

نظام مؤتمت لإدارة استهلاك الطاقة الكهربائية وفق مبدأ الشرائح.

د.سحر العلي*

م.حسن قاسم**

(تاريخ الإبداع ٢٠٢٥/٨/٧ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/١١/١١)
□ ملخص □

يعتبر موضوع إدارة استهلاك الطاقة - خاصة مع التزايد في النمو السكاني والنقص في الموارد- حاجة ضرورية لتخفيض قيمة الفواتير لدى المستهلكين، وضمان استقرار عمل أنظمة الطاقة، وترشيد استهلاكها. يعد القطاع المنزلي في سورية من أكثر القطاعات استهلاكاً للطاقة الكهربائية مقارنة بقطاعات الزراعة، الصناعة والدوائر الرسمية. حيث بلغت نسبة الاستهلاك المنزلي حوالي ٥٩%، وهنا تكمن الحاجة إلى إدارة استهلاك الطاقة الكهربائية في هذا القطاع لخلق توازن فعال بين العرض والطلب أي بين إنتاج الطاقة واستهلاكها. تم في هذا البحث تصميم نظام مؤتمت لإدارة استهلاك الطاقة وفق مبدأ الشرائح وتطبيقه على أحد المنازل في مدينة طرطوس، يقوم النظام بمراقبة استهلاك الطاقة في المنزل من خلال مجموعة من الحساسات، وتنبه المستهلك عبر تطبيق التلجرام عند الوصول إلى ٩٠% من شريحة الاستهلاك الأولى، وتحذيره عند الدخول في شريحة جديدة مع سعر الكيلو وات الساعي فيها، كما ويقوم النظام بالتحكم في الحمل ذو الاستهلاك العالي (السخان الكهربائي في هذا البحث) من خلال تحديد ساعات التشغيل اللازمة له بما يتناسب مع التقلبات الموسمية (أي بما يتناسب مع درجة حرارة الوسط المحيط)، تم ضبط التوقيت والتاريخ عبر شريحة Node mcu بالاعتماد على بروتوكول توقيت الانترنت NTP والذي يتميز بالتزامن التلقائي مع التوقيت العالمي عبر الاتصال بشبكة الانترنت عبر تقنية Wifi؛ ودقته العالية مما يساهم في تحقيق أفضل النتائج في المراقبة والتحكم. تمت مراقبة استهلاك الطاقة قبل عام من تركيب النظام، ومقارنتها مع استهلاك الطاقة بعد تركيب النظام لمدة عام، فكانت النتيجة: تمكن النظام من إعلام المستهلك بكمية الاستهلاك قبل دخول شريحة جديدة، تحقيق توفير في استهلاك الطاقة الكهربائية بمقدار ٣,٦%، وتوفير في قيمة الفاتورة على المستهلك بنسبة ١١,٥%.

الكلمات المفتاحية: كمية الاستهلاك، بوت التلجرام، NTP، ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية، إدارة الأحمال.

* استاذ مساعد - قسم هندسة الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس
** طالب ماجستير - قسم هندسة الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس

An automated system for managing electric power consumption based on the slab pricing principle.

Dr.sahar Alali*

Eng.Hasan Kasem**

(Received 7/8/2025 . Accepted 11/11/2025)

□ ABSTRACT □

Managing energy consumption—especially given population growth and resource scarcity—is essential for reducing consumer bills, ensuring the stability of energy systems, and promoting energy efficiency.

The residential sector in Syria is among the largest consumers of electricity, compared to agriculture, industry, and government agencies. Residential consumption accounts for approximately 59% of total electricity consumption. This underscores the need for effective energy management in this sector to create a balance between supply and demand, that is, between energy production and consumption. This research involved designing and implementing an automated energy consumption management system based on a tiered pricing model in a house in Tartous. The system monitors the house's energy consumption using a series of sensors. It alerts the consumer via Telegram when the consumption reaches 90% of the first consumption tier and warns them when they enter a new tier, along with the corresponding kilowatt-hour price. The system also controls high-consumption loads (the electric water heater in this case) by adjusting operating hours to suit seasonal fluctuations (i.e., ambient temperature). The timing and date were set using a Node MCU chip based on the Internet Time Protocol (NTP), which features automatic synchronization with Coordinated Universal Time (UTC) via Wi-Fi. Its high accuracy contributes to optimal monitoring and control results.

Energy consumption was monitored for one year before system installation and compared to consumption for one year after installation. The results showed that the system was able to inform the consumer of their consumption before entering a new tier, resulting in a 3.6% reduction in electricity consumption and an 11.5% reduction in the consumer's electricity bill.

Key words: Consumption Amount,Telegram Bot,NTP,Rationalization of electric power consumption,Load Management.

* Professor - Faculty of Technical engineering – Tartous University

** Master student - Faculty of Technical engineering – Tartous University

١-مقدمة:

إن الهدر في الطاقة الكهربائية وعدم ترشيد استهلاكها هو أحد أهم المشكلات التي تواجه القطاع الكهربائي حول العالم، وخاصة مع النمو السكاني المتزايد الذي يرافقه ارتفاعاً في الطلب على الطاقة الكهربائية[1].

إن الهدف الرئيسي من إدارة استهلاك الطاقة الكهربائية هو خلق توازن فعال بين إنتاج الطاقة واستهلاكها سواء من خلال تحسين كفاءة الأجهزة الكهربائية، أو ترشيد الاستهلاك وتطوير البنية التحتية ؛ وهذا ما يسهم في ضمان استقرار أنظمة التوليد والتوزيع.

ومن هنا تبرز أهمية البحث المقترح في ترشيد استهلاك الطاقة من خلال تصميم نظام مؤتمت لإدارة استهلاك الطاقة الكهربائية وفق مبدأ الشرائح لمراقبة كمية الاستهلاك، و إرسال رسائل تحذيرية للمستهلك عند حدود معينة مع قيمة فاتورة الاستهلاك في نهاية دورة الفاتورة. بالإضافة إلى التحكم في تشغيل وإطفاء الحمل ذو الاستهلاك العالي (السخان) من خلال تحديد ساعات التشغيل بما يتناسب مع حاجة المستهلك من جهة، و درجة حرارة الوسط المحيط من جهة أخرى.

نظراً لأهمية مراقبة استهلاك الطاقة الكهربائية فقد تم تناولها في العديد من الدراسات العالمية منها دراسة عام ٢٠٢٥ صمم فيها نظام يقوم بمراقبة الاستهلاك مع كشف الأعطال وحالة السرقة غير المشروعة للكهرباء، وكانت النتائج: كشف الأعطال بنسبة 30%، وكشف الأخطاء في العدادات، وكشف حالات السرقة[2].

كما نشرت دراسة عام ٢٠٢٣ صمم فيها نظام يقوم بقياس كمية الاستهلاك وحساب التكلفة النهائية وذلك بالاعتماد على نظرية أولوية الأحمال وليس وفق مبدأ الشرائح، على الرغم من أن هذه الدراسة صممت نظام لقياس كمية الاستهلاك وفق أولوية الأحمال لكنها لم تتناول موضوع إرسال رسائل تحذيرية للمستهلك عند نهاية دورة الفاتورة[3].

وفي دراسة نشرت عام ٢٠٢٣ صمم فيها نظام ذكي لقياس كمية الاستهلاك يوفر تنبيه للمستهلك عبر شريحة

GSM[4].

وفي دراسة نشرت عام ٢٠٢١ طور فيها نظام لقياس استهلاك الطاقة الكهربائية واكتشاف الأعطال، وفصل التيار بشكل تلقائي في حال السرقة؛ بالرغم من أهمية هذه الدراسة لم يلاحظ الباحث تقسيم الاستهلاك لشرائح[5].

كما كان هناك دراسة أخرى عام ٢٠٢٠، تم فيها تطوير نظام لتحديد استهلاك الطاقة في إحدى الجامعات بالاعتماد على تقنية انترنت الأشياء حيث تم مراقبة الاستهلاك فقط دون التحكم بالأحمال[6].

انطلاقاً من ذلك تبرز أهمية استخدام تقنية انترنت الأشياء لتنبيه المستهلك عند حدود معينة، وللتحكم بالحمل ذو الاستهلاك العالي للطاقة الكهربائية.

تم في هذا البحث ضبط التوقيت والتاريخ عبر شريحة Node mcu بالاعتماد على بروتوكول توقيت الانترنت NTP والذي يتميز بالتزامن التلقائي مع التوقيت العالمي عبر الاتصال بشبكة الانترنت عبر تقنية Wifi؛ ودقته العالية مما ساهم في تحقيق أفضل النتائج في المراقبة والتحكم وحقق توفير في كميات الاستهلاك وتوفير مادي في قيمة الفاتورة.

٢- أهمية البحث وأهدافه:

تتلخص **أهمية البحث** في تصميم نظام لإدارة استهلاك الطاقة الكهربائية يحقق مايلي:

- ❖ **من الناحية الاقتصادية:** تخفيض في كمية الاستهلاك و قيمة الفاتورة على المستهلك.
- ❖ **من الناحية العلمية:** تصميم نظام لمراقبة الاستهلاك وإدارة الحمل ذو الاستهلاك العالي للطاقة الكهربائية.
- ❖ **من الناحية المجتمعية:** زيادة الوعي لدى المستهلك بأهمية ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية.

أما **أهداف البحث** فهي:

A. تصميم خوارزمية حساب قيمة فاتورة الاستهلاك.

B. تصميم بوت لتلجرام يساعد المستهلك على مراقبة كميات الاستهلاك.

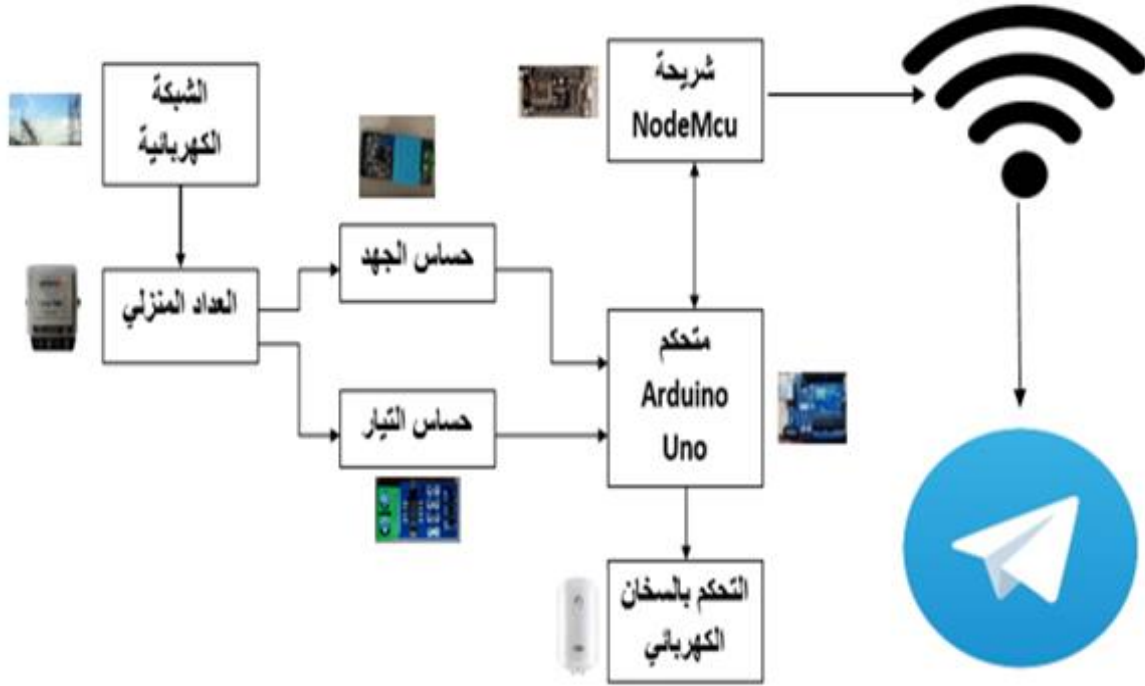
C. تصميم نظام تحكم بالحمل ذو الاستهلاك العالي.

٣- طرق البحث ومواده:

بداية قمنا بمراقبة كمية الاستهلاك في المنزل لمدة عام كامل، وجمع الفواتير بمعدل فاتورة كل شهرين، ثم قمنا بتجميع المكونات المادية للنظام، تم الاعتماد على تقنية انترنت الأشياء- وهو مفهوم مطور من شبكة الإنترنت الحالية- يعمل على ربط كافة الأجهزة الموجودة ضمن حيز معين على شبكة واحدة، لتبادل المعلومات وتسهيل عملية التحكم بها، والتواصل فيما بينها بالاعتماد على بروتوكولات الإنترنت[7].

قمنا بوصل النظام المصمم بالانترنت باستخدام المتحكم NodeMcu الذي يحتوي على شريحة ESP8266 بحيث يتم من خلالها إرسال رسائل للمستهلك، كما استخدمنا المتحكم Arduino Uno مع حساسي الجهد والتيار المتناوبين لحساب كمية الاستطاعة المستهلكة، وتصميم بوت على تطبيق التلجرام يتلقى من خلاله المستهلك الرسائل المرسله من النظام، والتي تخبره بقرب انتهاء شريحة ما ودخول شريحة اخرى مع سعر الكيلو وات الساعي في كل شريحة، وإعلامه بقيمة استهلاكه عند نهاية دورة الفوترة، كما يتم إعلام المستهلك بضرورة فصل الحمل ذو الاستهلاك العالي (السخان الكهربائي في بحثنا) بعد مرور فترة زمنية معينة تتناسب مع درجة حرارة الوسط المحيط مع تلبية احتياجات المستهلك بشكل كافي، كما قمنا بتحديد الحمل ذو الاستهلاك العالي من خلال إحصاء عدد التجهيزات الموجودة في المنزل، وساعات تشغيلها، ومعرفة استطاعة كل تجهيزة ليتبين لدينا أن السخان الكهربائي هو الحمل ذو الاستهلاك الأعلى في المنزل فتم تطبيق موضوع إدارة الأحمال عليه، كما كنا بحاجة إلى ضبط الوقت والتاريخ لإرسال الرسائل للمستهلك عند قرب انتهاء شريحة ودخول أخرى وعند نهاية دورة الفوترة فتم ذلك عبر المتحكم Node mcu الذي يحوي على بروتوكول توقيت الانترنت NTP.

يبين الشكل (١) المخطط الصندوقي للنظام.



الشكل (١) المخطط الصندوقي للنظام.

٤- مفهوم الشرائح الكهربائية:

يعرف مفهوم الشرائح الكهربائية بأنه آلية فعالة لتحسين استهلاك الطاقة، من خلال تقسيم استهلاك الكهرباء إلى شرائح مختلفة، كل منها بسعر محدد، وحدود استهلاك معينة، حيث تزداد كلفة الكيلواط الساعي مع ارتفاع معدل الاستهلاك. إن لتطبيق مبدأ الشرائح الكهربائية أهمية كبيرة من ناحية تحقيق العدالة بين المستهلكين عبر دعم الفئات ذات الدخل المحدود بأسعار مخفضة للشرائح الأولى، وأيضاً يشجع المستهلك على تقليل استهلاك الكهرباء عند تجاوز حدود شريحة ما، وهذا ما ينعكس بشكل إيجابي وفعال على توفير الطاقة الكهربائية.

يعتبر الفهم الجيد لموضوع الشرائح محورياً أساسياً في إدارة استهلاك الطاقة الكهربائية كونه يحقق التوازن بين احتياجات المستهلك واستمرارية التغذية الكهربائية وبالتالي تقليل الهدر في استهلاك الطاقة الكهربائية. تطبق مؤسسة الكهرباء في سورية الشرائح الكهربائية، حيث تم تقسيم الاستهلاك المنزلي إلى عدة شرائح ولكل شريحة تكلفة مختلفة عن الأخرى تزداد بزيادة الاستهلاك أي عند الدخول في شريحة أخرى.

يبين الجدول (١) تقسيم شرائح الاستهلاك المنزلي وتكلفة كل منها وفق التصنيف القديم الصادر عن وزارة الطاقة السورية عام ٢٠٢٣ و التصنيف الجديد وفق القرار رقم /٦٨٧/ تاريخ ٢٠٢٥/١٠/١٣ [8].

الجدول (١) شرائح الاستهلاك المنزلي في سوريا

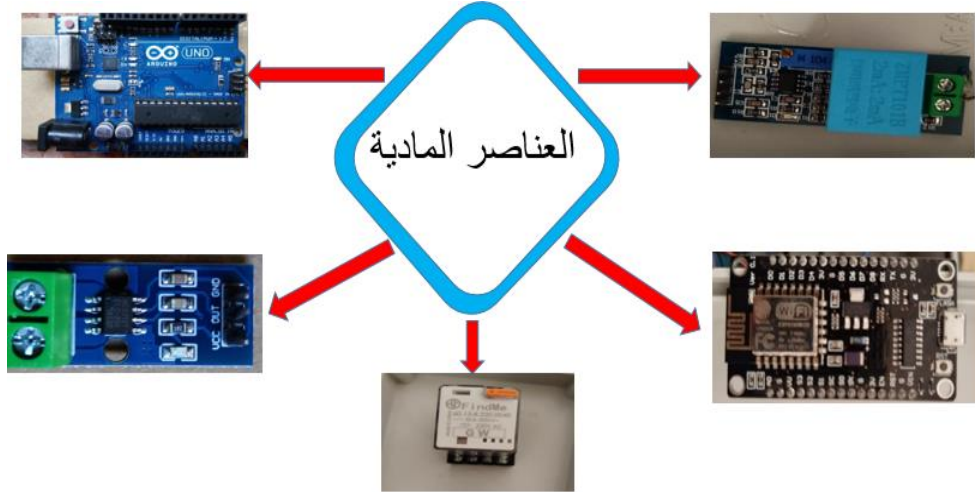
الشريحة وفق القرار القديم	مجال الاستهلاك القديم (KWH)	السعر القديم (ليرة اكيلو واط)	الشريحة وفق القرار الجديد	مجال الاستهلاك الجديد (KWH)	السعر الجديد (ليرة اكيلو واط)
الأولى	١-٦٠٠	١٠	الأولى	٣٠٠-١	٦٠٠
الثانية	٦٠١-١٠٠٠	٢٥	الثانية	اكثر من ٣٠٠	١٤٠٠
الثالثة	١٠٠١-١٥٠٠	١٣٥	-	-	-
الرابعة	١٥٠١-٢٥٠٠	٦٠٠	-	-	-
الخامسة	أكثر من ٢٥٠٠	١٣٥٠	-	-	-

ملاحظة: وفق القرار الجديد رقم /٦٨٧/ تاريخ ٢٠٢٥/١١/٣٠ الصادر عن وزارة الطاقة السورية أصبح هناك شريحتين فقط للاستهلاك المنزلي كما في الجدول (١).

٥- توصيف النظام ومكوناته:

إنطلاقاً من المخطط الصندوقي للنظام، الشكل (١)، فإن النظام تم تطبيقه على أحد المنازل في مدينة طرطوس حيث يتم قياس الاستطاعة المستهلكة في هذا المنزل بشكل آني من خلال قياس قيمة التيار بواسطة حساس تيار ACS712 وقياس قيمة الجهد المتناوب بواسطة حساس جهد متناوب ZMPT101B الموصولين مع متحكم نوع Arduino Uno حيث يتم حساب الاستطاعة المستهلكة ومنها يتم حساب كمية الاستهلاك، ليتم إرسال كمية الاستهلاك الكلية وقيمة الفاتورة عند انتهاء دورة الفوترة المحددة بشهرين إلى تطبيق التلجرام كواجهة للمستخدم، كما تم استخدام متحكم نوع NodeMcu المتصل مع Wifi المنزل حيث يتم من خلاله إرسال الرسائل التحذيرية للمستخدم عند قرب انتهاء شريحة أو دخول شريحة أخرى مع سعر الكيلوات ساعي فيها، وأيضاً إرسال رسالة للمستخدم عند نهاية دورة الفوترة لإعلامه بكمية الاستهلاك وقيمة الفاتورة.

يبين الشكل (٢) المكونات المادية للنظام.



الشكل (٢) المكونات المادية للنظام.

يستخدم النظام عدد من بروتوكولات الانترنت مثل (TCPSYN, TCPACK, TCPSYN-ACK, HTTP-R, HTTP-post) هذه البروتوكولات هي التي تحقق عملية الاتصال الامن والسريع بين Nodemcu وتطبيق التجرام للمستهلك. أما التحكم بالسخان فيتم عبر ريلي (250V\10A) والموصول عبر ترانزستور وعدة مقاومات مع الاردوينو.
- إن نظام الفواتير في سوريا لا يسمح بالعودة إلى الشريحة السابقة عند دخول شريحة جديدة وبالتالي فإن النظام يساعد المستهلك على تخفيض الاستهلاك وبالتالي تخفيض قيمة الفاتورة ولكن دون الرجوع إلى الشريحة السابقة.

١-٥ حساسي الجهد والتيار المتناوبين:

تم استخدام حساس التيار ACS712، حيث تم وصله مع المتحكم Arduino ويقوم بقياس التيار المار فيه عبر المعادلات:

١- معادلات حساس التيار المتناوب [9]:

A- يقيس الحساس التيار المتناوب ويحوّله إلى جهد وفق العلاقة (1):

$$V_{out} = 2.5 + [I_{real} \cdot S] \quad s = 0.066V/A \quad (1)$$

B- يحول الجهد التناظري لقيمة رقمية (0-1023) وفق العلاقة (2):

$$ADC = \frac{V_{out}}{5} \cdot 1023 \quad (2)$$

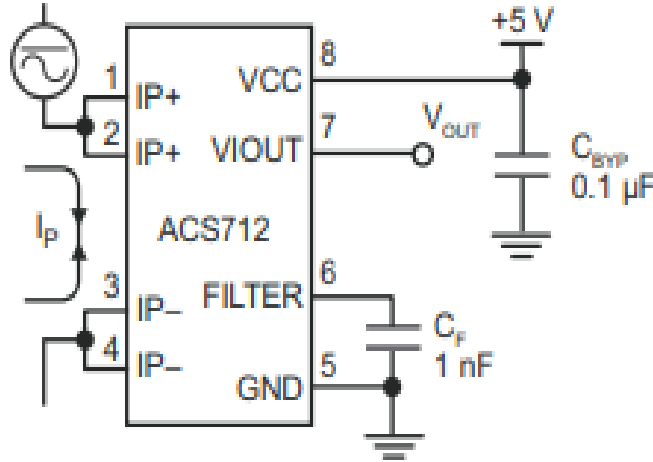
C- تحوّل القيمة الرقمية إلى جهد وفق العلاقة (3):

$$V_m = \frac{5 \cdot ADC}{1023} \quad (3)$$

D- يحول الجهد في العلاقة (3) إلى تيار وفق العلاقة (4):

$$I = \frac{V_m - 2.5}{S} \quad (4)$$

قيمة التيار في العلاقة (4) هي التي ستدخل في حساب قيمة الاستطاعة المستهلكة لاحقاً، وبين الشكل (3) البنية الداخلية لحساس التيار.



الشكل (3) البنية الداخلية لحساس التيار المتناوب [10].

كما تم استخدام حساس الجهد ZMPT101B حيث تم وصله مع المتحكم Arduino ويتم حساب الجهد وفق المعادلات التالية:

٢ - معادلات حساس الجهد المتناوب [9]:

A- يتم قياس الجهد المتناوب وإدخاله في المعادلة (5):

$$V_{out} = \frac{V_{real}}{ratio} \quad (5) \quad : \text{Ratio}=1:1000$$

B- يقرأ الأردوينو هذه القيمة ويجري التحويل التالي وفق العلاقة (6):

$$ADC = \frac{[1023.V_{out}]}{5} \quad (6)$$

C- يتم حساب الجهد الحقيقي وفق العلاقة (7):

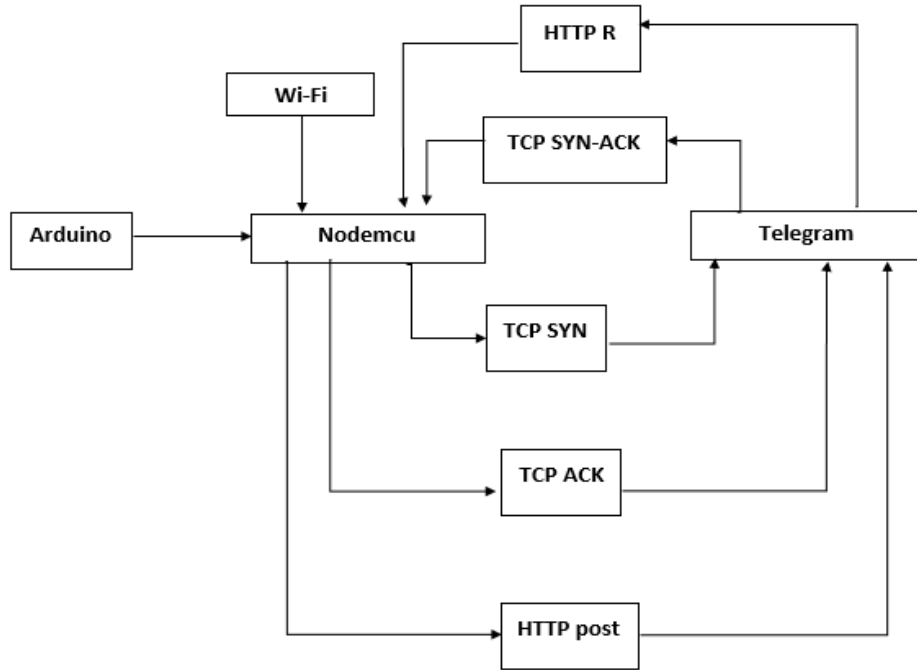
$$V = \frac{[5.ADC.Ratio]}{1023} \quad (7)$$

قيمة الجهد في العلاقة (7) هي التي ستدخل في معادلة حساب الاستطاعة المستهلكة لاحقاً.

٢-٥ بروتوكولات الاتصال:

يعتمد النظام المصمم على الاتصال بين المتحكمات الدقيقة (Arduino, Nodemcu) وبين خوادم الانترنت وتطبيق Telegram من خلال بروتوكولات اتصال ضمن حزمة بروتوكولات الانترنت، تهدف هذه البروتوكولات إلى تنظيم عملية تبادل البيانات بين الأجهزة مما يتيح تحقيق نقل آمن للمعلومات بين مكونات النظام، بما في ذلك إرسال التنبيهات إلى المستهلك عند الوصول إلى مستويات استهلاك معينة أو عند نهاية دورة الفوترة.

يبين الشكل (٤) تقنية الاتصال.



الشكل (٤) تقنية الاتصال.

وهذه البروتوكولات هي [11]:

١- **بروتوكول Wifi** : يستخدم هذا البروتوكول كوسيلة اتصال لاسلكية بين شريحة NodeMcu وشبكة الانترنت المنزلية، مما يتيح لهذه الشريحة إرسال واستقبال البيانات عبر الشبكة ويعمل كطبقة ربط فيزيائية تمكن المتحكم من الاتصال بخوادم الويب و Telegram.

٢- **بروتوكول TCP (Transmission control protocol)**: يعد بروتوكول TCP من البروتوكولات الأساسية في طبقة النقل (Transport layer) ويضمن النقل الموثوق للبيانات بين NodeMcu والخوادم على الانترنت، وهذا الاتصال يتم عبر:

- **TCP SYN**: رسالة بدء الاتصال التي يرسلها NodeMcu إلى خادم Telegram.
- **TCP SYN-ACK**: رسالة استجابة من خادم Telegram لتأكيد استلام طلب الاتصال.
- **TCP ACK**: رسالة تأكيد من NodeMcu لإتمام إنشاء الاتصال.

٣- **بروتوكول HTTP (Hypertext Transfer Protocol)**: يعمل بروتوكول HTTP في طبقة التطبيقات (Application layer) وهو المسؤول عن تبادل الرسائل بين العميل NodeMcu والخادم Telegram، في النظام المصمم يستخدم نوعان:

- **HTTP POST**: لإرسال البيانات من NodeMcu إلى الخادم مثل إرسال رسائل التنبيه إلى Telegram.

▪ **HTTP R**: لطلب المعلومات أو استلام ردود الخادم (تأكيد وصول الرسالة).

٤- **Telegram API**: وهي منصة خدمية قائمة على بروتوكولات HTTP و TCP تتيح إرسال و استقبال الرسائل من

خلال الانترنت، في النظام المصمم استخدمت هذه الواجهة لإنشاء بوت لتجرام يقوم بإرسال رسائل تنبيه للمستهلك

عبر تطبيق Telegram في الحالات الآتية:

- عند الوصول إلى ٩٠% من شريحة الاستهلاك الأولى.
- عند الدخول إلى شريحة استهلاك جديدة.
- رسائل بضرورة إطفاء السخان بعد فترة زمنية معينة (٣٠ أو ٦٠ دقيقة)
- عند انتهاء دورة الفوترة، مع إرسال قيمة الفاتورة النهائية.

٥-٣ الحمل المتحكم به:

تم اختيار حمل ذو كمية استهلاك مرتفعة، حيث تعتبر عملية اختيار الحمل ذو الاستهلاك العالي من المراحل الهامة؛ فهي خطوة أساسية لضمان كفاءة النظام، وتحقيق الأهداف المرجوة من حيث ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية، حيث أن أحد المهام التي يقوم بها النظام هو إدارة الحمل ذو الاستهلاك العالي، من خلال فصله عند الوصول إلى حد معين من الاستهلاك، لا تسهم هذه العملية بترشيد استهلاك الطاقة فقط وإنما تزيد من العمر التشغيلي لهذا الحمل من خلال تخفيض ساعات التشغيل غير الضرورية.

إن إدارة الحمل ذو الاستهلاك العالي؛ يجب أن تأخذ بعين الاعتبار التوازن بين ضرورة ترشيد استهلاك الطاقة، والحاجة لتلبية احتياجات المستهلك من هذا الحمل.

تختلف كمية استهلاك الطاقة الكهربائية من منزل لآخر؛ وذلك حسب عدد التجهيزات في المنزل، وساعات تشغيلها، وغيرها من العوامل. بداية لمعرفة الحمل ذو الاستهلاك العالي قمنا بإحصاء التجهيزات في المنزل المركب فيه النظام المقترح، ومعرفة استطاعة كل تجهيزة، وعدد ساعات تشغيلها كما في الجدول (٢).

تنويه: عدد ساعات تشغيل التجهيزات في الجدول (٢) تتناسب مع ساعات التغذية الكهربائية بسبب وجود نظام التقنين الكهربائي حيث أن عدد ساعات التغذية كانت متقاربة خلال فترة تجريب النظام وبالتالي انخفاض كمية الاستهلاك لم يكن بسبب انخفاض ساعات وصل التيار الكهربائي.

لمعرفة كمية الاستهلاك اليومي لهذه التجهيزات نطبق العلاقة (٨) [12]:

$$E=(p*t)/1000 \quad (8)$$

حيث:

E: القدرة المستهلكة يومياً بوحدة الكيلوات الساعي.

P: استطاعة الجهاز الكهربائي (W).

t: زمن التشغيل يومياً (H).

يبين الجدول (٢) التجهيزات الكهربائية في المنزل واستطاعة كل منها وعدد ساعات تشغيلها.

الجدول (٢) الأحمال الكهربائية في المنزل.

التجهيزة	الاستطاعة (W)	ساعات التشغيل اليومي (H)	الاستهلاك اليومي (KWh)
مصابيح	١٠	٣	٠,٠٣
مجفف الشعر	١٥٠٠	١	١,٥
شاحن جوال	٥	٦	٠,٠٣
مكواة	١٠٠٠	١	١
براد	٦٠٠	٦	٣,٦
تلفاز	٨٠	٦	٠,٤٨
غسالة	٥٠٠	٢	١
سخان	٢٠٠٠	٣	٦

بتطبيق العلاقة (8) على الجدول (2) نلاحظ أن السخان المنزلي هو أعلى تجهيزة في المنزل من ناحية استهلاك الطاقة الكهربائية، وبالتالي تم اختياره كنموذج للتحكم به في نظام إدارة استهلاك الطاقة المقترح، فعند الوصول إلى ٩٠% من شريحة الاستهلاك الأولى والسخان في حالة التشغيل يقوم النظام بإرسال رسالة إلى المستهلك يخبره فيها بضرورة إطفاء الساخن بعد فترة زمنية وقدرها ٣٠ دقيقة إذا كانت فترة التشغيل في أشهر (أيار-حزيران - تموز - آب - أيلول)، و ٦٠ دقيقة في باقي أشهر العام، وفي حال عدم استجابة المستهلك يقوم النظام بالفصل الاوتوماتيكي للسخان بعد انقضاء المدة الزمنية المحددة، وهذا ما يخفف من التشغيل غير الضروري للسخان؛ وبالتالي تخفيف الهدر في الطاقة الكهربائية، وترشيد استهلاكها بما ينعكس بشكل إيجابي على المستهلك، وفي حال كان السخان في حالة Off يتم إرسال رسالة بقرب انتهاء الشريحة الأولى ومراقبة حالة السخان.

تنويه: عدد ساعات تشغيل السخان (٣٠,٦٠) دقيقة حصلنا عليها بعد مراقبة عمل السخان لمدة عام قبل تركيب النظام، فتبين أنها كافية لتحقيق حاجة المستهلك من جهة، وترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية من جهة أخرى.

يبين يوضح الجدول (3) بعض المواصفات الفنية للسخان الكهربائي في المنزل الذي تم تشغيل النظام فيه.

الجدول (٣) المواصفات الفنية للسخان

80 لتر		السعة
٢٠٠٠w		الاستطاعة
الشتاء	الصيف	درجة الحرارة المرجعية
70C	50C	

عدد ساعات التشغيل	٣٠ دقيقة	٦٠ دقيقة
-------------------	----------	----------

٥-٤ تصميم المتحكم:

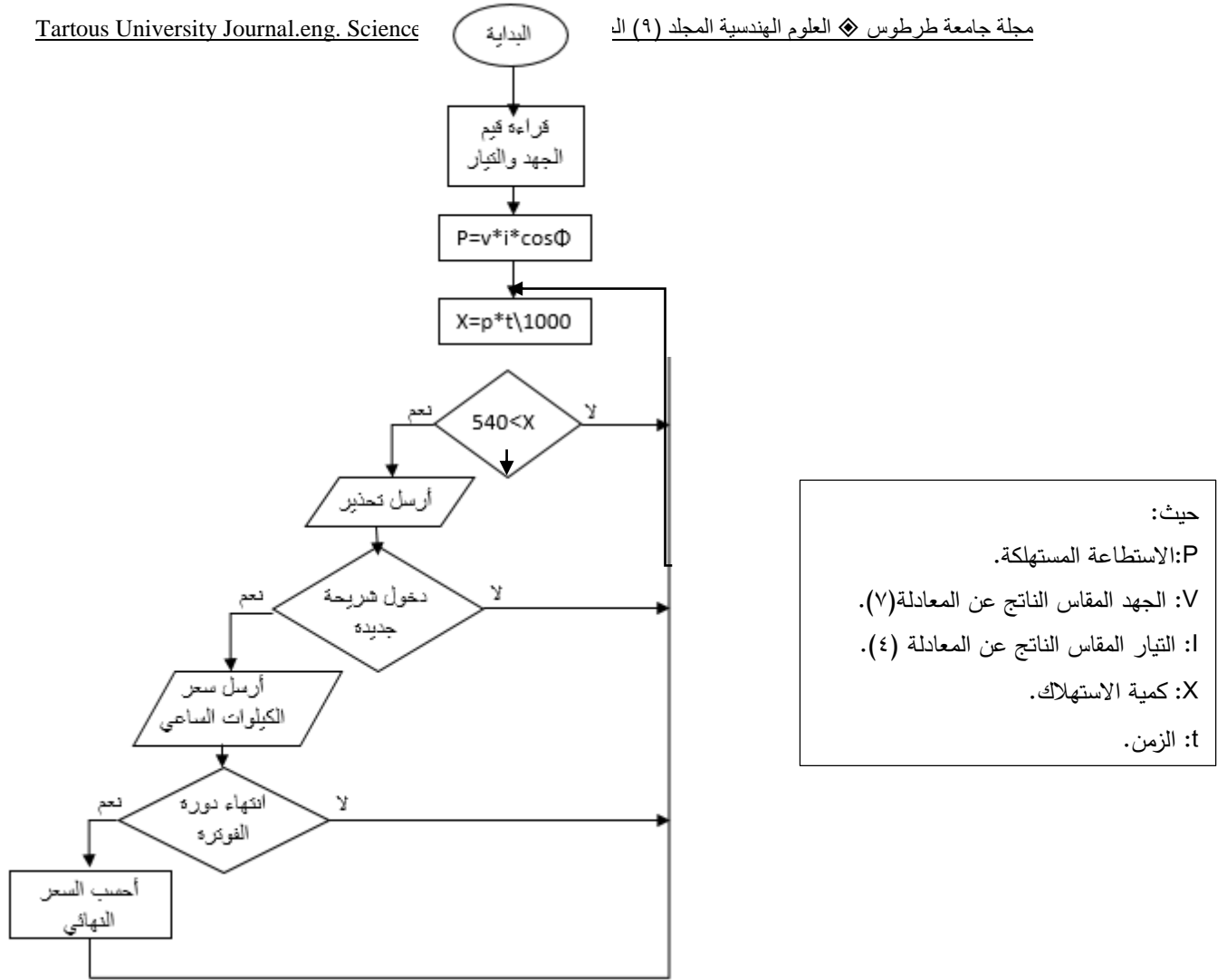
تم استخدام متحكم نوع Arduino لقياس استهلاك الطاقة الكهربائية بواسطة حساسي الجهد والتيار المتناوبين، وتم تصميم نظام تحكم يقوم بالتحكم بالأحمال وفق الاستهلاك وقد تم تصميم خوارزميات لمراقبة الاستهلاك ومراقبة الحمل ذو الاستهلاك العالي وخوارزمية حساب قيمة فاتورة الاستهلاك وفق الاتي:

٥-٤-١ خوارزمية مراقبة الاستهلاك:

يقوم النظام المصمم بقياس كمية الاستهلاك المنزلي، وعند الوصول إلى ٩٠% من شريحة الاستهلاك الأولى يقوم النظام بإرسال رسالة تحذيرية إلى بوت التلجرام الخاص بالمستهلك، فيخبره بالوصول إلى هذا الحد مع قيمة الاستهلاك عند هذه اللحظة، وعند الدخول بشريحة جديدة يرسل النظام رسالة إلى المستهلك يخبره فيها بسعر الكيلو وات الساعي في هذه الشريحة، ويتابع ذلك مع كافة الشرائح حتى الوصول إلى نهاية دورة الفوترة، عندئذ يخبر المستهلك بقيمة فاتورته الاستهلاكية بشكل كامل.

إن الخوارزمية السابقة تعلم المستهلك بعدة نقاط كقرب انتهاء شريحة الاستهلاك، وبدء الدخول بشريحة أخرى وسعر الكيلو وات الساعي فيها، وإرسال قيمة الفاتورة الاستهلاكية.

يبين الشكل (٥) خوارزمية مراقبة الاستهلاك.



الشكل (٥) خوارزمية مراقبة الاستهلاك

٥-٤-٢ خوارزمية مراقبة الأحمال والتحكم بها:

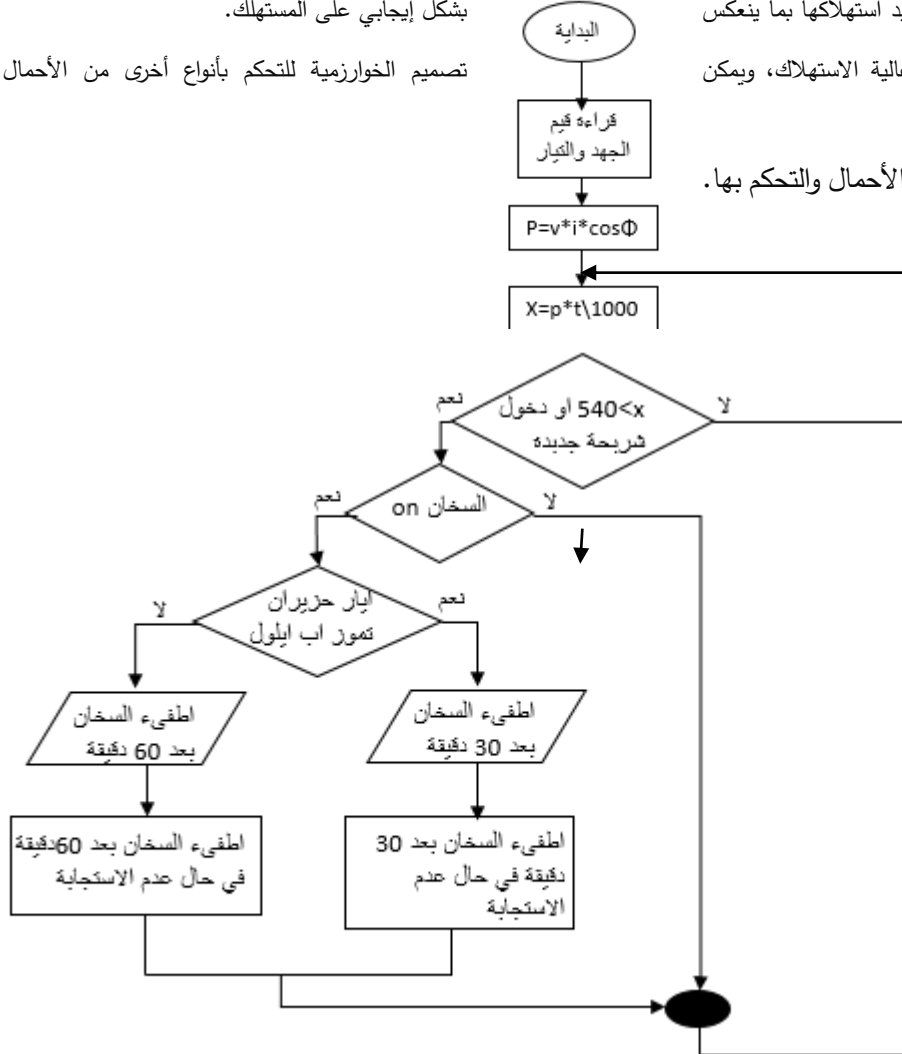
هناك أحمال في المنازل تصنف ضمن الأحمال ذات الاستهلاك العالي للكهرباء، وفي حال التحكم بتشغيل هذه الأحمال بشكل منتظم فإن ذلك سيؤدي إلى توفير استهلاك الطاقة الكهربائية. يعتبر السخان الكهربائي أحد هذه الأحمال التي يستهلك كمية كبيرة من الطاقة خاصة عند تشغيله لفترات طويلة دون حاجة فعلية لذلك، ويزيد من الكلفة المادية للفاتورة، وبالتالي التحكم في ساعات تشغيل وإطفاء السخان تلقائياً يساهم في خفض فاتورة الكهرباء، ويزيد من العمر الافتراضي للسخان لذلك قمنا بمراقبة عدد ساعات التشغيل اللازمة للسخان الكهربائي الموجود في المنزل الذي طبق فيه النظام والتي تختلف من شهر لآخر بما يتناسب مع درجات الحرارة الخارجية؛ لاحظنا أن مدة ٣٠ دقيقة كافية لتشغيل السخان في أشهر (أيار، حزيران، تموز، آب، وأيلول)، أما باقي أشهر العام فإن ٦٠ دقيقة كافية لتحقيق الغرض المطلوب، لذلك قمنا بتصميم خوارزمية لإدارة استهلاك الطاقة الكهربائية عن طريق

التحكم بعدد ساعات تشغيل السخان الكهربائي مع الإطفاء التلقائي عند تجاوزها، في هذه الخوارزمية يتم قياس كمية الاستهلاك المنزلي، وعند الوصول إلى ٩٠% من الشريحة الأولى أو دخول الشريحة الثانية وما فوق، يتم فحص إن كان السخان في حالة تشغيل؛ وبعدها يتم إرسال رسالة تحذير للمستهلك لإطفاء السخان بعد فترة زمنية معينة (٣٠ أو ٦٠ دقيقة) بما يتناسب مع درجات الحرارة الخارجية وفي حال عدم استجابة المستهلك يتم إطفاء السخان بشكل أوتوماتيكي بعد مرور هذه المدة الزمنية وذلك بهدف الحد من التشغيل غير اللازم للسخان وبالتالي تخفيف الهدر في الطاقة الكهربائية، وترشيد استهلاكها بما ينعكس

تصميم الخوارزمية للتحكم بأنواع أخرى من الأحمال

- تم استخدام السخان كنمط للأحمال عالية الاستهلاك، ويمكن الكهربائية.

يوضح الشكل (٦) خوارزمية مراقبة الأحمال والتحكم بها.



الشكل (٦) خوارزمية مراقبة الأحمال والتحكم بها

٥-٤-٣ خوارزمية فاتورة الاستهلاك:

في أنظمة الفوترة للخدمات الأساسية مثل الكهرباء والمياه تستخدم أنظمة الشرائح (السعر التدريجي) لحساب قيمة الفاتورة، تعتمد هذه الخوارزمية على مبدأ زيادة السعر كلما زاد الاستهلاك، مما يحقق عدالة في التكلفة بين المستهلكين.

في هذه الخوارزمية يتم إدخال البيانات المطلوبة (كمية الاستهلاك)، و ثم تحديد الشريحة المطبقة، وحساب التكلفة لكل شريحة وجمع التكاليف بعد انتهاء دورة الفوترة، ومن ثم معرفة قيمة الفاتورة النهائية وفق العلاقة (٩).

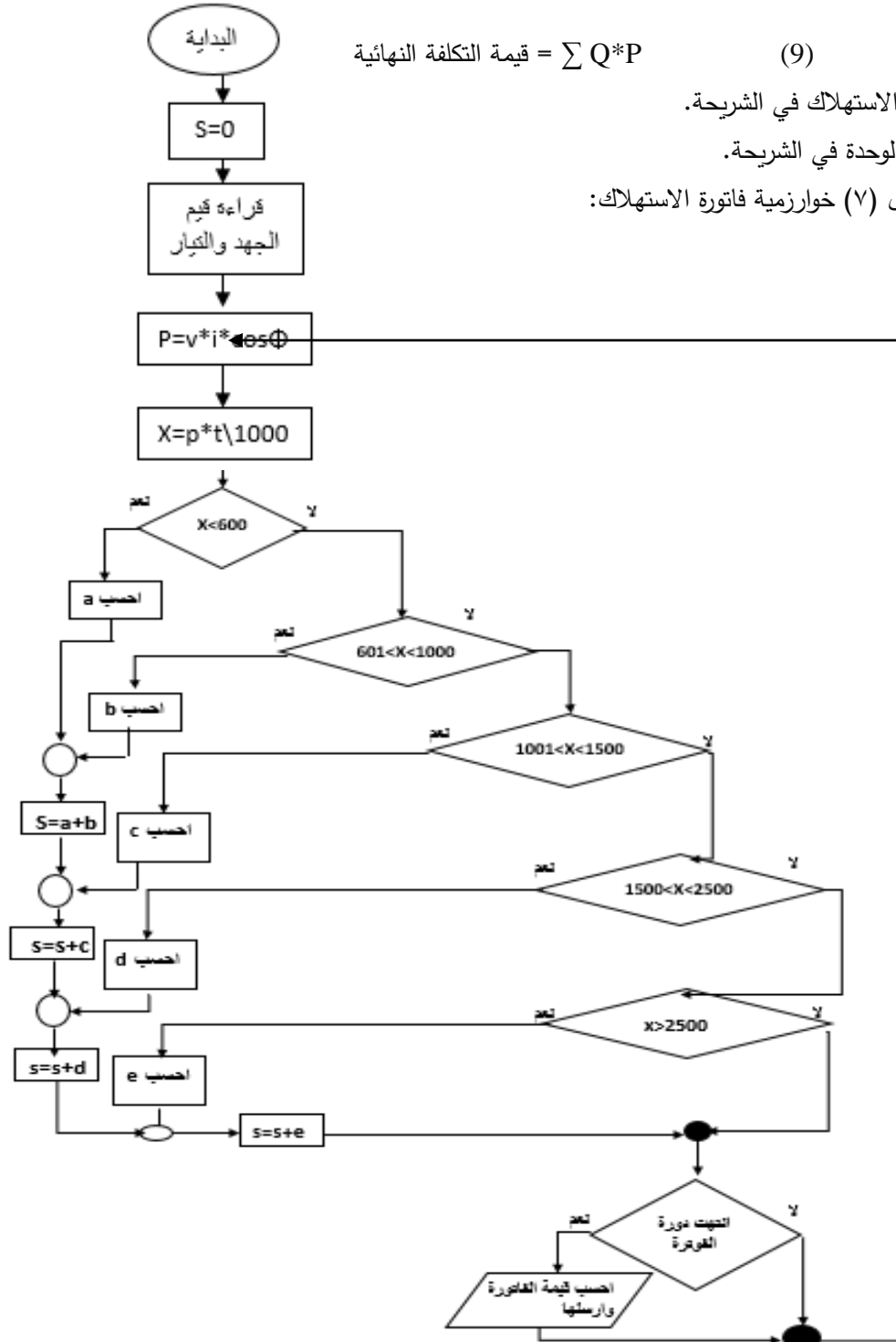
تمثل الخوارزمية بالصيغة الرياضية التالية (٩)[13]:

$$(9) \quad \text{قيمة التكلفة النهائية} = \sum Q * P$$

Q: كمية الاستهلاك في الشريحة.

P: سعر الوحدة في الشريحة.

يبين الشكل (٧) خوارزمية فاتورة الاستهلاك:



الشكل (٧) خوارزمية قيمة فاتورة الاستهلاك

حيث أن:

$$a = 10 * \text{الاستهلاك}$$

$$b = 6000 + ((1000 - \text{الاستهلاك}) * 25).$$

$$c = 16000 + ((1000 - \text{الاستهلاك}) * 135).$$

$$d = 16000 + 67500 + ((1500 - \text{الاستهلاك}) * 600).$$

$$e = 16000 + 67500 + 600000 + ((2500 - \text{الاستهلاك}) * 1350).$$

حيث a هي قيمة الاستهلاك عند نهاية الشريحة الأولى، b هي قيمة الاستهلاك عند نهاية الشريحة الثانية، c هي قيمة الاستهلاك عند نهاية الشريحة الثالثة، d هي قيمة الاستهلاك عند نهاية الشريحة الرابعة، e هي قيمة الاستهلاك عند نهاية الشريحة الخامسة. المعادلات السابقة تتألف من:

الحد الثابت: وهو مجموع تكلفة الشرائح السابقة مثل $(10 * 600 = 6000)$

الحد المتغير: وهو الفرق بين حد الشريحة والاستهلاك الفعلي مضروباً بسعر الشريحة الحالية مثل $(25 * (\text{الاستهلاك} - 1000))$

٥-٥ واجهة المستخدم:

بما أن النظام مصمم ليقوم بإرسال رسائل للمستهلك خلال فترة عمله وبمراحل مختلفة. فكان لدينا عدة خيارات لاستقبال هذه الرسائل مثل رسالة SMS، تطبيق، بوت تلجرام.

إن إرسال رسائل SMS يتطلب وجود شريحة GSM، حيث أنه من الصعب الحصول عليها وهي ذات كلفة مادية مرتفعة، وإنشاء تطبيق أيضاً يتطلب كلفة مادية عالية، لذا تم تصميم بوت تلجرام يلبي الغرض المطلوب، ويحقق توفير مادي للمستهلك حيث أن تطبيق التلجرام متوفر على جميع أجهزة الجوال، ولا يحتاج إلى جهد كبير، فهو سهل الاستخدام من قبل كافة الأعمار وخاصة كبار السن.

٥-٥-١ خطوات إنشاء بوت تلجرام:

- ١- ندخل إلى تطبيق تلجرام المتوفرة في الأجهزة المحمولة.
- ٢- نبحث عن @BotFather
- ٣- نرسل له الأمر /newbot
- ٤- يطلب منا أن نختار اسم البوت الذي نريده نكتب الاسم ثم نضغط على إرسال.
- ٥- ندخل الاسم مع اللاحقة (-bot).
- ٦- يتم إرسال رسالة تتضمن رابط البوت و token الخاص بالبوت الذي تم تصميمه.

يبين الشكل (٨) بوت التلجرام.



الشكل (٨) بوت التلجرام.

٥-٥-٢ ضبط التاريخ والوقت:

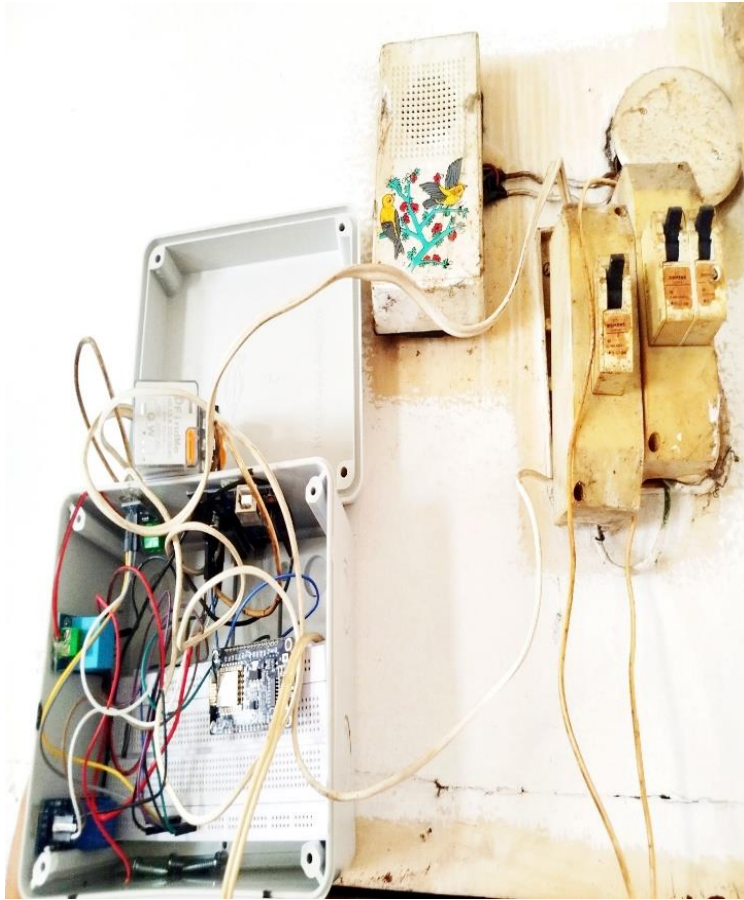
يعمل النظام المقترح في الزمن اللحظي، حيث يرسل للمستهلك عدة رسائل كقيمة الفاتورة النهائية، ورسائل الدخول لشريحة أخرى وسعر الكيلوات الساعي في هذه الشريحة، وهذا ما يحتاج إلى ضبط التوقيت بالإضافة لما سبق يقوم النظام بفصل الحمل ذو الاستهلاك العالي بعد فترة زمنية معينة، حيث تختلف هذه الفترة تبعاً للشهر الذي يعمل به النظام.

لدينا طريقتان لضبط الوقت إما عن طريق RTC وهي شريحة الكترونية تستخدم لضبط الوقت تحتوي على بطارية صغيرة مثل (CR2032)، وتحتاج إلى ضبط يدوي للوقت خاصة عند انقطاع التيار الكهربائي [14]، أو عن طريق المتحكم Node MCU والذي يحوي على بروتوكول توقيت الإنترنت (NTP Network Time Protocol) والذي يتميز بالتزامن التلقائي مع التوقيت العالمي عبر الاتصال بشبكة الانترنت باستخدام ال Wifi .

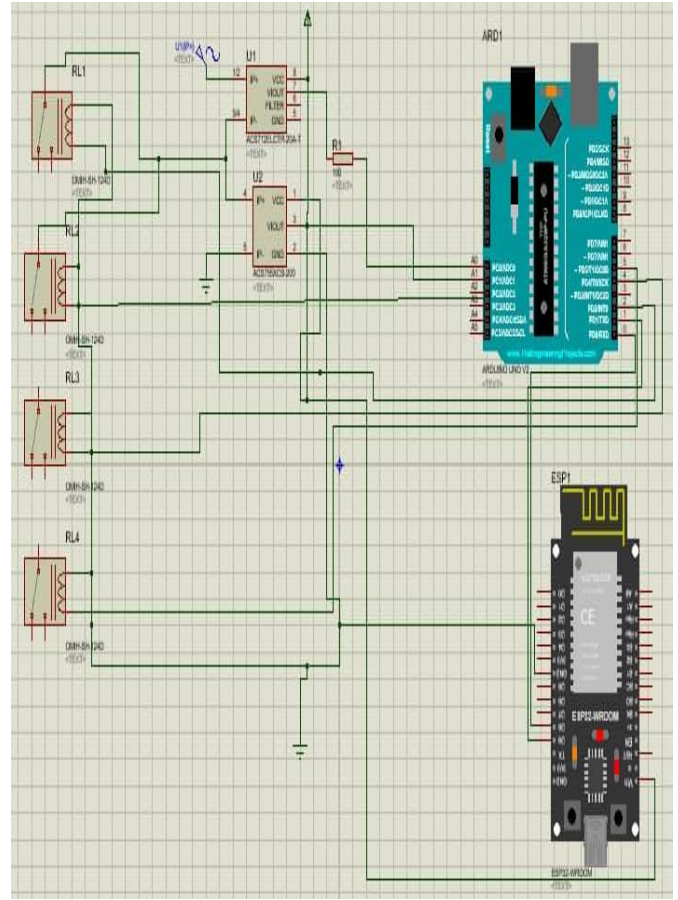
قمنا باختيار ضبط التوقيت عبر NTP وهو بروتوكول انترنت قياسي يستخدم لمزامنة الوقت بين الأجهزة المتصلة مع الشبكة، يمتاز بالدقة العالية وتسجيل البيانات المتعلقة بالتوقيت والتاريخ، مما يجعله مناسب لمختلف التطبيقات، لما يحققه من نتائج جيدة في المراقبة والتحكم [15].

٦-مناقشة النتائج:

يبين الشكلين (٩) و (١٠) كيفية توصيل النظام وتشغيله من أجل أخذ النتائج.



الشكل (١٠) النظام في حالة التشغيل.



الشكل (٩) توصيل النظام.

بداية قمنا بتسجيل كمية الاستهلاك للمنزل الذي يتم فيه تجريب النظام، وذلك بمعدل فاتورة كل شهرين وعلى مدار عام كامل، ويبين الجدول (٤) كميات الاستهلاك قبل تركيب النظام.

الجدول (٤) كميات الاستهلاك قبل تركيب النظام

رقم الدورة	التأشير السابقة	التأشير الحالية	كمية الاستهلاك (kwh)	الشريحة
٢٠٢٣-١	37963	38601	638	الثانية
٢٠٢٣-٢	38601	38990	389	الأولى
٢٠٢٣-٣	38990	39511	521	الأولى
٢٠٢٣-٤	39511	40744	1233	الثالثة
٢٠٢٣-٥	40744	41775	1031	الثالثة
٢٠٢٣-٦	41775	42524	749	الثانية

حيث تحسب كمية الاستهلاك وفق العلاقة (10):

كمية الاستهلاك = التأشير السابقة - التأشير الحالية. (10)

- وبعد الانتهاء من جمع العينات السابقة قمنا بتركيب النظام على أحد المنازل كما في الشكل (١١) والذي يقوم بالمهام التالية:
- حساب كمية الاستهلاك في المنزل وتحذير المستهلك عند الوصول إلى ٩٠% من شريحة الاستهلاك الأولى، وعند الدخول بشريحة استهلاك جديدة.
 - إعلام المستهلك بسعر الكيلو ووات الساعي عند الدخول في شريحة جديدة.
 - إدارة استهلاك الطاقة الكهربائية من خلال التحكم بتشغيل ووصل الأحمال ذات الاستهلاك العالي للطاقة (السخان الكهربائي).

-بعد تركيب النظام في المنزل، تم اختباره على مدار عام كامل للتأكد من وثوقيته، وذلك من خلال القياس اللحظي لكمية الاستهلاك وجمع فواتير استهلاك الطاقة الكهربائية بمعدل فاتورة كل شهرين، فكانت النتيجة وفق الجدول (٥):

الجدول (٥) كمية الاستهلاك بعد تركيب النظام

الدورة	كمية الاستهلاك (kwh)	الشريحة
٢٠٢٤-١	٦٠٢	الثانية
٢٠٢٤-٢	٣٨٢	الأولى
٢٠٢٤-٣	٥١٨	الأولى
٢٠٢٤-٤	١١٧٣	الثالثة
٢٠٢٤-٥	١٠٠١	الثالثة
٢٠٢٤-٦	٦٨٥	الثانية

بإجراء مقارنة بين كمية الاستهلاك قبل وبعد تركيب النظام لوحظ بعد تركيب النظام انخفاض في كمية استهلاك الطاقة الكهربائية في المنزل وفق ما ورد في الجدول (٦):

رقم الدورة	كمية الاستهلاك قبل التركيب (kwh)	كمية الاستهلاك بعد التركيب (kwh)	نسبة التوفير %
الأولى	638	٦٠٢	%٥,٦٤
الثانية	389	٣٨٢	%١,٨
الثالثة	521	٥١٨	%٠,٥٧
الرابعة	1233	١١٧٣	%٤,٨٦
الخامسة	1031	١٠٠١	%٢,٩
السادسة	749	٦٨٥	%٨,٥

نلاحظ من الجدول السابق: كان هناك نسب توفير مختلفة من دورة لأخرى، وبالتالي فإن المتوسط الحسابي لنسبة التوفير خلال الدورات الست وعلى مدار عام كامل حوالي ٣,٦% تقريباً، علماً أنه أثناء إجراء الاختبار تمت مراعاة فترات التشغيل المختلفة للمسخان الكهربائي بما يتناسب مع درجة حرارة الوسط المحيط، وتم ضبط ذلك برمجياً

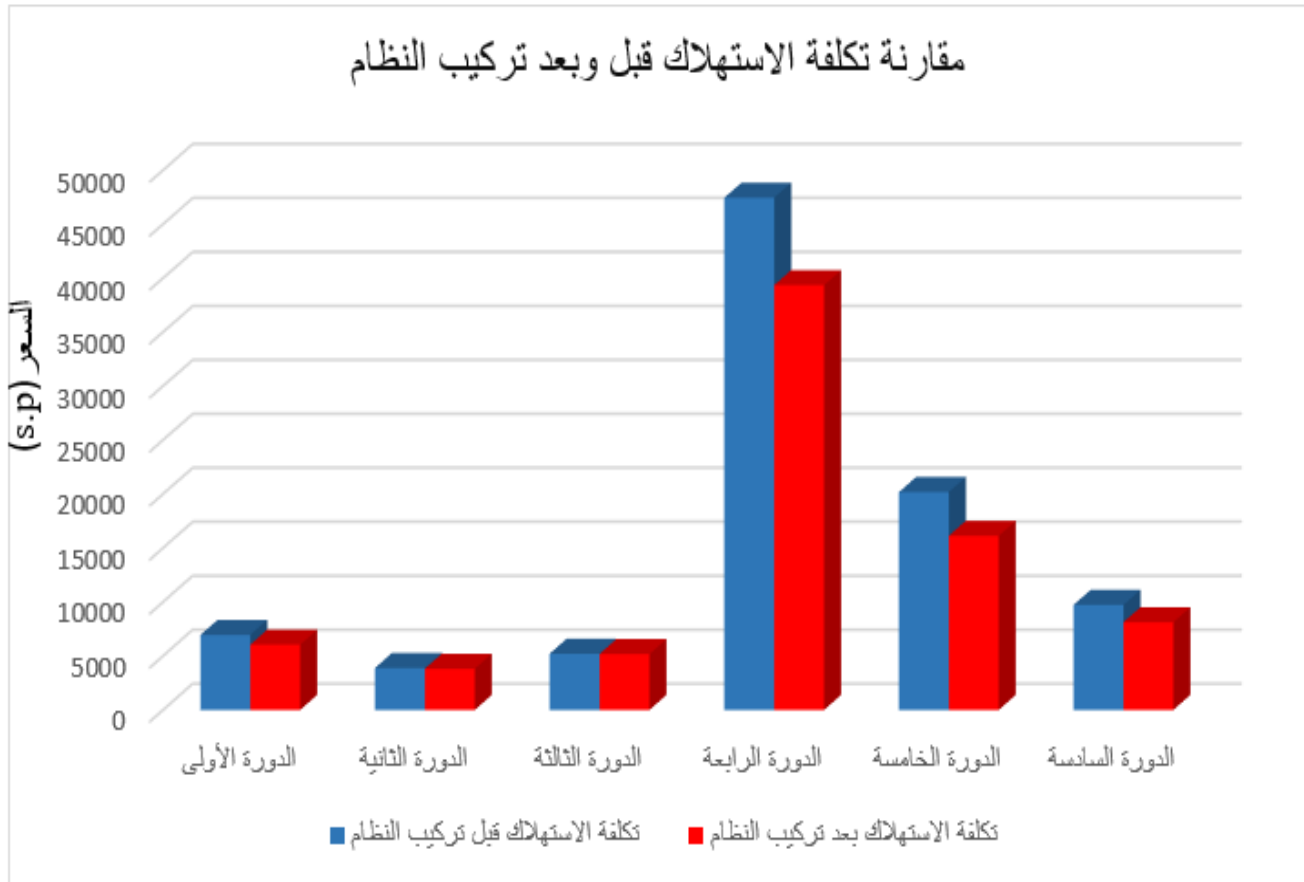
الجدول (٧) مقارنة بين كلفة الاستهلاك قبل وبعد تركيب النظام ونسبة التوفير وفق القرارين القديم والجديد.

رقم الدورة	تكلفة الاستهلاك قبل التركيب (s.p) وفق القرار القديم	تكلفة الاستهلاك بعد التركيب (s.p) وفق القرار الجديد	نسبة التوفير % وفق القرار القديم	تكلفة الاستهلاك قبل التركيب (s.p) وفق القرار القديم	تكلفة الاستهلاك بعد التركيب (s.p) وفق القرار الجديد	نسبة التوفير % وفق القرار الجديد
الأولى	6950	6050	%12.95	٦٥٣٢٠٠	٦٠٢٨٠٠	7.72%
الثانية	3890	٣٨٢٠	%١,٨	٣٠٤٦٠٠	٢٩٤٨٠٠	3.22%
الثالثة	5210	٥١٨0	%٠,٥٨	٤٨٩٤٠٠	٤٨٥٢٠٠	0.86%
الرابعة	47455	39355	%١٧,٠٧	١٤٨٦٢٠٠	١٤٠٢٢٠٠	5.65%
الخامسة	20185	16135	%٢٠,٠٦	١٢٠٣٤٠٠	١١٦١٤٠٠	3.49%
السادسة	9725	8125	%١٦,٤٥	٨٠٨٦٠٠	٧١٩٠٠٠	11.08%

علماً أن نسبة التوفير تعطى بالعلاقة:

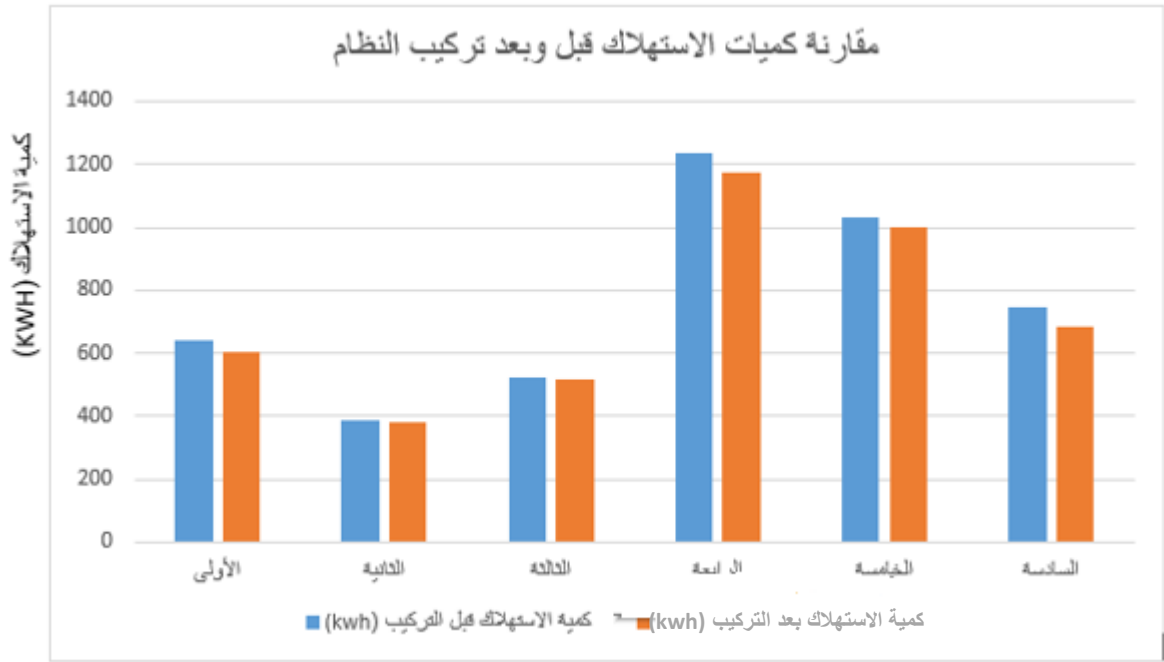
$$\text{نسبة التوفير} = \frac{\text{تكلفة الاستهلاك قبل التركيب} - \text{تكلفة الاستهلاك بعد التركيب}}{\text{تكلفة الاستهلاك قبل التركيب}} * 100 \quad (11)$$

نلاحظ من الجدول السابق أن النظام حقق توفير في تكلفة الاستهلاك بشكل جيد ومختلف من دورة لآخرى، وبالتالي فإن المتوسط الحسابي لنسبة التوفير المادي على مدار عام كامل وفق القرار القديم بلغت حوالي ١١,٥%.
تم رسم المخططات البيانية لمقارنة كمية و تكلفة الاستهلاك قبل وبعد تركيب النظام.
يوضح الشكل (١١) المخطط البياني لمقارنة تكلفة الاستهلاك قبل وبعد تركيب النظام حيث نلاحظ انعكاس انخفاض كميات الاستهلاك على التكلفة خاصة خلال الدورتين الرابعة والخامسة واللذان تكافئان أشهر (كانون الثاني، شباط، آذار، نيسان)



الشكل (11) المخطط البياني لتكلفة الاستهلاك قبل وبعد تركيب النظام.

يوضح الشكل (١٢) المخطط البياني لمقارنة كمية الاستهلاك قبل وبعد تركيب النظام.



الشكل (١٢) المخطط البياني لمقارنة كميات الاستهلاك قبل وبعد تركيب النظام.

نلاحظ من الشكل (١٢) انخفاض في كمية الاستهلاك خلال الدورتين الرابعة والخامسة واللتان تكافئان أشهر (كانون الثاني، شباط، آذار، نيسان) حيث تكون الحرارة منخفضة وبالتالي استهلاك عالي للسخان، وبسبب النظام المطبق انخفض الاستهلاك خاصة في الشهرين الأول والثاني، بينما في باقي الأشهر يكون استهلاك السخان منخفض بسبب الحرارة العالية وبالتالي فإن النظام قام بالعمل الذي صمم لأجله.

- يظهر الشكل (١٣) وصول رسائل التنبيه للمستهلك، حيث تم إعلام المستهلك بقرب انتهاء الشريحة الأولى، كما تم إرسال رسالة بضرورة إطفاء السخان بعد ٣٠ دقيقة، ورسالة تعلم المستهلك بقيمة فاتورته بنهاية دورة الفوترة.



الشكل (13) وصول رسائل للمستهلك

٧-الاستنتاجات:

- 1- تمكن النظام من إعلام المستهلك بكمية الاستهلاك قبل الدخول إلى شريحة جديدة ما أدى إلى ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية.
- 2- تمكن النظام من التحكم بالحمل ذو الاستهلاك العالي وتحديد المدة الزمنية اللازمة للتشغيل بما يتناسب مع درجة حرارة الوسط المحيط مما ساهم بشكل كبير في خفض استهلاك الطاقة الكهربائية من خلال تخفيض ساعات التشغيل غير الضرورية لها.
- 3- أدى تركيب النظام على العداد الكهربائي للمنزل إلى توفير استهلاك الطاقة الكهربائية بنسبة بلغت حوالي 3.6%.
- 4- تمكن النظام المصمم من مراقبة كمية الاستهلاك بالمنزل بشكل آني.
- 5- ساهم النظام في تخفيض قيمة الفاتورة على المستهلك بنسبة 11.5%.

٨-المقترحات والتوصيات:

- تعميم النظام على مجموعة أحمال في نفس المنزل ثم على عدة منازل وذلك لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية بشكل أكبر.
- ضبط الوقت والتاريخ عبر تقنية TSN بدلاً من تقنية NTP المستخدمة في بحثنا.

المراجع

- [2]- Jordi Serra and All, "segmentation of energy consumption using k-means: Applications in tariffing outlier detection", Energies, switzerland, 2025
- [3]- Ms shubhangi, "Automated load shedding and billing system for residential energy efficiency", Springerlink, Germany, 2023.
- [4]- Li-y, Ang k., "A smart energy management system for residential demand response using dynamic pricing and load control", IEEE xplore, USA, 2023
- [6]- R Amudhevali and T Sivakumar, "IOT based smart energy metering system for monitoring the domestic load using plc and scada", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, India, 2021.
- [7]- Naseer Ali Hussien and Alaa Abdulhussein Daleh Al-Magsoosi and Haider Th. Salim AlRikabi and Faisal Theyab Abed, "Monitoring the Consumption of Electrical Energy Based on the Internet of Things Applications", International Journal of Computer Applications, Iraq, 2020.
- [9]- Herger, L. M., & Bodarky, M., "Design and implementation of a real-time power quality monitoring system for residential applications", IEEE Access, USA, 2022.
- [10]- Gellings, C.W, and J.H. Chamberlin, "Design and implementation of a low-cost current monitoring system for home energy management using ACS712 sensor", IEEE sensors journal, USA, 2023.
- [11]- Venkatesan, M., "Tcp/ip protocol suite for Network Communication", international research journal of modernization in Engineering Technology and science, India, 2023.
- [12]- Tiagrajah.V.Janahiraman, "A Novel Approach for Energy Estimation in industrial IOT Systems", india, 2023
- [13]- Subroto Saha, "Econometric analysis of factors influencing electricity consumption in spain", Scientific Reports, Germany, 2024
- [14]- Satyobroto Talukder, "Real-Time clock (RTC) modules in embedded systems", IEEE Transaction on industrial electronics, USA, 2023

المواقع الإلكترونية:

- [1]- "Energy Rationalization in other facilities", <https://moee.gov.ye>.
- [5]- European energy efficiency report, 2023. <https://energy.ec.europa.eu>.
- [8]- <https://www.moe.gov.sy>.
- [15]- esp8266-nodemcu-data-time-ntp-client-serverarduino", <https://randomnerdtutorials.com>