إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاع السكني بليبيا

د. علي قاسم شتوان
كلية التقنية الصناعية، مصراتة
ليبيا
ashetwan@yahoo.com.au

م. الصديق ميلاد ابعوه
الشركة العامة للكهرباء، مصراتة
ليبيا
sedek.milad@yahoo.com

د. إبراهيم أحمد بادي
كلية الهندسة، مصراتة
ليبيا
ibrahim.badi@hotmail.com

*الملخص*ـ **نظراً لارتفاع الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية، والذي يؤثر إيجابياً في حال وفرتها، وسلبياً في حال نقصانها، الأمر الذي يجعل شركات الكهرباء تعمل على تطوير قدرات محطات التوليد وشبكات النقل والتوزيع لمجابهة الأحمال القصوى التي تلبي احتياجات المستهلكين. تهدف هذه الورقة إلى إدارة الأحمال من جانب الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاع السكني بليبيا لأعوام 2017م-2025م. تم تجميع البيانات من واقع سجلات الشركة العامة للكهرباء وتصنيفها وتحليلها باستخدام برنامج اكسل لدراسة السلوك التي تتبعها الأحمال الكهربائية في القطاع السكني بصفة عامة، وفي أوقات الذروة (الصيف-الشتاء) بصفة خاصة، والوفرة في كمية الطاقة الكهربائية التي من الممكن تحقيقها. أظهرت النتائج تحقق وفرة في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في القطاع السكني من خلال إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية على الأجهزة الكهربائية المنزلية (الإنارة والسخانات) خلال فصلي الصيف والشتاء عام 2025م تقدر بحوالي 2,022,488 ميجاوات/ساعة بدون المشروعات الكبيرة، و3,233,621 ميجاوات/ساعة مع المشروعات الكبيرة. تقدر هذه الوفرة بنسبة 22% من كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني لنفس الفصلين قبل تطبيق إدارة الطلب على الطاقة الكهربائية. كما أظهرت النتائج تخفيض غاز ثاني أكسيد الكربون المسبب الرئيسي للاحتباس الحراري بنسبة 4.747% في عام 2025م.**

الكلمات المفتاحية: **إدارة، جانب، طلب، طاقة، كهرباء**

1. مقدمة

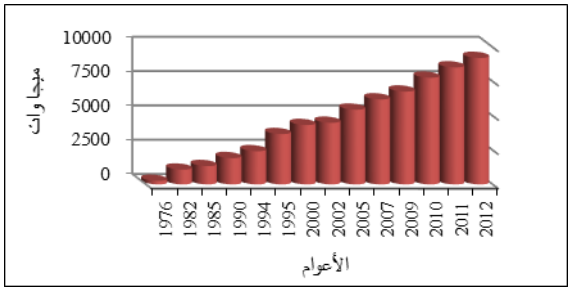
تلعب الطاقة الكهربائية الدور الأهم في التطور الاقتصادي والاجتماعي، باعتبارها أحد أهم عناصر البنية التحتية للدولة. إن علاقة الطاقة الكهربائية بالقطاعات الاقتصادية المختلفة وبالحياة العامة علاقة تكاملية مترابطة، فهي تتأثر بمستويات التطور في المجالات المختلفة، كما تؤثر إيجابياً في حال وفرتها، وسلبياً في حال نقصانها أو تدني مواصفاتها. من هنا فإن التنمية الاقتصادية المنشودة ينبغي أن يواكبها أو يسبقها تنمية مدروسة للطاقة الكهربائية، بحيث يلبي الطلب على الطاقة الكهربائية وتطوره كماً ونوعاً كافة القطاعات. إن التغافل عن تنمية قطاع الكهرباء بوتيرة لا تتناسب مع التطورات المرتقبة للقطاعات الأخرى، يخلق مشاكل فنية واقتصادية لتلك القطاعات ولقطاع الكهرباء نفسه. تعتبر إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية من أهم الاستراتيجيات المستخدمة في ترشيد الطلب على الطاقة الكهربائية في العديد من الدول المتقدمة، وتناولته العديد من الدراسات العلمية [1, 2].

تدرس هذه الورقة إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاع السكني بليبيا من خلال دراسة الأحمال الحالية لمنظومة الكهرباء وتحديد السلوك التي تتبعها الأحمال خلال السنة.

استلمت الورقة بالكامل في 30 يناير 2017 وروجعت في 20 فبراير 2017 وقبلت للنشر في 5 مارس 2017 ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 6 مارس 2017 .

2. الطلب على الطاقة الكهربائية

يعد قطاع الكهرباء من القطاعات الحيوية والهامة بالنسبة لكافة النشاطات الإنتاجية والخدمية، ويعكس مؤشر تطور القطاع الكهرباء مدى التطور الاقتصادي والاجتماعي للمجتمع. لهذا سعت الشركة العامة للكهرباء إلى تطوير القدرة المركبة لمحطات التوليد خلال الفترة السابقة من عام 2005 م إلى عام 2012م بشكل ملحوظ وبالأخص التوسع في توليد الطاقة الكهربائية بواسطة المحطات الغازية كما هو موضح بالشكل (1).



شكل 1. تطور القدرة الاسمية المركبة لمحطات التوليد [3]

يلاحظ من الشكل أن القدرات الاسمية المركبة لمحطات توليد الطاقة الكهربائية القائمة حالياً تقدر بحوالي 9218 ميجاوات. بالنسبة لحالة المحطات المنتجة للطاقة والبالغ عددها 14 محطة توليد، بعضها في حالة جيدة والبعض في حالة متوسطة والبعض الآخر تحتاج إلى صيانة جسيمة تتطلب وقت وتكاليف عالية. هذه المحطات تتكون من 37% محطات توليد غازية و38 % محطات توليد تعمل بالدورة المزدوجة، والباقي محطات توليد بخارية. الجدير بالذكر أنه قد تم تقليص دور محطات الديزل بشكل ملحوظ [3].

بالنسبة لمجال النقل والتوزيع فقد تم تطوير الشبكة العامة للكهرباء بما يكفل نقل الطاقات المنتجة بمحطات التوليد إلى مراكز الأحمال ونقاط الاستهلاك المختلفة وتوصيل الكهرباء إلى كافة أنحاء البلاد. يقدر طول ما تم تنفيذه بنهاية عام 2012 من خطوط النقل بحوالي 46,852 كيلو متر، كما بلغ عدد محطات التحويل المشيدة 756 محطة. الأمر الذي يتطلب وقت وأموال طائلة وإمكانيات بشرية ومادية كبيرة لمتابعتها وصيانتها والمحافظة عليها لكي تعمل بحالة مستقرة [3].

3. إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية

تُعرف إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية Demand Side Energy Management(DSEM) على أنها تخطيط وتنفيذ السياسات التي تساعد على تخفيض الطلب على الطاقة الكهربائية في وقت الذروة، وعمليا هي استخدام المعدات التقنية لتوفير الطاقة الكهربائية بدل الحاجة إلى إنشاء محطات توليد جديدة [1].

بعبارة أخرى يمكن تعريف إدارة جانب الطلب على أنها تخطيط وتنفيذ الأنشطة من قبل شركات الكهرباء بهدف التأثير على مستخدمي الطاقة الكهربائية في السبل التي من شأنها إحداث تغييرات مرغوبة في شكل الحمل الكلي للنظام (أي تغييرات في نمط ومقدار الطلب على الطاقة الكهربائية في وقت الذروة). وعملياً هي استخدام المعدات التقنية لتوفير الطاقة الكهربائية لتقليل وتيرة إنشاء محطات توليد جديدة [2].

أ. أهداف إدارة جانب الطلب

من أهم أهداف إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية ما يلي [4]:

1) الحد من الاستثمارات الرأسمالية
2) ضمان التشغيل الفعال للتوليد والنقل والتوزيع
3) ضمان الإجراءات المستدامة في جانبي العرض والطلب
4) تغطية احتياجات الطلب بواسطة شركة الكهرباء
5) الحد من الآثار البيئية المرتبطة باستخدام الكهرباء.

ب. استراتيجيات إدارة جانب الطلب

من أهم الاستراتيجيات المستخدمة في إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية ما يلي [1]:

1) استراتيجية خفض الحمل وقت الذروة Peak Clipping
خفض حمل الذروة والذي يجسد أحد الأشكال الكلاسيكية لإدارة الحمل، وتعني تقليل الحمل في فترة الذروة عن طريق التحكم المباشر في الحمل. هذا يؤدي إلى تقليل كل من الطلب على الطاقة وقت الذروة والطاقة المستهلكة الكلية.

2) استراتيجية زيادة الأحمال في أوقات الأحمال الدنيا Valley Filling تتكون زيادة الأحمال في أوقات الأحمال الدنيا من بناء أحمال خارج أوقات الذروة. هذا الأمر قد يكون مرغوباً فيه بصفة خاصة، حيث أن التكلفة الإضافية على المدى الطويل أقل من متوسط سعر الطاقة الكهربائية. إضافة أحمال خارج وقت الذروة بسعر معقول في ظل هذه الظروف سوف يعمل على تخفيض متوسط سعر الطاقة الكهربائية، كما يساعد في تحسين استغلال وحدات التوليد القائمة وبالتالي تحسين معامل الحمل.

3) استراتيجية إزاحة الأحمال Load Shifting
هذه الإزاحة تتضمن إزاحة الأحمال من فترات الذروة إلى فترات خارج فترة ذروة الطلب، وهذه الطريقة لا تحدث تغيير في الاستهلاك الكلي.

4) استراتيجية حفظ الطاقة (الترشيد) Strategic Conservation
تعني تقليل الطلب على الطاقة الكهربائية، وبالتالي تقليل الطلب على الأحمال القصوى.

5) استراتيجية نمو الأحمال Strategic Load Growth
وهي تعني زيادة الأحمال والاستهلاك خلال كل دورة حمل أو معظمها. وهو تغير شكل الحمل الذي يشير إلى زيادة عامة في المبيعات إلى ما بعد مرحلة زيادة الأحمال في أوقات الأحمال الدنيا المشار إليها سابقاً.

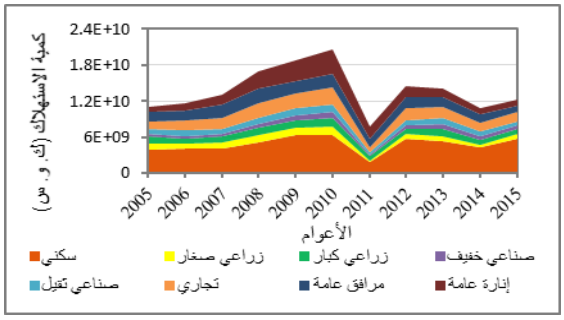
من خلال استعراض الاستراتيجيات السابقة، يلاحظ أن جميعها تساهم في تخفيض الطلب على الطاقة الكهربائية والاستخدام الأمثل لها. كذلك يتضح أن بعض من تلك الاستراتيجيات يمكن تطبيقها على المدى القصير والبعض الآخر على المدى الطويل. في هذه الدراسة تم تطبيق استراتيجية خفض الحمل وقت الذروة واستراتيجية حفظ الطاقة. تم ذلك من خلال تطبيقها على الأجهزة الكهربائية المنزلية (الإنارة والسخانات) للقطاع السكني لتخفيض الطلب على الطاقة الكهربائية بشكل عام، ووقت الذروة بشكل خاص، والاستخدام الأمثل للطاقة الكهربائية وتقليل الانبعاثات المرتبطة بعملية التوليد.

4. الحالة الدراسية

تم تجميع البيانات من الشركة العامة للكهرباء التي تمارس أعمالها من خلال 16 إدارة عامة، وكل إدارة عامة تدير أعمالها من خلال ستة إدارات بالمناطق (طرابلس– بنغازي-الزاوية الغربية-الوسطي– الجنوبية-الجبل الأخضر). تم تجميع بيانات المستهلكين واستهلاك عدادات القياس للقطاعات المختلفة (قطاع السكني-القطاع التجاري-القطاع الحكومي-قطاع الزراعي الصغار-قطاع الزراعي الكبار-قطاع الصناعي الخفيف – قطاع الصناعي الثقيل-قطاع الإنارة العامة) عموماً والقطاع السكني خصوصا من الإدارة العامة لخدمات المستهلكين والإدارات التابعة لها، وكل إدارة تتبعها عدد من الدوائر. كما تم تجميع بيانات من الإدارة العامة للتحكم لمعرفة أقصى الأحمال اليومية والشهرية والسنوية للشبكة، وكمية الإنتاج لمحطات التوليد لنفس الفترات. كذلك تم تجميع البيانات التي تتعلق بالقياسات التي تمت على المنازل لقياس الاستهلاك اليومي للأجهزة الكهربائية والمعلومات التي تتعلق بهذه الأجهزة من الإدارة العامة للتخطيط والدراسات. كذلك تم الحصول على بيانات التنبؤ بالطلب على الطاقة الكهربائية من عام 2017م إلى عام 2025م من خلال الدراسة التي قام بها الاستشاري (شركة KEPCO) وكذلك تحديد سعر وحدة التكلفة (كيلووات/ساعة) لكل قطاع على حدي والذي تم حسابه بواسطة الاستشاري (شركة ENDRA). بعد الانتهاء من تجميع البيانات المطلوبة والمعلومات، صُنفت وعُولجت هذه البيانات باستخدام برنامج اكسل للحصول على النتائج النهائية لكمية وقيمة الطاقة الكهربائية التي من المتوقع توفيرها في عام 2025م.

أ. حساب كمية استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاع السكني

يعتبر القطاع السكني من أهم قطاعات المستهلكين وأكبرها استهلاكاً للطاقة الكهربائية خصوصاً بعد التطور التكنولوجي الذي يشهده العالم في السنوات الأخيرة. أصبحت جميع الأجهزة المنزلية تعمل بالطاقة الكهربائية تقريباً مما أدى إلي زيادة الاستهلاك في الطاقة الكهربائية في هذا القطاع. إن جودة هذه الأجهزة هي من تحدد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة، حيث أن بعضها ذو كفاءة عالية، والبعض الآخر ذو كفاءة منخفضة. تعتبر الأجهزة ذات الكفاءة المنخفضة أقل سعراً من الأجهزة ذات الكفاءة العالية وأكثر استهلاكاً للطاقة الكهربائية. لتحديد كمية استهلاك الطاقة الكهربائية للقطاع السكني ونسبته من إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة فقد تم إجراء حسابات على البيانات التي جُمعت عن كمية استهلاك الطاقة الكهربائية للقطاعات المختلفة من عام 2005م إلى عام 2015م. ويوضح شكل (2) كمية استهلاك القطاعات المختلفة من الطاقة الكهربائية من عام 2005م إلى عام 2015م.



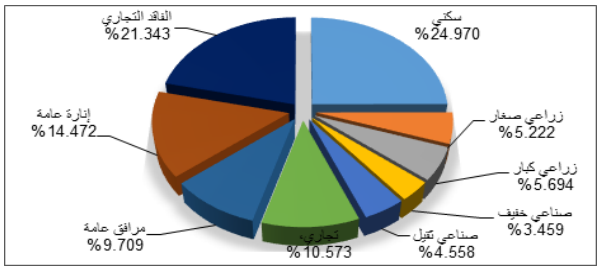
شكل 2. كمية استهلاك القطاعات المختلفة من الطاقة الكهربائية من عام 2005م إلى عام 2015م

يلاحظ من شكل (2) أن الاستهلاك يتزايد بشكل ملحوظ من عام 2005م إلى عام 2010م، ليتناسب مع النمو السكاني والتطور العمراني والتكنولوجي في البلاد. بعد ذلك بدأ في التناقص بشكل كبير خلال عام 2011م. هذا التناقص ليس بسبب الترشيد في الاستهلاك ولكن لعدم رفع قراءات بعض عدادات القياس وتعطل البعض وتكسير وتدمير البعض الآخر بسبب الظروف التي مرت بها البلاد. بعد ذلك بدأ في التزايد مرة أخرى تدريجيا بعد عام 2011م. للوثوق بالنتائج ودقتها في الحالة

الدراسية تم الاعتماد على بيانات أعوام 2008م، 2009م، 2010م في حساب نسبة الاستهلاك السنوي للقطاعات المختلفة من الطاقة الكهربائية وتوزيع كمية الفاقد التجاري على هذه القطاعات، نظراً لأن الاستهلاك السنوي للقطاعات المختلفة في هذه السنوات أقرب إلى الحقيقي منه إلى الوضع الحالي. عليه أخذ متوسط استهلاك الثلاث أعوام (2008م، 2009م، 2010م). من خلال البيانات المتوفرة تم حساب نسبة كمية استهلاك القطاعات المختلفة من الطاقة الكهربائية لثلاثة أعوام بدون الأخذ في الاعتبار الفاقد التجاري من الطاقة الكهربائية. وعليه نجد أن:

نسبة متوسط استهلاك القطاع السكني (2008، 2009، 2010) = 24.97%

ويوضح شكل (3) نسبة استهلاك باقي القطاعات من الطاقة الكهربائية.



شكل 3. نسبة استهلاك القطاعات المختلفة من الطاقة الكهربائية

ب حساب كمية الفاقد التجاري وتوزيعه على القطاعات المختلفة

يعتبر الفاقد التجاري أحد أهم العوامل التي تسبب في إهدار الطاقة الكهربائية، والتي يجب على الشركة العامة للكهرباء إعطائه الاهتمام الأكبر للتقليل منه. يمكن حساب كمية الفاقد التجاري لمتوسط استهلاك الثلاث أعوام (2008م و2009م 2010م) كما يلي:

كمية الفاقد الفني لعام 2008م = كمية الطاقة المنتجة × نسبة الفاقد الفني

= 25,963,257 × 16% = 4,154,121 ميجاوات/ساعة

كمية الفاقد التجاري2008 م = الطاقة المنتجة – كمية الفاقد الفني– كمية الطاقة المفوترة

= 16,942,168 – 4,154,121 – 25,963,257

كمية الفاقد التجاري لعام 2008م = 4,866,968 ميجاوات/ساعة

وهكذا بنفس الطريقة يتم حساب كمية الفاقد التجاري لعامي 2009م و2010م، حيث كانت 4,538,318 ميجاوات/ساعة و5,889,931 ميجاوات/ساعة على التوالي.

$$\text{متوسط الفاقد التجاري} = \frac{\text{الفاقد التجاري}(2008 + 2009 + 2010)}{3}$$

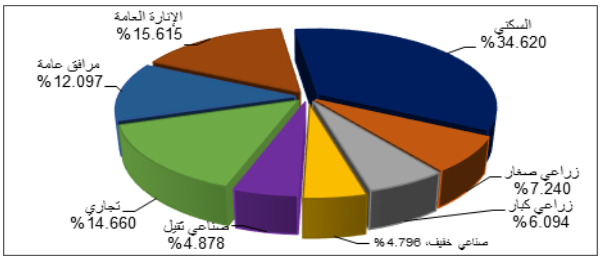
$$= \frac{5,889,931 + 4,538,318 + 4,866,968}{3}$$

متوسط الفاقد التجاري للأعوام(2008،2009،2010) =

5,098,406 ميجاوات/ساعة

وبذلك يكون متوسط كمية الفاقد التجاري للأعوام (2008م، 2009م، 2010م) تساوي 5,098,406 ميجاوات/ساعة، والتي يمكن توزيعها على القطاعات المختلفة من خلال ثمانية احتمالات مسببة للفاقد التجاري.

تم حساب كمية الفاقد التجاري بوضع وزن لكل احتمال حسب أهميته وكمية الفاقد التجاري الناتجة عنه بمساعدة المهندسين بالشركة من ذوي الخبرة. بذلك يكون كمية استهلاك القطاعات المختلفة من الطاقة الكهربائية بعد إضافة الفاقد التجاري كما هو موضح في الشكل (4).



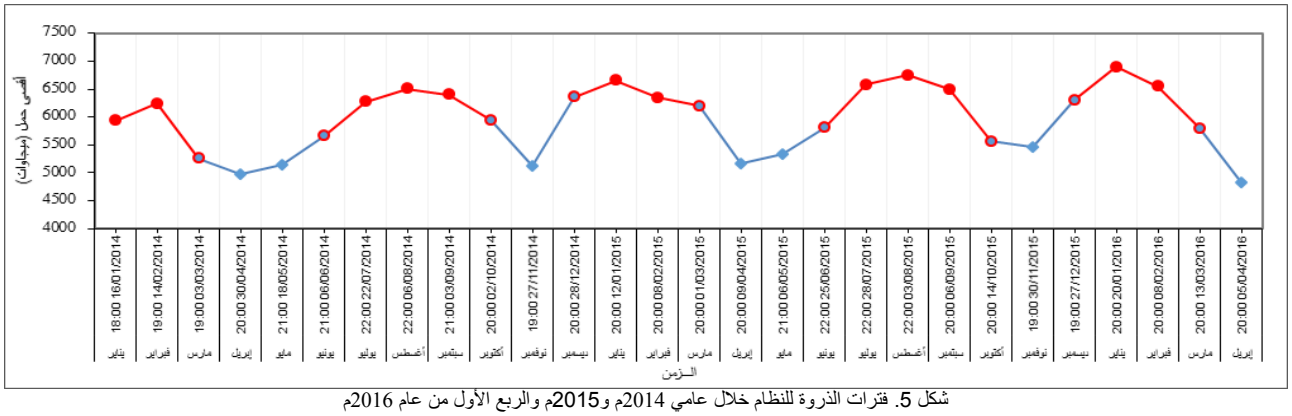
شكل 4. نسبة استهلاك القطاعات المختلفة من الطاقة الكهربائية مع الفاقد التجاري

ج. تحديد أوقات الذروة للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام خلال العام

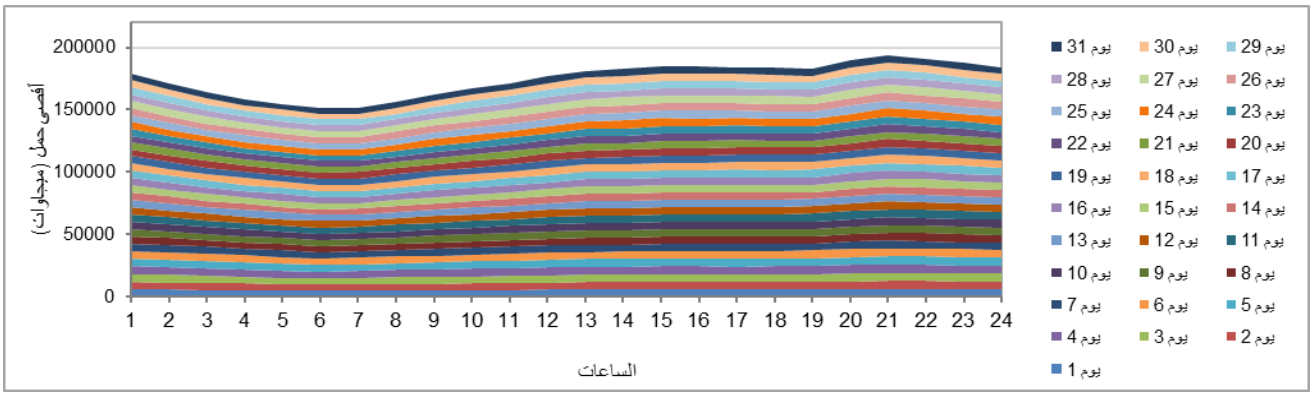
لتحديد أوقات الذروة للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام خلال العام، فقد تم تجميع بيانات أقصى حمل يصل إليه النظام كقيمة وزمن حدوثه خلال عام 2014م وعام 2015م والربع الأول من عام 2016م، ثم رسم العلاقة بين أقصى حمل وزمن حدوثه كما هو موضح في شكل (5). نستنتج من الشكل حدوث ذروتين خلال العام للطلب على الطاقة الكهربائية. الذروة الأولى تحدث خلال شهر يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر وتسمى بالذروة الصيفية. أما الذروة الثانية تحدث خلال شهر ديسمبر ويناير وفبراير وتسمى بالذروة الشتوية.

د. تحديد فترة الذروة الصيفية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام

لتحديد فترة الذروة الصيفية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام فقد تم تجميع البيانات الخاصة بأقصى طلب على الطاقة الكهربائية للنظام خلال الأشهر (يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر) لعام 2015م وزمن حدوثه. نظراً لكبر حجم البيانات فقد تم تحليلها من خلال الخريطة الحرارية (Heat Map) لتحديد الفترات الحرجة للنظام بواسطة برنامج اكسل والتي من خلالها نستطيع بكل سهولة تحديد أحمال الذروة الصيفية (الشهرية واليومية) للنظام وزمن حدوثها. من خلال بيانات الخريطة الحرارية لشهر أغسطس رُسمت العلاقة بين أقصى حمل وزمن حدوثه كما هو موضح في الشكل (6). نستنتج من الشكل أن فترة الذروة اليومية للنظام تحدث ما بين الساعة 8 مساءً و10 ليلاً وسوف تُقارن مع الذروة اليومية للقطاع السكني لتحديد مدى تأثر القطاع السكني في الذروة الصيفية.



شكل 5. فترات الذروة للنظام خلال عامي 2014م و2015م والربع الأول من عام 2016م



شكل 6. فترات الذروة اليومية للنظام خلال شهر أغسطس لعام 2015م

لدراسة سلوك استهلاك المستهلكين، أخذت عينة لعدد 80 مبنى في مدينتي طرابلس وبنغازي اشتملت على ثلاثة أنواع من المباني السكنية (المساكن الشعبية والشقق والفيلات)، وأخذت القياسات للعينة خلال فترتين الصيف والشتاء. تم حساب حجم العينة بواسطة برنامج المعروف (Sample Size Calculator). من خلال تحليل بيانات عينة الدراسة تبين أن المصابيح المتوهجة التقليدية هي الأكثر استخداما في ليبيا بنسبة 86%، ثم المصابيح الفلورسنت المدمجة بنسبة 12%، ويليها المصابيح الفلورسنت العادية بنسبة 2%. بعد ذلك عولجت هذه القراءات وأخذ متوسط الحمل في الساعة لكل مبنى على حدي، ومنها أُخذ متوسط الحمل لكل متر مربع لكل مبنى. بعدها تم حساب متوسط الحمل للساعة لجميع المباني للأحمال الصيفية كما موضح في الجدول (1). بالمثل قيست الأحمال الشتوية بنفس الطريقة. من خلال هذه البيانات تم دراسة سلوك استهلاك الأجهزة المنزلية للطاقة الكهربائية لمعرفة فترة الذروة اليومية لهذه الأجهزة وهل هي متزامنة مع ذروة النظام أم لا.

هـ. تحديد فترة الذروة اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية خلال فصل الصيف في القطاع السكني

لتحديد فترة الذروة اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية خلال فصل الصيف في القطاع السكني، فقد تم تجميع القياسات الخاصة باستهلاك الأجهزة الكهربائية المنزلية من الطاقة في القطاع السكني خلال اليوم لكل متر مربع (م²) لفصل الصيف كما هو موضح في الجدول (1). من الجدول (1) رُسِمت العلاقة بين الأحمال اليومية للقطاع السكني في فصل الصيف وزمن حدوثها كما هو موضح في شكل (7). نستنتج من الشكل أن ذروة الأحمال اليومية في فصل الصيف للقطاع السكني تحدث عند الساعة 11 ليلا، وتكون متأخرة على الذروة اليومية للنظام كما هو موضح في الشكل السابق(6)، مع حدوث ارتفاع ثاني في الأحمال السكنية في الفترة الصباحية، وهذا يتناسب مع طبيعة الأحمال السكنية. من خلال الجدول (1) حُسبت نسبة استهلاك الأجهزة المنزلية من الطاقة الكهربائية حسب الآتي:

$$\text{نسبة استهلاك الإنارة للطاقة الكهربائية} = \frac{\text{إجمالي استهلاك الإنارة}}{\text{الإجمالي الاستهلاك الكلي}} \times 100$$

$$= \frac{0.05948}{0.18559} \times 100$$

$$\text{نسبة استهلاك الإنارة للطاقة الكهربائية} = 32.048\%$$

وبذلك تكون نسبة استهلاك الإنارة للطاقة الكهربائية في القطاع السكني 32.048% من الإجمالي اليومي للطاقة الكهربائية المستهلكة في المنزل، وبالتالي تعتبر من أكبر الأجهزة استهلاكاً للطاقة الكهربائية. بنفس الطريقة يتم حساب نسبة استهلاك باقي الأجهزة من الطاقة الكهربائية كما هو موضح في الجدول (1).

و. حساب نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في فصل الصيف

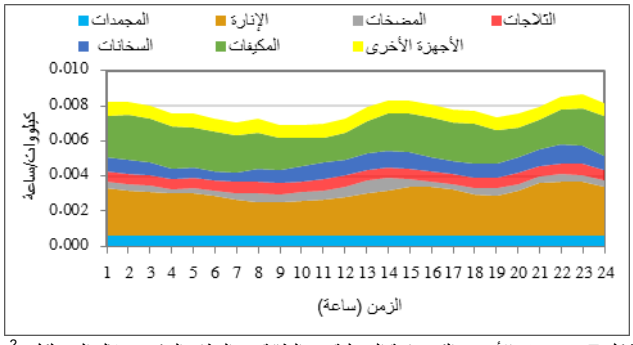
لتحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في فصل الصيف فقد جُمعت البيانات الخاصة بكمية الطاقة الكهربائية المنتجة لكل شهر خلال عامي (2014م، 2015م). بعد ذلك خُصمت كمية الفاقد الفني منها والذي بلغ نسبته حوالي 16% من إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة. بعد ذلك تم حساب نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال فصل الصيف للأشهر (يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر) لمتوسط عامي (2014م، 2015م) والتي بلغت حوالي 36.416% من إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة لمتوسط نفس العامين كما هو موضح في الشكل (8).

ز. تحديد فترة الذروة الشتوية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام

لتحديد فترة الذروة الشتوية للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام فقد تم تحديده بنفس الخطوات المتبعة في تحديد فترة الذروة الصيفية. نستنتج من ذلك أن فترة الذروة اليومية للنظام تحدث ما بين الساعة 7 مساءً و10 ليلاً، وسوف تُقارن مع الذروة اليومية للقطاع السكني لتحديد مدى تأثر القطاع السكني بالذروة الشتوية.

ح. تحديد فترة الذروة الشتوية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية في القطاع السكني

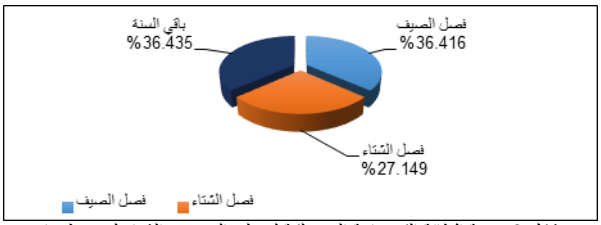
لتحديد فترة الذروة اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية خلال فصل الشتاء في القطاع السكني فقد حُددَ بنفس الخطوات المتبعة في تحديد فترة الذروة اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية خلال فصل الصيف في القطاع السكني. نستنتج من ذلك أن ذروة الأحمال اليومية في فصل الشتاء للقطاع السكني تتزامن مع ذروة الأحمال اليومية للنظام، مع حدوث ارتفاع ثاني في الأحمال السكنية في الفترة الصباحية وهذا يتناسب مع طبيعة الأحمال السكنية.



شكل 7. استهلاك الأجهزة الكهربائية المنزلية من الطاقة في القطاع السكني خلال اليوم لكل م^2

جدول 1. متوسط أحمال الأجهزة الكهربائية من الطاقة في القطاع السكني خلال اليوم للمتر المربع خلال فصل الصيف (ك. كيلو، و. وات، س. ساعة)

الساعة	متوسط الأحمال لكل (ك. و/س)							
	المجمدات	الإنارة	المضخات	الثلاجات	السخانات	المكيفات	الأجهزة	الإجمالي
0	0.000581	0.0027	0.00039	0.000613	0.000784	0.002364	0.000763	0.00820
1	0.000605	0.002566	0.000349	0.00061	0.000783	0.002572	0.000763	0.00825
2	0.000607	0.002516	0.000321	0.000619	0.000685	0.002496	0.000763	0.00801
3	0.000593	0.002434	0.000219	0.000619	0.000569	0.002385	0.000763	0.00758
4	0.000602	0.002432	0.000254	0.000619	0.00056	0.002299	0.000763	0.00753
5	0.000612	0.00224	0.000302	0.000619	0.000514	0.002258	0.000763	0.00731
6	0.000636	0.00204	0.000379	0.000602	0.000527	0.00211	0.000763	0.00706
7	0.000643	0.001861	0.000547	0.000599	0.000742	0.002104	0.000763	0.00726
8	0.000617	0.001927	0.000431	0.000617	0.000728	0.001851	0.000763	0.00693
9	0.000614	0.001935	0.000534	0.000606	0.000894	0.001558	0.000763	0.00690
10	0.000623	0.002055	0.000526	0.000605	0.000967	0.001425	0.000763	0.00696
11	0.000611	0.002197	0.000603	0.00061	0.000936	0.001523	0.000763	0.00724
12	0.000622	0.002436	0.000669	0.000598	0.000998	0.001817	0.000763	0.00790
13	0.00062	0.002573	0.000694	0.000591	0.000959	0.002118	0.000763	0.00832
14	0.000615	0.00281	0.000402	0.000594	0.000945	0.002202	0.000763	0.00833
15	0.000614	0.002748	0.00032	0.000602	0.000787	0.002275	0.000763	0.00811
16	0.000599	0.002639	0.000292	0.000597	0.000714	0.002189	0.000763	0.00779
17	0.000579	0.002402	0.000326	0.000595	0.000827	0.00222	0.000763	0.00771
18	0.00058	0.002292	0.000423	0.000595	0.000788	0.001941	0.000763	0.00738
19	0.000578	0.002594	0.0004	0.00061	0.000902	0.001708	0.000763	0.00756
20	0.00058	0.003009	0.000384	0.00059	0.000979	0.001671	0.000744	0.00796
21	0.000581	0.003106	0.000418	0.000608	0.001091	0.001959	0.000763	0.00853
22	0.000574	0.003129	0.000377	0.000609	0.00102	0.002161	0.000763	0.00863
23	0.000572	0.002836	0.000358	0.0006	0.000786	0.002245	0.000744	0.00814
الإجمالي	0.01446	0.05948	0.00992	0.01453	0.01949	0.04945	0.01827	0.18559
النسبة	7.790%	32.048%	5.344%	7.828%	10.499%	26.645%	9.846%	100%



شكل 8. نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة لفصلي الصيف والشتاء لمتوسط عامي (2014 م، 2015م)

بنفس الطريقة التي حسبت بها نسبة الاستهلاك اليومي للأجهزة المنزلية من الطاقة الكهربائية في الفترة الصيفية تم حساب نسبة الاستهلاك اليومي للأجهزة المنزلية من الطاقة الكهربائية في الفترة الشتوية. وجد أن نسبة استهلاك السخانات من الطاقة الكهربائية في القطاع السكني 29.894% من الإجمالي اليومي للطاقة الكهربائية المستهلكة في المنزل، وهي بذلك تعتبر من أكبر الأجهزة استهلاكاً للطاقة الكهربائية في فصل الشتاء.

ط. حساب نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في فصل الشتاء

لتحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في فصل الشتاء فقد تم تحديده بنفس الخطوات المتبعة في تحديد نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في فصل الصيف كما موضح في الشكل (8).

ي. حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني من عام 2017م إلى عام 2025م

بناءً على الدراسة التي قام بها الاستشاري (شركة KEPCO) عام 2008م للتنبؤ بكمية الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاعات المختلفة من عام 2009م إلى عام 2025م في ليبيا، فإن عملية التنبؤ بكمية الطلب على الطاقة الكهربائية تمت بطريقتين [3]. الطريقة الأولى

طريقة الاقتصاد القياسي Econometric Approach، والطريقة الثانية طريقة الاستخدام النهائيEnd-Use Approach. تم حساب التنبؤ بكمية الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاعات المختلفة بدون المشروعات الكبيرة، أي حسب التطور الاقتصادي والنمو السكاني الطبيعي (النمو الديموغرافي). كذلك تم حساب التنبؤ بكمية الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاعات المختلفة مع المشروعات الكبيرة، أي حسب التطور الاقتصادي والنمو السكاني الطبيعي، بالإضافة إلى المشروعات الخاصة المزمع تنفيذها من قبل بعض القطاعات في الدولة (الإسكان والمرافق، الاستثمار، الصناعة، المناطق الحرة، المطارات ...إلخ). هذه المشروعات لا تدخل ضمن النمو الطبيعي للطلب على الطاقة الكهربائية. بناءً عليه تم حساب الآتي:

1) متوسط كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها بدون ومع المشروعات الكبيرة للطريقتين (طريقة الاقتصاد القياسي وطريقة الاستخدام النهائي) من عام 2017م إلى عام 2025م. على سبيل المثال فإن متوسط كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها بالطرقتين بدون المشروعات الكبيرة لعام 2017م كالتالي:

$$\text{متوسط الطاقة المستهلكة} = \frac{\text{طريقة(الاقتصاد القياسي + الاستخدام النهائي)}}{2}$$

$$= \frac{26{,}728{,}857 + 29{,}411{,}230}{2}$$

$$\text{متوسط كمية الطاقة المستهلكة عام2017} = 28{,}070{,}044 \text{ ميجاوات/ساعة}$$

وهكذا بنفس الطريقة يتم حساب متوسط كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها بالطريقتين بدون ومع المشروعات الكبيرة لباقي الأعوام كما هو موضح بالجدول (2).

2) من الجدول (2) والشكل (4) حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة من عام 2017م إلى عام 2025م. على سبيل المثال يتم حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة لعام 2017م كالتالي:

$$\text{كمية الطاقة للقطاع السكني 2017} = \text{متوسط كمية الطاقة2017} \times$$

$$\text{نسبة استهلاك القطاع السكني}$$

$$= 28{,}070{,}044 \times \%34.62$$

$$\text{كمية الطاقة المستهلكة للقطاع السكني} = 9{,}717{,}849 \text{ ميجاوات/ساعة}$$

وهكذا بنفس الطريقة يتم حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لباقي الأعوام كما هو موضح في الجدول (3).

من خلال الجدول (3) تم حساب نسبة النمو في كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها للقطاع السكني ما بين عامي 2017م و2025م حسب الآتي:

$$\text{نسبة نمو الطاقة بدون المشاريع الكبيرة} = \frac{\text{كمية الطاقة (2017 − 2025)}}{\text{كمية الطاقة 2017}} \times 100$$

$$= \frac{9{,}717{,}849 - 14{,}751{,}358}{9{,}717{,}849} \times 100$$

$$\text{نسبة نمو الطاقة بدون المشاريع الكبيرة} = \%51.8$$

$$\text{نسبة النمو الطاقة مع المشاريع الكبيرة} = \%30.87$$

بهذا تكون نسبة النمو في كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها للقطاع السكني ما بين عامي 2017م و2025م تقدر بحوالي 51.8% بدون المشروعات الكبيرة و30.87% مع المشروعات الكبيرة.

ك. حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف والشتاء للقطاع السكني

من الجدول (3) والشكل (8) حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف والشتاء للقطاع السكني من عام 2017م إلى عام 2025م. على سبيل المثال فإن كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف للقطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة لعام 2017م كالتالي:

$$\text{كمية الطاقة للسكني صيفاً 2017} = \text{كمية الطاقة للسكني} \times$$

$$\text{نسب الاستهلاك للسكني في الصيف}$$

$$= 9{,}717{,}849 \times \%36.416$$

$$\text{كمية الطاقة في القطاع السكني صيفاً2017} = 3{,}538{,}852 \text{ ميجاوات/ ساعة}$$

وبنفس الطريقة حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف والشتاء للقطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لباقي الأعوام كما هو موضح في الجدول (4).

من خلال جدول (4) يلاحظ على سبيل المثال أن كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف للقطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة في عام 2017م بلغت 3,538,852 ميجاوات/ساعة، وتزايدت هذه الكمية بشكل كبير حتى وصلت في عام 2025 إلى 5,371,855 ميجاوات/ساعة. هذه الزيادة تستدعي إنشاء محطات توليد جديدة وكذلك توسيع شبكات النقل والتوزيع.

ل. حساب كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بواسطة الإنارة

تعتبر الإنارة من أكبر الأجهزة الكهربائية المنزلية استهلاكاً للطاقة الكهربائية في فصل الصيف، حيث بلغت نسبة استهلاك الطاقة الكهربائية لها كما هو موضح في الجدول السابق (1) حوالي 32.048% من الطاقة الكهربائية المستهلكة في القطاع السكني لفصل الصيف. وبتطبيق استراتيجية حفظ الطاقة Strategic Conservation (SC) من خلال استبدال المصابيح المتوهجة التقليدية بمصابيح الفلورسنت المدمجة Compact Fluorescent Lamp (CFL) والمعروفة في السوق الليبي بالمصابيح الاقتصادية، مما يؤدي إلى وفرة في الطاقة الكهربائية تقدر بحوالي 80% من كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصابيح المتوهجة التقليدية [5]. وبناءً على ذلك تم حساب الآتي:

من الجدول (4) والجدول (1) حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف بواسطة الإنارة للقطاع السكني من عام 2017م إلى عام 2025م. على سبيل المثال تم حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف بواسطة الإنارة للقطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة لعام 2017م كالتالي:

جدول 2. كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها من عام 2017م إلى عام 2025م (ميجاوات/ساعة)

العام	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها بدون المشروعات الكبيرة باستخدام طريقة (Econometric)	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها مع المشروعات الكبيرة باستخدام طريقة (Econometric)	كمية الطلب على الطاقة المتوقع استهلاكها بدون المشروعات الكبيرة باستخدام طريقة (End-Use)	كمية الطلب على الطاقة المتوقع استهلاكها مع المشروعات الكبيرة باستخدام طريقة (End-Use)	متوسط كمية الطلب على الطاقة المتوقع استهلاكها بدون المشروعات الكبيرة	متوسط كمية الطلب على الطاقة المتوقع استهلاكها مع المشروعات الكبيرة للطريقتين
2017	29,411,230	53,328,664	26,728,857	50,786,496	28,070,044	52,057,580
2019	32,585,380	57,388,796	29,795,788	54,493,910	31,190,584	55,941,353
2021	36,010,290	61,197,604	33,240,224	57,938,346	34,625,257	59,567,975
2023	39,721,220	65,419,664	37,110,597	61,808,719	38,415,909	63,614,192
2025	43,757,010	70,090,689	41,461,698	66,159,820	42,609,354	68,125,255

جدول 3. كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني من عام 2017م إلى عام 2025م (ميجاوات/ ساعة)

العام	متوسط كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها بدون المشروعات الكبيرة للطريقتين	متوسط كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها مع المشروعات الكبيرة	نسبة استهلاك القطاع السكني من الطاقة الكهربائية	كمية الطاقة الطلب على الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني مع
2017	28,070,044	52,057,580	%34.62	9,717,849	18,022,334
2019	31,190,584	55,941,353	%34.62	10,798,180	19,366,896
2021	34,625,257	59,567,975	%34.62	11,987,264	20,622,433
2023	38,415,909	63,614,192	%34.62	13,299,588	22,023,233
2025	42,609,354	68,125,255	%34.62	14,751,358	23,584,963

جدول 4. كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف والشتاء للقطاع السكني من عام 2017م إلى عام 2025م (ميجاوات/ ساعة)

العام	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني مع المشروعات الكبيرة	نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة صيفاً للقطاع السكني	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني صيفاً بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني صيفاً مع المشروعات الكبيرة	نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة شتاءً للقطاع السكني	كمية الطلب على الطاقة المتوقع استهلاكها شتاءً في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها شتاءً في القطاع السكني مع المشروعات الكبيرة
2017	9.717.849	18.022.334	36.416%	3.538.852	6.563.013	27.149%	2.638.299	4.892.884
2019	10,798,180	19,366,896	36.416%	3,932,265	7,052,649	27.149%	2,931,598	5,257,919
2021	11,987,264	20,622,433	36.416%	4,365,282	7,509,865	27.149%	3,254,422	5,598,784
2023	13,299,588	22,023,233	36.416%	4,843,178	8,019,981	27.149%	3,610,705	5,979,088
2025	14,751,358	23,584,963	36.416%	5,371,855	8,588,700	27.149%	4,004,846	6,403,082

جدول 5. كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها بواسطة الإنارة للقطاع السكني في فصل الصيف من عام 2017م إلى عام 2025م (ميجاوات/ ساعة)

العام	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها صيفاً في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها صيفاً للقطاع السكني مع المشروعات الكبيرة	نسبة استهلاك الإنارة في القطاع السكني في فصل الصيف	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقعة لاستهلاك الإنارة صيفاً في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقعة لاستهلاك الإنارة صيفاً في القطاع السكني مع
2017	3,538,852	6,563,013	32.048%	1,134,131	2,103,314
2019	3,932,265	7,052,649	32.048%	1,260,212	2,260,233
2021	4,365,282	7,509,865	32.048%	1,398,986	2,406,762
2023	4,843,178	8,019,981	32.048%	1,552,142	2,570,243
2025	5,371,855	8,588,700	32.048%	1,721,572	2,752,507

جدول 6. كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بواسطة استخدام المصابيح (CFL) للقطاع السكني في فصل الصيف من عام 2017م إلى عام 2025م (ميجاوات/ساعة)

العام	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقعة لاستهلاك الإنارة صيفاً في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقعة لاستهلاك الإنارة صيفاً في القطاع السكني مع المشروعات الكبيرة	نسبة استخدام المصابيح المتوهجة التقليدية	كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة بواسطة المصابيح المتوهجة التقليدية للقطاع السكني صيفاً بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطاقة المستهلكة بواسطة المصابيح المتوهجة التقليدية للقطاع السكني صيفاً مع المشروعات الكبيرة	نسبة الإنجاز في المصابيح الفلورسنت المدمجة (CFLS) من نسبة التوفير	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة صيفاً بدون المشروعات الكبيرة	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة صيفاً مع المشروعات الكبيرة
2017	1.134.131	2.103.314	86%	975.353	1.808.850	1%	9.754	18.089
2019	1,260,212	2,260,233	86%	1,083,783	1,943,800	8%	86,703	155,504
2021	1,398,986	2,406,762	86%	1,203,128	2,069,815	24%	288,751	496,756
2023	1,552,142	2,570,243	86%	1,334,842	2,210,409	48%	640,724	1,060,996
2025	1,721,572	2,752,507	86%	1,480,552	2,367,156	80%	1,184,442	1,893,725

الطاقة المستهلكة في الإنارة2017 = الطاقة المستهلكة للسكني صيفاً × نسبة استهلاك الإنارة

= 3,538,852 × %32.048 = 1,134,131 ميجاوات/ساعة

وهكذا بنفس الطريقة حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف بواسطة الإنارة للقطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لباقي الأعوام كما هو موضح في الجدول (5).

2) من الجدول (5) حُسبت كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها بواسطة المصابيح المتوهجة التقليدية وذلك بتطبيق نسبة استخدام المصابيح المتوهجة التقليدية في القطاع السكني والتي بلغت نسبة 86% من إجمالي المصابيح المستخدمة من عام 2017م إلى عام 2025م في فصل الصيف. على سبيل المثال تم حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف بواسطة المصابيح المتوهجة للقطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة لعام 2017م كالتالي:

كمية الطاقة للمصابيح المتوهجة2017 = الطاقة المستهلكة في الإنارة × نسبة المصابيح المتوهجة

= 1,134,131 × %86 = 975,353 ميجاوات/ساعة

وهكذا حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف بواسطة المصابيح المتوهجة للقطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لباقي الأعوام كما هو موضح في الجدول (6).

من خلال ذلك تم حساب كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بواسطة استخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة والتي توفر حوالي 80% من الطاقة المستهلكة بواسطة المصابيح المتوهجة التقليدية للقطاع السكني في فصل الصيف من عام 2017م إلى عام 2025م على فرض أن عدد المصابيح CFLs المستبدلة تعادل نسبة (1%، 8%، 24%، 48%، 80%) من نسبة التوفير على التوالي من عام 2017م إلى عام 2025م، وذلك حتى نتمكن من استبدالها عملياً. على سبيل المثال حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في فصل الصيف بواسطة استخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة للقطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة لعام 2017م كالتالي:

كمية الطاقة المتوقع توفيرها 2017 = كمية الطاقة للمصابيح المتوهجة × نسبة التوفير

= 975,353 × 1% = 9,754 ميجاوات/ساعة

وهكذا بنفس الطريقة حُسبت كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في فصل الصيف بواسطة استخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة للقطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لباقي الأعوام كما هو موضح في الجدول (6).

3) من خلال الجدول (6) حُسبت القيمة المالية للطاقة الكهربائية التي من المتوقع توفيرها في القطاع السكني من خلال تطبيق استراتيجية حفظ الطاقة باستخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة في فصل الصيف من عام 2017م إلى عام 2025م حسب سعر التكلفة للطاقة الكهربائية (0.1293) (دينار/ك. و. س). على سبيل المثال تم حساب القيمة المالية للطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بسعر التكلفة في فصل الصيف بواسطة استخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة للقطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة لعام 2017م كالتالي:

القيمة المالية للطاقة 2017 = كمية الطاقة المتوقع توفيرها بمصابيح CFLs × سعر التكلفة

= 9,754 × 1000 × 0.1293

القيمة المالية للطاقة المتوقع توفيرها 2017 = 1,261,192 دينار ليبي

وهكذا بنفس الطريقة حُسبت القيمة المالية للطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بسعر التكلفة في فصل الصيف بواسطة استخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة للقطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لباقي الأعوام كما هو موضح في الجدول (7).

م- حساب كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بواسطة السخانات

بلغ نسبة استهلاك السخانات للطاقة الكهربائية حوالي 29.894% من الطاقة الكهربائية المستهلكة في القطاع السكني لفصل الشتاء. كذلك تعتبر السخانات من أكثر الأجهزة انتشاراً بسبب رخص ثمنها مقارنة بسخانات الطاقة الشمسية، وكذلك بسبب رخص ثمن الطاقة الكهربائية في القطاع السكني نتيجة لدعم الحكومة. من خلال التطور التكنولوجي الذي يشهده العالم هذه الأيام وخصوصا تكنولوجيا الطاقة الشمسية في تسخين المياه بالمنازل وما توفره هذه التقنية من الطاقة الكهربائية والتي تصل إلى حوالي 70% من الطاقة المستهلكة بواسطة السخانات العادية المستخدمة في ليبيا حسب النتائج المتحصل عليها من مشاريع تجريبية ميدانية في ليبيا [6]. بناءً على ذلك تم حساب الآتي:

1) من الجدول (4) تم حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الشتاء بواسطة السخانات للقطاع السكني من عام 2017م إلى عام 2025م. تم ذلك بتطبيق نسبة استهلاك السخانات من الطاقة الكهربائية للقطاع السكني والتي تم احتسابها من خلال قياس استهلاك الأجهزة الكهربائية المنزلية للطاقة الكهربائية التي تمت على المنازل والذي بلغت نسبته 29.894%. تم ذلك بنفس الخطوات المتبعة في حساب كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في فصل الصيف بواسطة الإنارة للقطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لجميع الأعوام كما هو موضح في الجدول (8).

2) من الجدول (8) تم حساب كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بواسطة استخدام السخانات الشمسية والتي توفر حوالي 70% من الطاقة التي تستهلكها السخانات المركبة حاليا في ليبيا للقطاع السكني خلال فصل الشتاء من عام 2017م إلى عام 2025م، على فرض أن عدد السخانات الشمسية المستبدلة تعادل نسبة (1%، 5%، 17%، 38%، 70%) من نسبة التوفير على التوالي من عام 2017م إلى عام 2025م. هذه النسبة تم فرضها لإمكانيه من تحقيقها عملياً كما هو موضح في الجدول (9).

3) من الجدول (9) تم حساب القيمة المالية للطاقة الكهربائية التي من المتوقع توفيرها في القطاع السكني من خلال تطبيق استراتيجية حفظ الطاقة بواسطة استخدام السخانات الشمسية في فصل الشتاء من عام 2017م إلى عام 2025م بسعر التكلفة. تم ذلك بنفس الخطوات المتبعة في حساب القيمة المالية للطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بسعر التكلفة في فصل الصيف بواسطة استخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة للقطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لجميع الأعوام كما هو موضح في الجدول (10).

ن- إجمالي كمية وقيمة الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها

من الجدول (7) والجدول (10) تم حساب إجمالي كمية الطاقة الكهربائية التي من المتوقع توفيرها في القطاع السكني بدون ومع المشروعات الكبيرة لجميع الأعوام كما هو موضح في الجدول (11). وعليه نستنتج الآتي:

نستنتج من الجدولين (4) و(11) أن كمية الطاقة الكهربائية التي من المتوقع توفيرها حتى عام 2025م من خلال تطبيق بعض استراتيجيات DSEM على الأجهزة الكهربائية المنزلية المستهدفة (الإنارة والسخانات) فقط خلال فصلي (الصيف والشتاء) تقدر بحوالي 22% من كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني خلال نفس الفصلين في عام 2025م قبل تطبيق DSEM. هذين الفصلين يكون فيهما الطلب على الطاقة الكهربائية في أقصى ذروته للنظام خلال العام، ولهذا التخفيض فيهما يحد من التوسع في إنشاء محطات التوليد جديدة كما هو موضح في الشكل (9). يبين شكل (9) أن القدرة الإنتاجية المطلوبة لتغطية الحمل في عام 2025م هي نفس القدرة الإنتاجية المطلوبة في عام 2021م تقريباً، وهو أحد أهداف إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية للحد من التوسع في إنشاء محطات التوليد جديدة. كما نستنتج أيضاً أن القيمة المالية التي من المتوقع توفيرها حتى عام 2025م بواسطة (الإنارة والسخانات) تقدر بحوالي 261,507,653 دينار ليبي بدون المشروعات الكبيرة 418,107,146 دينار ليبي مع المشروعات الكبيرة حسب سعر التكلفة. هذه القيمة تمثل حوالي 48% بدون المشروعات الكبيرة و76% مع المشروعات الكبيرة من تكلفة إنشاء محطة توليد جديدة بسعة 750 ميجاوات والتي تقدر بحوالي 547,000,000 دينار ليبي[3].

جدول 7. القيمة المالية لسعر التكلفة المتوقع توفيرها بواسطة استخدام المصابيح (CFLs) للقطاع السكني في فصل الصيف من عام 2017م إلى عام 2025م

العام	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقعة لاستهلاك السخانات شتاءً في القطاع السكني بدون المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقعة لاستهلاك السخانات شتاءً في القطاع السكني مع المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	نسبة التوفير في سخانات الطاقة الشمسية	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام سخانات الطاقة الشمسية شتاءً بدون المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام سخانات الطاقة الشمسية شتاءً مع المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)
2017	788,693	1,462,679	1%	7,887	14,627
2019	876,372	1,571,802	5%	43,819	78,590
2021	972,877	1,673,701	17%	165,389	284,529
2023	1,079,384	1,787,388	38%	410,166	679,208
2025	1,197,209	1,914,137	70%	838,046	1,339,896

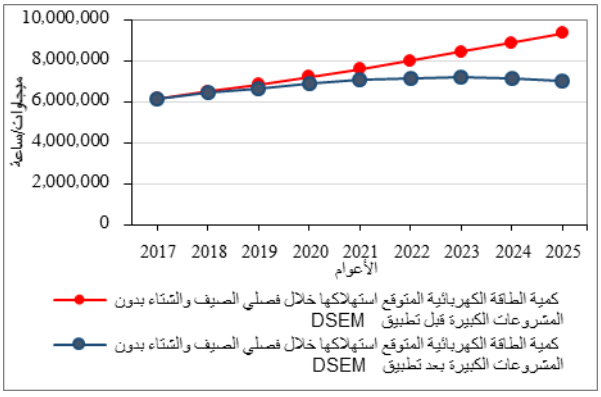
جدول 8. كمية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاك بواسطة السخانات في القطاع السكني في فصل الشتاء من عام 2017م إلى عام 2025م

العام	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة صيفاً بدون المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة صيفاً مع المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	سعر التكلفة (دينار/ك. و. س)	القيمة المالية بسعر التكلفة لكمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها للقطاع السكني باستخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة صيفاً بدون المشروعات الكبيرة (دينار ليبي)	القيمة المالية بسعر التكلفة لكمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها للقطاع السكني باستخدام المصابيح الفلورسنت المدمجة صيفاً مع المشروعات الكبيرة (دينار ليبي)
2017	9,754	18,089	0.1293	1,261,131	2,338,844
2019	86,703	155,504	0.1293	11,210,648	20,106,671
2021	288,751	496,756	0.1293	37,335,456	64,230,498
2023	640,724	1,060,996	0.1293	82,845,621	137,186,843
2025	1,184,442	1,893,725	0.1293	153,148,289	244,858,586

جدول 9. كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها بواسطة استخدام سخانات الطاقة الشمسية في القطاع السكني في فصل الشتاء من عام 2017م إلى عام 2025م

البيان		قبل تطبيق DSEM		بعد تطبيق DSEM	
		بدون المشروعات الكبيرة	مع المشروعات الكبيرة	بدون المشروعات الكبيرة	مع المشروعات الكبيرة
استهلاك الإنارة المتوقع في فصل الصيف عام 2025م	الكمية (ميجاوات/ساعة)	1,480,552	2,367,156	296,110	473,431
	القيمة (دينار ليبي)	191,435,374	306,073,271	38,287,023	61,214,628
استهلاك السخانات المتوقع في فصل الشتاء عام	الكمية (ميجاوات/ساعة)	1,197,209	1,914,137	359,163	574,241
	القيمة (دينار ليبي)	154,799,124	247,497,914	46,439,776	74,249,361
الإجمالي	الكمية (ميجاوات/ساعة)	2,677,761	4,281,293	655,273	1,047,672
	القيمة (دينار ليبي)	346,234,498	553,571,185	84,726,799	135,463,989

هذه المبالغ تم التوصل إليها من خلال تنفيذ DSEM على قطاع واحد وعدد اثنين أجهزة كهربائية فقط. كما يلاحظ أن كمية وقيمة الطاقة الكهربائية التي من المتوقع استهلاكها للأجهزة المنزلية (الإنارة والسخانات) في القطاع السكني عام 2025م قبل وبعد تطبيق بعض استراتيجيات إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية وكما هو موضح في الجدول (12) سوف تساهم في تخفيض التكاليف اللازمة لتوليد الطاقة الكهربائية المطلوبة لتغطية احتياجات المستهلكين.



شكل 9. كمية الطاقة المستهلكة خلال فصلي الصيف والشتاء قبل وبعد تطبيق DSEM

س- المنافع البيئية

يمكن تقدير المنافع البيئية من خلال حساب كمية انبعاث الغازات الضارة بالبيئة والناتجة من توليد الطاقة الكهربائية من الوقود الأحفوري وذلك حسب الكميات الموضحة في الجدول (13) [7]. واستناداً على ذلك يمكن تقدير كمية الغازات الضارة والمواد الملوثة للبيئة، والتي من المتوقع تخفيضها في حالة تطبيق بعض استراتيجيات إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها. وعليه تم حساب الآتي:

1) من الجدول (11) والجدول (13) تم حساب كمية الغازات الضارة والمواد الملوثة للبيئة التي من المتوقع تخفيضها من خلال تطبيق DSEM على (الإنارة والسخانات) بدون المشروعات الكبيرة خلال فصلي (الصيف والشتاء) من عام 2017م إلى عام 2025م كما يلي:

$$\text{الكمية المتوقع تخفيضها من غاز}(CO_2)\ 2017 =$$
$$\text{كمية الطاقة المتوقع توفيرها} \times \text{كمية}(CO_2)\ (\text{ك. و. س/عام})$$
$$0.76 \times 1000 \times 17,640 =$$
$$13,406,400 \text{ كجم} =$$

وهكذا يتم حساب باقي الملوثات لباقي الأعوام بنفس الخطوات السابقة كما هو موضح في الجدول (14).

2) من الجدول (11) والجدول (13) تم حساب كمية الغازات الضارة والمواد الملوثة للبيئة التي من المتوقع تخفيضها من خلال تطبيق بعض استراتيجيات DSEM على (الإنارة والسخانات) مع المشروعات الكبيرة خلال فصلي (الصيف والشتاء) وبنفس الخطوات المتبعة في الفقرة (1). وجد أن كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المسبب الرئيسي للاحتباس الحراري من المتوقع تخفيضه في عام 2025م بحوالي 2,457,552طن، وتخفيض أكاسيد النيتروجين بحوالي 1,843طن، وتخفيض غاز ثاني أكسيد الكبريت بحوالي 1,455 طن، وتقليل الرماد بحوالي 3,654 طن. هذه النتائج تحققت من خلال تطبيق بعض من استراتيجيات إدارة جانب الطلب على عدد اثنين فقط من الأجهزة المنزلية في القطاع السكني. لهذا ستكون النتائج أكثر جدوى عندما يتم تطبيق كل استراتيجيات إدارة الطلب على الطاقة الكهربائية على جميع القطاعات.

جدول 13. معدلات انبعاث الغازات والمواد الملوثة للبيئة الناتجة من توليد الطاقة الكهربائية [7] ك. كيلو، و. وات، س. ساعة

الملوث	كمية الملوث كجم لكل (1 ك. و. س/عام)	الأضرار
ثاني أكسيد الكربون (CO_2)	0.76	المسبب الرئيسي للاحتباس الحراري
أكاسيد النيتروجين (NOX)	0.00057	مادة كيميائية على شكل دخان مضبب وينتج عنها الأمطار الحمضية
ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)	4.50E-04	قد يسبب أضرار دائمة للرئتين
الرماد (ASH)	1.13E-06	قد يسبب حساسية وأضرار بالأنف، الحنجرة، القصبة الهوائية والرئتين

جدول 10. القيمة المالية لسعر التكلفة المتوقع توفيرها بواسطة استخدام سخانات الطاقة الشمسية في القطاع السكني في فصل الشتاء من عام 2017م إلى عام 2025م

العام	إجمالي كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني من خلال تطبيق بعض استراتيجيات DSEM بدون المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	إجمالي كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني من خلال تطبيق بعض استراتيجيات DSEM مع المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	إجمالي القيمة المالية بسعر التكلفة لكمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها للقطاع السكني من خلال تطبيق بعض استراتيجيات DSEM بدون المشروعات الكبيرة (دينار ليبي)	إجمالي القيمة المالية بسعر التكلفة لكمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها للقطاع السكني من خلال تطبيق بعض استراتيجيات DSEM مع المشروعات الكبيرة (دينار ليبي)
2017	17,640	32,715	2,280,911	4,230,087
2019	130,521	234,094	16,876,392	30,268,372
2021	454,140	781,285	58,720,265	101,020,111
2023	1,050,890	1,740,204	135,880,082	225,008,386
2025	2,022,488	3,233,621	261,507,653	418,107,146

جدول 11. إجمالي كمية الطاقة والقيمة المالية لسعر التكلفة التي من المتوقع تحقيقها في القطاع السكني من خلال تطبيق DSEM على (الإنارة-السخانات) خلال فصلي الصيف والشتاء من عام 2017م إلى عام 2025م

العام	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام DSEM مع المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ ساعة)	كمية التخفيض			
		ثاني أكسيد الكربون (CO_2) (طن)	أكاسيد النيتروجين (Nox) (طن)	ثاني أكسيدا لكبريت (SO_2) (طن)	الرماد (Ash) (طن)
2017	17,640	13,406	10	8	0.020
2019	130,521	99,196	74	59	0.147
2021	454,140	345,146	259	204	0.513
2023	1,050,890	798,676	599	473	1.188
2025	2,022,488	1,537,091	1,153	910	2.285

جدول 12. كمية وقيمة الطاقة الكهربائية التي من المتوقع استهلاكها للأجهزة المنزلية (الإنارة والسخانات) في القطاع السكني عام 2025م قبل وبعد تطبيق DSEM

العام	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام سخانات الطاقة الشمسية شتاءً بدون المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام سخانات الطاقة الشمسية شتاءً مع المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ساعة)	سعر التكلفة (دينار/ك. و. س)	القيمة المالية بسعر التكلفة لكمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها للقطاع السكني باستخدام سخانات الطاقة الشمسية شتاءً بدون المشروعات الكبيرة (دينار ليبي)	القيمة المالية بسعر التكلفة لكمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها للقطاع السكني باستخدام سخانات الطاقة الشمسية شتاءً مع المشروعات الكبيرة (دينار ليبي)
2017	7,887	14,627	0.1293	1,019,780	1,891,243
2019	43,819	78,590	0.1293	5,665,744	10,161,701
2021	165,389	284,529	0.1293	21,384,809	36,789,613
2023	410,166	679,208	0.1293	53,034,461	87,821,543
2025	838,046	1,339,896	0.1293	108,359,364	173,248,560

جدول 13. كمية الغازات الضارة والمواد الملوثة للبيئة التي من المتوقع تخفيضها من خلال تطبيق DSEM على (الإنارة والسخانات) بدون المشروعات الكبيرة من عام 2017م إلى عام 2025م

العام	كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توفيرها في القطاع السكني باستخدام DSEM مع المشروعات الكبيرة (ميجاوات/ ساعة)	كمية التخفيض			
		ثاني أكسيد الكربون (CO_2) (طن)	أكاسيد النيتروجين (Nox) (طن)	ثاني أكسيدا لكبريت (SO_2) (طن)	الرماد (Ash) (طن)
2017	17,640	13,406	10	8	0.020
2019	130,521	99,196	74	59	0.147
2021	454,140	345,146	259	204	0.513
2023	1,050,890	798,676	599	473	1.188
2025	2,022,488	1,537,091	1,153	910	2.285

5. الخلاصة

هدفت الورقة إلى إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية للقطاع السكني بليبيا من خلال دراسة الأحمال الحالية لمنظومة الكهرباء وتحديد السلوك التي تتبعها الأحمال خلال السنة. أظهرت نتائج الدراسة حدوث ذروتين على طلب الطاقة الكهربائية خلال السنة. الذروة الأولى تحدث خلال شهر يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر، وتسمى بالذروة الصيفية. أما الذروة الثانية تحدث خلال شهر ديسمبر ويناير وفبراير، وتسمى بالذروة الشتوية. فترة الذروة الصيفية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام تحدث ما بين الساعة 8:00 مساءً و10:00 ليلاً، بينما تحدث فترة الذروة الصيفية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية للقطاع السكني ما بين الساعة 10:00 ليلاً والساعة 24:00 منتصف الليل وتكون متأخرة على الذروة اليومية للنظام. إلا أن مقدار كبير من الأحمال اليومية للقطاع السكني في الصيف تحدث عند حدوث ذروة النظام. أما فترة الذروة الشتوية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية في النظام تحدث ما بين الساعة 7:00 مساءً و10:00 ليلاً. بينما تحدث فترة الذروة الشتوية اليومية للطلب على الطاقة الكهربائية للقطاع السكني ما بين الساعة 8:00 ليلاً والساعة 24:00 منتصف الليل، وتكون متزامنة مع الذروة اليومية للنظام مع حدوث ذروة أخري للقطاع السكني في الفترة الصباحية.

أظهرت النتائج أن القطاع السكني يعتبر من أكبر القطاعات استهلاكاً للطاقة الكهربائية في ليبيا حيث بلغت كمية الطاقة الكهربائية التي يستهلكها في السنة حوالي 8,270,109 ميجاوات/ساعة، ونسبة استهلاكه للطاقة الكهربائية من الإجمالي الكلي للطاقة الكهربائية المستهلكة تقدر بحوالي 34.620%. كذلك وجد أن الإنارة تعتبر من أكبر الأجهزة المنزلية استهلاكاً للطاقة الكهربائية في فصل الصيف للقطاع السكني، حيث بلغت نسبة استهلاكها حوالي 32.048 % من الاستهلاك الكلي للمنزل. في المقابل

تعتبر السخانات من أكبر الأجهزة المنزلية استهلاكاً للطاقة الكهربائية في فصل الشتاء، حيث بلغت نسبة استهلاكها حوالي 29.894 % من الاستهلاك الكلي للمنزل. كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني لفصل الصيف عام 2025م تقدر بحوالي 5,371,855 ميجاوات/ساعة بدون المشروعات الكبيرة و8,588,700 ميجاوات/ساعة مع المشروعات الكبيرة. بينما كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني لفصل الشتاء عام 2025م تقدر بحوالي 4,004,846 ميجاوات/ساعة بدون المشروعات الكبيرة و6,403,082 ميجاوات/ساعة مع المشروعات الكبيرة. كذلك أظهرت النتائج تحقيق وفرة في كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في القطاع السكني من خلال تطبيق إدارة جانب الطلب على الطاقة الكهربائية على الأجهزة الكهربائية المنزلية (الإنارة والسخانات) خلال فصلي (الصيف-الشتاء) عام 2025م تقدر بحوالي 2,022,488 ميجاوات/ساعة بدون المشروعات الكبيرة، و3,233,621 ميجاوات/ساعة مع المشروعات الكبيرة. هذه الوفرة تقدر بنسبة 22% من كمية الطاقة الكهربائية المتوقع استهلاكها في القطاع السكني لنفس الفصلين قبل تطبيق إدارة الطلب على الطاقة الكهربائية.

كذلك أظهرت الدراسة إمكانية تخفيض كمية غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المسبب الرئيسي للاحتباس الحراري في عام 2025م إلى حوالي 1,537,091 طن بدون المشروعات الكبيرة وبنسبة 4.747% من كمية الاستهلاك الكلي، بالإضافة إلى إمكانية تخفيض بعض الغازات الضارة والمواد الملوثة للبيئة الأخرى وبالتالي المساهمة في تقليل تلوث البيئة.

المراجع

[1] Gellings, C.W, and J.H. Chamberlin, 1993. Demand side management: concepts and methods.

[2] Maharjan, I.K., 2010. Demand side management: load management, load profiling, load shifting, residential and industrial consumer, energy audit, reliability, urban, semi-urban and rural setting: LAP Lambert Academic Publ

[3] تقارير الشركة العامة للكهرباء، 2005م-2016م.

[4] Bakr, S.A.B.,2012. Design, simulation, and emulation of a residential load management algorithm utilizing a proposed smart grid environment for the mena region. CU Theses, 2012.

[5] Kumar, A., S.K. Jain, and N. Bansal, 2003. Disseminating energy-efficient technologies: a case study of compact fluorescent lamps (CFLs) in India. Energy Policy, 31(3): p. 259-272.

[6] Abdunnabi, M. and D. 2014. Loveday, In–Situ Measurements of the Performance of Thermosyphon Solar Water Heating Systems in Libya. Solar Energy and Sustainable Development, 3(1), p: 123-131.

[7] خيري قاسم آغا، محمد خلاط، رمضان على بديوي،2009. إمكانية مساهمة الطاقة الشمسية في تسخين المياه المنزلية، الجدوى الفنية والاقتصادية، الجهاز التنفيذي للطاقات المتجددة.