مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (2) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (2) 2017

# تحسين آلية التحكم في إدارة نمط توفير الطّاقة

**الدكتور رضوان صالح دندة***
**الدكتور محمد ياسين صبيح****
**هبه حيدر*****

**(تاريخ الإيداع 12 / 2 / 2017. قُبِل للنشر في 12/ 4 / 2017)**

## □ ملخّص □

إنَّ خوارزميةَ توفيرِ الطّاقة الافتراضيّة، التّي تتبّناها الهواتف الذّكية من أجلِ الحدِّ من استهلاكِ الطّاقة الناتج عن استعمالِ النظامِ الفرعي المضمّن Wi-Fi، هي نمط توفير الطّاقة القياسي، الذّي طرحهُ البروتوكول 802.11. يتصف تنفيذ النمط القياسي بعدّةَ سلبياتٍ لعلَّ أبرزها عدم تمكّنهِ منَ الاستفادةِ من نموذجِ حركةِ المعطيات، لإنقاصِ مُستوى استهلاكِ الطّاقة، بالإضافةِ إلى عدمِ مرونتهِ من حيث السّماح للمستخدمين بالتحكمِ في زمنِ تأخيرِ الرّزم.

اقترحَ هذا البحث تحسيناً للخوارزميةِ القياسية، بحيث تمَّ العمل على تلافي ما سبقَ ذكرهُ، بالإضافةِ إلى مراعاةِ قيدِ الطّاقة على اعتبار أنَّ Wi-Fi ما هي إلاّ جزء من نظامٍ مضمّنٍ أكبر، يجب أن يؤدي وظائفَ أُخرى.

تمَّ التحقّق منَ الخوارزميةِ المُقترحة (EDPSM) عن طريقِ مقارنةِ أدائِها معَ النمطِ القياسي، باستخدامِ المُحاكي NS2، وذلكَ وفقاً لمجموعةٍ من البارامتراتِ المؤثرةِ على الأداء.

**الكلمات المفتاحية:** استهلاك الطّاقة، الهواتف الذّكية، زمن التأخير.

* استاذ- قسم النظم والشبكات الحاسوبية- كلية الهندسة المعلوماتية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
** مدرس- قسم النظم والشبكات الحاسوبية- كلية الهندسة المعلوماتية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
*** طالبة دراسات عليا(دكتوراه)- قسم النظم والشبكات الحاسوبية- كلية الهندسة المعلوماتية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (2) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (2) 2017

# Improvement of the Control Mechanism in Power Save Mode Management

**Dr. Radwan Saleh Dandah**[*]
**Dr. Mohammed Yassin Sobih**[**]
**Hiba Haider**[***]

**(Received 12 / 2 / 2017. Accepted 12 / 4 / 2017)**

## □ ABSTRACT □

The default power saving algorithm adopted by smartphones in order to reduce power consumption resulting from the use of embedded subsystem Wi-Fi, is the standard power save mode which put forward by the 802.11 protocol. Implementation of the standard mode characterizes several disadvantages, the most notably is not being able to take advantage of the data traffic model, to reduce the level of power consumption, in addition to the lack of flexibility in terms of allowing users to control with the delay time of packets.

This research suggested an improvement to the standard algorithm, so that it has been working to avoid the foregoing, in addition to taking into account the limitation of power because that Wi-Fi is only part of a larger embedded system should achieve other functions.

The verification of the proposed algorithm (EDPSM) is done by comparing its performance with the standard mode, using the simulator NS2, and according to a set of parameters affecting the performance.

**Key words:** Power Consumption, Smart Phones, Delay Time.

[*] **Professor, Department of Systems and Computer Networks, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Assistant professor, Department of Systems and Computer Networks, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Postgraduate student, Department of Systems and Computer Networks, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

**مقدمة:**

يَشهدُ استخدامُ الهواتفِ الذّكية حالياً نمواً هائلاً، حيثُ أصبحت معهُ التطبيقات الشبكية النقّالة أكثر حضوراً من ذي قبل. تعتمد معظم هذهِ التطبيقات على تقنيةِ الاتصالِ اللاسلكي Wi-Fi، وذلكَ لسببينِ أحدهما يتعلق بالكفاءة والآخر يُعنى بالجانبِ الاقتصادي[1].

يتأثر عمر بطارية الهاتف الذّكي وبشكلٍ مباشر بتقنياتِ الاتصالِ اللاسلكي المزّود بها، وهذا ما دفعَ إلى ابتكارِ تقنياتِ اتصالٍ راديوية مُنخفضةِ الطّاقة ، إلاّ أنَّ البروتوكول IEEE802.11 (Wi-Fi) استطاعَ أن يكون المعيار الفعلي المُستخدم للقيامِ بالاتصالاتِ اللاسلكية، وذلكَ في معظمِ السيناريوهات [1]، لذلك يُعتبر تقّصي واقتراح تقنياتٍ جديدة تهدف إلى توفيرِ الطّاقة أمراً ضرورياً، لاسيما أثناءَ النفاذِ إلى الشبكةِ العنكبوتيةِ العالمية ( Internet) من خلالِ البطاقةِ الشبكيةِ اللاسلكية Wi-Fi.

اقترحَ البروتوكول 802.11 نمط توفيرِ الطّاقة القياسي(Standard Power Save Mode(stdPSM، حيثُ يملك الهاتف الذّكي الذّي يعمل وفقاً لنمطِ توفيرِ الطّاقة القدرةَ على إطفاءِ راديو Wi-Fi أثناءَ فتراتٍ زمنية معينة، بهدفِ توفيرِ الطّاقة خلالَ هذا الوقت. كي يتمكنَ الهاتف الذّكي من إنجازِ ذلكَ التوفير، لا بُدَّ من أن يقوم بإعلامِ نقطةِ الوصول(Access Point(AP حولَ نمطِ إدارةِ الطّاقة الحالي، وذلكَ عن طريقِ إعطاءِ القيمِ المُناسبة لحقولِ إدارةِ الطّاقة في إطاراتِ التحكم. بناءً على هذا السّلوك ستقومُ نقطةُ الوصول بتخزينِ الرّزم الموجّهة إلى الهاتفِ الذّكي أثناءَ قيامهِ بتوفيرِ الطّاقة(إطفاء الراديو)، حيثُ تُرسِل إشعاراً بوجودِ رُزمٍ مخزّنة باستخدامِ الحقل المدعو خارطة دليل حركة المعطيات(Traffic Indication Map (TIM المُحتوى في إطارِ الإرشاد Beacon Frame. إنَّ إطاراتِ الإرشادِ هذهِ دورية، ممّا يجعل من الواجب نقل البطاقة اللاسلكية إلى حالةِ النشّاط بشكلٍ دوري، كي تتمكنَ من استقبالِها، واستردادِ بياناتِها المخزّنة[2,3].

إنَّ الانتقالَ الدّوري للبطاقةِ الشبكية اللاسلكية الخاصة بالهاتفِ الذّكي من حالةِ النّوم إلى حالةِ النشّاط، بهدفِ استقبالِ إطارِ الإرشاد، قد يؤدي إلى استهلاكِ طاقةٍ غيرِ ضروري، وذلكَ في حالةِ عدمِ تواجدِ بياناتٍ مخزّنة لدى نقطةِ الوصول من أجلِ الهاتفِ الذّكي. باعتبار أنَّ الطّاقة التّي يتزّود بها الهاتف الذّكي هي طاقة محدودة بحجم ووزنِ البطارية[4]، فإنَّ تقييدَ انتقالِ البطاقة اللاسلكية بينَ النّوم والنشّاط بالطّاقة المتبقية، قد يُساهم في تحسينِ كفاءةِ الطّاقة المقدّمة من قبلِ نمطِ توفيرِ الطّاقة PSM.

يتطلب تقييد الانتقال هذا، احتساباً للطّاقةِ المصروفة جرّاءَ استخدامِ تقنيةِ Wi-Fi لإرسالِ واستقبالِ البياناتِ الشبكية. تتم عملية الحساب عن طريقِ نماذجٍ رياضية وُضِعت لتقديرِ عمرِ البطارية، والمُساهمةِ في تخفيضِ استخدامِ طاقةِ الأجهزةِ النقّالة [1,5].

تُشتق نماذج الطّاقة عموماً بالاعتمادِ على مجموعةٍ من حالاتِ الطّاقة التّي تخضع فيها البطاقة اللاسلكية لمعدّلاتِ استهلاكٍ مُختلفة، علماً بأنَّ التحكم بهذهِ الحالات يتم عن طريق وحدة الاتصال الراديوية (Wi-Fi communication module) [1].

كما أنَّ لنمطِ توفيرِ الطّاقة تأثيرهُ السّلبي على جودةِ الخدمة لاسيما من ناحيةِ التأخير الذّي تُعاني منهُ رُزم البيانات نتيجةً للتخزينِ المؤقت في نقطةِ الوصول [6]، وهذا ما فرضَ عبئاً إضافياً على خوارزمياتِ توفيرِ الطّاقة، بحيث أضحى من الواجبِ أن تُنجِزَ نوعاً من الموازنة بينَ التأخيرِ والطّاقة.

شكّلَ ما سبقَ سردهُ من سلبياتٍ تقيّدُ آليةَ عملِ نمطِ توفيرِ الطّاقة (سواء فيما يتعلق باستهلاكِ طاقةٍ غير ضروري أو التأخير) محفزاً لخوارزميتِنا المُقترحة في هذا البحث.

## أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في اقتراحهِ لخوارزميةٍ تعملُ على توفيرِ الطّاقة أثناءَ استعمالِ تقنيةِ Wi-Fi، وذلكَ بالاستنادِ إلى حقيقةٍ مفادُها أنَّ نموذجَ تراسلِ المعطياتِ في شبكةِ الانترنت يأخذُ شكلَ الدفقة، وهذا ما يسمح بإدخالِ البطاقة اللاسلكية في حالةِ النّوم لفترةٍ أطول، إلاّ أنَّ تلكَ الزيادة مشروطة بعاملينِ هما: مستوى الطّاقة، وتفضيلِ المُستخدم لقيمةٍ مُحدّدةٍ لمتوسطِ زمنِ التأخير، الذّي قد تُعاني منهُ رُزم بيانات التطبيق.

لذا يهدف البحث إلى دراسة الخوارزمية المُقترحة، ومقارنةِ أدائِها مع خوارزميةِ نمطِ توفيرِ الطّاقة القياسية، وذلكَ تحتَ تأثيرِ مجموعةٍ من البارامترات.

## طرائق البحث ومواده:

لتحقيقِ هدفِ البحث، تمَّ اتباع المنهجية التّالية:

- ✓ دراسة نظرية تناولت جانبين أحدهما يتعلق باستعراضِ أهمِ النماذجِ الرّياضية المُستخدمة في بناءِ الخوارزمية المُقترحة، بينما يُبيّن الآخر آليةَ عملِها.
- ✓ اعتماد المُحاكاة الحاسوبية للتحقّقِ من أداءِ الخوارزميةِ المُقترحة، ثمَّ القيام بمناقشةِ النتائج، وصياغةِ الاستنتاجات.

## الدراسة النظرية

### 1-أهم النماذج الرّياضية ذات الصلة بالاتصال اللاسلكي والمُعتمدة في الخوارزمية المُقترحة

نحتاج لتحقيقِ هدفِ الخوارزمية إلى نماذجَ رياضية من شأنِها تقدير كل من مُستوى الطّاقة، بالإضافةِ إلى متوسطِ تأخيرِ الرّزم، التّي يقوم الهاتف الذّكي باستردادِها في كلِّ فترةِ إرشادٍ (Beacon Period).

#### 1-1-مُستوى الطّاقة:

تنتقلُ البطاقة الشبكية اللاسلكية بينَ أربعِ أنماطِ تشغيلٍ هي: الإرسال، الاستقبال، الخمول، والنّوم، حيثُ أنَّ لكل من هذهِ الأنماط استهلاكَ طاقةٍ مُختلف. وُضِعت نماذج عدّة لتقديرِ استهلاكِ الطّاقة الإجمالي الناتج عن تلكَ الانتقالات، إلاّ أنَّ الفكرةَ الأساسية التّي منَ الواجب الانتباه لها، هي أنَّ النموذج المُعتمد سيُستخدم في خوارزميةٍ هدفُها الرّئيس توفير الطّاقة، لذا لا بُدَّ وأن يكونَ النموذج في أبسطِ أشكالهِ، أي أن لا يتطلبَ الكثير من المعلومات كي يقومَ بعمليةِ التقدير.

بناءً على ما سبق، يكون النموذج المُناسب للاستخدام، هو الذّي يستند إلى حسابِ زمنِ بقاءِ البطاقةِ اللاسلكية في كل من أنماطِ التشغيل، وجدائِهِ مع قيمةِ استهلاكِ الطّاقة المُرافقة لنمطِ التشغيل، وفقاً للآتي [1][1]:

[1] **تمَّ تبسيط النموذج المُعتمد في [1] ، كي يتم تحقيق هدف الخوارزمية من جانب عدم تأثيرها على استهلاك طاقة المُعالجة بينما تعمل على تخفيض استهلاك الطّاقة الناتج عن استعمالِ تقنيةِ Wi-Fi. يقتضي مثل هذا التبسيط إهمال تأثير بعض البارامترات، لاسيما أنَّ النموذج يُستخدم كأداةِ تقديرٍ للطّاقة المُستهلكة بشكلٍ مستقل عن خوارزميات توفير الطّاقة.**

$$P_{avg} = \frac{P_{Tx} * T_{Tx} + P_{Rx} * T_{Rx} + P_I * T_I + P_S * T_S}{T} \qquad (1)$$

حيث تُعبّر الرّموز $P_{Tx}$، $P_{Rx}$ ، $P_I$، $P_S$ عن قيمةِ استهلاكِ الطّاقة في كل من حالةِ الإرسال، الاستقبال، الخمول، والنّوم على التّوالي، بينما تُمثّل الرّموز $T_{Tx}$، $T_{Rx}$، $T_I$ ، $T_S$، أزمنةَ بقاءِ البطاقةِ اللاسلكية في كل من حالةِ الإرسال، الاستقبال، الخمول، والنّوم. أمّا بالنسبةِ للرّمز $T$ فهو عبارة عن مجموعِ زمنِ بقاءِ البطاقةِ اللاسلكية في أنماطِ التشغيل أي $T = \sum_{m \in M} T_m$، حيثُ M= { S ، I ، Rx ، Tx }.

**1- 2- مُتوسط التأخير:**

تُعاني رُزمة البيانات التّي يتم استردادُها من نقطةِ الوصول خلالَ زمنِ نشاطِ الهاتف الذّكي في فترةِ الإرشاد من متوسطِ تأخيرٍ يُساوي إلى [6]:

$$D_{avg} = \sum_{j=0}^{M} \{ ( T_S + jT_C + L \sum_{i=0}^{j} \frac{W_{i-1}}{2} ) \frac{p^j(1-p)}{1-p^{M+1}} \} \qquad (2)$$

حيثُ تُعبّر كل من $M$، $j$، و $W_i$ عن الحدِّ الأعظمي لعددِ مرّاتِ إعادةِ إرسالِ الرّزمة، رقم محاولة إعادة الإرسال، وحجمِ نافذةِ المُنافسة لأجلِ محاولةِ إعادةِ الإرسال ذات الرّقم $i$، على التّوالي. بينما يَرمُز كل من $T_S$، $T_C$، و $L$ إلى الزّمنِ المطلوب للقيامِ بعمليةِ إرسالٍ ناجحٍ، الزّمن المُستغرق في حالِ تصادمِ رُزمِ البيانات، ومتوسط طول الشريحة الزّمنية عندَ تفعيلِ نمطِ توفيرِ الطّاقة 802.11 PSM. أمّا بالنسبةِ للرّمزِ $P$، فهو عبارة عن احتمالِ تصادمِ رُزمِ البيانات.

إلاّ أنَّ التأخير الذّي ستُعاني منهُ رُزمة البيانات[2]، عندما تنتقل البطاقة الشبكية اللاسلكية إلى حالةِ النشّاط عَقِبَ قضائِها لفترةٍ زمنيةٍ معينةٍ $(SI_n)$ في حالةِ النّوم، سيكون عبارة عن جزأين:

- ✓ الجزء الأول ناتج عن استقبال نقطة الوصول لرزمةِ بياناتٍ مُستقرّها في حالةِ النّوم، ممّا سيؤدي إلى تخزينها بشكلٍ مؤقت إلى أن يتمَ الإعلان عنها مع بدايةِ فاصلِ الإرشاد التّالي، أي أنَّ عليها أن تنتظر انتهاءَ فاصلِ الإرشادِ الحالي، بالإضافةِ إلى زمنِ التخديم المطلوب لجميع الرّزم التّي تسبقها في رتلِ إرسالِ نقطةِ الوصول، وهو ما يعبّر عنهُ بالرّمز $\bar{d}|_{SI_n}$ ، مضروباً باحتمالِ الدخولِ في حالةِ النّوم$Pr_{asleep}$ [7].
- ✓ بينما يَنتج الجزء الثّاني عن الزّمنِ المطلوب لاستردادِ رُزمةِ البياناتِ المخزّنة أثناءَ نشاطِ الهاتفِ الذّكي في فاصلِ الإرشاد$D_{avg}$ [6].

وعليهِ يُمكن التعبير عن متوسطِ التأخير بالصيغةِ التّالية [6,7]:

$$D_{SI_n} = Pr_{asleep} * \bar{d}|_{SI_n} + D_{avg} \qquad (3)$$

**2- الخوارزمية المُقترحة (Energy Delay- Power Save Mode (EDPSM))**

وفقاً لآليةِ عملِ الخوارزميةِ EDPSM، والموضّحة من خلالِ ما يُدعى بالشيفرةِ المزّيفة ( Pseudo Code)، سيؤدي عدم وجود رُزم مخزّنة في نقطةِ الوصول لأجلِ هاتفٍ ذكي قد انخفضَ مستوى طاقتهِ ( $P_R$) دونَ مستوى طاقةِ قابليةِ الاستخدام( $P_{th}$)، إلى إطفاءِ راديو Wi-Fi ( نقل البطاقة اللاسلكية لحالةِ النّوم)، وباعتبار أنَّ الطّاقة في مستوياتِها الدُّنيا، فإنَّ دخولهُ حالةَ النّوم ومكوثهِ فيها لأطولِ فترةٍ ممكنة( $SI_{max}$)، سيساعد في إطالةِ العمرِ التشغيلي للجهاز[3]، نظراً لاستهلاكِ الطّاقةِ المُنخفض في هذهِ الحالة. أمّا إن كان مستوى الطّاقة أعلى أو مساوٍ لمستوى العتبة ($P_{th}$)، والهاتف الذّكي لا يملك أي رُزم مخزّنة، يتم اللجوء كذلكَ الأمر إلى إدخالِ البطاقةِ في حالةِ النّوم، بحيث

[2] نفترض أنَّ رُزم البيانات تصل أثناءَ تواجد البطاقة اللاسلكية في حالةِ النّوم.
[3] تستهلك Wi-Fi ثلث طاقة بطارية الهاتف الذّكي، لذا فإنّ إطفائها يُساعد في السماح لتطبيقاتٍ أقل استهلاك، بأن تواصل مهامها لفترةٍ أطول.

يكون طول فترةِ النّوم الحالية عبارة عن ضِعفِ فترةِ النّومِ السّابقة لها، والسّبب الذّي يقف وراءَ مثلِ هذا السّلوك، هو أنَّ حركة المعطيات في الشبكة العنكبوتية العالمية( Internet) تحدث على شكلِ دفقاتٍ ( bursty)[5]، ممّا يسمح باستغلالِ نموذج حركة المعطيات هذه لإدخالِ البطاقةِ اللاسلكية في حالةِ النّوم، لاسيما أنَّ إيقاظها الدّوري وانتقالِها مجدداً لحالةِ النّوم، عندَ عدمِ وجودِ رُزمٍ مخزّنة، يكّلف الهاتف الذّكي طاقةً تساوي إلى ضعفي الطّاقة المصروفة في حالةِ الخمول.

يؤدي امتلاك الهاتف الذّكي لرُزمٍ بياناتٍ مخزّنة في نقطةِ الوصول، وتمتّعهِ بمستوى طاقةٍ أعلى من القيمة الممنوحة للعتبة ( $P_{th}$) أومساوٍ لها، إلى قيامهِ بعملياتِ الإرسال والاستقبال الشبكية المطلوبة، ومن ثمّ حسابِ متوسطِ تأخيرِ الرّزم المُسترجعة ( $avg_{D_{n,BFrames}}$)، فإن كان هذا المتوسط أعلى ممّا يسمح بهِ الهاتف الذّكي($SPH_{avg\ Delay}$)، أدى ذلكَ إلى إنقاصِ زمنِ بقاءِ البطاقةِ اللاسلكية في حالةِ النّوم إلى القيمة الابتدائية المخصّصة لها($SI_0$).

أمّا إن تمّت الإشارة إلى وجودِ رُزمٍ مخزّنة في نقطةِ الوصول (إسناد القيمة 1 إلى الخانة الخاصة بالهاتفِ الذّكي في الحقل TIM) في وقتٍ كانَ بهِ مستوى طاقة الهاتف الذّكي قد انخفضَ إلى ما دون العتبة، فإنَّ هذا يُوجِب إدخال البطاقة اللاسلكية في حالةِ النّوم لأطولِ فترةٍ ممكنة ( $SI_{max}$)، بهدفِ الحفاظِ على الجهازِ قيد التشغيل (للقيامِ بمهامٍ أُخرى).

**الشيفرة المزّيفة للخوارزمية EDPSM**

1: IF TIM=0 ll TIM =1 and $P_R < P_{th}$ then
$SI_{max} \leftarrow$ 2: $SI_n$
3: else IF TIM=0 and $P_R \geq P_{th}$ then
4: $SI_n \leftarrow \min(2SI_n, SI_{max})$
5: else IF TIM =1 and $P_R \geq P_{th}$ then
6: while More Data =1 do
7: Transceive packets based on 802.11 DCF
8: BFrames ←BFrames+1 9: Compute $avg_{D_{n,BFrames}}$
10: $SPH_{avg\ Delay} \geq$ IF $avg_{D_{n,BFrames}}$
11: $SI_n \leftarrow SI_0$
12: Go To Sleep for $SI_n$
13: Compute $P_R$

## النتائج والمناقشة

استُخدِمَ البرنامج NS2 للقيامِ بعمليةِ التحقّق من أداءِ الخوارزمية EDPSM [8]، بحيث تمّت مُحاكاة شبكة لاسلكية تحوي على نقطةِ وصولٍ، وعددٍ من الهواتفِ الذّكية، بهدفِ إجراءِ دراسةٍ عن تأثيرِ المُعاملاتِ المُستخدمة في بناءِ الخوارزمية EDPSM (مُستوى الطّاقة، متوسط التأخير، وفترة النوم الابتدائية)، على استهلاكِ الطّاقة [4] (هدف

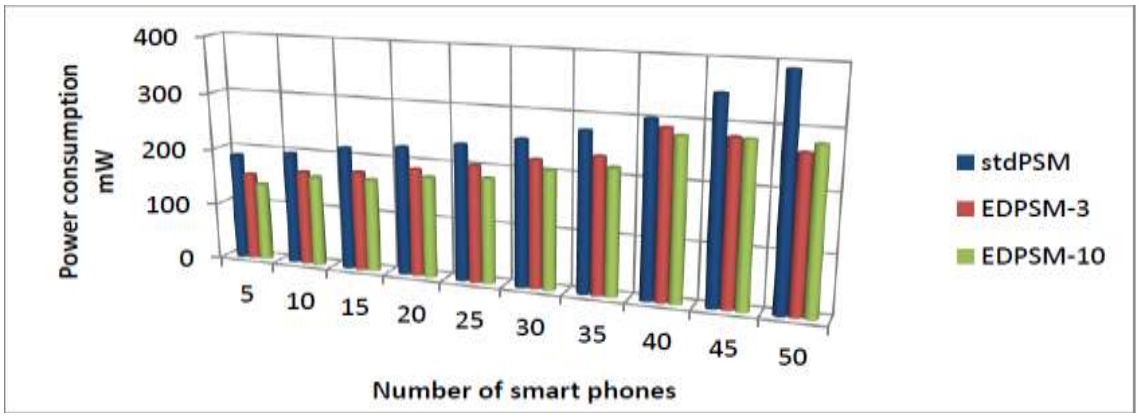
[4] إنَّ استهلاك الطّاقة المُشار إليه، يُقصد به الاستهلاك الناتج عن استخدام تقنية Wi-Fi، والذّي يُستخدم من قبل الخوارزمية EDPSM من أجلِ حسابِ مُستوى الطّاقة المتبقية $P_R$.

الخوارزمية الرّئيس). قد يتطلب دراسة بعض هذهِ المُعاملات، إخضاع الخوارزمية إلى بارامتراتٍ خارجيةٍ مُختلفة (توضّحها السيناريوهات). كانَ لابُدَّ لإجراءِ المُحاكاة من تهيئةِ بارامتراتٍ عدّة يتعلق بعضُها بالخوارزميةِ EDPSM، بينما تُعنى أخرى بنموذجِ الطّاقةِ المُستخدم، كما يوضّح الجدول( 1). إنَّ القيم التّي يُبيّنها الجدول( 1)، هي قيم ثابتة للبارامتراتِ المُشارِ إليها، وذلكَ عبرَ جميعِ السيناريوهاتِ المُنفذّة. أمّا بالنسبةِ لمجموعِ البارامتراتِ المُتبقية فهي مُتغيرة، بهدفِ تبيانِ أثرِها على الخوارزميةِ المُقترحة. تشمل البارامترات المُتغيّرةِ القيمة كل من عدد مُستخدمي الشبكة، متوسطِ التأخيرِ المسموحِ به، فترةِ النّومِ الابتدائية، والحملِ الشبكي.

**الجدول (1): بارامترات المُحاكاة الثابتة**

| Parameter | Value |
|---|---|
| $P_{th}$ | 0.5mJ |
| Transmitting Power | 1400 mW |
| Receiving Power | 900 mW |
| Idle Power | 700 mW |
| Sleeping Power | 60 mW |
| Simulation Time | 200Sec |

**1-دراسة تأثير عدد مستخدمي الشبكة على استهلاك الطّاقة:**

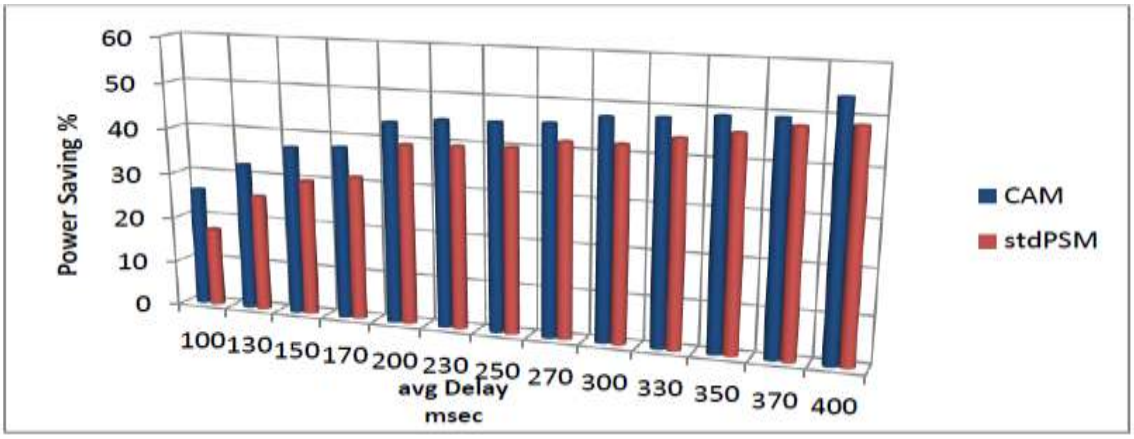



**الشكل(1): استهلاك الطّاقة بدلالةِ عددِ مُستخدمي الشبكة**

تملكُ الخوارزمية المقترحة EDPSM مُعاملين يُحفزانِ الهاتفَ الذّكي لإدخالِ البطاقةِ اللاسلكية ( Wi-Fi) في حالةِ النّوم، ولفترةٍ أطول من القيمةِ الابتدائية الممنوحة لها وفقاً لنمطِ توفيرِ الطّاقة، وهما الإشارة إلى عدمِ وجودِ رُزمٍ مخزّنة للهاتفِ الذّكي في نقطةِ الوصول، وانخفاضِ مستوى الطّاقة ما دون القيمة المُسندة للعتبة. يُعتبر عدد مستخدمي الشبكة عاملاً مؤثراً وبشكلٍ مباشر على البارامتر $P_R$، نظراً لمساهمتهِ في زيادةِ الطّاقةِ المصروفة في حالةِ الخمولِ الشبكي، نتيجةَ ازديادِ زمنِ المُنافسة للولوجِ إلى الوسطِ اللاسلكي، إلاّ أنّهُ مُستقل عن استهلاكِ الطّاقة الناتج عن نموذجِ حركةِ المعطيات.

نُلاحظ وفقاً للشكل( 1) أنَّ الخوارزميةَ المُقترحة سواء مع حدٍ أعظمي لفترةِ النّوم مساوٍ إلى 300 msec أو 1000 msec[5]، قد استطاعت أن تُحقّق استهلاكَ طاقةٍ أقل من نمطِ توفيرِ الطّاقةِ القياسي(علماً بأنَّ ما تحقّقهُ الخوارزمية المُقترحة من توفيرٍ للطّاقة (استهلاكٍ أقل)، يرتفع مع زيادةِ الطّولِ الأعظمي لفترةِ النّومِ المسموحِ بِها)، وهذا نتيجة مُباشِرة لمراقبةِ الخوارزمية لكل من مستوياتِ الطّاقة ($P_R$)، وذاكرةِ التخزينِ المؤقت في نقطةِ الوصول (عن طريق الحقل TIM)، بحيث يتمُ استغلال هذينِ العاملين لتوفيرِ الطّاقة، وإطالةِ العمرِ التشغيلي للجهاز لأقصى حدٍ ممكن. إلاّ أنّهُ لابدَّ منَ التوقفِ عندَ سلوكِ الخوارزميةِ المُقترحة مع زيادةِ مُستخدمي الشبكة ( 50-45)، حيثُ نلاحظ أنّ الخوارزمية EDPSM مع حدٍّ أعظمي لطولِ فترةِ النّوم مساوٍ إلى 1000 msec يُقارب استهلاكها للطّاقة ما تستهلكهُ عندَ إسنادِ القيمة 300 msec إلى الطّولِ الأعظمي، وذلكَ عندَ تواجد 45 مُستخدم، على خلافِ سلوكِها مع قيمٍ أقل لمستخدمي الشبكة، حيث تميّزت باستهلاكٍ أقل للطّاقة، ومع وصولِ عددِ مُستخدمي الهواتفِ الذّكية إلى 50 مُستخدم، نُلاحظ أنَّ الخوارزمية EDPSM مع حدٍّ أعظمي مساوٍ إلى 300 msec، ستُحقّق استهلاكَ طاقةٍ أقل من مثيلتِها ذاتِ الحد 1000 msec. يمكن تفسير السّلوك السّابق بأنّهُ مع وصولِ عددِ المُستخدمين إلى حدٍّ معينٍ، سيؤثر ذلك على مُستوى طاقةِ الهاتفِ الذّكي، ممّا سيؤدي إلى إطفاءِ الراديو، وانخفاضِ قيمةِ الاستهلاك، وعلى اعتبارِ أنَّ الخوارزمية المُقترحة مع حدٍّ أعظمي لفترةِ النّوم مساوٍ إلى 300 msec، ستصل بشكلٍ أسرع من مثيلتِها ذاتِ الحدِّ الأعلى إلى مستوى قابلية الاستخدام، فإنَّ هذا ما سيدفع بالبطاقةِ اللاسلكية إلى الدخولِ في حالةِ النّوم.

**2-دراسة تأثير متوسط التأخير المسموح به على توفير الطّاقة:**



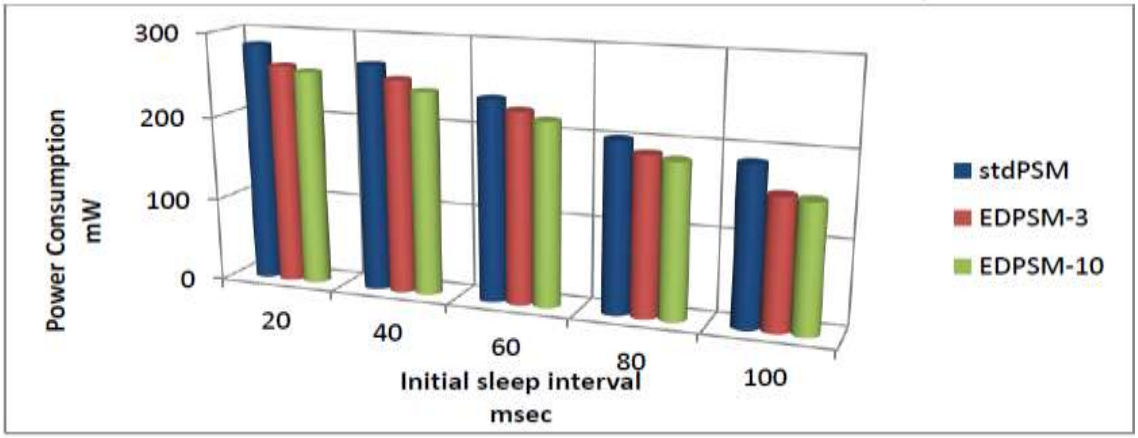

**الشكل(2): النسبة المئوية لتوفيرِ الطّاقة بدلالةِ متوسطِ التأخيرِ المسموحِ به**

تسمح الخوارزمية المُقترحة EDPSM للمستخدم بأن يقوم بإسنادِ قيمةٍ لمتوسطِ تأخيرِ الرّزم(أي يُؤخذ ما يُفضّلهُ المُستخدم بعين الاعتبار). إنَّ لهذا البارامتر تأثيرهُ على توفيرِ الطّاقة الذّي تقدّمهُ الخوارزمية المُقترحة EDPSM، وذلكَ بالمُقارنةِ مع حالتين في إحداهما يستخدم الهاتف الذّكي نمط توفير الطّاقة القياسي stdPSM، وفي الأخرى لا ينفذ أي خوارزمية تمكّنهُ من توفيرِ طاقةِ بطاريتهِ، حيثُ تُدعى هذهِ الحالة بنمطِ النشّاطِ المُستمر Continues Active Mode(CAM).

[5] **لم يتم اختيار هذهِ القيم بشكلٍ اعتباطي، بل إنَّ هنالك أسباب تقف وراءَ هذا الاختيار. تمّ إسناد القيمة 300 msec إلى فاصلِ النّوم الأعظمي، وذلكَ مراعاةً للجانبِ العملي، حيثُ أنّهُ من الواجب التنسيق بين نقطة الوصول والهواتفِ الذّكية المُرتبطة بها مع بداية كل فترة إرشاد (علماً بأنَّ فترة النّوم تعمل على تجاوز عدّة فترات إرشاد، بهدف توفير الطّاقة)، بحيث يتم تسليم إطارات البث المجموعاتي والبث العام في الوقتِ المُناسب، وبما أنَّ استخدام البث المجموعاتي آخذ في الازدياد لاسيما بالنسبةِ لبروتوكولاتِ التحكم في القناة، فإنَّ الزيادة الكبيرة التّي قد تطرأ على طولِ فترةِ النوم ستؤثر على أداء هذهِ البروتوكولات. أمّا بالنسبةِ للقيمة 1000msec فهي تأخذ بعين الاعتبار نمط الدّفقة الذّي تتصف به البيانات المُتراسلة عبرَ الانترنت، والتّي يتراوح طولها نموذجياً بين 100-1000 msec.**

نُلاحظ وفقاً للشكل(2) أنَّ الخوارزمية المُقترحة استطاعت أن تُحقّق توفيراً في الطّاقةِ المُستهلكة من قبلِ تقنيةِ Wi–Fi أعلى مقارنةً مع كلا الحالتين، حيثُ تزداد النسبة المئوية لمثلِ هذا التوفير معَ ازديادِ متوسطِ التأخيرِ المسموح بهِ من قبلِ المُستخدم، على اعتبار أنَّ التسامح في القيدِ الزّمني (متوسط تأخير أعلى)، سوف يسمح للبطاقةِ اللاسلكية بالبقاءِ في حالةِ النّومِ لفترةٍ أطول.

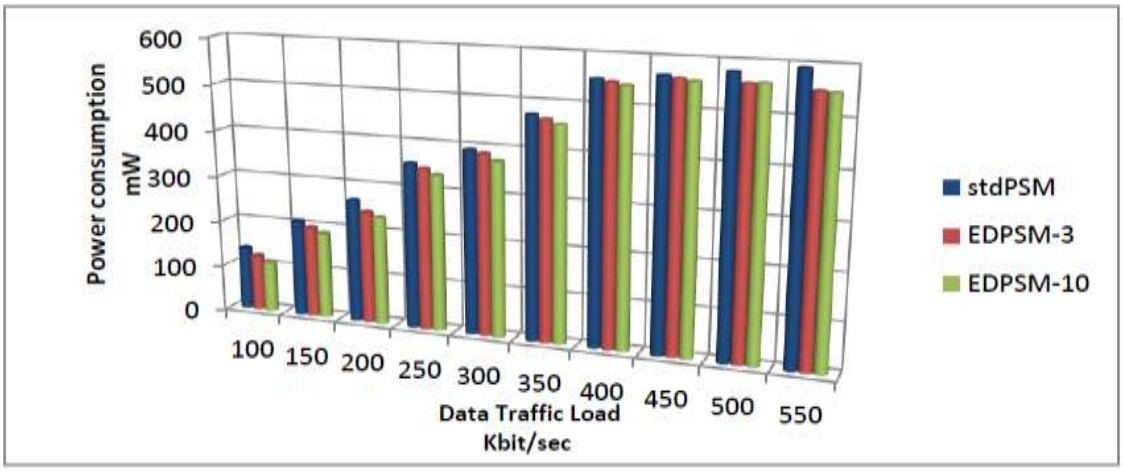
**3–دراسة تأثير فترة النّوم الابتدائية على استهلاك الطّاقة:**




**الشكل(3): استهلاك الطّاقة بدلالةِ فاصلِ النّوم الابتدائي**

إنَّ لفترةِ النّومِ الابتدائية تأثير هام على استهلاكِ الطّاقة، لاسيما أنَّ حركةَ المعطيات في معظمِها تتم على شكلِ دفقاتٍ. نُلاحظ من الشكل( 3) أنَّ استهلاكَ الطّاقة في كل من خوارزميتي توفيرِ الطّاقة القياسية والمُقترحة تابع لفترةِ النومِ الابتدائية، بحيث يتناقص استهلاك الطّاقة مع زيادةِ الفاصلِ الزّمني لفترةِ النّوم. تؤدي فترات النّوم الابتدائية القصيرة إلى نقلِ البطاقة اللاسلكية من حالةِ النّوم إلى حالةِ النشّاط بشكلٍ أكثر تكراراً من الفتراتِ الطويلة، وذلك بهدفِ استقبالِ إطارِ الإرشاد الدّوري، ممّا يعني استهلاكَ طاقةٍ أعلى. تحقّق الخوارزمية المقترحة EDPSM مع حدٍّ أعظمي لطولِ فترةِ النّوم مساوٍ إلى 1000 msec استهلاكَ طاقةٍ أقل سواء من الخوارزمية المُقترحة مع حدٍ أعظمي مساوٍ إلى 300 msec أو نمط توفير الطّاقة القياسي، وذلكَ مع زيادةِ فواصلِ النّومِ الابتدائية، وهذا عائد إلى تمتّعِها بإمكانيةِ إسنادِ قيمٍ مُرتفِعة لفترةِ/فاصلِ النّوم.

**4–دراسة تأثير حمل حركة المعطيات على استهلاك الطّاقة:**




**الشكل(4): استهلاك الطّاقة في مقابل حمل حركة المعطيات**

تتفوق الخوارزمية المُقترحة EDPSM على خوارزمية توفير الطّاقة القياسية stdPSM من حيث كفاءة الطّاقة المقدّمة (استهلاك أقل للطّاقة)، وذلكَ تحتَ تأثيرِ أحمالٍ مُختلفة [6]، كما بيّنت النتائج الموضّحة في الشكل( 4). إنَّ السّبب الذّي يقف وراءَ هذهِ النتيجة، هو امتلاك الخوارزمية المُقترحة لمُعاملين لَعِبَ كل منهما دوهُ في تخفيضِ استهلاكِ الطّاقة، حيثُ يَبرز تأثير المُعامل الأول ألا وهو استغلال عدم وجود رُزم مخزّنة في ذاكرةِ نقطةِ الوصول، لإدخالِ البطاقةِ اللاسلكية في حالةِ النّوم، عندَ الأحمالِ المُنخفضة. أمّا بالنسبةِ لتأثيرِ المُعامل الثّاني، الذّي يُراقب مُستوى الطّاقة، فيظهر بشكلٍ واضحٍ عندَ الأحمالِ المُرتفعة، حيثُ تقضي البطاقة الشبكية جُلَّ وقتِها في حالةِ النشّاط، ممّا يؤثر سلباً على مستوى الطّاقة، نظراً لتناقصِ زمنِ النّومِ الإجمالي، وهذا ما يدفع بالبطاقةِ اللاسلكية للدخولِ في حالةِ النّوم بمجردِ عدمِ تحقّقِ شرطِ العتبة، وهو ما يُغيّر من السّلوك التقليدي لخوارزمياتِ توفيرِ الطّاقة، التّي تتماثل في استهلاكِها للطّاقة مع ارتفاعِ الحملِ الشبكي (تتشابه بقيمةِ الاستهلاك).

## الاستنتاجات و التوصيات

استطاعت الخوارزمية المُقترحة EDPSM أن تُقدّمَ توفيرَ طاقةٍ للهاتفِ الذّكي أعلى من الخوارزمية القياسية، وذلكَ بنسبٍ مُتفاوتة تتحكمُ بِها القيم المُسندة لمعامِلاتها، بالإضافةِ إلى عواملَ خارجية (عدد مستخدمي الشبكة، وحملِ المعطيات). كما أنّها تمكّنت من أن تخرُجَ من نطاقِ كونِها خوارزميةً مُستقلةً عن النظامِ الذّي يحتويها عن طريقِ أخذِ مُستوى الطّاقة بعينِ الاعتبار.

بناءً على الدراسةِ التحليلية لسلوكِ الخوارزميةِ EDPSM وعبرَ سيناريوهاتٍ عدّة، يُوصي البحث بأنَّ يتم تفعيلُها عندَ إمكانيةِ تحقيقِها لأداءٍ مثالي فيما يتعلق باستهلاك الطّاقة، وهذا يكون في حالةِ شبكةٍ لاسلكية غير مزدحمة بالمُستخدمين، مع أحمالٍ مُنخفضة إلى متوسطة، وذلكَ في ظلِّ تطبيقِ قيدِ تأخيرٍ زمني غيرِ مُتشدّد.

**[6] يؤثر حمل حركة المعطيات (الحمل الشبكي) على مستوى الطّاقة $P_R$، شأنهُ شأن عدد مستخدمي الشبكة، إلاّ أن الفرق يكمن في أنَّ عدد مستخدمي الشبكة يؤثر على الطّاقة المصروفة في حالة الخمول الشبكي بشكلٍ أساسي، بينما يظهر تأثير حمل حركة المعطيات على الطّاقة المصروفة في حالةِ النشاط الشبكي(إرسال واستقبال).**

## المراجع

[1] LI,J.; XIAO,J.; BOUTABA,R. *FSM-based Wi-Fi Power Estimation Method for Smart Devices*. IEEE International Symposium on Integrated Network Management. May 2015.

[2] BHARADWAJ,A. *Managing Wi-Fi Energy In Smartphones by Throttling Network Packets*(Master Thesis). Simon Fraser University, Faculty of Applied Sciences. April 2014, 55.

[3] DING,N.; PATHAK,A.; KOUTSONIKOLAS,D.; SHEPARD,C.; CHARLIE HU.Y.; ZHONG,L. *Realizing the Full Potential of PSM using Proxying*. IEEE INFOCOM, March 2012,2821-2825.

[4] ZHANG,L. Power, *Performance Modeling and Optimization for Mobile System and Applications*. The University of Michigan, Department of Computer Science andEngineering.2013,149.

[5]XIAO,Y.; SAVOLAINEN,P.; KARPPANEN,A. *Practical Power Modeling of Data Transmission over802.11g for Wireless Applications*. e –Energy ' 10, 2010,75-84.

[6] JUNG,D.; KIM,R.; LIM,H. *Power-Saving Strategy for Balancing Energy and Delay Performance in WLANs* . green networking. VOL.50,2014,3-9.

[7]ZHENG,R.; SHA,L.; HOU,J. *Performance Analysis of the IEEE 802.11 Power Saving Mode* . Illinois University, Department of Computer Science. January 2004,7.

[8] The Network Simulator NS2, accessed in June 2016. available at : < http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.