] BOUAZZI, I.; BHAR, J.; ATRI, M.,*Priority-based queuing and transmission rate management using a fuzzy logic controller in WSNs*. ICT Express.2017.

[20] NAVGHARE, P.; PANDEY, S.; AGRAWAL, D.,*Mobile Sink in Fuzzy Logic and Meta-heuristic Firefly Algorithm based Routing Scheme to Extend Network Lifetime of WSN(MSFLMFLA)*. Research Square.2021.

[21] BHAR, J.; ZAIDI, M.; OUNI, R.; NASRI, S., *Performance evaluation of fuzzy controller for traffic stabilization*. Int. Conf. on Signal, Circuit and Systems, pp.1–5.2008.

[22] WANG, J.; CAO, J.; SHERRATT, R, S.; PARK, J,H.,*An improved ant colony optimization-based approach with mobile sink for wireless sensor networks*. The Journal of Supercomputing, pp. 6633-6645.2017.

[23] NAYYAR, A.,*Improvised Energy Efficient Routing Protocol based on Ant Colony Optimization (ACO) for Wireless Sensor Networks*.2017.

[24] DONTA, P.K.; AMGOTH, T.; ANNAVARAPU, C.S.R.,*ACO-based mobile sink path determination for wireless sensor networks under non-uniform data constraints*. Appl. Soft Comput., 69, 528–540.2018.

[25] ANITHA, U,R.; KAMALAKKANNAN,P.,*EEDBC-M: Enhancement of Leach-Mobile protocol with Energy Efficient Density-based Clustering for Mobile Sensor Networks(MSNs)*. International Journal of Computer Application(0975-8887),Volume 74-No.14.2013.

[26] Khan, A.W.; Abdullah, A.H.; Anisi, M.H.; Bangash, J.I. *A Comprehensive Study of Data Collection Schemes Using Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks*. Sensors, 14, 2510-2548.2014.