

## Improvement the RPL Performance in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink Nodes

Dr. Jamal Khalifah\*  
Safwan Kasem\*\*

(Received 26 / 9 / 2019. Accepted 14 / 6 / 2020)

### □ ABSTRACT □

RPL (Routing Protocol for low power and lossy network) was designed, to work in networks that contain a large number of smart devices, and able to communicate with users over the Internet. This protocol is based on the distance Vector algorithm and forms evidence of network components similar to trees that do not contain any loops. This structure is called DODAG (Destination Oriented Acyclic Graphs).

In this research we will work on a wireless sensor network with a mobile sink node .This network uses the RPL protocol, we will modify this protocol to make the sink node move to a specific node based node's weight, which depends on the number of neighbors of this node, the number of hops from this node to the sink node, the remaining energy in this node, and the number of packets generated in this node. We will simulate the modifying RPL and the results will be compared with the results of previous studies that have modified the protocol according to different parameters.

**Keywords:** wireless sensor network, RPL, Mobile sink.

---

\* Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Ph.D Student, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, Email: Safwan.kasem88@gmail.com.

## تحسين أداء بروتوكول التوجيه RPL في شبكات الحساسات اللاسلكية ذات عقد مصب متحركة

د. جمال خليفة\*

صفوان قاسم\*\*

(تاريخ الإيداع 26 / 9 / 2019. قُبل للنشر في 14 / 6 / 2020)

### □ ملخص □

صمم البروتوكول RPL (Routing Protocol for low power and lossy network) كبروتوكول توجيه في الشبكات ذات الضياع و الطاقة المنخفضة وهي شبكات تحتوي عدداً كبيراً جداً من الأجهزة الذكية، والقادرة على الاتصال بالمستخدمين عبر شبكة الإنترنت. يعتمد هذا البروتوكول على خوارزمية شعاع المسافة (Distance-Victor) ويقوم بتشكيل بنية من مكونات الشبكة تشبه هذه البنية الأشجار والتي لا تتضمن أية حلقات تسمى هذه البنية DODAG بنى موجهة عديمة الحلقات (Destination Oriented Acyclic Graphs). سنعمل في هذا البحث على شبكة حساسات لاسلكية ذات عقدة مصب متحركة (Mobile sink) تستخدم هذه الشبكة بروتوكول RPL، والذي سنعدل طريقة عمله لجعل عقدة المصب تتحرك نحو عقدة محددة وفق وزن هذه العقدة الذي يعتمد على عدد جيران هذه العقدة وعدد القفزات من هذه العقدة نحو عقدة المصب والطاقة المتبقية في هذه العقدة وعدد الرزم المولدة في هذه العقدة، وستتم محاكاة التعديل ومقارنته بنتائج دراسات سابقة قامت بتعديل البروتوكول وفق معايير مختلفة.

الكلمات المفتاحية: شبكة الحساسات اللاسلكية، RPL، مصب متحرك.

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

\*\*طالب دراسات عليا (دكتوراه)- قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية،

بريد الكتروني: Safwan.kasem88@gmail.com

**مقدمة:**

في الآونة الأخيرة، وبعد أن ازدادت الحاجة لربط شبكات الحساسات اللاسلكية ومختلف الأجهزة الذكية مع شبكة الإنترنت، اقترح بروتوكول RPL الذي يعمل ضمن شبكات مكونة من عدد كبير جداً من العقد، والذي يتمتع أيضاً بمزايا عديدة ومرونة كبيرة. ومع تطور حاجات المستخدم وظهور بعض التحديات مثل زيادة عمر الشبكة أو زيادة نسبة استلام الرزم، برزت الحاجة إلى تعديل هذا البروتوكول وفق هذه الحالات الخاصة [1,2]، وهو ما سنقوم به بهذا البحث لزيادة مدة حياة الشبكة. يسمح بروتوكول RPL بمراعاة الهدف الذي يريده المستخدم من التطبيق عن طريق تشكيل مسارات وفق البارامترات التي تحقق رغبة المستخدم فمثلاً عند تشكيل المسارات يمكن للشبكة أن تحوي على أكثر من مسار بين العقدة المنبع والعقدة المستقبلية، ولكل مسار خصائص يتميز بها عن المسار الآخر، بكلام آخر مسار 1 ذو أفضل قيمة للإرسال (وزن) والذي يتجنب الوصلات التي لا تشفر البيانات المارة بها (قيد)، مسار 2 ذو أفضل قيمة من حيث التأخير (وزن) والذي يتجنب العقد ذات الطاقة المنخفضة (قيد) [3]. يتميز أيضاً هذا البروتوكول بصيانة المسار عن طريق رسائل تصحيح دورية تُرسل للتأكد من حالة المسار بشكل دوري [4].

مما سبق يتبين أهمية هذا البروتوكول للتعامل مع الأجهزة الحديثة وإمكانية تعديله وفق حاجة المستخدم خصوصاً مع التطور المتسارع في عالم الأجهزة الذكية ( المنزلية، المكتبية، الصناعية، وغيرها).

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف هذا البحث لزيادة مدة حياة الشبكة مع اختلاف عدد العقد المكونة لها واختلاف الطاقة البدائية لهذه العقد، والتوزيع العادل للحمل مما يساهم في الحفاظ على طاقة العقد في الشبكة، وهو ما يعطي البحث أهمية بالغة لاستمرار عمل الشبكة لأطول فترة ممكنة مع استهلاك منخفض وعادل للطاقة بين العقد مقارنةً بأبحاث سابقة، وهذا يمنح أولوية في كثير من التطبيقات لزمن حياة الشبكة كبارامتر أساسي أثناء تصميمها.

**طرائق البحث ومواده:**

درس هذا البحث شبكة حساسات لاسلكية تحوي ثلاث عقد مصب متحركة وفق أربعة سيناريوهات للشبكة، تختلف هذه السيناريوهات بعدد العقد الحساسة في الشبكة. يعتمد هذا البحث على المحاكاة باستخدام محاكي [5] Wsnet وهو محاكي مفتوح المصدر يعمل على بيئة لينوكس، يقدم هذا المحاكي ميزات عديدة منها محاكاة سيناريو عشوائي للشبكة عدة مرات دون الحاجة لتعديل تابع العشوائية في المحاكاة، أو محاكاة عدة سيناريوهات للشبكة بنفس الوقت، بالإضافة إلى أدوات عديدة يمكن إضافتها إلى البرنامج الأساسي للقياس والحصول على النتائج.

**1. الدراسات المرجعية:**

اهتمت العديد من الدراسات بتعديل هذا البروتوكول ليراعي عقد المصب المتحركة و بعض الأهداف من الشبكة كزيادة مدة حياة الشبكة.

اقترحت الدراسة [6] استراتيجيتين: تتضمن الأولى تحريك عقدة المصب نحو العقد الأكثر طاقة حيث تتلقى عقدة التجميع البيانات عبر هذه العقدة سواء كانت هي العقدة المولدة للرزم أم هي مجرد عقدة وسيطة، مما يؤدي إلى عدم انتظام توزيع الحمل، وإذا لم تكن هي العقدة المولدة للرزم ستستنزف طاقة العقد السابقة للعقدة الأكثر طاقة والواقعة على

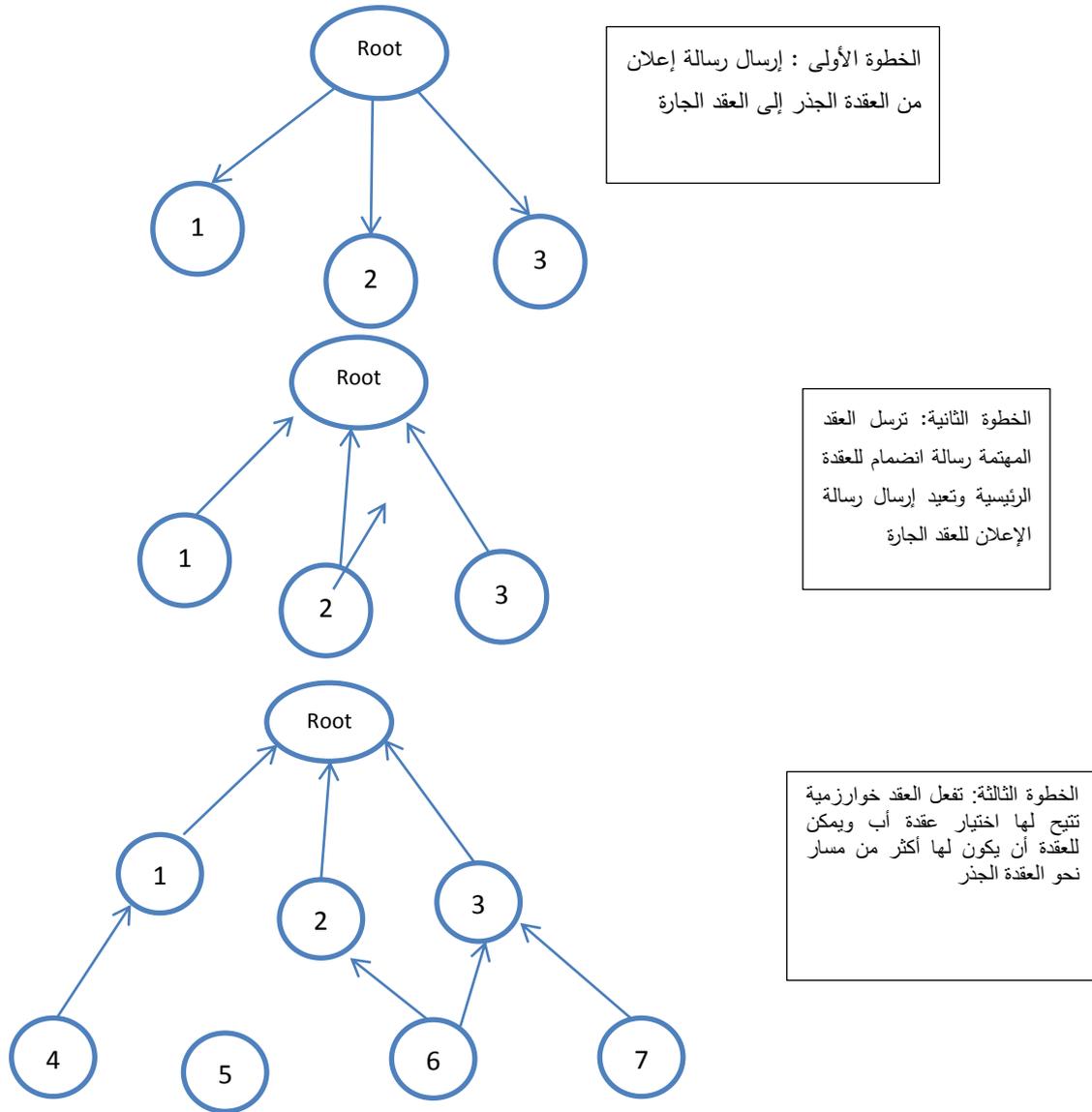
نفس المسار، مما سيؤدي إلى خروجها عن العمل وتشكل الثقوب. أما الاستراتيجية الثانية فتتضمن إعطاء أوزان للعقد الموجودة في الشبكة، لكل عقدة وزن يتعلق بعدد الجيران والطاقة المتبقية وعدد القفزات بين عقدة المصب والعقدة الحساسة، حيث تتحرك عقدة المصب نحو العقدة الأعلى وزناً. أغفلت هذه الدراسة بارامتر الرزم المولدة من العقدة كبارامتر مؤثر في وزن العقدة والذي من الممكن أن يؤثر إيجابياً في مدة حياة الشبكة، وهذا ما قمنا بإضافته للوزن ومحاكاة النتائج ومقارنتها مع نتائج الدراستين السابقتين.

جاءت الدراسة [7] لتطوير الشبكة من ناحية التأخير والطاقة آخذة بالحسبان الدراسة [6] حيث عدلت كلفة حساب الوصلة و المؤقت الزمني في البروتوكول الأصلي ولم تهتم بزيادة مدة حياة الشبكة. أشارت الدراسة [8] إلى استراتيجية الدراسة [6] ونوهت إلى أن البارامترات المأخوذة لحساب كلفة المسار غير كافية كونها لا تراعي كل حالات شبكات الطاقة المنخفضة ذات الضياع.

## 2. مقدمة نظرية عن بروتوكول RPL:

هو بروتوكول توجيه يعتمد على خوارزمية شعاع المسافة، ويقوم ببناء بنية (Graph) شجرية تدعى ( DODAG ) Destination Oriented Acyclic Graph كما سبق وذكرنا.

عند البدء بتهيئة المسارات وتشكيل البنية، تقوم عقدة الجذر (Root) ( عقدة الجذر هي نفسها عقدة المصب عند تطبيق هذا البروتوكول في الخوارزمية) بإرسال رسالة تحكم تحوي معلومات حول البنية المطلوب تشكيلها، تقوم العقد الجارة بالاستماع إلى هذه الرسالة وإعادة إرسالها إلى العقد المجاورة لها وتحديد فيما إذا كانت تريد الانضمام إلى هذه البنية أم لا، وتقرر ذلك بناءً على قيود محددة (التأخير، الطاقة، الهدف من التطبيق ..)[9].  
يوضح الشكل (1): كيفية تشكيل الشبكة.

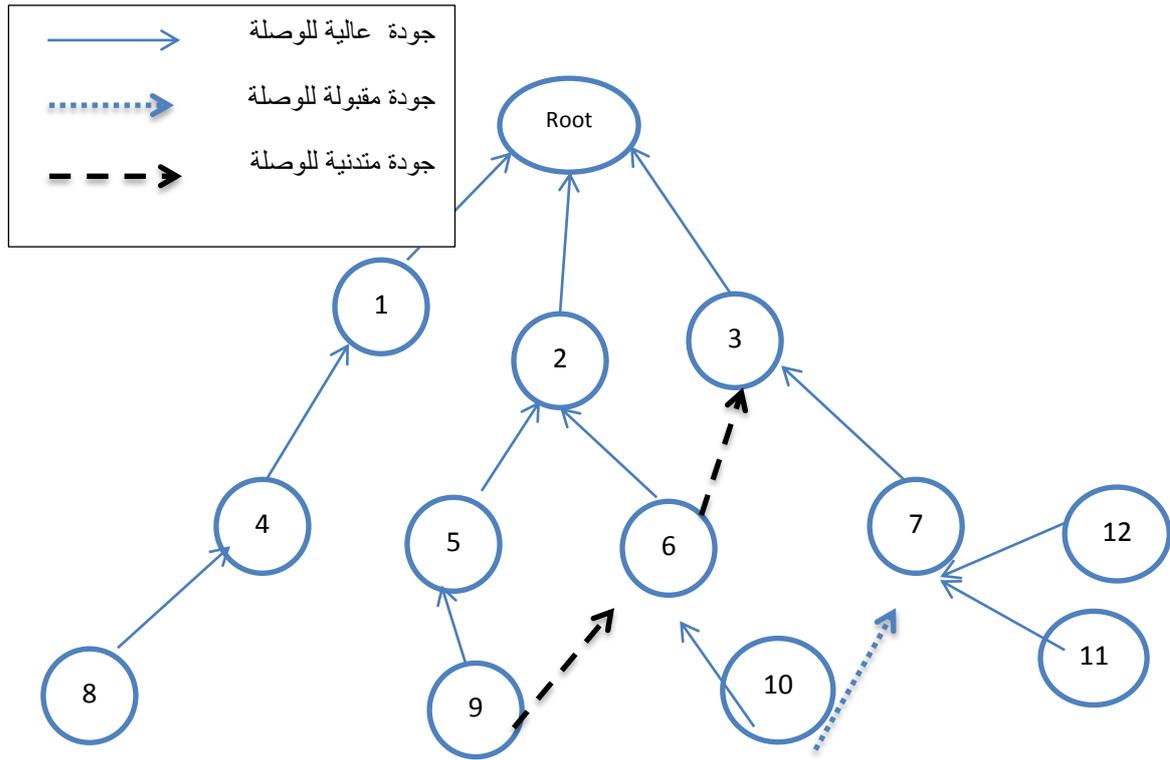


الشكل (1): خطوات بناء الشبكة

في الوقت الذي تصيح العقدة جزءاً من البنية، سيكون لها مسار إلى عقدة الجذر وتكون هذه العقدة بمثابة عقدة أب لهذه العقدة، وهكذا تستمر العملية حتى بناء كامل الشبكة.

يدعم بروتوكول RPL وجود عدة بني ضمن الشبكة الواحدة والتي من الممكن أن تكون تابعة لعقدة جذر أو أكثر، وتدعى هذه البنية (DAG Instance)، ويمكن للعقدة الواحدة أن تنتمي إلى بنية واحدة أو أكثر بنفس الوقت، حيث يكون لكل عقدة (ID Instance) واحد لكل بنية تنتمي إليها. تكمن فائدة هذه الخاصية في أنه يمكن بناء مسارات حسب الغرض المطلوب فمثلاً: مسارات للبيانات العادية يتجنب العقد التي تعمل فقط على البطارية، ومسار للبيانات ذات الأهمية القصوى والذي يكون فيه التأخير بحدوده الدنيا [10,11].

يوضح الشكل (2) هذه الخاصية.



الشكل (2): تعدد المسارات في بروتوكول RPL

## 2.1. التعديل المقترح على بروتوكول RPL:

سيراعي التعديل المقترح في هذا البحث عدة بارامترات وهي: طاقة العقدة المتبقية، عدد القفزات بينها وبين عقدة المصب، عدد الجيران إضافة إلى عدد الرزم التي تولدها العقدة وستشرح أهمية وكيفية حساب هذه البارامترات كآلاتي:

أ- الطاقة المتبقية:

عند انخفاض مستوى الطاقة المتبقية دون عتبة تشغيل الحساس، فهذا يعني خروج العقدة عن العمل وبالنتيجة انخفاض مدة حياة الشبكة.

إذا كانت  $e_0$  هي الطاقة المتبقية في العقدة وكانت  $e_c$  هي الطاقة المصروفة في واحدة الزمن سيكون زمن حياة الحساس (ثانية)  $T$  [12]:

$$T = \frac{e_0}{e_c} \dots (1)$$

ويمكن حساب  $e_c$  عن طريق :

$$e_c = f_i(e_t + e_r) \dots (2)$$

حيث أن  $e_t$ ،  $e_r$  هي طاقتي الإرسال والاستقبال على التوالي وتقاس بالجول،  $f_i$  هي عدد مرات الإرسال والاستقبال.

ب- عدد القفزات:

لزيادة مدة حياة الشبكة، يجب أن تكون الطاقة المستهلكة على مستوى الشبكة ككل منخفضة، لذلك فإن تقليل عدد القفزات عند الإرسال والاستقبال يعني تقليل الطاقة المستهلكة (لكون العقد تستهلك القسم الأكبر من طاقتها في الإرسال

والاستقبال) أي زيادة مدة حياة الشبكة. إذا كانت  $e_{pkt}$  هي الطاقة اللازمة لإرسال الرزمة من عقدة حساسة إلى عقدة المصب فيمكننا كتابة:

$$e_{pkt} \sim h e_1 \dots (3)$$

أي أن الطاقة اللازمة لإرسال الرزمة تتناسب طردياً مع  $h$  عدد القفزات إلى عقدة المصب و  $e_1$  الطاقة اللازمة لإرسال الرزمة لقفزة واحدة [13].

لذلك فإنه لزيادة مدة حياة الشبكة، يجب أن يتم تخفيض عدد القفزات بين العقدة الحساسة وعقدة الجذر، والذي يعتمد على بروتوكول التوجيه المستخدم، ويختلف عدد القفزات باختلاف البروتوكول وطريقة عمله وبارامتراته التي يأخذها بالحسبان، ويعتمد عدد القفزات أيضاً على مكان عقدة الجذر و إعدادات حركتها. إن إحدى الطرائق المستخدمة لتقليل عدد القفزات دون تغيير بروتوكول التوجيه هي ضبط إعدادات عقدة الجذر وتوجيهها نحو العقد الحساسة.

#### ت- عدد الجيران:

كلما كان عدد الجيران المحيطة بعقدة المصب أكبر كان احتمال توزع الحمل بصورة متوازنة أكبر مما يعني استهلاك متوازن للطاقة وتفاذي خروج العقد الحساسة عن العمل [6] وسنرمز لعدد العقد الجارة بـ  $n_i$ .

#### ث- عدد الرزم المولدة من قبل العقدة:

كلما كان عدد الرزم التي تولدها العقدة أكبر ازدادت الحاجة للانتقال نحوها لتقليل الطاقة اللازمة لإرسال الرزم. سنرمز لعدد الرزم بالرمز  $P_i$ .

### 2.2. خوارزمية عمل البروتوكول المعدل:

لكل عقدة في بنية DODAG نعرّف وزن العقدة  $w_i$  :

$$w_i = f(e_0 h_i^k n_i p_i) \dots (4)$$

$h_i^k$  هو عدد القفزات من العقدة المنبع  $i$  إلى العقدة الجذر  $k$ . أي أن وزن العقدة تابع للطاقة المتبقية في العقدة وعدد القفزات بين هذه العقدة وعقدة الجذر وعدد العقد الجارة و عدد الرزم المولدة من هذه العقدة. لتحويل التابع لمعادلة نضرب بثوابت تعديل طالما أن الواحدات مختلفة  $[0,1]$   $\alpha, \beta, \mu$  :

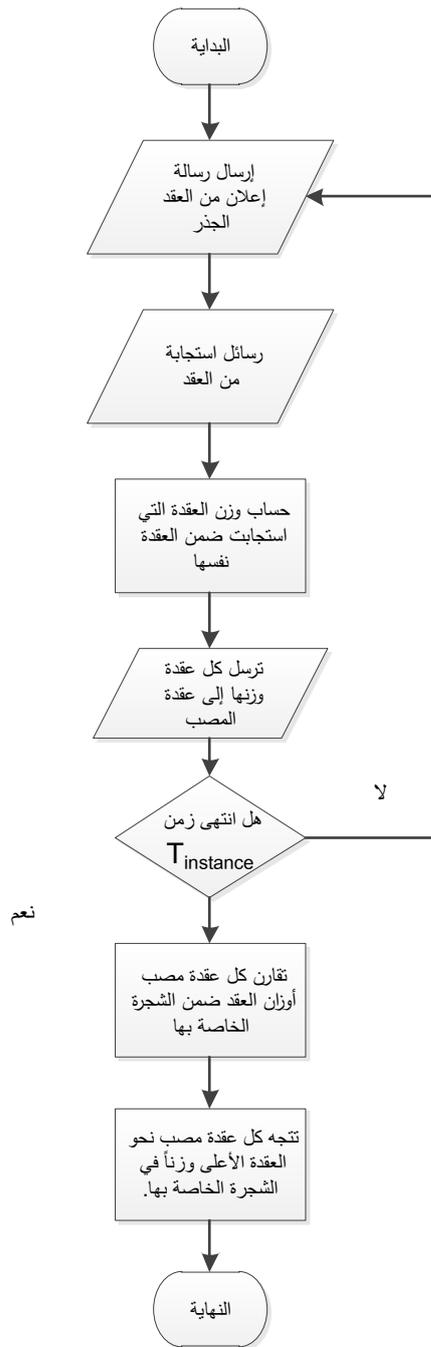
$$w_i = \alpha(e_0 h_i^k) + \beta n_i + \mu p_i \dots (5)$$

هذه المعادلة أضافت البارامتر  $p_i$  (الذي يعبر عن عدد الرزم المولدة ضمن العقدة) إلى حساب الوزن المذكور في الدراسة [6]. عند تحرك عقدة المصب (الجذر) نحو العقدة المولدة لعدد أكبر من الرزم بالمقارنة مع باقي العقد مع مراعاة البارامترات السابقة، فإن ذلك سيفل من عدد القفزات وبالنتيجة الطاقة المصروفة لإرسال الرزم، ووصول عدد أكبر من الرزم لعقدة المصب أي زيادة الإنتاجية في الشبكة.

ضربت البارامترات بثوابت تعديل مساوية للرقم 1 أي أنها جميعها ذات نفس الأهمية في تكوين وزن العقدة (في حالتنا لا نريد لبارامتر أهمية أكثر من بارامتر آخر)، ويمكن تغيير قيم هذه الثوابت بحسب ما يراه المصمم مناسباً، فمثلاً يمكن إعطاء عدد العقد الجارة أهمية أكبر وبالتالي ضرب المتحول المعبر عن عدد العقد الجارة بعدد أكبر من العدد المضروب بباقي المتحولات. يمكن أن ننظر إلى حركية عقدة المصب على أنها تغيير في DAG Instance وتغيير في DAG Root، أي تغيير المسار وتغيير عقدة المصب. لكي يصبح هذا التغيير حقيقياً سنعرّف متحول  $T_{instance}$  والذي هو الوقت اللازم لبناء Instance جديد.

عملية تحريك عقدة التجميع ستمر بثلاث مراحل:

- 1- خلال زمن  $T_{instance}$  ستستمع كل عقدة إلى العقد الجارة والتي تنتمي إلى نفس البنية DODAG عندما لا تسمع أي ترتيب Rank أعلى منها ستقرر أنها هي العقدة النهائية.
  - 2- قبل نهاية الوقت  $T_{instance}$  ستُرسل كل عقدة وزنها  $w_i$ .
  - 3- عند بداية  $T_{instance}$  ستقرر عقدة المصب العقدة النهائية والتي لها أعلى ترتيب وتتحرك نحوها.
- يمكن تلخيص الخوارزمية بالآتي:



الشكل (3): المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة

**النتائج والمناقشة:****المحاكاة والنتائج:**

تمت عملية المحاكاة على برنامج WSnet. وفق البارامترات الآتية:

الجدول (1): بارامترات المحاكاة

متغير حسب السيناريو [100--1600] عقدة	عدد العقد الحساسة	16.4 mA	التيار المصروف للاستقبال	3 عقد	عدد عقد المصب
		10 m	مسافة ارسال العقدة	IEEE 802.15.4	تقنية الاتصال
متغيرة حسب السيناريو [1-5]	الطاقة البدائية للعقد	127 B data	حجم الرزمة المولدة	16.9 mA	التيار المصروف للإرسال

اختير عدد القفزات كبارامتر لبناء DODAG، وتمت مقارنة النتائج مع خوارزميتين سبق ذكرهما وهما:

- 1- RPL<sub>energy</sub>: نتجه فيها عقدة المصب نحو العقدة الحساسة الأكثر طاقة.
  - 2- RPL<sub>weight</sub>: نتجه عقدة المصب نحو العقدة الأكثر وزناً من حيث الطاقة المتبقية، عدد الجيران وعدد القفزات.
- أشير إلى الخوارزمية المقترحة برمز RPL\_p. يوضح الجدول (2) سيناريو المحاكاة

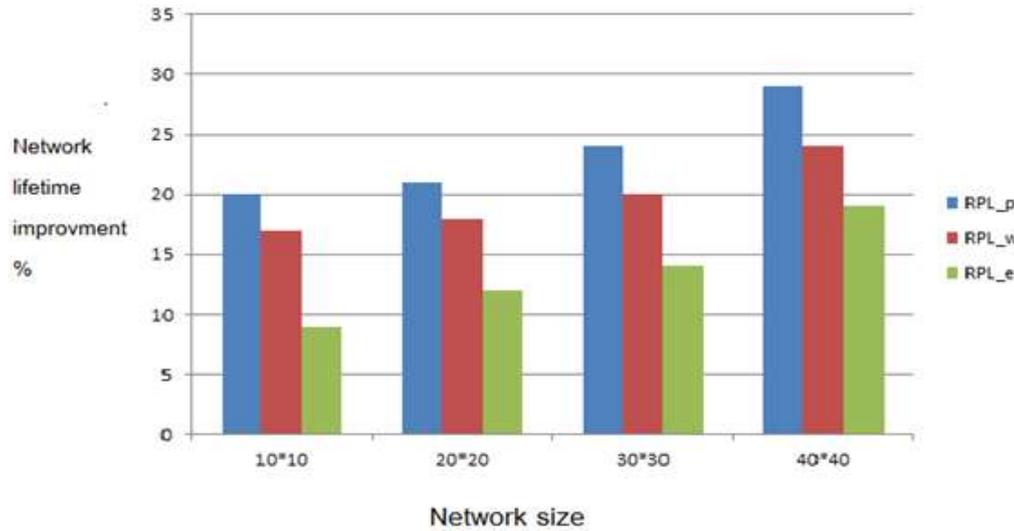
الجدول (2) سيناريو المحاكاة

التوزيع	عدد العقد	المساحة	
عشوائي	100 عقدة	100 m <sup>2</sup>	السيناريو الأول
عشوائي	400 عقدة	500 m <sup>2</sup>	السيناريو الثاني
عشوائي	900 عقدة	1500 m <sup>2</sup>	السيناريو الثالث
عشوائي	1600 عقدة	3000 m <sup>2</sup>	السيناريو الرابع

وقد اختيرت هذه السيناريوهات إضافة لبارامترات المحاكاة لمقارنة نتائج الخوارزمية المقترحة مع نتائج الخوارزميتين سابقتي الذكر، والتي حصلنا عليها من الدراسات المشار لها.

**زمن حياة الشبكة:**

تنتهي حياة الشبكة عند موت أول عقدة في الشبكة (أي نفاذ طاقتها وخروجها عن العمل).



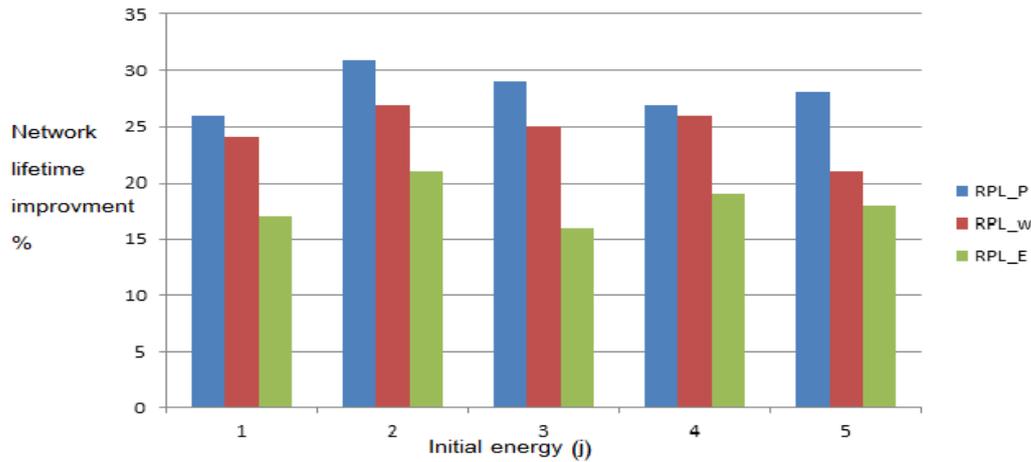
الشكل (4): زيادة مدة حياة الشبكة مع زيادة عدد العقد في الشبكة

يبين الشكل (4) مقارنة النتائج التي تم الوصول لها عند تطبيق الخوارزمية المقترحة RPL\_P مع الخوارزميتين السابقتين وجميع النتائج كانت بالنسبة لسيناريو شبكة تستخدم البروتوكول الأصلي (الذي تكون فيه عقد المصب ثابتة)، أي أنّ نتيجة محاكاة البروتوكول الأصلي تم وضعها كأساس (القيمة صفر) وبالتالي النتائج هي زيادة في مدة حياة الشبكة كنسبة مئوية بالمقارنة فيما بين الخوارزميات وتم اعتمادها لسهولة المقارنة مع نتائج الدراسات السابقة. بنتيجة المحاكاة تفوقت الخوارزمية المقترحة على نتائج البروتوكول الأصلي RPL بنسبة تتراوح بين 20% و 29% (على اعتبار أن أداء البروتوكول الأصلي تم وضعه كأساس للمقارنة). أما بالنسبة للخوارزمية (RPL\_e) والتي تتحرك فيها عقد المصب نحو العقدة الأكثر طاقة في الشبكة سواء كانت مولدة للبيانات أم لا، فكانت الزيادة في مدة حياة الشبكة عند تطبيق الخوارزمية المقترحة تتراوح بين 8% و 10% وذلك لأنه لا تتعلق مدة حياة الشبكة بجمع البيانات من العقدة الأكثر طاقة فقط، والتي من الممكن أنها لن تكون المولدة للبيانات وبالتالي ستقوم العقدة المولدة بتكرار إرسال البيانات للعقدة الأكثر طاقة حتى ولو استنزف ذلك طاقتها وطاقة العقد في المسار المؤدي لتلك العقدة الأكثر طاقة وبالتالي خروج بعض العقد عن العمل، بمقارنة نتائج الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية (RPL\_w) والتي تتحرك فيها عقد المصب نحو العقدة الأعلى وزناً بغض النظر عن العقدة المولدة للبيانات فإن زيادة مدة حياة الشبكة عند تطبيق الخوارزمية المقترحة كانت بين 2% و 4% بالمقارنة مع هذه الخوارزمية، مما يبين أهمية إدراج بارامتر العقدة المولدة للبيانات عند حساب وزن العقدة.

لحساب تأثير تغيير الطاقة البدائية للعقد على مدة حياة الشبكة قمنا باختبار السيناريو الرابع (لمقارنته مع أداء الخوارزميتين السابقتين).

يبين الشكل (5) مقارنة نتائج الخوارزميات الثلاث بالنسبة لسيناريو البروتوكول الأصلي (عقد المصب الثابتة) والذي اعتبرناه أساس المقارنة (القيمة صفر).

وكما هو متوقع فإن نتائج الخوارزمية المقترحة كانت أفضل حيث يضمن توجه عقد المصب نحو العقدة الأكثر وزناً استهلاكاً عادلاً للطاقة بين عقد الشبكة وبالتالي زيادة مدة حياة هذه الشبكة.



الشكل (5): زيادة مدة حياة الشبكة مع تغيير الطاقة البدائية للعقد

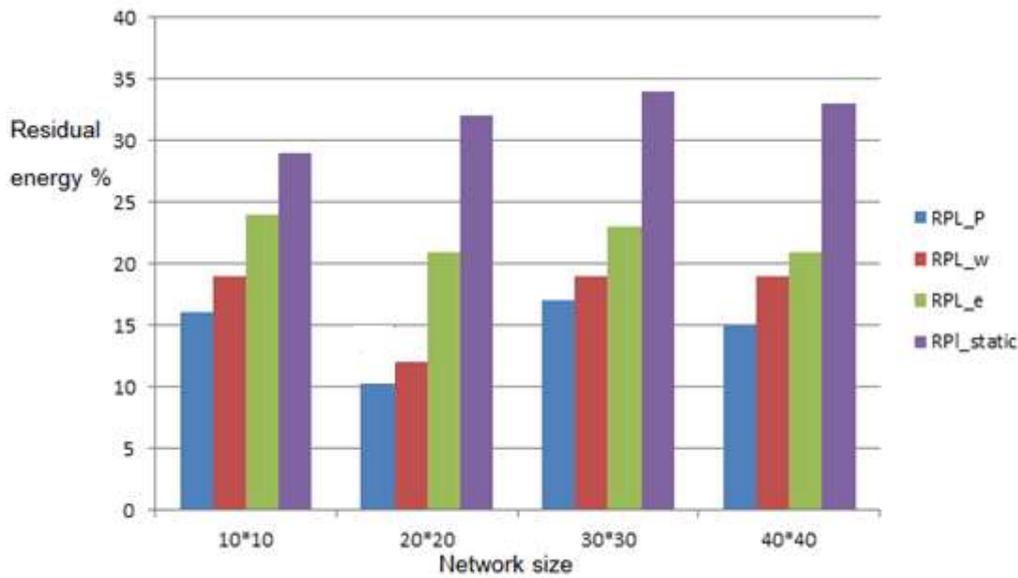
ازدادت مدة حياة الشبكة بنسبة 1% عند طاقة بدائية 4 جول (أدنى قيمة للزيادة) و 9% (أعلى قيمة للزيادة) عند طاقة بدائية 5 جول بالمقارنة مع الخوارزمية (RPL\_w)، زادت مدة حياة الشبكة بنسبة 7% عند طاقة بدائية 4 جول (أدنى قيمة للزيادة) و 13% عند طاقة بدائية 3 جول بالمقارنة مع الخوارزمية (RPL\_e). وكانت زيادة مدة حياة الشبكة بالمقارنة مع أداء البروتوكول الأصلي مع عقد مصب ثابتة تتراوح بين 26% و 31%.

#### الطاقة المتبقية:

قمنا بحساب الطاقة المتبقية في العقد ضمن الشبكة عند نهاية عمر هذه الشبكة وخروجها عن العمل، وكما هو معلوم كلما انخفضت الطاقة المتبقية في العقد عند نهاية عمر الشبكة كلما كان أفضل، لأنه يعطي فكرة عن توزيع عادل للحمل بين عقد الشبكة خصوصاً عندما تكون مدة حياة هذه الشبكة طويلة مقارنة مع غيرها.

يبين الشكل (6) الطاقة المتبقية في العقد عند نهاية عمر الشبكة وكما هو واضح أن سيناريو عقد المصب الثابتة (البروتوكول الأصلي) تكون الطاقة المتبقية في العقد في مستويات عالية عند نهاية عمر الشبكة، ذلك لأنه عند استخدام عقدة مصب متحركة سيؤدي ذلك إلى توزيع الحمل وبالتالي استهلاك طاقة متقارب بين العقد، وقد أعطت الخوارزمية المقترحة نتيجة أفضل بالمقارنة مع الدراسات السابقة.

تفوقت الخوارزمية المقترحة بنسبة 2% على الخوارزمية (RPL\_w) عند وجود 400 عقدة في الشبكة وهذا الرقم هو أدنى تفوق لها، حيث كانت الطاقة المتبقية في العقد عند انتهاء مدة حياة الشبكة وفق الخوارزمية المقترحة أقل بنسبة 2% من الطاقة المتبقية في العقد عند انتهاء مدة حياة الشبكة وفق الخوارزمية (RPL\_w)، مما يعني توزيع مناسب للحمل واستهلاك أقل للطاقة مع زيادة مدة حياة الشبكة كما رأينا في النتائج السابقة، وكان أعلى تفوق بين الخوارزمية المقترحة والخوارزمية سابقة الذكر هو 4%.



الشكل (6): الطاقة المتبقية في العقد عند نهاية مدة حياة الشبكة

بالمقارنة بين الخوارزمية المقترحة و الخوارزمية (RPL\_e)، كان أقل فارق لصالح الخوارزمية المقترحة هو 6% عند 1600 عقدة في الشبكة ، وأعلى فارق هو 11% عند 400 عقدة في الشبكة. أما بالمقارنة بين الخوارزمية المقترحة والبروتوكول الأصلي فإن أقل فارق لصالح الخوارزمية المقترحة هو 12% عند 100 عقدة في الشبكة، في حين أن أعلى رقم للتفوق هو 22% عند 1600 عقدة في الشبكة.

### الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا في هذا البحث باقتراح خوارزمية لتحرك عقد المصب، وقد أدى ذلك لزيادة مدة حياة الشبكة مع اختلاف عدد العقد المكونة لها واختلاف الطاقة البدائية كما بينت النتائج، كما أثبتت هذه الخوارزمية فعاليتها وتفوقها عند استخدامها على شبكة كبيرة نسبياً (1600 عقدة) بالمقارنة مع خوارزميات تم وضعها لزيادة مدة حياة الشبكة . كانت الطاقة المتبقية في العقد عند انتهاء مدة حياة الشبكة مع تطبيق الخوارزمية المقترحة أقل من الطاقة المتبقية في العقد عند تطبيق الخوارزميتين السابقتين وعند تطبيق البروتوكول الأصلي، ومع زيادة مدة حياة الشبكة فإن هذا يعني توزيعاً عادلاً للحمل واستهلاكاً عادلاً للطاقة في عقد الشبكة، وقللت الخوارزمية أيضاً من عدد الفجوات للوصول لعقد المصب مما يعطي أيضاً موثوقية أكبر للشبكة من حيث استلام الرزم. نوصي باستخدام هذه الخوارزمية في شبكات الحساسات اللاسلكية ذات عقد التجميع المتحركة لزيادة مدة حياة الشبكة و هي ملائمة للشبكات الكبيرة .

**References:**

- [1] K.Jahoon; OH, Y.Gab. Device Identification Interoperability in Heterogeneous IoT Platforms. *Sensors*, 2019, 19.6: 1433.
- [2] K. Ievgeniia, and A. Carlsson. "Analysis of Assets for Threat Risk Model in Avatar Oriented IoT Architecture". *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*. Springer, Cham, 2018.p. 52-63.
- [3] T. Winter and P. Thubert, "RPL: IPv6 routing protocol for low power and lossy networks," IETF, Internet-Draft draft-ietf-roll-rpl-11, July 2010
- [4] J. Vasseur, , N. Agarwal, ,j. Hu, and Z. Shelby. "RPL: The IP routing protocol designed for low power and lossy networks". *Internet Protocol for Smart Objects (IPSO) Alliance*,2011.p.36.
- [5] WSnet simulator <http://wsnet.gforge.inria.fr/>. Last visit 30, August, 2019.
- [6] S. Leila Ben, and B. Tourancheau. "Sinks mobility strategy in IPv6-based WSNs for network lifetime improvement." *2011 4th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security*. IEEE,p. 201.
- [7] H. Kharrufa, H. Al-Kashoash,and Y.Al-Nidawi. Dynamic RPL for multi-hop routing in IoT applications. In: *2017 13th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*. IEEE, 2017. p. 100-103
- [8] P.O. Kamgueu,E. Nataf, and T.D. Ndie, .Survey on RPL enhancements: a focus on topology, security and mobility. 2018.
- [9] A. kheaksong,k. Srisomboon, A. Prayote, , and W. Lee. Multicriteria Parent Selection Using Cognitive Radio for RPL in Smart Grid Network. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018.
- [10] L. Chansook. "A Survey on Congestion Control for RPL-Based Wireless Sensor Networks." *Sensors* 19.11 (2019): 2567.
- [11] A. Bahramlou, and R. Javidan. "Adaptive timing model for improving routing and data aggregation in Internet of things networks using RPL". *IET Networks*, 2018, 7(5), 306-312.
- [12] W. Wang, V. Srinivasan, and K.-C. Chua, "Using mobile relays to prolong the lifetime of wireless sensor networks," *international conference on Mobile computing and networking*. 2005, p. 270–283.
- [13] Z. Vincze, R. Vida, and A. Vidacs, "Deploying multiple sinks in multi-hop wireless sensor networks," *IEEE International Conference on Pervasive Services*, 2007.