

دور المناخ في إدارة وتخطيط قطاع الطاقة في مصر "دراسة حالة الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط"

د. وليد عباس عبد الراضي*

د. وائل هريدي زهران**

المستخلص:

في ضوء الأهمية القصوى التي يمثلها قطاع الطاقة في مصر، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التباين الشهري والفصلي لاستهلاك الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط كنموذج حضري داخل الدولة المصرية، وتفسير هذا التباين استناداً إلى ارتباطه بالظروف المناخية السائدة، وفي مقدمتها درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة سطح الأرض ودرجة حرارة مياه النيل وسرعة الرياح والرطوبة النسبية. كما تسعى الدراسة إلى بيان كيف يمكن الاستفادة من تلك العلاقة في إدارة وتخطيط قطاع الطاقة من خلال التعرف على المسار الزمني لزيادة وانخفاض الطلب، وما يرتبط بذلك من تحديد لأوقات ذروة الأحمال Peak Loads، وصولاً إلى بناء نموذج تنبؤي لتقدير الطلب المتوقع على الغاز الطبيعي وفقاً للظروف الجوية المحتملة. وقد اعتمدت الدراسة في سبيل تحقيق ذلك على بيانات استهلاك الغاز الطبيعي وبيانات عناصر المناخ، إلى جانب المرئيات الفضائية للقمريين الصناعيين Terra MODIS و Landsat8 OLI/TIRS. كما تم الاستفادة من مقياسي درجات أيام التدفئة والتبريد كمؤشرات على متطلبات التدفئة والتبريد لتفسير استهلاك الغاز الطبيعي. واختتمت الدراسة بمعالجة لمستقبل الطلب على الغاز الطبيعي في ضوء تغير درجة الحرارة والرطوبة النسبية. خلصت الدراسة إلى أن درجة الحرارة هي المحرك الرئيسي للطلب على الغاز الطبيعي، حيث ظهرت علاقة ثنائية عكسية قوية جداً بين المتغيرين في القطاع المنزلي بمعامل ارتباط -0,85، ومستوى ثقة 99%. واستمرت العلاقة في القطاع التجاري ولكن بشكل أقل قوة (معامل الارتباط -0,56) عند مستوى ثقة أقل (95%). ولم تظهر الرطوبة النسبية أو

* أستاذ الجغرافيا الطبيعية وتطبيقات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية المساعد، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

** مدرس الجغرافيا الطبيعية، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب - جامعة أسيوط.

للتواصل: e-mail: walid.abbas@art.asu.edu.eg & dr.wael1984@yahoo.com

سرعة الرياح كمحددات رئيسية للطلب على الغاز الطبيعي. ظهر أيضا أن أفضل نموذج للتنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي وبحجم الأحمال على نظم إنتاجه في المستقبل هو نموذج ثلاثي يعتمد على درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية ودرجات أيام التدفئة، حيث يمكن استخدامه لتقدير ٩٦% من حجم الطلب بمستوى ثقة يزيد عن ٩٩%، بما يساهم في تقديم تقييم كمي بحجم الأحمال المتوقعة وتباينها الزمني والمكاني. ومن ثم يمكن للمؤسسات الرسمية تخطيط عملية إنتاج الطاقة وإدارة منشآتها استجابة لهذه الأحمال المتوقعة. وتوصي الدراسة أخيرا بضرورة التكامل بين النظم المحلية والعالمية للرصد الجوي وبين النظم الاقتصادية في مصر لتحقيق أعلى معدلات كفاءة تشغيل تلك النظم، وتلافي ما قد يعترئها من أوجه القصور المختلفة نتيجة غياب تلك النظرة التكاملية.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٣) العدد (٧٩) يونيو ٢٠٢٢، ص ١٩٧-٢٥٣)

الكلمات المفتاحية : الطلب على الطاقة، الغاز الطبيعي، مرئيات MODIS، مرئيات Landsat 8، درجات أيام التدفئة، درجات أيام التبريد، نماذج التنبؤ، مدينة أسيوط.

١. مقدمة الدراسة:

يعتبر قطاع الطاقة المحرك الرئيسي للهيكل الاقتصادي الوطني في مصر. وهو القاطرة التي - إذا حسن إدارتها - يمكن أن تدفع بالنمو الاقتصادي إلى الأمام لتحقيق أهداف التنمية الشاملة للدولة، أو قد تعرقل مسيرة هذا النمو وتعطل تحقيق أهدافه إذا لم تُدر على أساس علمي سليم. وتهدف رؤية مصر ٢٠٣٠ إلى بناء اقتصاد قومي قوي ومتوازن في إطار التنمية المستدامة، والذي تلعب فيه الطاقة دورا محوريا على أساس استراتيجية الطاقة المتكاملة والمستدامة حتى عام ٢٠٣٥ (الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، ٢٠١٨). ويشير ذلك إلى ضرورة وضع الخطط والاستراتيجيات التي تكفل حسن إدارة هذا القطاع، وتضمن أمنه واستمرارية عملية إنتاج الطاقة وإمداداتها لسد الطلب المتزايد في ضوء النمو المتسارع للاقتصاد الوطني.

ومن المتفق عليه أن المناخ أحد العوامل الرئيسية المؤثرة في استهلاك الطاقة (Colombo et al., 1998; Yan, 1999; Hekkenberg et al., 2009) وفي مقدمته درجة الحرارة (Sailor et al., 1998; Mirasgedis et al., 2006; Timmer & Lamb, 2007). فقد اتضح أن درجة الحرارة من العوامل المناخية الأكثر تأثيرا في استهلاك الطاقة، مثل الطاقة الكهربائية، خاصة ما يتعلق بدور درجة الحرارة في تحديد متطلبات التبريد والتدفئة للسكان. ومن ثم تكتسب دراسة العلاقة بين

الظروف المناخية واستهلاك الطاقة أهمية كبيرة كمجال بحثي يبني يجمع علوم الغلاف الجوي وعلوم الطاقة، كما يساهم بشكل تطبيقي نفعي فعال في تقديم فهم وتفسير شامل لأنماط استهلاك الطاقة وتباينه الزمني والمكاني، خاصةً موسمية الطلب على الطاقة.

ويمكن أن تساهم عملية تقييم العلاقة بين المناخ والطاقة في بناء نماذج تنبؤ باستهلاك الطاقة Energy Consumption Forecasting Model أو التنبؤ بالأحمال Load Forecasting لتقدير حجم الطلب على أشكال الطاقة المختلفة في المستقبل، وهو ما يساهم في تقديم تقييم كمي بحجم الأحمال المتوقعة وتباينه الزمني والمكاني. ومن ثم يمكن للمؤسسات الرسمية تخطيط عملية إنتاج الطاقة وإدارة منشآتها استجابة لهذه الأحمال المتوقعة، وهو ما يقف حائلاً أمام حدوث مشكلات وأزمات في هذا القطاع مرتبطة بانخفاض إنتاج الطاقة وعدم وفاء هذا القطاع بسد احتياجات السكان والأنشطة الاقتصادية المختلفة من الطاقة.

ويعتبر الغاز الطبيعي مكوناً رئيسياً في قطاع الطاقة في مصر، فهو أحد أنواع الوقود الأكثر شيوعاً للتدفئة، ويتميز بأنه أحد أرخص أشكال الطاقة المتاحة للقطاع السكني، خاصةً عند مقارنته بالطاقة الكهربائية. ويستخدم الغاز الطبيعي لثلاثة أغراض في المساكن، هي التدفئة والطهي وتسخين المياه (Aras, N., 2008). ويحتاج الغاز الطبيعي لأغراض الطهي والماء الساخن إلى مستوى استهلاك مستقر على مدار العام، حيث يعتمد التسخين السكني إلى حد كبير على الظروف المناخية المختلفة، مثل درجة الحرارة والرياح والرطوبة. كما يؤدي الغاز الطبيعي دوراً رئيسياً في جميع مجالات التنمية الاقتصادية والاجتماعية، ويسهم في النمو الاقتصادي وزيادة الإنتاجية.

١-١ إشكالية وأهداف الدراسة:

أكد فحص وتحليل الدراسات السابقة على عدم تناول العلاقة بين المناخ والغاز الطبيعي في مصر من قبل، خاصةً ما يتعلق بتطوير هذه العلاقة والاستفادة منها في تخطيط وإدارة هذا المرفق، وهو الهدف الرئيسي من هذه الدراسة التي تسعى نحو تحقيق الغايات التالية:

- دراسة استهلاك الغاز الطبيعي شهرياً وفصلياً وسنوياً في مدينة أسيوط (٢٠١٢-٢٠١٨).
- استعراض التباين الشهري والفصلي للعناصر المناخية التي يمكن أن تؤثر في استهلاك الغاز الطبيعي، وهي درجة حرارة الهواء وسطح الأرض ومياه النيل وسرعة الرياح والرطوبة النسبية.
- تحليل العلاقة الثنائية بين الظروف المناخية واستهلاك الغاز الطبيعي.
- حساب متطلبات التبريد والتدفئة بالمدينة لتفسير العلاقة بين المناخ واستهلاك الغاز الطبيعي.

- بناء نموذج تنبؤي لتقدير الطلب المتوقع على الغاز الطبيعي وفقا للظروف الجوية المحتملة، وما يرتبط بذلك من بيان لأوقات زيادة وانخفاض الطلب، وذروة الأحمال. ومن ثم يمكن للمؤسسات الرسمية تخطيط عملية إنتاج الطاقة وإدارة منشأتها استجابة لهذه الأحمال المتوقعة.
- تناول مستقبل الطلب على الغاز الطبيعي في المدينة في ضوء التغيرات المناخية بها. وقد جاءت المباحث الرئيسية للدراسة لتعالج هذه الأهداف.

٢-١ الدراسات السابقة:

- تطرقت العديد من الدراسات السابقة لموضوع الطلب على استهلاك الطاقة وعلاقته بالظروف المناخية. وقد تنوعت هذه الدراسات من حيث الإطار الزمني والمكاني، ومن حيث المنهجية والأهداف أيضا. وفيما يلي استعراض بعض هذه الدراسات وأبرز نتائجها.
- دراسة (وليد عباس عبد الراضي، ٢٠١٣): "الحرارة في مجمع القاهرة الحضري". استعرضت الدراسة في الفصل الأخير منها بعض المشكلات الناجمة عن الجزيرة الحرارية لمجمع القاهرة الحضري، وعلى رأسها زيادة الطلب على استهلاك الطاقة الكهربائية. وقد أوضح التحليل زيادة الطلب على استهلاك الطاقة مع ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاضها، حيث يصل الاستهلاك إلى أقصاه في شهور الصيف بسبب زيادة الطلب لأغراض التبريد، ويزيد الاستهلاك نسبيا في الشتاء لزيادة الطلب لأغراض التدفئة. على الجانب الآخر ينخفض الاستهلاك إلى أدنى مستوياته في الربيع والخريف بسبب الجو المعتدل، وما يصاحبه من انخفاض الطلب على استهلاك الطاقة الكهربائية سواء للتبريد أو التدفئة.
 - دراسة (وائل هريدي زهران، ٢٠١٨): وتناولت الجزيرة الحرارية وبعض آثارها البيئية في مدينة أسيوط. عالجت الدراسة في طياتها أثر الجزيرة الحرارية في استهلاك الطاقة الكهربائية داخل مدينة أسيوط. وقد تبين وجود ارتباط طردي قوي بين استهلاك الطاقة الكهربائية ودرجات الحرارة خلال شهور العام بمعامل ارتباط بلغ ٠,٨٥، وهو ما يشير إلى زيادة الاستهلاك مع ارتفاع درجات الحرارة ويقل بانخفاضها خلال شهور العام.
 - دراسة (Sailor et al., 1998): "استهلاك الغاز الطبيعي والمناخ". كشفت الدراسة عن أن درجة الحرارة هي المحرك الرئيس والمتحكم الأول في الطلب على الكهرباء والغاز الطبيعي في القطاع المنزلي في العديد من البلدان المتقدمة. وأشارت إلى أن التأثير المتوقع لارتفاع المتوسط الشهري لدرجة الحرارة بمقدار درجة سيليزية واحدة في الاستهلاك

- الأمريكي من الغاز هو انخفاض بنسبة ٨,١٪ في القطاع السكني وانخفاض بنسبة ٥,٩٪ في القطاع التجاري.
- دراسة (Fung et al., 2006): "أثر درجة الحرارة الحضرية في استهلاك الطاقة بمدينة هونج كونج". هدفت الدراسة إلى تقدير التأثير المحتمل لارتفاع درجة الحرارة المحيطة بسبب التحضر أو ظاهرة الاحتباس الحراري في استهلاك الطاقة Energy consumption في مدينة هونج كونج. وقد تبين أنه مع ارتفاع درجة الحرارة درجة سيليزية واحدة فإن الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع السكني سينخفض بنسبة ٢,٤٪، بينما لا يتأثر استهلاك الغاز في القطاعين التجاري والصناعي بالتغير في درجة الحرارة المحيطة.
 - دراسة (Lee et al., 2010): وتناولت التأثيرات المناخية في استهلاك الطاقة في القطاعات السكنية والتجارية بمدينة هونج كونج. وهدفت الدراسة إلى تحديد التباين الشهري لاستهلاك الطاقة، بالإضافة إلى إبراز العلاقة بين استهلاك الطاقة والعوامل المناخية في هونج كونج، وذلك باستخدام بيانات استهلاك الطاقة الشهرية وبيانات الأرصاد الجوية خلال الفترة ١٩٧٠-٢٠٠٩. وقد استخدمت الدراسة مؤشرين مناخيين، وهما مؤشر درجات أيام التبريد CDD ومؤشر درجات أيام التدفئة HDD للربط بين استهلاك الطاقة والمناخ، وبصفة خاصة درجة الحرارة. خلصت الدراسة إلى وجود تباينات شهرية كبيرة في استهلاك الطاقة الكهربائية في القطاعين المنزلي والتجاري، وكذا في استهلاك الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي. وقد ظهرت الظروف المناخية كمحرك أساسي لهذه التباينات في استهلاك الطاقة في القطاعات الموضحة.
 - دراسة (Liu & Sweeney, 2012): "آثار تغير المناخ في الاستهلاك المنزلي للغاز الطبيعي في منطقة دبلن بأيرلندا". عالجت الدراسة مدى حساسية (استجابة) استهلاك الغاز الطبيعي لتغير المناخ بناءً على بيانات الاستهلاك اليومي للغاز الطبيعي المنزلي ودرجة الحرارة. وقد تبين من النتائج أنه من المرجح أن ينخفض استهلاك الغاز الطبيعي بشكل ملحوظ في ظل مجموعة من سيناريوهات تغير المناخ. فعلى المستوى الشهري على سبيل المثال، سجل نصيب الفرد من الغاز الطبيعي المستهلك في شهر يناير ٧١,٤٦ متراً مكعباً/فرد/شهر، والذي سينخفض إلى ٦٥,٩ متراً مكعباً/فرد/شهر، ثم سينخفض إلى ٥٩,١ متراً مكعباً/فرد/شهر، في ظل سيناريوهات التغير المناخي المتوقعة في عامي ٢٠٥٠ & ٢٠٨٠ على الترتيب. وتشير هذه النتائج إلى أن تغير المناخ أصبح من أهم العوامل التي تؤثر في نظم الطاقة.

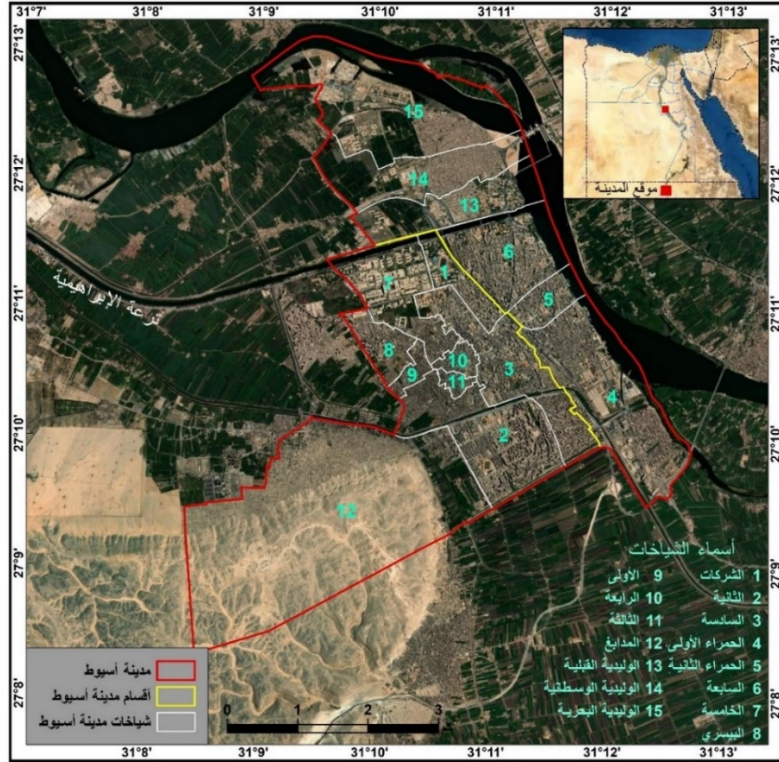
- دراسة (Yi-Ling et al, 2014): "أثر درجة الحرارة الحضرية في استهلاك الطاقة الكهربائية في شنغهاي". تناولت الدراسة تباين استهلاك الطاقة وعلاقته بدرجة الحرارة اعتماداً على البيانات اليومية خلال الفترة ٢٠٠٣-٢٠٠٧. وقد خلصت الدراسة إلى أن فصلي الشتاء والصيف هما مواسم الذروة في استهلاك الطاقة، وذلك بسبب الطلب المتزايد على التدفئة والتبريد في المناطق السكنية الحضرية. كما أوضحت الدراسة أن درجة الحرارة 10°C هي درجة الأساس (الدرجة المرجعية) لاستهلاك الطاقة في فصل الشتاء، يقابلها درجة الحرارة 22°C في فصل الصيف. ويشير ذلك إلى أن الطلب على التدفئة Heating demand يصبح أمراً ضرورياً عند انخفاض درجة حرارة الهواء إلى أقل من 10°C ، وعندما ترتفع درجة الحرارة عن 22°C يزداد الطلب على التبريد Cooling demand.
- دراسة (Thornton et al., 2016): "دور درجة الحرارة في تباين الطلب على استهلاك الغاز والكهرباء في بريطانيا العظمى". أظهر التحليل والمعالجة أن هناك ارتباطاً عكساً قوياً بين الطلب على الغاز الطبيعي والمتوسط اليومي لدرجة الحرارة في منطقة الدراسة، حيث بلغ معامل الارتباط بينهما $-0,83$ ، في المتوسط، وسجل فصل الشتاء أقوى ارتباط ($-0,90$) بين المتغيرين. وأبرزت الدراسة أيضاً أنه عادة ما يؤدي انخفاض درجة الحرارة اليومية بمقدار 1°C خلال فصل الشتاء إلى زيادة الطلب على الغاز الطبيعي بنسبة تتراوح ما بين 3% - 4% .

٢. منطقة الدراسة:

تقع مدينة أسيوط على الضفة الغربية لنهر النيل فيما بين خطي طول $21,8^{\circ}$ و $31,0^{\circ}$ - $43,7^{\circ}$ و $12,1^{\circ}$ شرقاً، وبين دائرتي عرض $27,2^{\circ}$ و $27,4^{\circ}$ شمالاً، بإجمالي مساحة $19,18$ كم^٢، وأقصى امتداد شمالي-جنوبي لها على طول الجبهة النيلية يبلغ $7,6$ كم، وأقصى عرض من الغرب إلى الشرق حوالي $6,3$ كم، شكل (١). وتكتسب المدينة أهمية كبيرة بتوسطها محافظات مصر العليا بجمع بين إمكانية الموقع وخصائص الموضع؛ وتلتقي عندها كافة الطرق البرية والنهرية والصحراوية التي تربطها بأحاء البلاد. ويحد المدينة من الشمال الغربي قريتا منقباد وعلوان (مركز أسيوط)، ومن الجنوب قرى درنكة وموشا والمطبعة (مركز أسيوط)، ومن الشرق والشمال نهر النيل، ومن الغرب الهضبة الغربية (الصحراء الغربية).

تعد مدينة أسيوط العاصمة الإدارية والمركز الثقافي والتعليمي للمحافظة. كما تعتبر أكبر مدن صعيد مصر سكاناً، إذ بلغ عدد سكانها 458468 نسمة عام 2017 ، وبنسبة $40,4\%$ من جملة سكان الحضر في المحافظة، و $10,5\%$ من إجمالي سكان المحافظة البالغ $4,383,289$ نسمة عام 2017 (الجهاز المركز للتعبئة العامة والإحصاء، 2017). وتتكون المدينة من حي شرق أسيوط (قسم ثان أسيوط) الذي يضم ست شياخات، وحي غرب أسيوط (قسم أول أسيوط)

الذي يشمل تسع شياخات، شكل (١). وتتنوع المظاهر الجغرافية في منطقة الدراسة نظرا لتنوع العوامل التي لعبت أدوارا رئيسية في تشكيل مظاهر السطح بالمنطقة. ويتمثل هذا التنوع الجغرافي لا في الفارق بين طبوغرافية السهل الفيضي والصحراء فحسب، ولكن يمتد ذلك إلى التباين بين أجزاء الهضبة الشرقية وأجزاء الهضبة الغربية في المنطقة التي تتوسطها المدينة. ويمكن القول بأن مدينة أسيوط تمثل موضعا تتلاقى فيه مظاهر التنوع الطبوغرافي بين الأجزاء التي تحيط بها من كل اتجاه (أحمد على إسماعيل، ٢٠٠٣).



شكل (١) : موقع مدينة أسيوط وأقسامها الإدارية عام ٢٠١٦.

مناخيا، يسود المدينة الظروف الجوية لإقليم الصحاري الحارة (Hot Desert (Bwh) وفقا لتصنيف كوبن (Kottek, M. et al., 2006)، حيث يبلغ المعدل السنوي لدرجة الحرارة اليومية في محطة أسيوط للرصد الجوي ٢٢,١°س، وتتراوح بين ١٤,٦°س في المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى، وبين ٢٩,٦°س في المعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى. وتأتي هذه

المعدلات الحرارية المرتفعة استجابة لزيادة عدد ساعات السطوع المحتمل والفعلي، وزيادة معدلات الإشعاع الشمسي الكلي بالمدينة. كما يتسم مناخ المدينة بالجفاف، حيث يقل معدل الرطوبة النسبية إلى ٣٩,٦%، وترتفع معدلات التبخرنتح (١٣,٣ ملم/يوم) لتمثل أكثر من منتهي ضعف معدل التساقط السنوي، والذي يبلغ ٢٠,٤ ملم/عام (EMA, 2011).

٣. البيانات وأسلوب الدراسة:

٣-١ البيانات:

تناولت الدراسة العلاقة بين المناخ (درجة حرارة الهواء، درجة حرارة سطح الأرض، درجة حرارة المياه "نهر النيل"، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح) وحجم الطلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط كنموذج حضري، مع إيضاح أهمية ذلك في إدارة قطاع الطاقة من خلال بناء نموذج تنبؤي بحجم الأحمال المتوقعة على هذا المرفق في ضوء التنبؤات الجوية التي تصدر بشكل منتظم. وقد اعتمدت الدراسة في سبيل تحقيق ذلك على مصادر متنوعة للبيانات، وهي:

١. البيانات الشهرية لاستهلاك الغاز الطبيعي في أحياء المدينة (٢٠١٢-٢٠١٨).
٢. المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة اليومية والرطوبة النسبية وسرعة الرياح (١٩٦١-٢٠٢٠).
٣. معدلات درجة الحرارة اليومية والرطوبة النسبية وسرعة الرياح (١٩٧٥-٢٠٠٥).
٤. أربع مرئيات للقمر الصناعي Landsat8 OLI/TIRS ممثلة لفصول السنة الأربعة خلال عام ٢٠٢٠. ويوضح بياناتها جدول (١).
٥. مرئيات القمر الصناعي Terra MODIS لفترة الدراسة (٢٠١٢-٢٠١٨). وقد تم الاعتماد على درجات الحرارة المستخرجة نهائياً وليلاً من المنتج (8-day MOD11A2 v061 average) لحساب المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة اليومية بدقة ١ كم.

جدول (١): بيانات مرئيات القمر الصناعي Landsat8 OLI/TIRS المستخدمة في الدراسة.

م	Path/ Row	تاريخ الالتقاط	زمن الالتقاط	التمثيل الفصلي	الدقة المكانية (م)	نسبة السحب (%)
١	176/041	٢٠٢٠/١/٢٧	١٠:٢٤ ص	الشتاء	٣٠	٠,٥٤
٢	176/041	٢٠٢٠/٤/١٤	١٠:٢٤ ص	الربيع	٣٠	٠,٩٧
٣	176/041	٢٠٢٠/٧/٢١	١٠:٢٤ ص	الصيف	٣٠	٠,٢٥
٤	176/041	٢٠٢٠/١١/١٠	١٠:٢٤ ص	الخريف	٣٠	٠,٢٨

٢-٣ أساليب المعالجة:

تمت معالجة البيانات سابقة الذكر في سبيل تحقيق النتائج المحددة للدراسة. وقد تمثلت أبرز طرق وأساليب المعالجة فيما يلي.

أولاً: حساب درجة حرارة سطح الأرض والمياه:

لجأت الدراسة إلى التكامل بين تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من أجل حساب درجة حرارة سطح الأرض Land Surface Temperature LST في المدينة، ودرجة حرارة المياه "WST" Water Surface Temperature في نهر النيل اعتماداً على المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat-8 OLI/TIRS. أعقب ذلك بحث إمكانية الاعتماد على هذه التقنيات لدراسة العلاقة بين هذه المتغيرات وحجم الطلب على الغاز الطبيعي في المدينة خلال الفصول الأربعة. مع بيان مدى توافق النتائج مع ما تقدمه الوسائل والأساليب التقليدية. وتجدر الإشارة إلى أن مرئيات القمر الصناعي Landsat-8 تضم نوعين من القنوات الطيفية، الأول هو القنوات المنعكسة Reflective bands (القنوات ١-٩) الملتقطة باستخدام جهاز الاستشعار Operational Land Imager (OLI)، والثاني هي القنوات الحرارية Thermal bands (القنوات ١٠-١١) المسجلة بجهاز الاستشعار Thermal Infrared Sensor (TIRS). وقد تم حساب درجات الحرارة وفقاً للمراحل التالية (Barsi et al., 2014; Rajeshwari and Mani, 2014; Laosuwan et al., 2017; USGS, 2019).

أ- حساب الإشعاعية الطيفية Spectral Radiance :

وهي كثافة التدفق الإشعاعي Radiative Flux Density المنبعث من سطح الأرض في مجال الأشعة دون الحمراء الحرارية Thermal IR، أو ما يُعرف مناخياً بالإشعاع الأرضي. ويمكن حسابها عن طريق تحويل القيم الرقمية DN للقناة الحرارة Band-11 إلى إشعاعية طيفية محسوبة "أعلى الغلاف الجوي (TOA) Top-of-Atmosphere Radiance" أو "عند فتحة المحس At-sensor Radiance" باستخدام المعادلة:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

حيث:

$$\begin{aligned} L_{\lambda} &= \text{الإشعاعية الطيفية أعلى الغلاف الجوي} \\ M_L &= \text{مُعامل للضرب (يساوي 3.3420E-4 للقناة ١١)} \\ A_L &= \text{مُعامل للإضافة (يساوي 0.1 للقناة ١١)} \\ Q_{cal} &= \text{القيم الرقمية DN لخلايا المرئية.} \end{aligned}$$

ب- حساب درجات حرارة سطح الأرض LST و سطح المياه WST:

تمت هذه الخطوة بتحويل قيم الإشعاعية الطيفية Spectral Radiance أعلى الغلاف الجوي إلى درجات حرارة بوحدة الكلفن باستخدام الصيغة الرياضية التالية:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

حيث:

T	=	درجة الحرارة بوحدة كلفن (K)
L_{λ}	=	الإشعاعية الطيفية أعلى الغلاف الجوي.
K1	=	ثابت (يساوي ٤٨٠,٨٨٨٣ للقناة ١١)
K2	=	ثابت (يساوي ١٢٠١,١٤٤٢ للقناة ١١)
ln	=	دالة اللوغاريتم الطبيعي

ج- تحويل درجات الحرارة إلى وحدة سيليزية:

يتم تحويل درجات الحرارة المحسوبة في الخطوة السابقة من وحدة كلفن إلى وحدة سيليزية من الصيغة التالية:

$$T_C = T_K - 273.15 \quad (3)$$

حيث:

T_C	=	درجات الحرارة بوحدة سيليزية
T_K	=	درجات الحرارة بوحدة كلفن

ثانياً: تحليل الانحدار الخطي البسيط Simple Linear Regression:

كشفت الدراسة عن طبيعة العلاقة الثنائية بين استهلاك الغاز الطبيعي وكل من درجة الحرارة (الهواء و سطح الأرض ومياه النيل) والرطوبة النسبية وسرعة الرياح من خلال تحليل الانحدار ذو النمط الخطي البسيط. مع تقييم درجة الموثوقية في نتائج هذا النموذج عبر التقرير التشخيصي Diagnostic Report الذي يضم مجموعة من المعايير الإحصائية التي يمكن من خلالها ضبط نتائج هذا التحليل وتحديد جودتها، وبالتالي إمكانية الاعتماد عليها من عدمه.

ثالثاً: حساب مؤشر أيام التبريد وأيام التدفئة:

تعددت المؤشرات الكمية التي تربط بين المتغيرات المناخية وتحديد متطلبات التبريد والتدفئة، ويأتي في مقدمتها مؤشر درجات أيام التدفئة (HDD) Heating Degree Days ومؤشر

درجات أيام التبريد (Cooling Degree Days (CDD). وهما مؤشران كميان يعكسان حجم الطلب على الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد. وقد تم استخدامهما في الدراسة الحالية لتفسير التباين الشهري والفصلي لاستهلاك الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط.

تعبر درجات أيام التدفئة والتبريد عن المجموع الشهري للفارق بين المتوسط اليومي لدرجة الحرارة ودرجة حرارة الأساس Base (الدرجة المرجعية Reference). ودرجة الحرارة المرجعية هي درجة الاعتدال الحراري النموذجي التي لا تتطلب استهلاك طاقة من قبل السكان لأغراض التبريد أو التدفئة. فكلما ارتفع المتوسط اليومي لدرجة الحرارة اليومية عن درجة الحرارة المرجعية زادت حاجة السكان إلى استهلاك الطاقة لأغراض التبريد، وكلما قلت عن درجة الحرارة المرجعية ارتفع حجم الطلب على الطاقة لأغراض التدفئة. ويوضح جدول (٢) الدرجات المرجعية التي تناولتها بعض الدراسات السابقة عند حساب درجات أيام التدفئة ودرجات أيام التبريد. فقد أشارت دراسة (Amato et al., 2005) إلى أنه ليس هناك تحديد جامع مانع لدرجة حرارة الأساس، ولكن يتباين تحديدها باختلاف الأقاليم المناخية المختلفة وأنماط المباني. وقد تبنت الدراسة الحالية درجة الحرارة ١٨,٣°س كدرجة مرجعية في حساب المؤشرين، وذلك باعتبارها أكثر الدرجات المرجعية شيوعاً واستخداماً في الدراسات المختلفة. وقد تم حساب درجات أيام التدفئة ودرجات أيام التبريد الشهرية اعتماداً على الصيغة التالية (Noro, 2015):

$$HDD = \sum_{i=1}^M (T_{base} - T_i) \quad \text{For } (T_i > T_{base}, T_{base} - T_i = 0 \quad (4)$$

$$HDD = \sum_{i=1}^M (T_i - T_{base}) \quad \text{For } (T_{base} > T_i, T_i - T_{base} = 0 \quad (5)$$

حيث:

المجموع الشهري لدرجات أيام التدفئة.	=	HDD
المجموع الشهري لدرجات أيام التبريد.	=	CDD
عدد أيام الشهر.	=	M
المتوسط اليومي لدرجة الحرارة في اليوم i.	=	T _i
درجة حرارة الأساس (١٨,٣°س).	=	T _{base}

رابعاً: بناء نموذج للتنبؤ بالطلب على الطاقة Energy Forecasting Model:

أشار (Sallam and Malik (2019) إلى أن التنبؤ بالأحمال يلعب دوراً حاسماً في جميع الجوانب المرتبطة بتخطيط وإدارة وتشغيل نظم الطاقة المختلفة، بما يحسن من عملية إنتاج الطاقة ويجعل تشغيل نظمها وإدارة شبكتها أكثر اقتصادية، ويرفع من مستوى الثقة والاعتماد عليها في

مختلف القطاعات، ويقلل من مشكلاتها إلى الحد الأدنى. ويمكن تصنيف نماذج التنبؤ بالطلب على الطاقة وفقاً للتقنيات المعتمدة عليها إلى عدة أنواع. فهناك نماذج تنبؤ حتمية Deterministic وأخرى احتمالية Probabilistic. وهناك نماذج تعتمد على تحليل الارتباط، الانحدار البسيط والمتعدد، المتوسطات المتحركة ذات الانحدار التلقائي Autoregressive Moving Average (ARMA)، والمتوسطات المتحركة المتكاملة ذات الانحدار التلقائي Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) (Sallam and Malik, 2019). وهناك ثلاثة أساليب رئيسية للتنبؤ باستهلاك الطاقة، وهي النماذج الطبيعية Physical Data-driven والمعتمدة على البيانات Data-driven والمختلطة Hybrid (Mariano-Hernández et al., 2020).

جدول (٢) : استعراض لدرجة الحرارة المرجعية في بعض الدراسات السابقة.

المؤلف	منطقة الدراسة	الدرجة المرجعية Threshold
Sailor and Muñoz (1997)	USA	18.3°C (except Florida: 1°C)
Valor et al. (2001)	Spain	18°C
Pardo et al. (2002)	Spain	18°C
Reiss and White (2005)	California	HDD: 15.56°C CDD: 21.11°C
Ardente et al. (2008)	Palermo	HDD: 18.7°C CDD: 22°C
Psiloglou et al. (2009)	Athens and London	Athens: 20°C London: 16°C
Eskeland and Mideksa (2010)	Europe	HDD: 18°C CDD: 22°C
Lee et al. (2010)	Hong Kong	HDD: 18°C CDD: 26°C
Labandeira et al. (2011)	Spain	HDD: 13°C CDD: 23°C
Alberini and Filippini (2011)	USA	18.3°C
Yi-Ling et al. (2014)	Shanghai	HDD: 10°C CDD: 22°C
سعود عياش وآخرون (١٩٨٥)	الكويت	١٨,٥°س
خالد بن عبد الله المقرن، ٢٠٠٦	السعودية- مدينة الرياض	١٨,٣°س
وليد عباس، ٢٠١٣	مصر- القاهرة	١٨,٣°س
وائل زهران، ٢٠١٨	مصر - مدينة أسيوط	١٨,٣°س

وقد اعتمد البحث على تحليل الانحدار الخطي المتعدد Multiple Linear Regression Analysis في نظم المعلومات الجغرافية من أجل بناء نموذج تنبؤي يمكن من خلاله التوقع بحجم الأحمال المتوقعة على مرفق الغاز الطبيعي في المدينة اعتماداً على التنبؤات الجوية التي تقدمها الهيئات المختصة بشكل منتظم للمدينة. وقد اعتمد هذا النموذج على العلاقة المتعددة - وليس الثنائية البسيطة - بين حجم الطلب على الغاز الطبيعي من ناحية، وكل من درجة الحرارة اليومية للهواء ودرجة الحرارة اليومية لسطح الأرض ومياه نهر النيل وسرعة الرياح والرطوبة النسبية ومؤشري درجات أيام التدفئة والتبريد من ناحية أخرى.

وقد تم بناء نموذج التنبؤ في نظم المعلومات الجغرافية على مرحلتين رئيسيتين. في المرحلة الأولى تم استخدام تحليل الانحدار الاستكشافي Exploratory Regression من أجل فحص العلاقة بين الطلب على الغاز الطبيعي كمتغير تابع Dependent وبين العوامل الجوية السبعة سابقة الذكر كمتغيرات مستقلة Independent أو عوامل تنبؤ Predictors. وفي هذه المرحلة يقدم التقرير التشخيصي Diagnostic Report لتحليل الانحدار تقييم كامل لكل متغير بشكل منفرد Simple أو متعدد Multiple من حيث قوة العلاقة (وفقاً لمعامل التحديد المعدل R^2 Adjusted) ودلالاتها الإحصائية P-value ومستوى الثقة Confidence Level والخطأ المعياري Standard Error وتقييم الارتباط بين المتغيرات المستقلة Multicollinearity (وفقاً لمعامل تضخم المتغيرات Variable Inflation Factors VIF). كما يقترح هذا التقرير أفضل النماذج التي يمكن الاعتماد عليها للتنبؤ باستهلاك الغاز الطبيعي. في المرحلة الثانية تم تطبيق تحليل الانحدار المتعدد باستخدام طريقة المربعات الصغرى Ordinary Least Squares Regression (OLS) وفقاً لأفضل نموذج تنبؤ تم اختياره في المرحلة الأولى.

٤. النتائج والمناقشة :

٤-١ الملامح العامة لاستهلاك الغاز الطبيعي وتطوره في مدينة أسيوط:

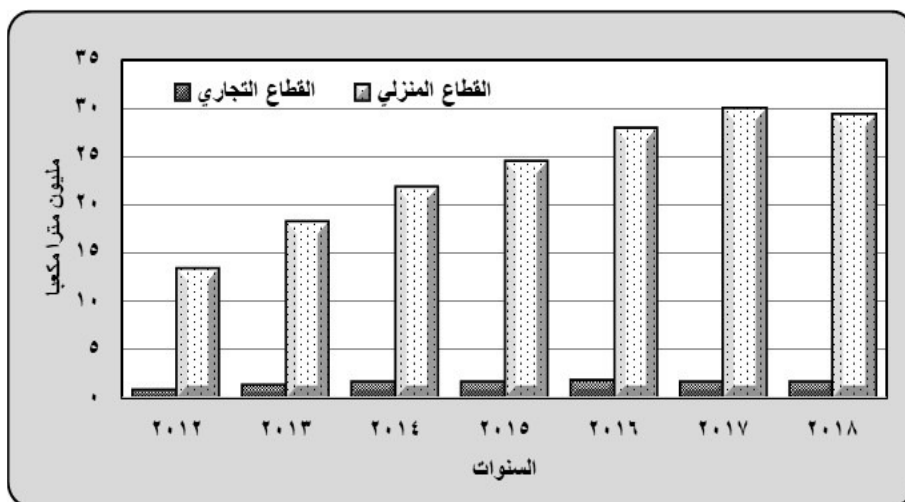
يوصف القطاع المنزلي بأنه أحد أهم القطاعات المستهلكة للغاز الطبيعي بشكل ملحوظ، فدائماً ما يحتل هذا القطاع المرتبة الأولى من حيث استهلاك الغاز الطبيعي. ويؤكد جدول (٣) وشكل (٢) على هذه الحقيقة، حيث بلغ استهلاك القطاع المنزلي في مدينة أسيوط ١٣,٣٩ مليون متراً مكعباً عام ٢٠١٢، وتزايد بشكل مطرد ليصل إلى ٢٩,٣٩ مليون متراً مكعباً عام ٢٠١٨. ويشير ذلك إلى أن متوسط الطلب السنوي على استهلاك الغاز الطبيعي في المدينة خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨ قد بلغ ٢٣,٦ مليون متراً مكعباً، بمتوسط زيادة سنوية تقدر بنحو ٢,٦٦ مليون متراً مكعباً/عام، أي بمقدار الخمس تقريباً (١٩,٩% سنوياً). وقد شكل الاستهلاك المنزلي للغاز

الطبيعي النسبة الأعظم من إجمالي الطلب على الغاز الطبيعي خلال تلك الفترة، حيث تراوحت نسبته بين ٩٣,٤% عام ٢٠١٣ وبين ٩٥,١% عام ٢٠١٨، بمتوسط ٩٤,١%.

جدول (٣) : استهلاك الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨.

م	العام	الاستهلاك (مليون متر مكعب)					
		إجمالي		تجاري		منزلي	
		مليون م ^٣	%	مليون م ^٣	%	مليون م ^٣	%
١	٢٠١٢	١٤,٢١	١٠٠	٠,٨٣	٥,٨	١٣,٣٩	٩٤,٢
٢	٢٠١٣	١٩,٥٠	١٠٠	١,٢٩	٦,٦	١٨,٢١	٩٣,٤
٣	٢٠١٤	٢٣,٤٠	١٠٠	١,٥١	٦,٥	٢١,٨٩	٩٣,٥
٤	٢٠١٥	٢٦,٠٤	١٠٠	١,٥٦	٦,٠	٢٤,٤٨	٩٤,٠
٥	٢٠١٦	٢٩,٨١	١٠٠	١,٨٠	٦,٠	٢٨,٠١	٩٤,٠
٦	٢٠١٧	٣١,٥٨	١٠٠	١,٦٢	٥,١	٢٩,٩٦	٩٤,٩
٧	٢٠١٨	٣٠,٩١	١٠٠	١,٥٢	٤,٩	٢٩,٣٩	٩٥,١
	المتوسط	٢٥,١	١٠٠	١,٤	٥,٩	٢٣,٦	٩٤,١

المصدر: الشركة المصرية القابضة للغازات الطبيعية، بيانات غير منشورة ٢٠١٢-٢٠١٨.



شكل (٢) : الاستهلاك السنوي للغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي والتجاري بمدينة أسيوط خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨.

على الجانب الآخر يحتل القطاع التجاري المرتبة الثانية في استهلاك الغاز الطبيعي بعد القطاع المنزلي، حيث تطور الطلب السنوي لهذا القطاع بشكل طفيف جدا من ٠,٨٣ مليون مترا مكعبا عام ٢٠١٢ إلى ١,٥٢ مليون مترا مكعبا عام ٢٠١٨، بمتوسط زيادة سنوية تبلغ نحو ٠,١٢ مليون مترا مكعبا، أو ما يمثل ١٤,٤%. ولم تمثل كميات الغاز الطبيعي المستهلكة في القطاع التجاري سوي نسبة ضئيلة تراوحت بين ٤,٩% عام ٢٠١٨ وبين ٦,٦% عام ٢٠١٣. وهذه النسبة في تناقص مطرد لصالح الارتفاع المستمر في نسبة الاستهلاك بالقطاع المنزلي.

وتعد دراسة الطلب على الطاقة في المناطق الحضرية أحد الجوانب المهمة للتخطيط المستقبلي لاحتياجات الطاقة، وبصفة خاصة يمثل زيادة استهلاك الطاقة في القطاع السكني Residential sector القضية التي يمكن أن تشكل خطرا أوسع على التنمية الاقتصادية، ويمكن أن تحد من كمية الطاقة المتاحة للقطاعات الإنتاجية الأخرى (Pereira & Assis, 2013) حيث يُعد القطاع المنزلي أكبر القطاعات المستهلكة للطاقة. وقد ظهر جليا مما سبق الزيادة المستمرة في استهلاك الغاز الطبيعي بالقطاع السكني، وهو ما يمكن أن يحد بالتالي من الطاقة المتوفرة للقطاعات الإنتاجية، أو على الأقل يزيد من كميات الغاز الطبيعي المطلوب توفيرها من قبل المؤسسات الحكومية الرسمية لسد الطلب المتنامي على الطاقة، وهو الظاهرة التي تساهم فيها وتعززها مجموعة من العوامل المتباينة، مثل الظروف المناخية المحلية، حجم الأسرة، والدخل، كلها عوامل أساسية تحدد استهلاك الطاقة في القطاع السكني (Santamouris et al., 2007). ومن ثم فإن إدراك مؤسسات الإدارة والتخطيط الرسمية بقطاع الطاقة لحجم النمو المتوقع في استهلاك الغاز الطبيعي المنزلي لأسباب عدة - بعضها مناخي - يجعل العمل على توفير هذه الزيادة في استهلاك الغاز الطبيعي أمرا يسيرا، كما يحول دون حدوث عجزا غير متوقع في توفير الطاقة للقطاعات الإنتاجية وغيرها.

٤-٢ الاستهلاك الشهري والفصلي للغاز الطبيعي وعلاقته بدرجة حرارة الهواء:

أوضحت دراسات عدة وجود أنماط زمنية متنوعة يمكن ملاحظتها عند دراسة التباين في استهلاك الطاقة بأنواعها المختلفة، سواء على المستوى اليومي، أو الأسبوعي، أو الشهري، أو الفصلي، أو حتى السنوي. وعادةً ما يُفسر هذا التباين في ضوء مجموعة من العوامل، وفي مقدمتها الظروف المناخية السائدة. وتمثل درجة الحرارة أحد أهم المتغيرات المناخية التي يمكن من خلالها تفسير تباين الطلب على استهلاك الطاقة، خاصةً على المستوى الشهري والفصلي. ويمكن من خلال دراسة المسار الشهري والفصلي للطلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط

التعرف على أي شهور العام التي يزداد بها الاستهلاك إلى حد حدوث ذروة الحمل أو الطلب الأقصى، وتلك التي تنسم بانخفاض الاستهلاك. ويساهم ذلك بفاعلية في إدارة هذا القطاع بشكل أمثل، خاصةً فيما يتعلق بضمان وجود إمدادات كافية لتلبية الطلب المتباين من شهر إلى آخر، ومن فصل إلى آخر، ويمنع حدوث أزمات مرتبطة بعدم كفاية إنتاج الطاقة لسد الطلب المقابل. ومن ثم فإن خطة إدارة النظام الغازي يجب أن تكون متوازنة تماما مع ذروة الأحمال، والتي تتوقف بدورها على المتغيرات المناخية بشكل رئيسي.

يوضح جدول (٤) التباين الشهري والفصلي لاستهلاك الغاز الطبيعي (مليون م^٣) في مدينة أسيوط خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨، إضافة إلى المتوسطات الشهرية والفصلية لعناصر درجة الحرارة اليومية (س^٥) وسرعة الرياح (كم/س) والرطوبة النسبية (%). كما يبين شكل (٣) المسار الشهري لكل من درجة الحرارة اليومية (س^٥) واستهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي (أ) والتجاري (ب) بمدينة أسيوط خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨. ويختلف الحمل أو الطلب على الغاز الطبيعي^(١) باختلاف القطاعات المستهلكة له؛ وذلك لأن لكل قطاع خصائص تميزه عن القطاعات الأخرى. لذا فسوف يتم تناول التباين الشهري والفصلي في كل من القطاعين المنزلي والتجاري بشكل منفصل.

يظهر من جدول (٤) وشكل (٣) أن المتوسط السنوي للطلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨ بلغ ٢٣,٦٢ مليون م^٣ (٩٤,٢%) في القطاع المنزلي، ونحو ١,٤٥ مليون م^٣ (٥,٨%) في القطاع التجاري، بإجمالي يصل إلى ٢٥,٠٧ مليون م^٣. وقد بلغ المتوسط الشهري للاستهلاك في القطاعين ٢,٠٩ مليون م^٣، موزعة بين ١,٩٧ مليون م^٣ في القطاع المنزلي، ٠,١٢ مليون م^٣ في القطاع التجاري.

ويتباين استهلاك الغاز الطبيعي على مدار العام من شهر لآخر وبصفة خاصة في القطاع السكني، كما يوضح شكل (٣). ويبدو من الفحص المبدئي أن هذا التباين يعزى في الأساس إلى تباين المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة اليومية، والتي تُعد العامل الرئيسي المتحكم في تحديد كمية استهلاك الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط.

(١) الحمل والطلب على الغاز الطبيعي مصطلحان مترادفان لمقصود واحد، حيث يشير كلا المصطلحين إلى المعدل الذي يستمد به المشترك الغاز من الشبكة العامة. ويتسم الحمل الاستهلاكي للغاز بعدم الثبات، إذا يتغير من ساعة لأخرى، ومن يوم لآخر، كما يتأثر باختلاف شهور وفصول العام. ويتأثر الطلب من حيث كونه صناعيا أو تجاريا أو منزليا، كما يتأثر بالأحوال الجوية.

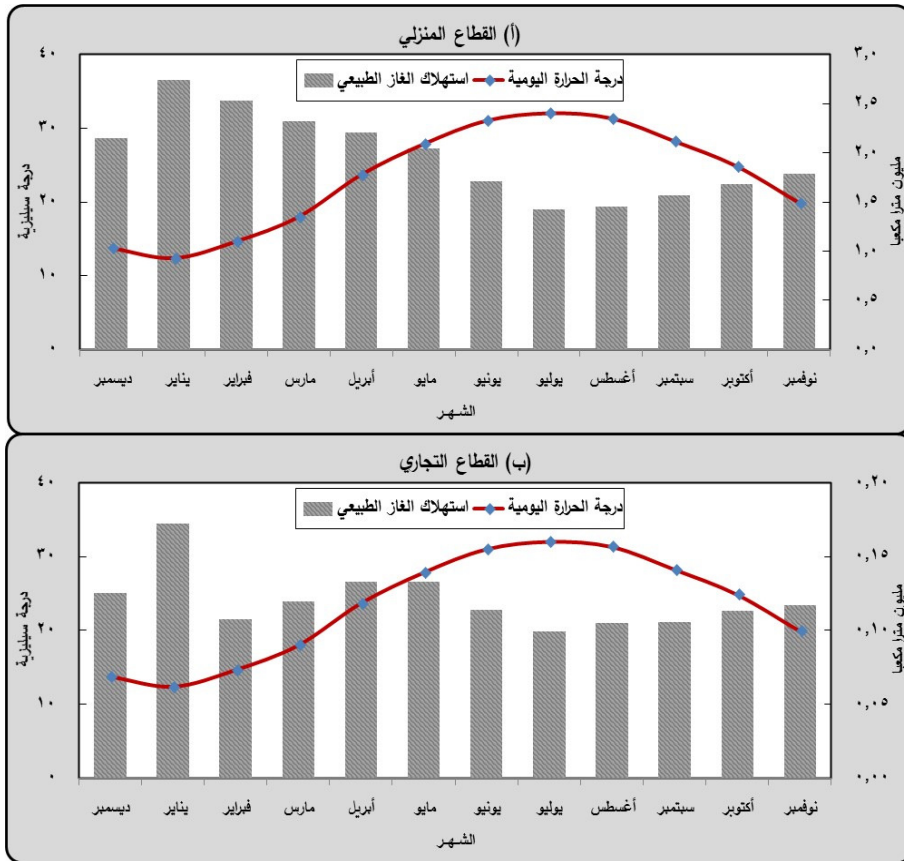
جدول (٤) : التباين الشهري والفصلي لاستهلاك الغاز الطبيعي وبعض المتغيرات المناخية في مدينة أسيوط خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨.

سرعة الرياح (كم/س)**	الرطوبة النسبية (%)**	درجة الحرارة اليومية سطح الأرض (س°)***	درجة الحرارة اليومية للغواء (س°)**	استهلاك القطاع التجاري*		استهلاك القطاع المنزلي*		المستوى الزمني
				%	مليون م ^٣	%	مليون م ^٣	
١٤,٩	٥٩,١	١٦,٥	١٣,٧	٨,٧	٠,١٣	٩,١	٢,١٥	ديسمبر
١٣,٠	٥٥,٠	١٥,٧	١٢,٣	١١,٩	٠,١٧	١١,٦	٢,٧٤	يناير
١٤,٠	٤٧,٢	١٨,٩	١٤,٦	٧,٥	٠,١١	١٠,٧	٢,٥٣	فبراير
١٣,٩	٥٣,٨	١٧,١	١٣,٦	٢٨,٠	٠,٤١	٣١,٤	٧,٤٣	فصل الشتاء
١٦,٤	٣٩,٤	٢٣,٧	١٨,٠	٨,٣	٠,١٢	٩,٨	٢,٣٢	مارس
١٦,٠	٣٢,٦	٢٦,٩	٢٣,٧	٩,٢	٠,١٣	٩,٣	٢,٢١	أبريل
١٥,٧	٣١,١	٣٣,١	٢٧,٨	٩,٢	٠,١٣	٨,٧	٢,٠٥	مايو
١٦,٠	٣٤,٤	٢٧,٩	٢٣,٢	٢٦,٧	٠,٣٩	٢٧,٨	٦,٥٨	فصل الربيع
١٦,٣	٣٣,٣	٣٤,٩	٣١,٠	٧,٩	٠,١١	٧,٢	١,٧١	يونيو
١٥,٠	٣٦,٧	٣٤,٣	٣٢,٠	٦,٩	٠,١٠	٦,٠	١,٤٣	يوليو
١٤,٥	٣٧,٠	٣٤,٥	٣١,٣	٧,٣	٠,١١	٦,١	١,٤٥	أغسطس
١٥,٣	٣٥,٧	٣٤,٦	٣١,٤	٢٢,١	٠,٣٢	١٩,٤	٤,٥٩	فصل الصيف
١٦,٦	٤١,٨	٣٢,١	٢٨,٢	٧,٣	٠,١١	٦,٦	١,٥٧	سبتمبر
١٤,٦	٤٦,٣	٢٧,٣	٢٤,٨	٧,٨	٠,١١	٧,١	١,٦٨	أكتوبر
١٣,٦	٥٣,٦	٢٣,٧	١٩,٩	٨,١	٠,١٢	٧,٥	١,٧٨	نوفمبر
١٤,٩	٤٧,٢	٢٧,٧	٢٤,٣	٢٣,٣	٠,٣٤	٢١,٣	٥,٠٣	فصل الخريف
١٥,١	٤٢,٨	٢٦,٨	٢٣,١	١٠٠	١,٤٥	١٠٠	٢٣,٦٢	السنوي

*المصدر: الشركة المصرية القابضة للغازات الطبيعية، بيانات غير منشورة ٢٠١٢-٢٠١٨.

**المصدر: الهيئة العام للأرصاد الجوية المصرية، بيانات غير منشورة ٢٠١٢-٢٠١٨.

***المصدر: USGS, Terra MODIS images.



شكل (٣) : المسار الشهري لكل من درجة الحرارة اليومية (س) واستهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي (أ) والتجاري (ب) بمدينة أسيوط خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨.

يتصدر يناير شهور السنة بأعلى كمية من الغاز الطبيعي المستهلك في القطاع المنزلي بالمدينة، حيث بلغ متوسط الاستهلاك ٢,٧٤ مليون م^٣، أي نحو ١١,٦% من متوسط الاستهلاك السنوي البالغ ٢٣,٦٢ مليون م^٣. يلي ذلك شهر فبراير كثاني أكثر الشهور من حيث الطلب على الغاز الطبيعي، بمتوسط استهلاك يبلغ ٢,٥٣ مليون م^٣، أو حوالي ١٠,٧% من إجمالي الطلب السنوي. وتتوافق هذه الأحمال القصوى للغاز الطبيعي في المدينة مع كون يناير هو أكثر الشهور برودة بمتوسط درجة حرارة يومية ١٢,٣°س. ويأتي فبراير كثالث أكثر الشهور برودة، حيث سجل متوسط درجة حرارة يومية ١٤,٦°س. إجمالاً، يتسم الشتاء - أبرد فصول العام بمتوسط درجة حرارة يومية ١٣,٦°س- بأكبر طلب على الغاز الطبيعي بالقطاع السكني في مدينة أسيوط، بكمية تقدر بحوالي ٧,٤٣ مليون م^٣، أو ما يوازي ٣١,٤% من إجمالي الطلب السنوي.

وقد برزت النتيجة السابقة أيضا في القطاع التجاري، ولكن بشكل أقل وضوحا. فقد استمر شهر يناير صاحب أكبر استهلاك للغاز الطبيعي بمتوسط ٠,١٧ مليون م^٣ (١١,٩%)، كما استأثر فصل الشتاء بأكبر نسبة (٢٨,٠%) من الاستهلاك السنوي للغاز الطبيعي، بكمية تبلغ ٠,٤١ مليون م^٣. على الجانب الآخر سُجل أدنى استهلاك للغاز الطبيعي بالقطاعين المنزلي والتجاري في شهر يوليو، حيث بلغ متوسط الاستهلاك ١,٤٣ & ٠,١٠ مليون م^٣ على الترتيب، وينسب لا تتجاوز ٦,٠% & ٦,٩% من جملة الغاز الطبيعي المستهلك في القطاعين على مدار العام. وقد ترافق هذا الطلب المتدني على الغاز الطبيعي بالمدينة مع كون يوليو هو الشهر الأكثر حرارة، حيث يرتفع متوسط درجة الحرارة اليومية إلى الحد الأقصى ليسجل ٣٢,٠°س. ويسير على نفس النسق شهر أغسطس الذي يعتبر ثاني أكثر الشهور حرارة بمتوسط درجة حرارة يومية ٣١,٣°س، وفي الوقت ذاته هو صاحب ثاني أقل طلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط بالقطاعين المنزلي (١,٤٥ مليون م^٣ بنسبة ٦,١%) والتجاري (٠,١١ مليون م^٣ بنسبة ٧,٣%). وبناءً على ما سبق، فإن استهلاك الغاز الطبيعي في فصل الصيف يقل لأدنى حد له محققا النسبة الأقل للطلب في القطاعين المنزلي (٤,٥٩ مليون م^٣ بنسبة ١٩,٤%) والتجاري (٠,٣٢ مليون م^٣ بنسبة ٢٢,١%) على مدار العام. ويتزامن ذلك مع زيادة درجة الحرارة في فصل الصيف، حيث يصل المتوسط الشهري لدرجة الحرارة اليومية إلى ٣١,٤°س، وهي أعلى قيمة فصلية لدرجة الحرارة.

ويأتي الطلب على الغاز الطبيعي خلال الاعتدالين ليحتل موقعا وسطا بين الطلب المتدني في الصيف وذروة الطلب في الشتاء، حيث بلغ متوسط الطلب الفصلي على الغاز الطبيعي في الربيع ٦,٥٨ مليون م^٣ (بنسبة ٢٧,٨% من إجمالي الطلب السنوي) في القطاع المنزلي، ٠,٣٩ مليون م^٣ (بنسبة ٢٦,٧% من إجمالي الطلب السنوي) في القطاع التجاري. وتبلغ الأرقام المماثلة للطلب على الغاز الطبيعي خلال فصل الخريف فيما تُقدر بنحو ٥,٠٣ مليون م^٣ (بنسبة ٢١,٣% من إجمالي الطلب السنوي)، و٠,٣٤ مليون م^٣ (بنسبة ٢٣,٣% من إجمالي الطلب السنوي) في القطاعين المنزلي والتجاري على الترتيب. وتأتي زيادة الطلب في الربيع عن الخريف متوافقة مع انخفاض المعدل الفصلي لدرجة الحرارة في فصل الربيع (٢٣,٢°س) عن فصل الخريف (٢٤,٣°س)، حيث يعتبر الربيع امتدادا لبرودة فصل الشتاء، ويشكل الخريف استكمالاً لنصف العام الحار مع فصل الصيف. وتجدر الإشارة إلى أن المتوسطات الحرارية تصل إلى حدودها القصوى صيفاً، مع التسليم بأن الاعتدال الربيعي قد يسجل أحيانا درجات حرارة تفوق متوسطات الانقلاب الصيفي. غير أن الأيام الحارة في فصل الربيع قليلة ومحدودة ومتباعدة؛ لأسباب مرتبطة بعدم انتظام فترات مرور المنخفضات الخماسينية، أما حرارة الصيف فهي دائمة، مستقرة، ومستمرة لأيام متتالية، وإن تخللتها أيام لطيفة، فهي الاستثناء وليست قاعدة (يوسف فايد وآخرون، ١٩٩٤).

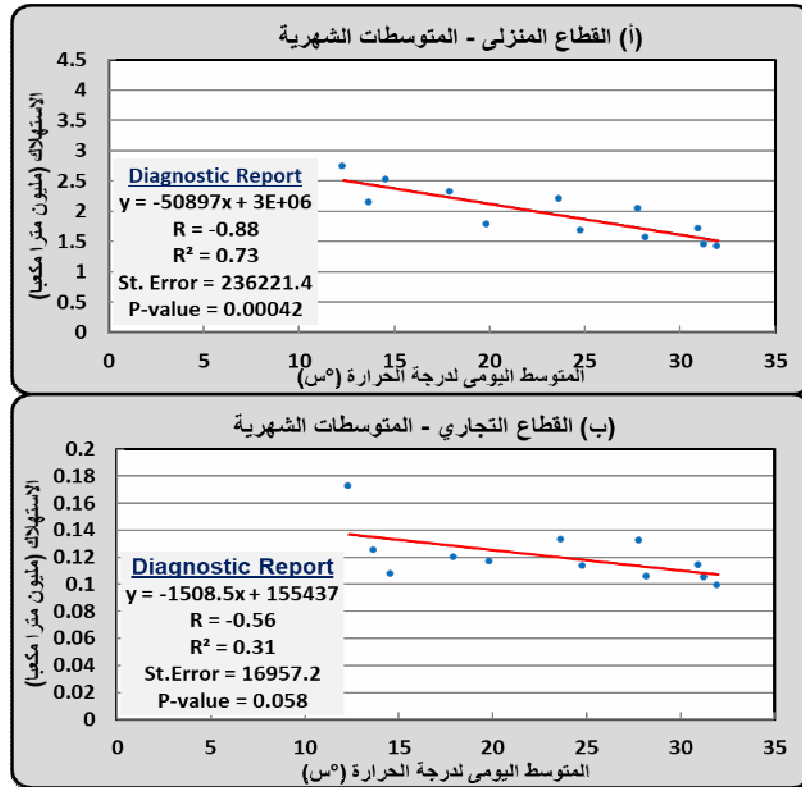
ظهر من الاستعراض السابق ارتباط الاستهلاك المنزلي والتجاري للغاز الطبيعي بدرجة الحرارة اليومية، حيث تبدو العلاقة العكسية شديدة الوضوح على المستويين الشهري والفصلي (شكلا ٣-أ & ٣-ب). فقد أدى انخفاض درجة الحرارة اليومية في فصل الشتاء (١٣,٦°س) عن فصل الصيف (٣١,٤°س) بنحو ١٧,٨°س إلى زيادة استهلاك الغاز الطبيعي في الشتاء عن الصيف بنحو الخمسين (٣٨,٢% أو ٢,٤٨ مليون م^٣) في القطاع المنزلي، وحوالي الخمس (٢٢,٠% أو ٠,٠٩ مليون م^٣) في القطاع التجاري. ويؤكد شكل (٤) على هذه العلاقة ويبرزها بشكل كمي دقيق، حيث يوضح تحليل الانحدار Regression Analysis للعلاقة الخطية بين المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة اليومية (س°) كمتغير مستقل، والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (مليون م^٣) كمتغير تابع، في القطاعين السكني (أ) والتجاري (ب). ويوضح جدول (٥) النتائج الكمية لتحليل الانحدار وفقا للتقرير الإحصائي التشخيصي Diagnostic Report.

جدول (٥) : نتائج تحليل الانحدار الخطي بين المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة (س°) والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (م م^٣) في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسبوط (٢٠١٢-٢٠١٨).

م	العنصر	القطاع السكني	القطاع التجاري
١	النموذج التنبؤي Forecast Model	$y = -50897x + 3000000$	$y = -1508.5x + 155437$
٢	معامل الانحدار Slope	-٥٠٨٩٢	-١٥٠٨,٥
٣	معامل الارتباط Correlation	-٠,٨٥	-٠,٥٦
٤	معامل التحديد Determination	٠,٧٣ (٧٢%)	٠,٣١ (٣١%)
٥	الخطأ المعياري Standard Error	٩٨٦٣,٧±	٧٠٨,٧±
٦	المعنوية Significance	P-value = 0.00042 (٠,٠١)	P-value = 0.058 (٠,٠٥)
٧	مستوى الثقة Confidence level	%٩٩	%٩٥

المصدر: التقرير التشخيصي Diagnostic Report لتحليل الانحدار الخطي البسيط.

وقد أبرزت نتائج التحليل الإحصائي - وفقا لشكل (٤-أ) وجدول (٥) - وجود علاقة عكسية قوية جدا بين درجة الحرارة اليومية واستهلاك الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي بمدينة أسيوط، حيث يبلغ معامل الارتباط الثنائي R بين المتغيرين -٠.٨٥. أي أن استهلاك الغاز الطبيعي يزداد مع انخفاض درجات الحرارة ويقل بارتفاعها خلال شهور العام. ويشير ذلك إلى أن درجة الحرارة اليومية تتحكم وحدها فيما يقرب من ثلاثة أرباع (٧٣%) التباينات الشهرية المرصودة في الطلب على الغاز الطبيعي، بمستوى ثقة Confidence level يزيد عن ٩٩% (علاقة دالة إحصائيا عند مستوى معنوية ٠,٠١)، جدول (٥). بينما تتحكم عوامل أخرى - بعضها مناخي أيضا - في النسبة المتبقية (٢٧%) لحجم التباين في الاستهلاك من شهر لآخر. ويشير معامل الانحدار إلى أن كل انخفاض في درجة الحرارة اليومية بمقدار ١°س يمكن أن يؤدي إلى زيادة في الطلب على الغاز الطبيعي للأغراض المنزلية بمقدار ٥٠,٩ ألف م^٣ (±٩٨٦٣,٧ م^٣).



شكل (٤) : تحليل الانحدار الخطي بين المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة (°س) والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (م^٣) في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسيوط (٢٠١٢-٢٠١٨).

أما على مستوى القطاع التجاري بمدينة أسبوت، فقد ظهرت نفس العلاقة العكسية بين درجة الحرارة اليومية واستهلاك الغاز الطبيعي، وإن كانت أقل قوة من نظيرتها في القطاع السكني، بمعامل ارتباط ثنائي R يبلغ -٠,٥٦. ويشير ذلك إلى أن درجة الحرارة اليومية تتحكم في أقل قليلا من ثلث (٣١%) التباين الشهري الموجود في استهلاك الغاز الطبيعي بالقطاع التجاري لأسبوت. إجمالاً، فإن كل انخفاض في متوسط درجة الحرارة اليومية يؤدي إلى زيادة في الطلب على الغاز الطبيعي للأغراض التجارية بمقدار ١٥٠,٥ وقد ظهرت هذه النتائج ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ٠,٠٥ ($P\text{-value} = 0.05$) ودرجة ثقة ٩٥%. وقد بلغ معامل الانحدار الخطي لهذه العلاقة -١٥٠,٨,٥، أي أن كل انخفاض في درجة الحرارة اليومية ينجم عنه زيادة في الطلب التجاري على استهلاك الغاز الطبيعي بهذا المقدار، وبخطأ معياري يبلغ ٧٠٨,٧ م^٣، جدول (٥). ومن الجدير بالذكر أن تحليل الارتباط الفصلي بين استهلاك الغاز الطبيعي في المدينة والمتوسطات الفصلية لدرجة الحرارة اليومية أظهر وجود علاقة عكسية أكثر قوة بين المتغيرين مما ظهر على المستوى الشهري. فقد بلغت قيمة معامل الارتباط الثنائي بين الاستهلاك ودرجة الحرارة نحو -٠,٩١ في القطاع المنزلي، -٠,٩٠ في القطاع التجاري.

ويمكن تفسير زيادة الطلب على الغاز الطبيعي في القطاعين السكني والتجاري خلال شهور الشتاء إلى البرودة التي يترافق معها زيادة حاجة سكان المدينة إلى التدفئة، والعكس صحيح في شهور الصيف ذات الحرارة المرتفعة وانعدام متطلبات التدفئة. ومن ثم يهيمن على نمط استهلاك الطاقة في معظم البلدان الواقعة في نطاق العروض المدارية والوسطى، ومنها مدينة أسبوت، التبريد خلال الموسم الحار، والتدفئة خلال الفترة الباردة. وتعد المتطلبات البلدية من تسخين المياه وطهي الطعام المستهلكين الرئيسيين للغاز الطبيعي في مدينة أسبوت. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه العلاقة العكسية بين درجة الحرارة واستهلاك الغاز الطبيعي تأتي مغايرة لما هو موجود بين درجة الحرارة وأشكال أخرى للطاقة، مثل استهلاك الطاقة الكهربائية. فقد أشارت دراسات عدة إلى أن استهلاك الطاقة الكهربائية يزيد بشكل رئيسي مع زيادة درجة الحرارة بسبب زيادة متطلبات التبريد في الشهور الحارة بدرجة أكبر من زيادة متطلبات التدفئة في الشهور الباردة. وقد ظهر ذلك في القاهرة (وليد عباس، ٢٠١٣) وشنغهاي (Yi- (Ling et al., 2014) وكراغوفاتش الصربية (Jovanovic et al., 2015) وأبيجان (ساحل العاج) وكونونو (بنين) ولومي (توجو) (Akara et al., 2021). ويشير ذلك إلى أن اختلاف دور المناخ في استهلاك الوقود والطاقة وتحديد الطلب عليهما من شكل إلى آخر في هذا القطاع الاقتصادي المتنوع، وهو ما يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند إدارة وتخطيط هذا القطاع الحيوي.

وقد جاءت النتائج السابقة متوافقة إلى حد كبير مع ما ذهبت إليه نتائج الدراسات السابقة، حيث خلصت إلى أن درجة الحرارة المحيطة عامل أساسي يتحكم صعوداً وهبوطاً في استهلاك الطاقة (الغاز الطبيعي) في المناطق الحضرية (Yan, 1998). فقد درس ثورنتون (Thornton et al., 2016) دور درجة الحرارة في تباين وتغير الطلب على الكهرباء والغاز الطبيعي في بريطانيا. وقد تبين أن هناك

ارتباطاً قوياً بين الطلب على الغاز الطبيعي والمتوسط اليومي لدرجة الحرارة، حيث بلغ معامل الارتباط بينهما -0.83، وسجل فصل الشتاء أقوى علاقة ارتباط بمعامل -0.90. وأشارت الدراسة أيضاً إلى أنه عادة ما يؤدي انخفاض درجة الحرارة اليومية بمقدار 1°س خلال فصل الشتاء إلى زيادة الطلب على الغاز الطبيعي بنسبة 3-4٪. وكشفت دراسة (Fung et al., 2006) أن درجة الحرارة تفسر 73٪ من التباين الكلي في استهلاك الطاقة، وتعتمد النسبة المتبقية على بعض المتغيرات الاجتماعية والاقتصادية في المدينة. وفي دراسة أخرى (Sailor and Muñoz, 1997) ظهر أن درجة الحرارة تفسر وحده أكثر من 80% من التغير الذي يحدث في استهلاك الطاقة بالولايات المتحدة الأمريكية. وحدد Sailor et al. (1998) التأثير المتوقع للزيادة بمقدار 1°س في متوسط درجة الحرارة الشهرية على الاستهلاك الأمريكي من الغاز الطبيعي بانخفاض مقداره 1.8٪ في القطاع السكني، وبنسبة 9.5٪ في القطاع التجاري. والحقيقة أن بعض المناطق تشهد ذروة سنوية لاستخدام الطاقة في فصل الصيف بسبب المتطلبات الكبيرة للتبريد (Yan, 1998)، في حين تشهد مناطق أخرى ذروة سنوية لاستهلاك الطاقة في الشتاء بسبب ارتفاع الطلب على التدفئة (Hor et al., 2005).

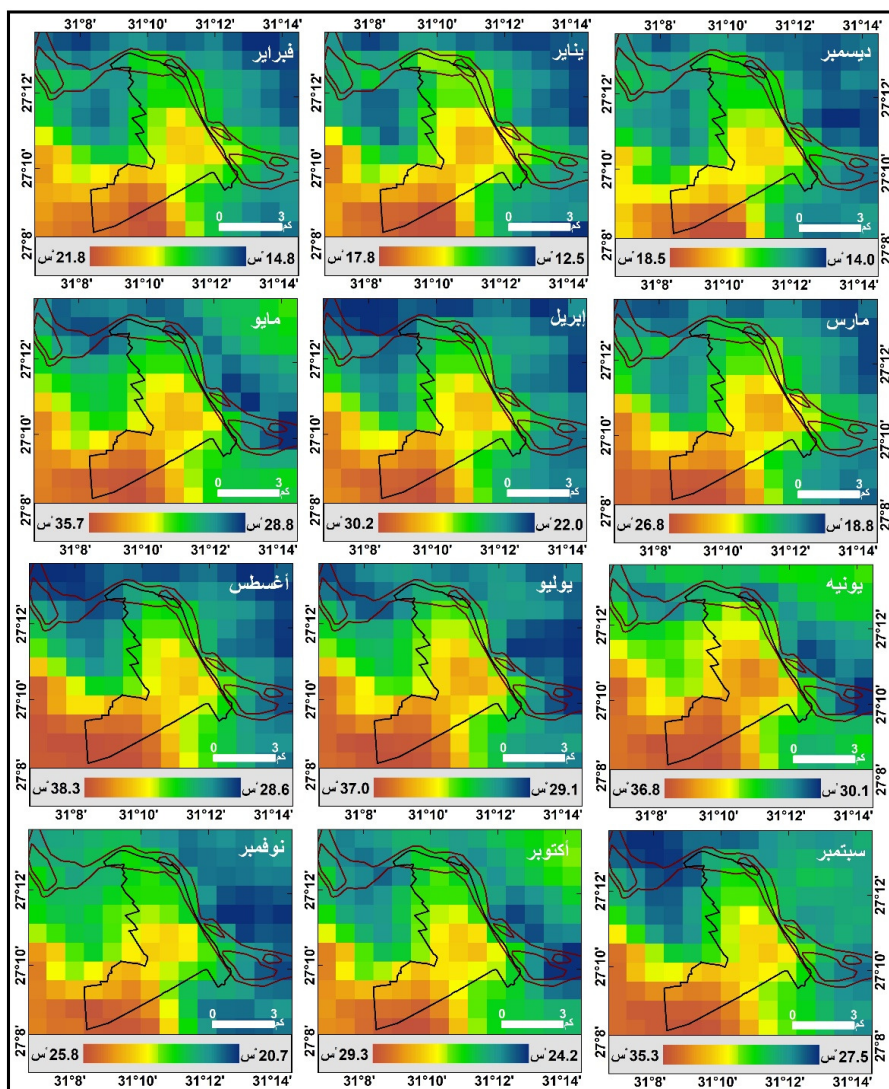
٤-٣ تطبيقات الاستشعار عن بعد لدراسة الاستهلاك الشهري والفصلي للغاز الطبيعي

وعلاقته بدرجة حرارة سطح الأرض في المدينة ودرجة حرارة مياه نهر النيل:

لجأت الدراسة إلى تكامل تقنيي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من أجل استخراج درجات الحرارة من المرئيات الفضائية لتحليل العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض واستهلاك الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط. كما قدمت الدراسة تقييماً لدور درجة حرارة سطح مياه النيل وتباينها الزمني في تباين الطلب على الغاز الطبيعي في المدينة. وقد اعتمدت الدراسة في سبيل تحقيق ذلك على درجات الحرارة المستخرجة من مرئيات القمر الصناعي Terra MODIS والقمر الصناعي Landsat-8 TIRS.

يوضح شكل (٥) التباين المكاني للمتوسطات الشهرية لدرجة حرارة سطح الأرض LST (°س) المحسوبة من مرئيات Terra MODIS الملتقطة نهاراً وليلاً في مدينة أسيوط (٢٠١٢-٢٠١٨). ويوضح جدول (٤) متوسطات درجة حرارة سطح الأرض في مدينة أسيوط على مدار شهور وفصول السنة. يظهر بوضوح من استقراء البيانات والأشكال التحليلية لها استمرار العلاقة العكسية القوية بين درجة حرارة سطح الأرض والطلب على الغاز الطبيعي في المدينة كما ظهرت من قبل بين درجة حرارة الهواء واستهلاك الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي. فقد تزامن الحمل الأقصى (استهلاك ٢,٧٤ مليون م^٣) على مرفق الغاز الطبيعي في المدينة مع انخفاض درجة حرارة سطح الأرض لأدناها (١٥,٧°س) خلال شهر يناير. على الجانب الآخر انخفضت الأحمال إلى أدناها (١,٤٣ مليون م^٣) خلال شهر يوليو بالتزامن مع تحقيق درجة حرارة سطح أرض واحدة من أعلى قيمها (٣٤,٣°س). وتبدو العلاقة بشكل أقوى على المستوى الفصلي كما

يوضح جدول (٤)، حيث يؤدي انخفاض درجة حرارة سطح الأرض إلى ١٧,١°س إلى تناقص الاستهلاك إلى ٧,٤٣ مليون م^٢، والعكس في فصل الصيف (٤,٥٩ مليون م^٢ & درجة حرارة ٣٤,٦°س). ويتميز الربيع والخريف بطلب متوسط نظرا لظروف الاعتدال الحراري.

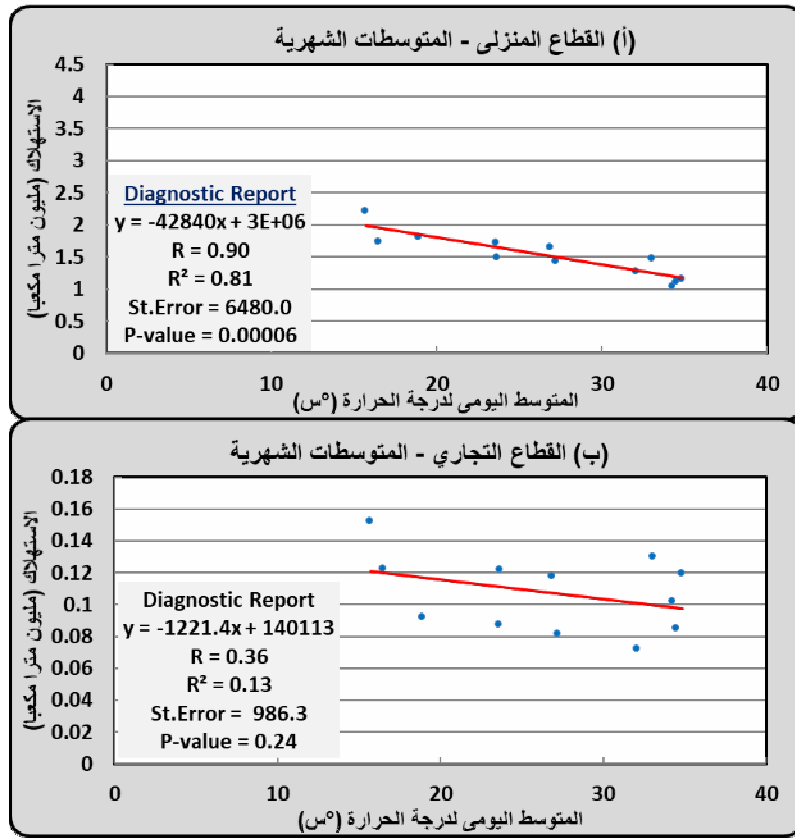


شكل (٥) : المتوسطات الشهرية لدرجة حرارة سطح الأرض LST اليومية (°س)

في مدينة أسيوط (٢٠١٢-٢٠١٨).

المصدر: مرئيات Terra MODIS الملتقطة نهارا وليلا خلال فترة الدراسة.

ويُظهر شكل (٦) العلاقة الخطية بين المتوسطات الشهرية لدرجة حرارة سطح الأرض اليومية ومقدار الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي والتجاري بالمدينة. وتبدو العلاقة العكسية بين المتغيرين في القطاع المنزلي أكثر قوة مما ظهرت عليه في حالة درجة حرارة الهواء. فقد ارتفعت قيمة معامل الارتباط لتسجل -٠,٩٠، ما يعني أن درجة حرارة سطح الأرض كمتغير مستقل يمكن أن يفسر وحده ٨٩% من التباين الشهري في حجم الطلب على الغاز الطبيعي في المدينة. ويُظهر معامل انحدار Slope خط الاتجاه أن كل تناقص في درجة حرارة سطح الأرض بالمدينة يمكن أن تؤدي إلى زيادة في الأحمال المتوقعة على مرفق الغاز الطبيعي بالقطاع المنزلي بنحو ٤٢,٨ ألف م^٣، والعكس صحيح. وهي نتائج دالة إحصائياً عند مستوى ثقة ٩٩%.



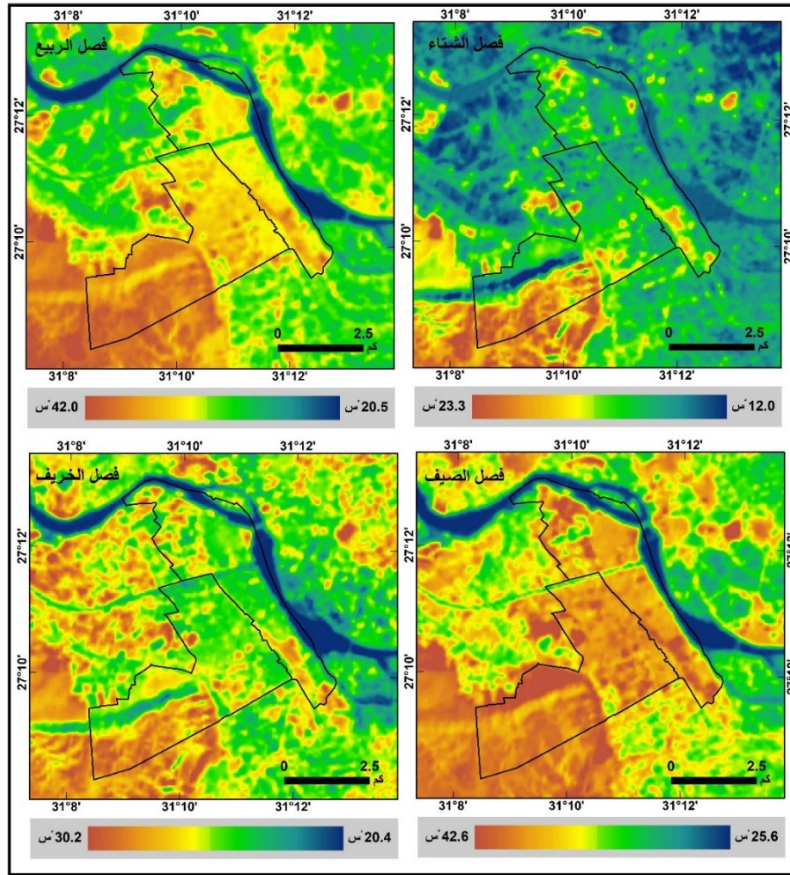
شكل (٦) : تحليل الانحدار بين المتوسطات الشهرية لدرجة حرارة سطح الأرض (س°) والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (م^٣) في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسيوط (٢٠١٢-٢٠١٨).

أما ما يخص الأحمال في مرفق الغاز الطبيعي بالقطاع التجاري، فقد ظهرت العلاقة بين المتوسطات الشهرية لدرجة حرارة سطح الأرض والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي أضعف مما كانت عليه بين الاستهلاك ودرجة حرارة الهواء. فقد انخفض معامل الارتباط الثنائي لاستهلاك الغاز الطبيعي من $-0,56$ مع درجة حرارة الهواء، إلى $-0,36$ مع درجة حرارة سطح الأرض. ما يعني أن القوة التفسيرية لدرجة حرارة سطح الأرض لم تتعد 13% من التباين في حجم الطلب على الغاز الطبيعي بالقطاع التجاري، بعد أن كانت تلك النسبة 31% في حالة درجة حرارة الهواء. ليس هذا فحسب، بل أن التقرير التشخيصي لتحليل الانحدار الخطي للعلاقة بين المتغيرين في القطاع التجاري يشير إلى أن قيمة P-value تبلغ $0,24$ ، ما يعني أن نتائج العلاقة الإحصائية بين درجة حرارة سطح الأرض واستهلاك الغاز الطبيعي غير دالة إحصائياً في القطاع التجاري، وبالتالي ينخفض مستوى الثقة بشكل كبير في هذه النتائج. لذا فإن اعتبار درجة حرارة سطح الأرض مؤثراً رئيسياً في استهلاك الغاز الطبيعي ومحدداً مهماً في إدارة هذا المرفق يرتبط بشكل أقوى وأوضح بالقطاع المنزلي أكثر من القطاع التجاري.

وتجدر الإشارة إلى أن دور درجة الحرارة كمتحكم رئيسي في تباين الطلب على الغاز الطبيعي في المدينة وتحديد حجم الأحمال على هذا المرفق لا يقتصر على تأثيره المباشر من خلال درجتي حرارة الهواء وسطح الأرض داخل المدينة نفسها، بل تتسع فاعليته ودوره من خلال متاخمة مدينة أسبوط لنهر النيل، ما يجعله عاملاً مهماً في تشكيل ملامح النظام الحراري لهذه البيئة الحضرية. وتتعاظم أهمية هذا الدور نتيجة تغير التأثير الحراري لمياه النيل من فصل لآخر، وبشكل يخلق نمطاً فصلياً ويومياً معكوساً بين درجة حرارة سطح الأرض في مدينة أسبوط، وبين درجة حرارة سطح مياه النيل.

يوضح شكل (٧) توزيع درجات حرارة سطح الأرض ومياه نهر النيل في مدينة أسبوط والمناطق المتاخمة لها. وقد اعتمد حساب درجات الحرارة على أربع مرئيات من نوع Landsat-TIRS 8 ممثلة للفصول الأربعة. ويضم جدول (٦) المؤشرات الإحصائية الرئيسية لدرجات الحرارة في المدينة ومياه نهر النيل. يظهر من القراءة التحليلية للشكل والجدول أن مياه نهر النيل دائماً ما تسجل أقل القيم الحرارية في كل الفصول مقارنة بدرجات حرارة سطح الأرض بالمدينة والمناطق المتاخمة لها من الأراضي الزراعية والأسطح الصحراوية. تراوحت درجة حرارة مياه نهر النيل خلال فصل الشتاء ما بين $14,3-21,6$ °س، بمتوسط $15,3$ °س. وبذلك سجل فصل الشتاء أدنى درجة حرارة لسطح المياه، وهو ما انعكس على استهلاك الغاز الطبيعي، حيث توافقت ذلك مع أقصى استهلاك فصلي من الغاز الطبيعي في كل من القطاعين المنزلي ($7,43$ مليون م^٣ بنسبة $31,4\%$) والتجاري ($0,41$ مليون م^٣ بنسبة $28,0\%$) من جملة الاستهلاك السنوي. وعلى

النقيض سجلت درجة حرارة مياه النيل أعلى مستوياتها الفصلية خلال الصيف، حيث تراوحت بين ٢٥,٥-٣٩,٨°س، بمتوسط ٢٨,٨°س. أي أن متوسط درجة حرارة سطح المياه خلال الصيف أكثر دفئاً منه خلال فصل الشتاء، بفارق حراري مرتفع (١٣,٥°س). وهو ما يجعل استهلاك الغاز الطبيعي خلال هذا الفصل ينخفض إلى أدنى مستوياته في القطاع المنزلي (٤,٥٩ مليون م^٣ بنسبة ١٩,٤%) والتجاري (٠,٣٢ مليون م^٣ بنسبة ٢٢,١%) من جملة الاستهلاك السنوي. أي أن الاستهلاك المنزلي للغاز الطبيعي في الصيف ينخفض إلى ٦١,٨% من استهلاك الشتاء، كما يقل الاستهلاك التجاري خلال الفصل نفسه إلى ٧٨,٠% من استهلاك فصل الشتاء.



شكل (٧) : توزيع درجات حرارة سطح الأرض ومياه نهر النيل

في مدينة أسيوط والمناطق المتاخمة لها.

المصدر: المعالجة الراديومترية للقناة الحرارية Band-11 بمرئية القمر الصناعي Landsat-8.

جدول (٦) : المؤشرات الإحصائية الرئيسية لدرجات حرارة (س) سطح الأرض ومياه نهر النيل في مدينة أسيوط وأحياءها الإدارية وعلاقتها باستهلاك الغاز الطبيعي (م^٣) خلال فصول العام.

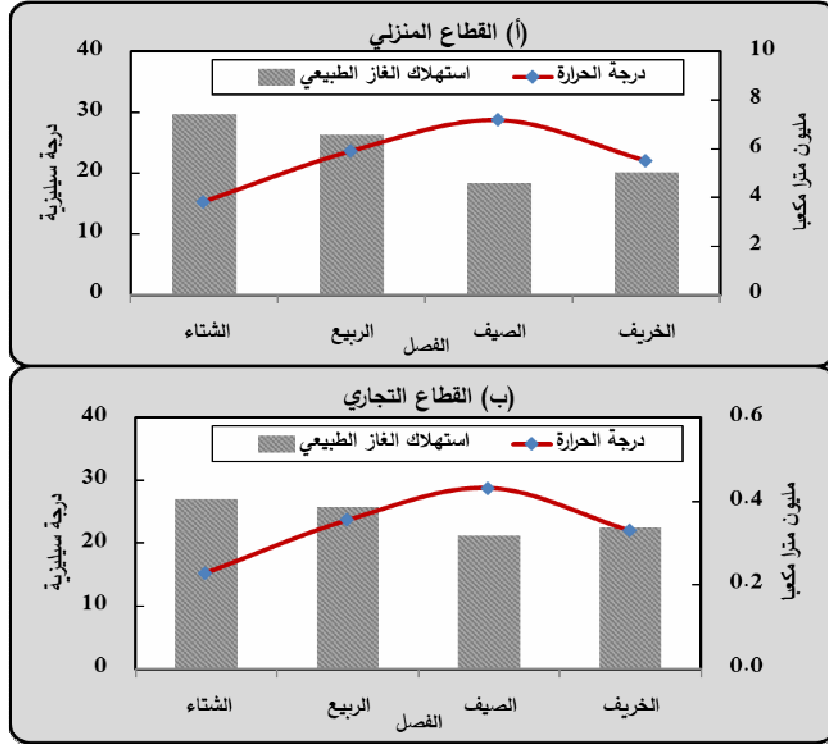
الفصل	درجة الحرارة					الاستهلاك	
	أحياء المدينة		نهر النيل		المدينة	منزلي	
	م ^٣ /س	م ^٣ /س	متوسط	متوسط		تجاري	تجاري
الشتاء	١٧,٧	١٦,٩	١٥,٣	١٧,٤	١٧,٤	٤,٩٤	٢,٤٩
الربيع	٣٤,٥	٣١,٦	٢٣,٧	٣٣,٣	٣٣,٣	٤,٣٣	٢,٢٥
الصيف	٣٧,٢	٣٥,٩	٢٨,٨	٣٦,٤	٣٦,٤	٣,٠٨	١,٥١
الخريف	٢٥,٤	٢٤,٩	٢٢,٠	٢٥,٢	٢٥,٢	٣,٣٩	١,٦٥
السنوي	٢٨,٧	٢٧,٣	٢٢,٥	٢٨,١	٢٨,١	١٥,٧٣	٧,٨٩

المصدر: التحليل النطاقي GIS Zonal Analysis لدرجات الحرارة المحسوبة من مرئيات Landsat-8 TIRS.

احتل الاعتدال الخريفي الترتيب الثاني من حيث أدنى درجة حرارة لسطح المياه بعد الشتاء بمتوسط حراري بلغ ٢٢°س، بينما سجل الاعتدال الربيعي متوسط حراري لمياه النيل بلغ ٢٣,٧°س. ويلاحظ أنه بالرغم من ارتفاع درجة حرارة سطح مياه نهر النيل خلال الربيع إلا أن نسبة استهلاك الغاز الطبيعي زادت خلاله عن فصل الخريف في القطاع المنزلي بنسبة ٢٩,٢% (من ٥,٠٣ مليون م^٣ بنسبة ٢١,٣% إلى ٦,٥٨ مليون م^٣ بنسبة ١٩,٤%) وفي القطاع التجاري بنسبة ١٤,٧% (من ٠,٣٤ مليون م^٣ بنسبة ٢٣,٣% إلى ٠,٣٩ مليون م^٣ بنسبة ٢٦,٧%).

ويظهر مما سبق أن درجة حرارة مياه نهر النيل بمثابة مؤشرا قويا على مجمل الظروف الحرارية السائدة في مدينة أسيوط، ومن ثم يمكن الاعتماد عليها لتقدير الطلب على الغاز الطبيعي في المدينة شهريا وفصليا، والتنبؤ بحجم الأحمال المتوقعة، بما يساهم في إدارة هذا المرفق بشكل فعال. ويشير التحليل السابق أيضا إلى أن درجة الحرارة المنخفضة لمياه النيل تجعل منه عامل تبريد وتلطيف لدرجة الحرارة بمدينة أسيوط، وهو ما يتبعه زيادة في استهلاك الغاز الطبيعي بسبب زيادة متطلبات التدفئة في الشهور الباردة، مثل عمليات تسخين وتدفئة المياه. ويتعاطم دور النيل في تلطيف درجة الحرارة بالمدينة بسبب ظروف الموضع التي جعلت نهر النيل يحيط بالمدينة خلال ثلاث جهات، وهي الشرقية والشمالية والشمالية الغربية. ومن ثم تأتي الرياح من هذه الاتجاهات الثلاثة لتنتقل المؤثرات النيلية الملطفة إلى المدينة فتساهم في زيادة التبريد الحراري وبالتالي يزيد استهلاك الغاز الطبيعي. ويظهر من شكل (٨) العلاقة الفصلية العكسية القوية بين

درجة حرارة مياه نهر النيل - كمؤشر على درجة التبريد - وبين استهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي والتجاري، حيث تبلغ قيمة معامل الارتباط التثائي -0.81 & -0.80 في القطاعين على الترتيب.



شكل (٨) : التباين الفصلي لدرجة حرارة مياه نهر النيل واستهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي التجاري بمدينة أسيوط.

يضم جدول (٦) أيضا أحد الدلائل القوية على دور نهر النيل في تلطيف درجة حرارة المناطق المجاورة له، ما يجعلها أكثر استهلاكا للغاز الطبيعي بشكل مستمر عن المناطق البعيدة عن نهر النيل وتأثيره في تبريد الهواء. ويظهر من الجدول أن حي شرق أسيوط (قسم ثان) المجاور لنهر النيل (يضم ست شياخات هي الوليدية القبلية، الوليدية الوسطانية، الوليدية البحرية، الحمراء الأولى، الحمراء الثانية، السابعة) دائما ما يتمتع بمتوسط درجة حرارة أقل من مثلتها في حي غرب أسيوط (قسم أول) الذي يقع بعيدا عن نهر النيل مجاورا للهضبة الغربية (يضم تسع شياخات هي الشركات، الأولى، الثانية، الثالثة، الرابعة، الخامسة، السادسة، البيسري، المدابغ)،

راجع شكل (١). وتبلغ المتوسطات الحرارية لحي شرق وحي غرب على الترتيب ١٦,٩ & ١٧,٧°س في الشتاء (فارق حراري ٠,٨°س)، ٣١,٦ & ٣٤,٥°س في الربيع (فارق حراري ٢,٩°س)، ٣٥,٩ & ٢٧,٢°س في الصيف (فارق حراري ١,٣°س)، ٢٤,٩ & ٢٥,٤°س في الخريف (فارق حراري ٠,٥°س). وقد ظهر تأثير ذلك بأن جاء الطلب على الغاز الطبيعي في شياخات حي شرق دائما أكبر من مثيله في حي غرب بنسب بلغت ٩٨,٤%، ٩٢,٤%، ١٠٤,٠%، ١٠٥,٥% في الفصول الأربعة على الترتيب. وفي ذلك إشارة إلى ضرورة الأخذ في الاعتبار التباين المكاني للطلب على الغاز الطبيعي في المدينة وعلاقته بالتأثير الملطف لنهر النيل، ودور كل ذلك في تباين حجم الأحمال من شياخة لأخرى داخل المدينة.

٤-٤ الاستهلاك الشهري والفصلي للغاز الطبيعي وعلاقته بالرياح والرطوبة:

تناولت المباحث السابقة دور درجة الحرارة في تحديد الطلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط، وما يرتبط بذلك من تباين للأحمال المتوقعة زمنيا ومكانيا. كما تم بيان كيف يمكن الاعتماد على تلك العلاقة في إدارة قطاع الغاز الطبيعي من خلال التقدير المُسبق لاحتياجات السكان من الغاز الطبيعي وفقا للظروف الحرارية المتوقعة، وهو ما يمكن الاعتماد عليه لتوجيه عملية الإنتاج لسد هذه الاحتياجات، تلافيا لحدوث مشكلات مرتبطة بعدم وفاء هذا المرفق بمتطلبات السكان من الطاقة. ويستكمل هذا المحث تناول السابق من خلال الكشف عن دور سرعة الرياح والرطوبة النسبية في تحديد نمط استهلاك الغاز الطبيعي بمدينة أسيوط. فقد أوضحت دراسات عدة (Yan, 1998; Timmer and Lamb, 2007) أن الظروف المناخية السائدة بالمدينة تحدد نمط استهلاك الطاقة بها، وتأتي درجة الحرارة والرطوبة الجوية وسرعة الرياح في مقدمة هذه العناصر.

وتساهم الرطوبة النسبية في تحديد متطلبات الطاقة داخل المدينة من خلال تأثيرها في مدى شعور الإنسان بالراحة الفسيولوجية بما يشكل نمط متطلباته من التبريد أو التدفئة. كما تشارك الرياح بشكل قوي في تحديد الاستهلاك الكلي للوقود والطاقة داخل مباني المدن. وقد حدد Arens and Williams (1997) أربع آليات تقوم الرياح من خلالها بالتأثير في استهلاك الطاقة، وهي:

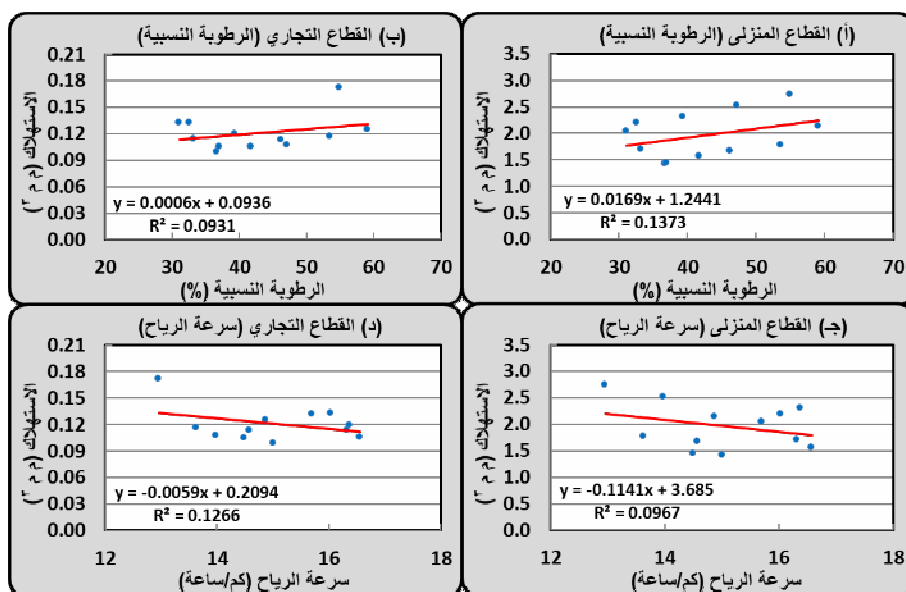
١. **تخلل الرياح بين المباني وتسربها مرة أخرى خارج المدينة** Infiltration and Exfiltration، حيث يساهم الهواء الذي يهب على المدينة في الفقد الحراري للمباني، خاصة في المناطق السكنية. وتصل نسبة الفقد الحراري الأفقي Advection إلى ٣٠-٧٥% خلال الشتاء. وهذه الآلية هي الأكثر شيوعا، بل ويتناولها البعض باعتبارها التأثير الوحيد للرياح في النظام الحراري للمدينة.

٢. **انتقال الحرارة السطحية** Surface Heat Transmission. يمكن أن يساهم تدفق الرياح حول المباني في تكوين حركة تصعيدية Convection تجبر الهواء على الحركة لأعلى فتتسرب الحرارة رأسياً. وتساهم تلك الآلية في زيادة استهلاك الطاقة من خلال معدلات التبريد للمدينة.
٣. **كفاءة النظم الميكانيكية** Mechanical Systems Efficiency. تتحكم الرياح من خلال حركتها حول المباني في مواقع مداخل التهوية ومخارج العوادم ومدى فاعليتها، كما تؤثر في مدى كفاءة نظم تكييف الهواء Air-conditioning داخل المباني.
٤. **المساحات المفتوحة** Outdoor Spaces. تسمح المساحات غير المبنية أو المفتوحة في المدينة بحرية أكبر لحركة الهواء وزيادة سرعتها نتيجة قلة الخشونة السطحية Surface Roughness، وبالتالي تناقص معدل احتكاك الهواء Friction بالأسطح. ويساهم ذلك في زيادة معدلات التهوية والتبريد بالمدينة، وبالتالي زيادة استهلاك الطاقة.

يوضح شكل (٩) تحليل الانحدار الخطي بين المتوسطات الشهرية للرطوبة النسبية (%) وسرعة الرياح (كم/ساعة) والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (مليون م^٣) في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسيوط خلال الفترة (٢٠١٢-٢٠١٨). ويظهر من الشكل تغير العلاقة بين استهلاك الغاز الطبيعي من ناحية، وبين الرطوبة النسبية وسرعة الرياح من ناحية أخرى. ففي حالة الرطوبة النسبية (شكل ٩-أ & ٩-ب) تبدو العلاقة طردية مع استهلاك الغاز الطبيعي، ما يعني أن زيادة محتوى الهواء من بخار الماء واقترابه من درجة التشبع يزيد من الطلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط، بمعدل ٠,١٧ مليون م^٣ لكل زيادة في الرطوبة النسبية قدرها ١٠% بالقطاع المنزلي، وبمعدل ٠,٠٠٦ مليون م^٣ لكل زيادة في الرطوبة النسبية بمقدار ١٠%. والحقيقة أن هذه النتيجة تبدو منطقية، حيث إن زيادة الرطوبة النسبية يزيد من الإحساس الفعلي للسكان بدرجة الحرارة ويقلل من الراحة الفسيولوجية، ما يجعل الطلب يتزايد على استهلاك الطاقة. أضف لذلك أن زيادة الرطوبة النسبية هي أحد سمات الشهور الباردة، وهي نفس الشهور التي شهدت زيادة في استهلاك الغاز الطبيعي، راجع شكلي (٣ & ٤).

وتتبع العلاقة في حالة سرعة الرياح كما يوضح شكلا ٩-ج & ٩-د، حيث تبدو العلاقة عكسية مع استهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي والتجاري. والحقيقة أن الشكل يبين أن العلاقة دائماً ما تكون أقوى في حالة الرطوبة النسبية عن سرعة الرياح، وكذلك في حالة القطاع المنزلي عن القطاع التجاري. ولكن بوجه عام هي علاقة غير قوية وغير دالة إحصائياً، عكس ما ظهر في حالة درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة سطح الأرض بالمدينة ودرجة حرارة مياه نهر النيل. وتتفق تلك النتائج مع دراسة (Sailor and Muñoz 1997) التي أوضحت أن درجة الحرارة

تفسر أكثر من ٨٠% من التغير الذي يحدث في استهلاك الطاقة في الولايات المتحدة، بينما لا تفسر الرطوبة النسبية إلا أقل من ١٥%، ولسرعة الرياح أثر لا يذكر على استهلاك الغاز الطبيعي. لذا أجريت معظم الدراسات الحديثة عن تأثير الطاقة باستخدام درجة الحرارة كمتغير رئيسي. ومع هذا تجدر الإشارة إلى أن هذه النتائج الإحصائية لا تعني ضعف العلاقة بين الطلب على الغاز الطبيعي وبين الرطوبة النسبية وسرعة الرياح، بقدر ما تشير إلى أن قوة العلاقة بين استهلاك الغاز الطبيعي ودرجة الحرارة تتضاءل أمامها قوة العلاقة مع المتغيرات المناخية الأخرى. وقد يكون للرياح دورا ولكنه لا يظهر إلا خلال فترات قصيرة عند زيادة سرعتها.



شكل (٩) : تحليل الانحدار الخطي بين المتوسطات الشهرية للرطوبة النسبية (%) وسرعة الرياح (كم/ساعة) والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (مليون م^٣) في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسيوط خلال الفترة (٢٠١٢-٢٠١٨).

٤-٥ متطلبات التبريد والتدفئة وعلاقتها باستهلاك الغاز الطبيعي:

تتسم الظروف المناخية في مدينة أسيوط بارتفاع كبير في درجة الحرارة خلال فصل الصيف، إذ بلغ متوسط درجة الحرارة اليومية ٣١,٤°س، بينما يشهد فصل الشتاء انخفاضا في درجات الحرارة ليقل المتوسط إلى ١٣,٦°س. ويقترب فصل الربيع حراريا من الشتاء (متوسط ٢٣,٢°س)، بينما يعتبر الخريف امتدادا لفصل الصيف (متوسط ٢٤,٣°س). ومن ثم فإن الأمر

يتطلب استخداما مكثفًا لأجهزة التدفئة خلال فصل الشتاء لتوفير الأجواء الملائمة داخل المباني، إضافة إلى تسخين المياه وطهي الطعام، وما يترتب على ذلك من زيادة استهلاك الغاز الطبيعي مقارنة مع باقي شهور السنة كما ظهر من الاستعراض السابق. وقد أشارت دراسة (Tso and Yau, 2003)، أنه لا يوجد سوى نوعين رئيسيين من الاستخدام النهائي للغاز الطبيعي في القطاع المنزلي، وهما تسخين (تدفئة) المياه وطهي الطعام.

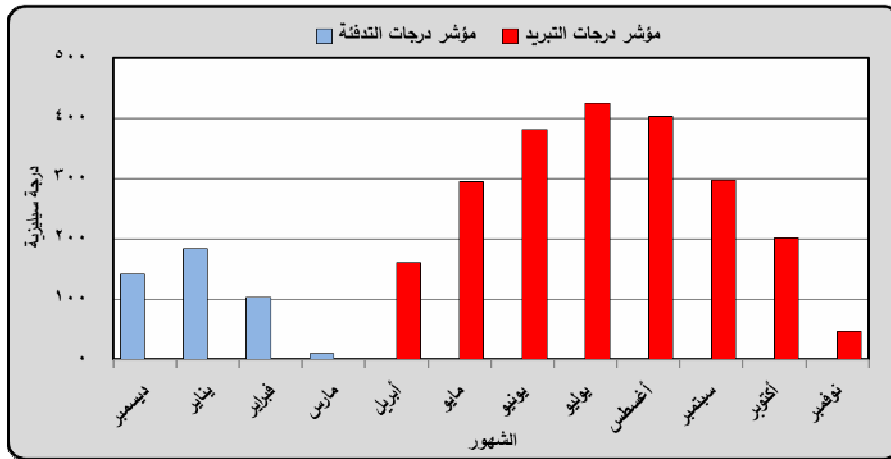
يهدف هذا البحث إلى تقديم تقييم كمي لمتطلبات التدفئة والتبريد في مدينة أسيوط على مدار شهور وفصول العام خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨ اعتمادًا على مؤشري درجات أيام التدفئة HDD ودرجات أيام التبريد CDD، والذان صُمما لعكس مقدار الطلب على الطاقة اللازمة لتدفئة المباني أو تبريدها. ومن ثم يمكن استخدام نتائج هذين المؤشرين لتفسير النمط الشهري والفصلي لاستهلاك الغاز الطبيعي في المدينة (Timmer & Lamb, 2007; Aras, 2008; Liu & Sweeney, 2012). يوضح جدول (٧) وشكل (١٠) التباين الشهري لمؤشري درجات أيام التدفئة والتبريد في مدينة أسيوط خلال الفترة من ٢٠١٢-٢٠١٨. ويظهر منهُما بوضوح سيادة متطلبات التبريد خلال الشهور الحارة في المدينة بشكل أكبر من متطلبات التدفئة خلال الشهور الباردة. فقد بلغ المجموع السنوي للدرجات السيليزية التي تزيد عن درجة الحرارة المرجعية (١٨,٣°س) خلال الشهور الحارة ما يقارب ٢٢١٢,٦°س، بينما لم يزد المجموع السنوي للدرجات السيليزية التي تقل عن نفس المرجع عن ٤٤٠,٧°س. ومن ثم فإن متطلبات التدفئة لدى سكان المدينة على مدار العام تقل عن خمس (١٩,٩%) متطلباتهم للتبريد. أضف لذلك أن استهلاك الطاقة بغرض التبريد في المدينة يتوزع على مدار ثلثي العام (ثمانية شهور)، بينما يتركز استهلاك الطاقة لأغراض التدفئة في ثلث العام فقط، ممثلاً في شهور الشتاء كأكثر الشهور انخفاضاً في درجة الحرارة بمتوسط ١٣,٦°س، إضافة إلى شهر مارس بمتوسط درجة حرارة ١٨,٠°س. ومن ثم فإن سكان مدينة أسيوط يستهلكون الغاز الطبيعي في التدفئة خلال أربعة شهور (من ديسمبر إلى مارس)، بينما يتحول استهلاك الطاقة إلى التبريد من شهر إبريل إلى نوفمبر. وعليه فإن هذه الشهور الأربعة تمثل ذروة الأحمال على مرفق الغاز الطبيعي لسد حاجة السكان المتزايدة لاستهلاك الطاقة بهدف التدفئة لمواجهة الظروف الحرارية الباردة.

يبدو من الجدول والشكل أيضاً التباين الشهري والفصلي على مدار العام لمتطلبات التدفئة والتبريد في المدينة، في ضوء قيم مؤشري درجات أيام التدفئة والتبريد. ويُفسر هذا التباين اختلاف حجم الطلب على الغاز الطبيعي في المدينة على مدار شهور وفصول العام كما سبق بيانه. حقق شهر يناير المركز الأول كأكثر الشهور في متطلبات التدفئة بمدينة أسيوط، حيث بلغ إجمالي الدرجات السيليزية المطلوب استهلاك الغاز الطبيعي لتدفئتها نحو ١٨٤,٧°س. ويتوافق ذلك مع كون يناير أبرد شهور العام بمتوسط ١٢,٣°س، وهو ما يُفسر حدوث الأحمال القصوى

على مرفق الغاز الطبيعي خلال ذات الشهر، بمتوسط استهلاك ٢,٧٤ مليون م^٣ (١١,٦%) في القطاع المنزلي، ونحو ٠,١٧ مليون م^٣ (١١,٩%) في القطاع التجاري. ويأتي شهر يوليو كأكثر الشهور حرارة بمتوسط ٣٢,٠°س. لذا ينخفض الطلب على استهلاك الغاز الطبيعي لأدناه خلال هذا الشهر بمتوسط ١,٤٣ مليون م^٣ (٦,٠%) في القطاع المنزلي، وحوالي ٠,١٠ مليون م^٣ (٦,٩%) في القطاع التجاري. ويتوافق ذلك مع انعدام الطلب على الغاز الطبيعي لأغراض التدفئة، بينما يصل الطلب على الطاقة بوجه عام إلى ذروته لأغراض التبريد، حيث بلغ إجمالي الدرجات السيليزية المطلوب تبريدها نحو ٤٢٤,٧°س.

جدول (٧) : المتطلبات الشهرية للتدفئة والتبريد وفقا لمؤشري درجات أيام التدفئة والتبريد في مدينة أسبوط خلال الفترة من ٢٠١٢-٢٠١٨.

المستوى الزمني	درجة الحرارة (س°)	عدد الأيام	درجات أيام التدفئة	درجات أيام التبريد
ديسمبر	١٣,٧	٣١	١٤٢,٢	٠,٠
يناير	١٢,٣	٣١	١٨٤,٧	٠,٠
فبراير	١٤,٦	٢٨	١٠٣,٢	٠,٠
فصل الشتاء	١٣,٦	٩٠	٤٣٠,٠	٠,٠
مارس	١٨,٠	٣١	١٠,٦	٠,٠
أبريل	٢٣,٧	٣٠	٠,٠	١٦١,١
مايو	٢٧,٨	٣١	٠,٠	٢٩٥,٤
فصل الربيع	٢٣,٢	٩٢	١٠,٦	٤٥٦,٥
يونيو	٣١,٠	٣٠	٠,٠	٣٨٠,٦
يوليو	٣٢,٠	٣١	٠,٠	٤٢٤,٧
أغسطس	٣١,٣	٣١	٠,٠	٤٠٣,٤
فصل الصيف	٣١,٤	٩٢	٠,٠	١٢٠٨,٧
سبتمبر	٢٨,٢	٣٠	٠,٠	٢٩٧,٩
أكتوبر	٢٤,٨	٣١	٠,٠	٢٠٢,٤
نوفمبر	١٩,٩	٣٠	٠,٠	٤٧,١
فصل الخريف	٢٤,٣	٩١	٠,٠	٥٤٧,٤
الإجمالي/المتوسط	٢٣,١	٣٦٥	٤٤٠,٧	٢٢١٢,٦



شكل (١٠) : المتطلبات الشهرية للتدفئة والتبريد وفقا لمؤشري درجات أيام التدفئة والتبريد في مدينة أسيوط خلال الفترة من ٢٠١٢-٢٠١٨.

وبالنسبة للمستوى الفصلي، الطلب على الغاز الطبيعي لأغراض التدفئة يصل أقصاه في فصل الشتاء (إجمالي مؤشر درجات التدفئة $430,0^{\circ}\text{C}$)، بينما تتصاعد متطلبات التبريد إلى ذروتها خلال فصل الصيف (إجمالي مؤشر درجات التبريد $1208,7^{\circ}\text{C}$). ويفسر ذلك النمط الفصلي لاستهلاك الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط، حيث يصل لأقصاه شتاء، بنسبة ٣١,٤% في القطاع المنزلي وحوالي ٢٨,٠% في القطاع التجاري، ويقل لأدناه خلال الصيف في نفس القطاعين (١٩,٤% & ٢٢,١% على الترتيب). ويُعد الارتفاع في قيم مؤشر درجات أيام التدفئة خلال شهور الشتاء انعكاساً طبيعياً لانخفاض درجات الحرارة إلى أدنى مستوياتها، وبالتالي تنشأ الحاجة إلى التدفئة، إذ يبلغ المتوسط الفصلي لدرجة الحرارة $13,6^{\circ}\text{C}$ ، ومن ثم انعكس هذا الانخفاض على زيادة استهلاك الغاز الطبيعي لتلبية متطلبات التدفئة. وينخفض استهلاك الغاز الطبيعي خلال شهور الصيف، بسبب انخفاض - بل اختفاء - درجات أيام التدفئة، حيث لم تسجل خلال شهور يونية ويوليو وأغسطس أي قيم لدرجات التدفئة بمدينة أسيوط، مما ترتب عليه انخفاض كمية الغاز المستهلكة خلال الثلاثة شهور إلى أدها، حيث تصل نسبة الغاز المستهلكة خلال شهور الصيف ٧,٢%، ٦,٠%، ٦,١% على الترتيب.

وخلال شهور فصل الربيع تبدأ قيم مؤشر درجات أيام التبريد في الظهور، وتتلاشى درجات أيام التدفئة، حيث تبدأ درجة حرارة الهواء في الارتفاع، ويصاحب ذلك شعور الإنسان بالضيق والإرهاق، وبالتالي تنشأ الحاجة إلى التبريد، ومن ثم زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية، مما يترتب عليه تفاقم حدة المشكلة وبصفة خاصة في منطقة قلب مدينة

أسيوط. وعلى الجانب الآخر لوحظ تناقص الحاجة إلى التدفئة، ومن ثم ينخفض الطلب على استهلاك الغاز الطبيعي، فيما عدا - شهر مارس - والذي سجلت خلاله درجات التدفئة نحو $10,6^{\circ}\text{C}$. وقد انعكس ذلك على انخفاض نسبة الغاز المستهلكة خلال هذا الشهر ($9,8\%$ في القطاع المنزلي، $8,3\%$ في القطاع التجاري). ويُعزى ذلك لارتفاع المتوسط اليومي لدرجة الحرارة إلى $18,0^{\circ}\text{C}$. ويأخذ مؤشر درجات أيام التبريد في الارتفاع التدريجي بداية من شهر مارس، ويظل هذا الارتفاع بطيئاً خلال شهر أبريل، حيث بلغت قيم المؤشر خلال إبريل نحو $16,1^{\circ}\text{C}$ ، بينما يقفز المؤشر خلال شهر مايو كونه مقدمة فعلية لفصل الصيف، حيث بلغ مؤشر الدرجات التبريدية خلاله نحو $29,4^{\circ}\text{C}$. ويُعد الاعتدال الخريفي امتداد للظروف المناخية الصيفية، بمتوسط درجة حرارة ($24,3^{\circ}\text{C}$) أعلى من مثيلتها في فصل الربيع بنحو $1,1^{\circ}\text{C}$. لذا تعاود درجات أيام التبريد في الانخفاض مرة أخرى خلال فصل الخريف بإجمالي $54,4^{\circ}\text{C}$.

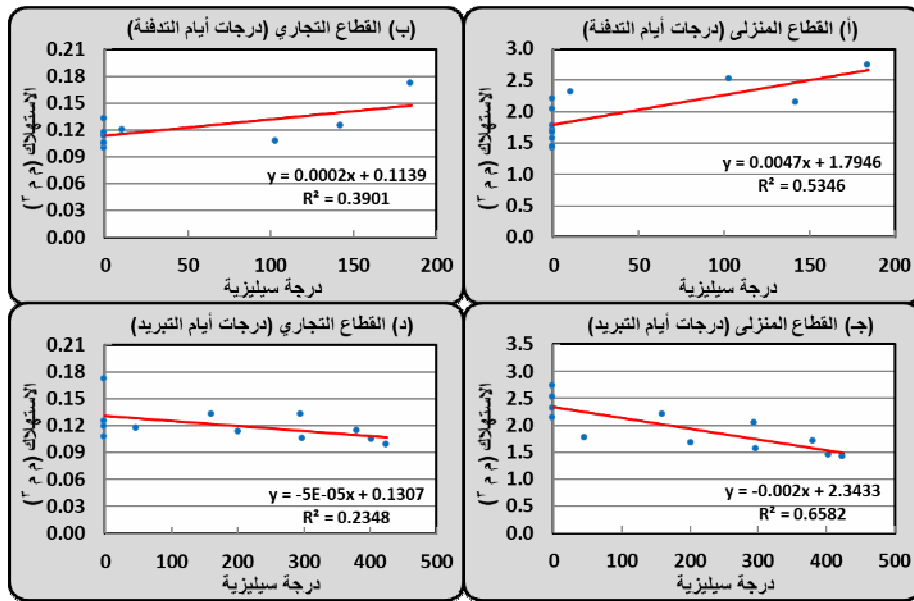
إجمالاً، يوضح شكل (١١) تحليل الانحدار الخطي بين المتوسطات الشهرية لدرجات أيام التدفئة والتبريد والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (مليون م^٣) في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسيوط خلال الفترة (٢٠١٢-٢٠١٨). ويتبين من الشكل (١١-أ & ١١-ب) وجود علاقة طردية متوسطة بين متطلبات التدفئة (مؤشر درجات أيام التدفئة) وبين استهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي والتجاري، حيث بلغ معامل الارتباط التثائي بين المتغيرين $0,73$ & $0,62$ في القطاعين على الترتيب. وهذا يعني أنه كلما ارتفعت قيم مؤشر درجات أيام التدفئة زاد استهلاك الغاز الطبيعي بغرض تسخين المياه وطهي الطعام. وتشير نتائج تطبيق معادلة الانحدار الخطي البسيط أن مؤشر درجات أيام التدفئة يفسر حوالي $53,4\%$ & $39,0\%$ من التباين المرصود في حجم الطلب على استهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين السابقين على الترتيب. وعلى الجانب الآخر يظهر من شكل (١١-ج & ١١-د) أن هناك ارتباطاً عكسياً بين درجات أيام التبريد واستهلاك الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط، حيث بلغ معامل الارتباط بينهما $0,81$ - & $0,48$ في القطاعين المنزلي والتجاري. وكذا تشير نتائج تطبيق معادلة معامل التحديد إلى أن حوالي $65,8\%$ & $23,4\%$ من التباين في استهلاك الغاز الطبيعي يمكن تفسيره بالتغير في قيم مؤشر درجات أيام التبريد.

٦-٤ بناء نموذج للتنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي في ضوء الظروف الجوية

الاعتيادية والمتطرفة:

تعتبر نماذج التنبؤ باستهلاك الطاقة Energy Consumption Forecasting Model أو التنبؤ بالأحمال Load Forecasting أحد أهم الأساليب المستخدمة لتقدير حجم الطلب على

أشكال الطاقة المختلفة في المستقبل، وهو ما يساهم في تقديم تقييم كمي بحجم الأحمال المتوقعة على هذا المرفق، مع بيان التباين الزمني والمكاني لهذه الأحمال. ومن ثم يمكن للمؤسسات الرسمية تخطيط عملية إنتاج الطاقة وإدارة منشآتها استجابة لهذه الأحمال المتوقعة، وهو ما يقف حائلاً أمام حدوث مشكلات وأزمات في هذا القطاع مرتبطة بانخفاض إنتاج الطاقة وعدم وفاء هذا القطاع بسد احتياجات السكان والأنشطة الاقتصادية المختلفة من الطاقة. فيمكن من خلال هذه النماذج تحديد حجم الإنتاج المطلوب وتوزيعه زمنياً ومكانياً، وأوقات حدوث ذروة الأحمال Peak Loads وأوقات الأحمال المنخفضة والمتوسطة. ومن ثم فإن نماذج التنبؤ بالطلب على الطاقة أسلوباً ناجحاً لإدارة هذا القطاع وتلافي حدوث أزمات مرتبطة بقصور إمدادات الطاقة في المستقبل.



شكل (١١) : تحليل الانحدار الخطي بين المتوسطات الشهرية لدرجات أيام التدفئة والتبريد والاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي (مليون م^٣) في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسيوط خلال الفترة (٢٠١٢-٢٠١٨).

وقد اعتمدت دراسات عدة على هذه النماذج للتنبؤ بحجم الطلب على الطاقة بأشكالها المختلفة (Hamzacebi et al., 2019; Sun et al., 2019; Chodakowska et al., 2021). وتُصنف هذه النماذج من حيث المستوى الزمني للتنبؤ إلى نماذج تنبؤ على المدى القصير Short-term،

والمتوسط Mid-term، والبعيد Long-term (Sallam and Malik, 2019). وينتمي المبحث الحالي إلى النوع الأول من نماذج التنبؤ، والذي يقدم تقديرات لحجم الطلب على الطاقة في غضون ساعات إلى أسابيع، وهو ما يفيد بشكل كبير في إدارة وتشغيل وحدات إنتاج الطاقة ونقلها إلى المستهلك النهائي دون حدوث أي خلل ناجم عن عدم وفاء الإنتاج بحجم الطلب أو الأحمال غير المتوقعة نتيجة للظروف الجوية المتغيرة. وتعتمد نماذج التنبؤ بالطلب على الطاقة خلال المستوى الزمني القصير على مجموعة من العوامل (المدخلات Inputs/Parameters) تسمى عوامل التنبؤ Predictors، وقد حدد (Sallam and Malik, 2019) هذه العوامل في المتغيرات الفصلية (العوامل المناخية) والأسبوعية (أيام العمل والإجازات) واليومية (الليل والنهار). والحقيقة أن المتغيرات الفصلية أو المناخية هي الأكثر أهمية، حيث يعد الطقس والظروف المناخية بمثابة الدافع والمحرك الرئيس للطلب على الطاقة، بالإضافة إلى مجموعة أخرى من العوامل الاجتماعية والاقتصادية Socio-economic (Soldo, 2012). وقد ظهرت أهمية المتغيرات المناخية في تحديد حجم استهلاك الغاز الطبيعي في القطاعين السكني والتجاري بمدينة أسبوط من خلال التحليل والمعالجة في المباحث السابقة.

٤-٦-١ نماذج التنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي في القطاع السكني:

أظهر التقرير التشخيصي Diagnostic Report لتحليل الانحدار المتعدد الاستكشافي Exploratory Multiple Regression أن بعض المتغيرات المستقلة المقترحة للتنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي تنسم بوجود علاقة خطية قوية بينهما Multicollinearity كما توضحها قيم "معامل تضخم المتغيرات Variable Inflation Factors VIF" في جدول (٨)، حيث يجب ألا تتعدى قيم هذا المعامل بشكل نموذجي ٧,٥ لأي متغير. وتتمثل المتغيرات المستقلة المرتبطة ببعضها البعض في درجة حرارة الهواء، درجة حرارة سطح الأرض، درجة حرارة مياه النيل، درجات أيام التبريد والتدفئة. ومن ثم يجب حذف هذه المتغيرات لتلافي زيادة نسبة الخطأ في نموذج التنبؤ، والاكتفاء بأحدها فقط. وقد تم اختيار درجة حرارة الهواء لأن علاقتها بالطلب على استهلاك الغاز الطبيعي هي الأقوى بين هذه المتغيرات، حيث وصلت قيمة معامل التحديد المعدلة Adjusted R² إلى ٠,٧ بدلالة إحصائية مرتفعة جدا (P-value = 0.01) ومعامل ثقة يتخطى ٩٩%. كما أن تأثير درجة حرارة الهواء في الطلب على استهلاك الطاقة يتسم بثبات العلاقة (علاقة خطية)، حيث يوضح جدول (٨) أن تحليل الانحدار المتعدد كشف أن العلاقة بين المتغيرين عكسية في ١٠٠% من البيانات.

جدول (٨) : نتائج تحليل الانحدار المتعدد الاستكشافي لبناء نموذج تنبؤ للطلب على الطاقة بناء على المتغيرات الجوية السبعة في القطاع السكني بمدينة أسيوط.

نوع العلاقة	معامل التحديد المعدل Adj R ²	الدلالة الإحصائية	معامل تضخم المتغيرات VIF	المتغيرات المستقلة
درجة حرارة الهواء	٠,٧	٠,٠١	١٢٩,٧٩	عكسية ١٠٠%
درجة حرارة سطح الأرض	٠,٦٢	٠,٠١	٩٩٢,٥٤	عكسية ٧١,٤% طرديّة ٢٨,٦%
درجة حرارة مياه النيل	٠,٦٣	٠,٠١	٨١١,٥٩	عكسية ٨٥,٧% طرديّة ١٤,٣%
الرطوبة النسبية	٠,٠٥	٠,٠١	٦,٤١	عكسية ٩٦,٤% طرديّة ٣,٦%
سرعة الرياح	٠,٠٠٦	غير دال	٢,٢١	عكسية ٢٨,٦% طرديّة ٧١,٤%
درجات أيام التدفئة	٠,٤٨	٠,٠١	١١,٥٤	١٠٠% طردية
درجات أيام التبريد	٠,٦٢	٠,٠١	٤٤,٢٧	عكسية ٨٥,٧% طرديّة ١٤,٣%

وقد قدم تحليل الانحدار المتعدد الاستكشافي مجموعة من نماذج التنبؤ لتقدير حجم الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي بمدينة أسيوط. وتتمثل أفضل هذه النماذج من حيث الدلالة الإحصائية وانخفاض الخطأ المعياري وارتفاع مستوى الثقة في التنبؤ بحجم الأحمال المتوقعة على نظم إنتاج الغاز الطبيعي بالمدينة فيما يلي:

- **النموذج الأحادي:** وفيه يمكن الاعتماد على درجة حرارة الهواء للتنبؤ باستهلاك الغاز الطبيعي بمعامل تحديد يبلغ ٠,٧٠ ومعامل تضخم يبلغ ١,٠ ودلالة إحصائية ٠,٠١ وفقاً للنموذج التالي:

$$\text{حجم الأحمال المتوقعة (م م}^2\text{)} = -0,051 \times \text{درجة حرارة الهواء} + 3,145$$

(± 0,055 بمستوى ثقة +99%)

- **النموذج الثنائي:** ويعتمد على درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية معاً للتنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي. ويبلغ معامل التحديد المعدل لهذا النموذج ٠,٩١، ومعامل التضخم ٢,٤٦، ودلالة إحصائية ٠,٠١ وفقاً للنموذج التالي:

$$\text{حجم الأحمال المتوقعة (م م}^3\text{)} = -0,083 \times \text{درجة حرارة الهواء} + 0,32 \times \text{الرطوبة النسبية} + 5,267$$

(± 0,016 بمستوى ثقة +99%)

- **النموذج الثلاثي:** ويرتكز على درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية ودرجات أيام التدفئة للتنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي. ويبلغ معامل التحديد المعدل ٠,٩٦، ومعامل التضخم ٣,٥٨، ودلالة إحصائية ٠,٠١، وفقاً للنموذج التالي:

$$\text{حجم الأحمال المتوقعة (م م}^3) = -0,069 \times \text{درجة حرارة الهواء} + -0,336 \times \text{الرطوبة النسبية} + 0,002 \times \text{درجات أيام التدفئة} + 0,061$$

$$(\pm 0,007 \text{ بمستوى ثقة } 99\%)$$

٤-٦-٢ نماذج التنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي في القطاع التجاري:

- يوضح جدول (٩) التقرير التشخيصي لتحليل الانحدار الخطي المتعدد الاستكشافي بين الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع التجاري بمدينة أسبوط وبين العوامل الجوية السبعة محل الدراسة. وتتمثل أفضل هذه النماذج من حيث الدلالة الإحصائية وانخفاض الخطأ المعياري وارتفاع مستوى الثقة في التنبؤ بحجم الأحمال المتوقعة على نظم إنتاج الغاز الطبيعي بالمدينة في النموذج الأحادي فقط، ولا توجد أي نماذج تنبؤ متعددة المتغيرات يمكن الاعتماد عليها لتقدير حجم الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع التجاري للمدينة. وتتمثل النماذج الأحادية فيما يلي.
- **درجات أيام التدفئة:** وفيه يمكن الاعتماد على درجات أيام التدفئة للتنبؤ باستهلاك الغاز الطبيعي بمعامل تحديد يبلغ ٠,٣٣ ومعامل تضخم ١,٠ ودلالة إحصائية ٠,٠٥ وفقاً للنموذج التالي:

$$\text{حجم الأحمال المتوقعة (م م}^3) = -0,00018 \times \text{درجات أيام التدفئة} + 0,1139$$

$$(\pm 0,0002 \text{ بمستوى ثقة } 90\%)$$
 - **درجة حرارة الهواء:** وفيه يمكن الاعتماد على درجة حرارة الهواء للتنبؤ باستهلاك الغاز الطبيعي بمعامل تحديد يبلغ ٠,٢٤ ومعامل تضخم ١,٠ ودلالة إحصائية ٠,١٠ وفقاً للنموذج التالي:

$$\text{حجم الأحمال المتوقعة (م م}^3) = -0,0015 \times \text{درجة حرارة الهواء} + 0,115$$

$$(\pm 0,0003 \text{ بمستوى ثقة } 90\%)$$

ظهر مما سبق أن نموذج التنبؤ الثلاثي المعتمد على درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية ودرجات أيام التدفئة هو الأهم على الإطلاق في تقدير حجم الأحمال على نظم إنتاج الغاز الطبيعي في مدينة أسبوط، حيث يمكن من خلاله تفسير ٩٦% من الطلب في القطاع المنزلي بمعامل ثقة يقترب من ١٠٠%، وخطأ هامشي منخفض للغاية لا يتعد ٠,٠٠٧ مليون م^٣. أما في القطاع التجاري، فإن النماذج الأحادية للتنبؤ - رغم مستوى الثقة المرتفع في نتائجها وانخفاض الخطأ المعياري - لا يتعد دورها في تفسير حجم الطلب عن ٣٣,٠% في حالة درجات أيام التدفئة، ونحو ٢٤,٣% في حالة درجة حرارة الهواء. والحقيقة أن ذلك لا يمثل أي عقبة في سبيل إتمام عملية التنبؤ، حيث شكل الاستهلاك المنزلي

النسبة الأعظم من إجمالي الطلب على الغاز الطبيعي خلال فترة الدراسة، حيث تراوحت نسبته بين ٩٣,٤% عام ٢٠١٣ وبين ٩٥,١% عام ٢٠١٨، بمتوسط ٩٤,١%. بينما لم يتعد متوسط استهلاك الغاز الطبيعي في القطاع التجاري بالمدينة ٥,٩%.

جدول (٩) : نتائج تحليل الانحدار المتعدد الاستكشافي لبناء نموذج تنبؤ للطلب على الطاقة بناء على المتغيرات الجوية السبعة في القطاع التجاري بمدينة أسيوط.

نوع العلاقة	معامل التحديد المعدل $Adj R^2$	الدلالة الإحصائية	معامل تضخم المتغيرات VIF	المتغيرات المستقلة
درجة حرارة الهواء عكسية ٩٣,٨% طردية ٦,٢%	٠,٢٤	٠,١٠	١٢٩,٧٩	درجة حرارة الهواء
درجة حرارة سطح الأرض عكسية ٧١,٤% طردية ٢٨,٦%	٠,٢٣	غير دال	٩٩٢,٥٤	درجة حرارة سطح الأرض
درجة حرارة مياه النيل عكسية ٣٥,٧% طردية ٦٤,٣%	٠,٢٣	غير دال	٨١١,٥٩	درجة حرارة مياه النيل
الرطوبة النسبية عكسية ٩٦,٤% طردية ٣,٦%	٠,٠٠٢	غير دال	٦,٤١	الرطوبة النسبية
سرعة الرياح عكسية ٨٧,٥% طردية ١٢,٥%	٠,٠٤	غير دال	٢,٢١	سرعة الرياح
درجات أيام التدفئة ١٠٠% طردية	٠,٣٣	٠,٠٥	١١,٥٤	درجات أيام التدفئة
درجات أيام التبريد عكسية ٤١,٧% طردية ٥٨,٣%	٠,١٦	غير دال	٤٤,٢٧	درجات أيام التبريد

٤-٦-٣ سيناريوهات الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع السكني:

في ضوء ما سبق، يمكن الاعتماد على نموذج التنبؤ الثلاثي لتقدير حجم الأحمال المتوقعة على نظم إنتاج الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط لساعات وأيام قادمة ارتكازا على التنبؤات الجوية الرسمية لعناصر درجة الحرارة والرطوبة النسبية ودرجات أيام التدفئة، وهو ما يساهم في إدارة وتشغيل قطاع الطاقة المعتمد على الغاز الطبيعي بشكل فعال يمكن معه تلافي حدوث قصور في إنتاج الطاقة كاستجابة للطلب الذي تشكله حالة الجو في الأساس، خاصة في أيام موجات البرد التي تسبب زيادة غير اعتيادية لمتطلبات التدفئة للسكان، وبالتالي حدوث أحمال قصوى على منشآت ونظم إنتاج الطاقة من الغاز الطبيعي. كما يمكن الاستعانة بالسجل التاريخي للبيانات المناخية الخاصة بالمدينة، وتطبيق نموذج التنبؤ نفسه على الظروف الجوية الاعتيادية والمتطرفة،

بما يُمكن من تقدير حجم الطلب على الغاز الطبيعي في ضوء هذا السجل المناخي، وهو ما يوفر إطار عام لحجم الأحمال المتوقعة على نظم إنتاج الغاز الطبيعي من شهر لآخر على مدار العام، سواء أكانت أحمال معتادة Normal Loads أو قصوى Peak Loads.

يضم جدول (١٠) معدلات عناصر المناخ وقيمها الدنيا والقصوى المستخرجة من السجل المناخي لمحطة أسبوط ١٩٦١-٢٠٢٠، والتي تم استخدامها كمدخلات للنموذج الثلاثي للتنبؤ بحجم الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي لمدينة أسبوط. ويبين جدول (١١) وشكل (١٢) مخرجات النموذج الثلاثي، والمتمثلة في السيناريوهات المتوقعة للأحمال (م م^٢) على نظم إنتاج الغاز الطبيعي وفقا للسجل المناخي لمحطة أسبوط. كما يظهر على الشكل منحنى الطلب الفعلي على الغاز الطبيعي خلال فترة الدراسة (متوسط ٢٠١٢-٢٠١٨). يظهر من الجدولين والشكل أن هناك خمسة سيناريوهات تندرج من الأسوأ إلى الأفضل فيما يخص الطلب على الغاز الطبيعي وحجم الأحمال المتوقعة على نظم إنتاجه، وذلك وفقا للظروف المناخية المعتمد عليها عملية التنبؤ.

جدول (١٠) : المعدلات والقيم المتطرفة لعناصر المناخ المستخدمة في نموذج التنبؤ الثلاثي (محطة أسبوط ١٩٦١-٢٠٢٠).

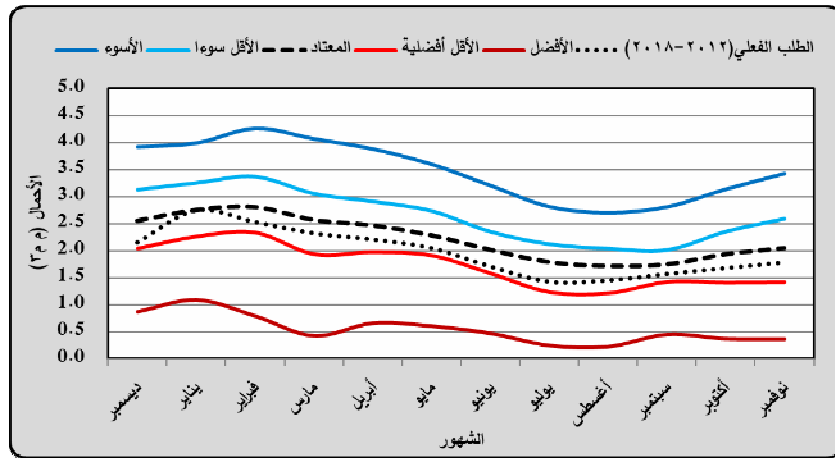
درجات أيام التدفئة (س°)	الرطوبة النسبية (□)			درجة الحرارة (س°)				الشهر	
	أقصى متوسط	المتوسط العام	أقل متوسط	القصوى المطلقة	أقصى متوسط	المتوسط العام	أقل متوسط		الدنيا المطلقة
١٤٨,٠	٦١	٥٢,٠	٤٠	٣٣,٣	١٦,٣	١٣,٥	١١,٤	٠	ديسمبر
١٨٤,٣	٥٩	٥٠,٨	٤٢	٣٢,٢	١٥,٢	١٢,٤	٩,٦	١-	يناير
١١٦,٢	٤٩	٤٢,٠	٣١	٣٩,٨	١٧,٤	١٤,١	١١,٧	١,١-	فبراير
١١,٦	٤٥	٣٥,٦	٢٧	٤٤,٢	٢٢,٢	١٧,٩	١٥,٣	٠,٧	مارس
٠,٠	٣٧	٢٧,٧	٢١	٤٤,٦	٢٥,٥	٢٣,٢	٢٠,٢	٦,٢	أبريل
٠,٠	٣٢	٢٥,١	١٩	٤٨	٢٩	٢٧,٢	٢٣,٨	١١,٣	مايو
٠,٠	٣٥	٢٧,٧	٢٢	٤٨,٤	٣٢,٢	٢٩,٧	٢٧,٨	١٥,٤	يونيو
٠,٠	٤٧	٣٤,١	٢٨	٤٥,٤	٣٠,٩	٢٩,٧	٢٨	١٧,٩	يوليو
٠,٠	٤٨	٣٧,١	٣٢	٤٥,٢	٣٠,٧	٢٩,٢	٢٧,١	١٧,٤	أغسطس
٠,٠	٤٥	٤٠,٤	٣٦	٤٣,٥	٢٩,٣	٢٧,٠	٢٥,٤	١٣,٨	سبتمبر
٠,٠	٥١	٤١,٣	٣٥	٤١,٥	٢٦,٣	٢٣,٨	٢١	٩,٦	أكتوبر
٦,٠	٥٩	٤٩,٤	٤٠	٣٧,٦	٢٢,٢	١٨,١	١٥,١	٣	نوفمبر
٤٦٦,١	٤٧,٣	٣٨,٦	٣١,١	٤٨,٤	٢٤,٨	٢٢,٢	١٩,٧	١,١-	المتوسط

المصدر: من حساب الباحثين اعتمادا على هيئة الأرصاد الجوية المصرية، بيانات غير منشورة.

جدول (١١) : سيناريوهات الأحمال (م^٢) المتوقعة على نظم إنتاج الطاقة من الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط وفقا لنموذج التنبؤ الثلاثي، والطلب الفعلي خلال الفترة (٢٠١٢-٢٠١٨).

الشهر	الأسوء	الأقل سوءا	المعتاد	الأقل أفضلية	الأفضل	الطلب الفعلي (٢٠١٢-٢٠١٨)
ديسمبر	٣,٩	٣,١	٢,٦	٢,٠	٠,٩	٢,٢
يناير	٤,٠	٣,٣	٢,٧	٢,٣	١,١	٢,٧
فبراير	٤,٣	٣,٤	٢,٨	٢,٣	٠,٨	٢,٥
مارس	٤,١	٣,١	٢,٦	١,٩	٠,٤	٢,٣
أبريل	٣,٩	٢,٩	٢,٥	٢,٠	٠,٧	٢,٢
مايو	٣,٦	٢,٧	٢,٣	١,٩	٠,٦	٢,٠
يونيو	٣,٢	٢,٤	٢,٠	١,٦	٠,٥	١,٧
يوليو	٢,٨	٢,١	١,٨	١,٢	٠,٢	١,٤
أغسطس	٢,٧	٢,٠	١,٧	١,٢	٠,٢	١,٥
سبتمبر	٢,٨	٢,٠	١,٧	١,٤	٠,٤	١,٦
أكتوبر	٣,١	٢,٤	١,٩	١,٤	٠,٤	١,٧
نوفمبر	٣,٤	٢,٦	٢,٠	١,٤	٠,٤	١,٨
السنوي	٤١,٨	٣١,٩	٢٦,٦	٢٠,٧	٦,٥	٢٣,٦

المصدر: مخرجات نموذج التنبؤ الثلاثي.



شكل (١٢) : سيناريوهات الأحمال (م^٢) المتوقعة على نظم إنتاج الطاقة المعتمدة على الغاز الطبيعي وفقا لنموذج التنبؤ الثلاثي المعتمد على السجل المناخي لمحطة أسيوط (المتوسطات الشهرية والقيم المتطرفة ١٩٦١-٢٠٢٠)، ومتوسط الطلب الفعلي (٢٠١٢-٢٠١٨).

١. السيناريو الأسوأ للطلب على الغاز الطبيعي (ذروة الأحمال): وفيه يصل الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي بمدينة أسيوط إلى أقصاه، حيث يبلغ الحجم المتوقع للطلب السنوي على الغاز الطبيعي حوالي ٤١,٨ م^٣، أي أكثر من مرة ونصف (١,٥٧%) حجم الطلب السنوي في السيناريو المعتاد (٢٦,٦ م^٣)، ونحو ١٧٧,١% من متوسط الطلب الفعلي (٢٣,٦ م^٣) في المدينة (٢٠١٢-٢٠١٨). ومن ثم فإن هذا السيناريو يعني وصول الأحمال على نظم إنتاج الطاقة من الغاز الطبيعي إلى ذروتها. وقد تم بناء هذا السيناريو اعتماداً على الظروف المناخية التي تجعل الطلب الشهري على الغاز الطبيعي يصل إلى الحد الأقصى، وهي درجات الحرارة الدنيا المطلقة، وأقل متوسط شهري للرطوبة النسبية، إضافة إلى درجات أيام التدفئة.
٢. السيناريو الأقل سوءاً للطلب على الغاز الطبيعي (ذروة الأحمال الأقل): وهو أقل حدة من السيناريو السابق، ولكن ما يزال حجم الطلب المتوقع على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي بمدينة أسيوط مرتفعاً، حيث يبلغ الحجم المتوقع للطلب السنوي على الغاز الطبيعي حوالي ٣١,٩ م^٣، أي أكثر من مرة وخمس (١١٩,٩%) حجم الطلب السنوي في السيناريو المعتاد (٢٦,٦ م^٣)، وأكثر من مرة وثلاث (١٣٥,٢%) متوسط الطلب الفعلي (٢٣,٦ م^٣) في المدينة خلال فترة الدراسة ٢٠١٢-٢٠١٨. ونقل الأحمال المتوقعة في هذا السيناريو على نظم إنتاج الطاقة من الغاز الطبيعي عن السيناريو السابق نتيجة بناء هذا السيناريو اعتماداً على الظروف المناخية التي تجعل الطلب الشهري على الغاز الطبيعي يقل نسبياً، وهي أقل متوسطات شهرية مسجلة، وأقل متوسط شهري للرطوبة النسبية، إضافة إلى درجات أيام التدفئة.
٣. السيناريو المعتاد للطلب على الغاز الطبيعي (الأحمال الطبيعية): وهو أكثر السيناريوهات سيادة في معظم فترات العام، حيث تعتمد عملية التنبؤ هنا على المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية، إضافة إلى درجات أيام التدفئة. لذا فإن حجم الطلب السنوي (٢٦,٦ م^٣) في هذا السيناريو هو الأكثر قرباً من متوسط الطلب الفعلي (٢٣,٦ م^٣) في المدينة خلال فترة الدراسة، وإن ظهرت الأحمال المتوقعة أعلى من الفعلية بنحو ثلاثة مليون متراً مكعباً.
٤. السيناريو الأقل أفضلية للطلب على الغاز الطبيعي (الأحمال الأقل): يعتمد هذا السيناريو على بيانات أعلى المتوسطات الشهرية المسجلة في درجة الحرارة والرطوبة النسبية في محطة أسيوط المناخية، إضافة إلى درجات أيام التدفئة. وينخفض الطلب السنوي على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط وفقاً لهذه المدخلات مسجلاً ٢٠,٧ م^٣، ليمثل أكثر قليلاً من ثلاثة أرباع (٧٧,٨%) حجم

الطلب السنوي في السيناريو المعتاد (٢٦,٦ م م^٣)، ونحو ٨٧,٧% من حجم الطلب الفعلي (٢٣,٦ م م^٣) على الغاز الطبيعي في المدينة خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨.

٥. **السيناريو الأفضل للطلب على الغاز الطبيعي (الأحمال الدنيا):** ينخفض الاستهلاك المتوقع للغاز الطبيعي في المدينة وفقاً لهذا السيناريو إلى الحد الأدنى على الإطلاق، فلا يزيد الطلب السنوي عن ٦,٥ م م^٣، ليشكل نسبة منخفضة جداً (٢٤,٤%) من الطلب السنوي في السيناريو المعتاد، وحوالي ٢٧,٥% من الطلب السنوي الفعلي خلال الفترة ٢٠١٢-٢٠١٨. وبذلك يمثل هذا السيناريو الأحمال الدنيا على نظم إنتاج الطاقة من الغاز الطبيعي، وهو أمراً طبيعياً لاعتماد هذا النموذج على درجات الحرارة القصوى المطلقة الشهرية، وأعلى المتوسطات الشهرية للرطوبة النسبية، وأيضاً درجات أيام التدفئة.

٤-٧ مستقبل الطلب على الغاز الطبيعي في ضوء تغير مناخ المدينة:

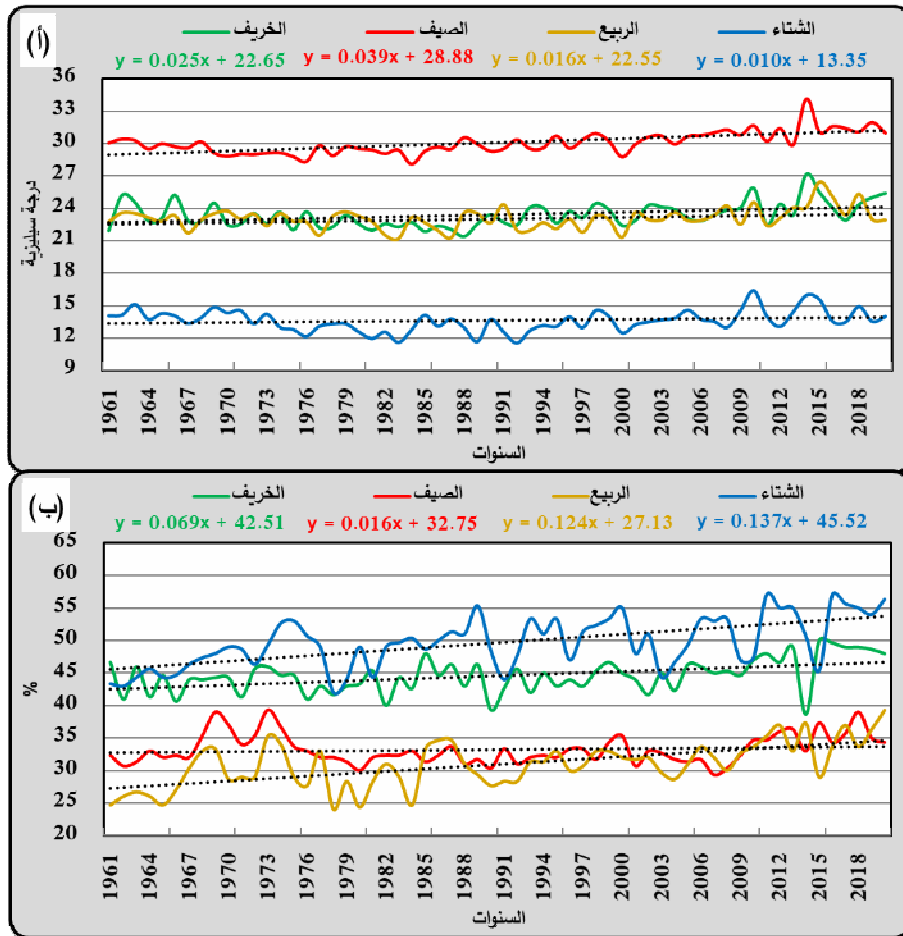
أصبحت دراسة تغير المناخ وأثره في استهلاك الطاقة لأغراض التدفئة أو التبريد قضية مهمة وشاغلا رئيسياً Major Concern للمجتمع الدولي في السنوات الأخيرة (Chen et al., 2007; Parkpoom & Harrison, 2008). وعادةً ما يتم تناول التغيرات المناخية داخل المدن على مستويين. الأول هو التغيرات العالمية أو الإقليمية للنظام المناخي، والتي لا تقتصر على المدن فقط، ويُطلق عليها اصطلاحاً Background Changes. وقد ظهر هذا النوع من التغيرات نتيجة لما طرأ من تعديل على التركيب القياسي للغلاف الجوي بسبب التوسع الهائل في الأنشطة البشرية، وما نجم عنها من انبعاثات ضخمة لغازات الصوبة، والتي أدت - على مدار فترة طويلة منذ الثورة الصناعية - إلى زيادة تركيز هذه الغازات في الغلاف الجوي. كما صاحب ذلك تآكل كبير في الغطاء الأخضر، خاصةً الغابات التي تعمل كمخفضات Sinks لانبعاثات غازات الصوبة. وتجدر الإشارة إلى أن غازات الصوبة المنبعثة من قطاع الطاقة مسؤولة عن ربع انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري (IPCC, 2007). أما المستوى الآخر من تغير مناخ الحضر فهو تغير المناخ التفصيلي للمدينة لما تنطوي عليه عملية التحضر من رفع درجة الحرارة بدرجة أكبر مما تشهده المناطق الريفية أو غير الحضرية. وهذا الارتفاع في درجة الحرارة من شأنه التأثير في حجم الطلب على الطاقة بكل أشكالها.

وتقت الكثير من الدراسات (Amato et al., 2005; Fung et al. 2006; Roshan et al., 2010; Roshan et al., 2012; Thornton et al., 2016) دور الاحترار العالمي والتحضر في تغير استهلاك الطاقة. وقد أظهرت الدراسة الحالية أن المناخ هو المحدد الرئيسي للطلب على الطاقة متمثلاً في الغاز الطبيعي. ومن ثم فإن التغيرات المتوقعة في المناخ يمكن تغير بشكل

جوهرى من حجم الطلب على الطاقة. وقد ظهر في مدينة هونج كونج أن للاحتراق تأثير مزدوج في قطاع الطاقة (Fung et al, 2006)، فبينما سيؤدي ارتفاع درجة الحرارة بمقدار $1,0^{\circ}\text{C}$ إلى زيادة استهلاك الكهرباء بنسبة $9,2\%$ & $3,0\%$ & $2,4\%$ في القطاعات المنزلية والتجارية والصناعية على الترتيب، فإن ذلك سوف يؤدي إلى خفض الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي بنسبة $2,4\%$

يوضح شكل (١٣) المسار الفصلي لدرجة الحرارة (أ) والرطوبة النسبية (ب)، والاتجاه العام لهذا المسار وفقا لتحليل الانحدار الخطي خلال سنتين عام (١٩٦١-٢٠٢٠). ويظهر من الشكل أن كلا من درجة الحرارة اليومية والرطوبة النسبية قد شهدا اتجاها عاما صاعدا خلال تلك الفترة في كل فصول العام. وقد ظهر الاتجاه العام لدرجة الحرارة في النصف الحار من العام (فصلا الصيف والخريف) أكثر تسارعا، حيث بلغ معدل ارتفاع درجة الحرارة في الفصلين $0,39^{\circ}\text{C}/\text{س}$ عقد، $0,25^{\circ}\text{C}/\text{س}$ عقد على الترتيب. وبذلك شهدت مدينة أسيوط احتارا إجماليا يقدر بنحو $2,34^{\circ}\text{C}$ في الصيف، $1,5^{\circ}\text{C}$ في الخريف. أما فيما يتعلق بالنصف البارد من العام، فقد شهد فصلا الشتاء والربيع احتارا بمعدل أبطأ، حيث بلغ إجمالي قيمة الاحتراق خلال فصل الشتاء $0,6^{\circ}\text{C}$ (بمعدل $0,1^{\circ}\text{C}/\text{س}$ عقد)، وخلال فصل الربيع $0,96^{\circ}\text{C}$ (بمعدل $0,16^{\circ}\text{C}/\text{س}$ عقد). وقد ظهر الاتجاه العام الفصلي للرطوبة النسبية مغاير لما سبق بيانه بالنسبة لدرجات الحرارة، حيث جاء فصلا الشتاء والربيع في المقدمة بأعلى زيادة في الرطوبة النسبية، والتي بلغ معدلها $1,4\%$ كل عقد (إجمالي زيادة $8,4\%$) خلال فصل الشتاء، $1,2\%$ كل عقد (إجمالي زيادة $7,2\%$) خلال فصل الربيع. على الجانب الآخر شهد الاتجاه العام للرطوبة النسبية زيادة بمعدل أقل في فصلي الصيف والخريف، والذي بلغ $0,2\%$ لكل عقد & $0,7\%$ لكل عقد في الفصلين على الترتيب، بإجمالي زيادة خلال فترة الدراسة $1,2\%$ & $4,2\%$ في فصلي الصيف والخريف على الترتيب.

يتبين من العرض السابق أن التغير الفصلي الذي شهدته درجة الحرارة والرطوبة النسبية في مدينة أسيوط خلال السنتين عام الأخيرة يتخذ اتجاها عاما صاعدا، وهو ما يشير إلى أن نمط التغير في العنصرين المناخييين كان من شأنه خفض الطلب على استهلاك الغاز الطبيعي في المدينة خلال الفترة ١٩٦١-٢٠٢٠. ويعود ذلك إلى أن معامل الانحدار الخطي Slope الذي يحدد العلاقة المتعددة Multiple Correlation في نموذج التنبؤ الثلاثي يشير إلى أن العلاقة عكسية بين هذين المتغيرين والطلب على الغاز الطبيعي. حيث بلغت قيمة معامل الانحدار في نموذج التنبؤ الثلاثي $0,069$ ، في حالة درجة حرارة الهواء، وبلغت $-0,336$ في حالة الرطوبة النسبية. أي أن الطلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسيوط خلال الفترة المذكورة كان يمكن أن يسجل قيما أعلى لولا ما شهدته درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية من ارتفاع خلال تلك الفترة.



شكل (١٣) : تطور درجات الحرارة (أ) والرطوبة النسبية (ب) على المستوى الفصلي

والاتجاه العام وفقا لتحليل الانحدار الخطي خلال الفترة ١٩٦١-٢٠٢٠.

وفقا لما سبق، فإن استمرار التغير في درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية مستقبلا بنفس النمط يتوقع معه أن يساهم ذلك الاتجاه الصاعد في خفض الطلب على الغاز الطبيعي بالمدينة وتقليل الأحمال على نظم إنتاجه بنفس المعدلات السابقة خلال الفترة ١٩٦١-٢٠٢٠. ويوضح جدول (١٢) نتائج تحليل الانحدار لدرجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية في محطة أسبوط خلال الفترة السابقة (١٩٦١-٢٠٢٠)، إضافة إلى الإسقاطات المستقبلية بعد ٥٠ عاما (حتى عام ٢٠٧٠) وفقا للتنبؤ باستخدام الانحدار الخطي.

جدول (١٢) : نتائج الاتجاه العام لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية في محطة أسبوط وفقا لتحليل الانحدار الخطي خلال الفترة ١٩٦١-٢٠٢٠، والإسقاطات المستقبلية حتى ٢٠٧٠.

الفصل	درجة الحرارة (س°)				الرطوبة النسبية (□)		
	المعدل -١٩٦١ ٢٠٢٠	التوقع ٢٠٧٠	خط الانحدار		المعدل -١٩٦١ ٢٠٢٠	التوقع ٢٠٧٠	
			سنة الأساس ١٩٦١	سنة النهاية ٢٠٢٠			
الشتاء	١٣,٦	١٤,٤	٤٥,٧	٥٣,٨	٤٩,٧	٥٨,٩	
الربيع	٢٣,٠	٢٤,٣	٢٧,٣	٣٤,٦	٣٠,٩	٣٩,٤	
الصيف	٣٠,٠	٣٣,١	٣٢,٨	٣٣,٧	٣٣,٢	٣٤,١	
الخريف	٢٣,٤	٢٥,٤	٤٢,٦	٤٦,٩	٤٤,٦	٤٩,٩	

ويظهر من الجدول أنه من المتوقع أن ترتفع درجة الحرارة اليومية بالمدينة عام ٢٠٧٠ في الفصول الأربعة لتصل إلى ١٤,٤س°، ٢٤,٣س°، ٣٣,١س°، ٢٥,٤س° على الترتيب، بعد أن كانت ١٣,٩س°، ٢٣,٥س°، ٣١,٢س°، ٢٤,١س° عام ٢٠٢٠. ومن المتوقع أيضا ارتفاع الرطوبة النسبية عام ٢٠٧٠ إلى ٥٨,٩%، ٣٩,٤%، ٣٤,١%، ٤٩,٩% في الفصول الأربعة على الترتيب، بعد أن بلغت ٥٣,٨%، ٣٤,٦%، ٣٣,٧%، ٤٦,٩% في عام ٢٠٢٠ وفقا لتحليل الانحدار الخطي. وهي تغيرات من شأنها العمل على خفض الطلب على الغاز الطبيعي لأسباب مناخية. وبتطبيق نموذج التنبؤ الثلاثي لتقدير حجم الأحمال المتوقعة على نظم إنتاج الغاز الطبيعي وفقا لاستهلاك القطاع السكني في مدينة أسبوط عام ٢٠٧٠ مقارنةً بعام ٢٠٢٠، تبين أن الاتجاه الصاعد لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية خلال تلك الفترة (٢٠٢٠-٢٠٧٠) يمكن أن يساهم في خفض تلك الأحمال بنسب ٣٢,٧%، ١٠,٤%، ٨,٦%، ١١,٦% في الفصول الأربعة على الترتيب، وذلك دون الأخذ في الاعتبار بقية العوامل غير المناخية المؤثرة في الطلب، مثل عدد السكان ومستوى الدخل.

٥. الاستنتاجات والتوصيات:

انصبت الدراسة على تحليل العلاقة بين استهلاك الغاز الطبيعي والظروف المناخية في مدينة أسبوط شهريا وفصليا وصولا إلى بناء نموذج تنبؤي يمكن من خلاله تقدير الطلب المتوقع على الغاز الطبيعي وفقا للظروف الجوية المحتملة، وما يرتبط بذلك من بيان المسار الزمني لزيادة

وانخفاض الطلب على الطاقة وتحديد أوقات حدوث ذروة الأحمال Peak Loads. ومن ثم يمكن للمؤسسات الرسمية تخطيط عملية إنتاج الطاقة وإدارة منشأتها استجابة لهذه الأحمال المتوقعة، وهو ما يقف حائلا أمام حدوث مشكلات وأزمات في هذا القطاع مرتبطة بانخفاض إنتاج الطاقة وعدم وفاء هذا القطاع بسد احتياجات السكان والأنشطة الاقتصادية المختلفة من الطاقة. وقد أظهر التحليل النتائج التالية:

- ارتفع المتوسط السنوي للطلب على الغاز الطبيعي في مدينة أسبوط بشكل مطرد من ١٤,٢١ إلى ٣٠,٩١ م^٣ خلال فترة الدراسة. وقد شكل الاستهلاك المنزلي غالبية الطلب بنسبة ٩٤,٢% في المتوسط، ولم تتعد نسبة القطاع التجاري ٥,٨%. وقد تباين الطلب على الغاز الطبيعي شهريا وفصليا في القطاع المنزلي، حيث تصل الأحمال ذروتها في فصل الشتاء بنسبة ٣١,٤% من الاستهلاك السنوي، ويحتل شهر يناير المركز الأول بنسبة استهلاك ١١,٦%. وقد سجل فصل الصيف أقل الأحمال بنسبة ١٩,٤%، وجاء يوليو كأقل الشهور بنسبة لا تتجاوز ٦%. وقد ظهرت النتيجة السابقة في القطاع التجاري ولكن بشكل أقل وضوحا.
- تُعد درجة حرارة الهواء العامل الرئيسي المتحكم في تحديد نمط استهلاك الغاز الطبيعي. فقد تبين وجود علاقة عكسية قوية جدا بينهما بمستوى ثقة ٩٩% في القطاع المنزلي. واستمرت العلاقة في القطاع التجاري ولكن بشكل أقل قوة عند مستوى ثقة أقل (٩٥%). ولم تظهر الرطوبة النسبية أو سرعة الرياح كمحددات رئيسية، حيث جاءت العلاقة ضعيفة وغير دالة إحصائيا.
- يمكن تفسير زيادة الطلب على الغاز الطبيعي خلال الشتاء إلى البرودة التي يترافق معها زيادة حاجة سكان المدينة إلى التدفئة، والعكس صحيح في شهور الصيف. وقد ظهر جليا من مؤشري درجات أيام التدفئة والتبريد أن متطلبات التدفئة تقل عن خمس (١٩,٩%) متطلبات التبريد. ويتركز استهلاك الغاز الطبيعي لأغراض التدفئة في ثلث العام فقط (من ديسمبر إلى مارس)، والتي تمثل ذروة الأحمال على هذا المرفق. وقد تبين وجود علاقة طردية متوسطة بين متطلبات التدفئة وبين استهلاك الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي والتجاري.
- أظهرت المعالجة وجود علاقة عكسية قوية جدا ودالة إحصائيا بين الطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي ودرجة حرارة سطح الأرض المستخرجة من مرئيات Terra MODIS. وقد انخفض الارتباط بين المتغيرين في القطاع التجاري، فلم يسجل سوى -٠,٣٦ دون دلالة إحصائية. لذا فإن اعتبار درجة حرارة سطح الأرض مؤثرا رئيسيا في

- استهلاك الغاز الطبيعي ومحددًا مهمًا في إدارة هذا المرفق يرتبط بشكل أقوى وأوضح بالقطاع المنزلي.
- يشكل نهر النيل عاملاً مهماً في تشكيل ملامح النظام الحراري لمدينة أسيوط، بما يجعله مؤشراً مهماً على مجمل الظروف الحرارية بالمدينة. وقد ظهرت علاقة عكسية قوية بين درجة حرارة مياه النيل والطلب على الغاز الطبيعي في القطاعين المنزلي والتجاري.
 - أظهرت درجات الحرارة المستخرجة من مرئيات Landsat8 أن مياه نهر النيل دائماً ما تسجل أقل القيم الحرارية في كل الفصول. ومن ثم فإن مياه النيل تمثل عامل تبريد وتلطيف لدرجة الحرارة بمدينة أسيوط، وهو ما يتبعه زيادة في استهلاك الغاز الطبيعي بسبب زيادة متطلبات التدفئة في الشهور الباردة. كما أن انخفاض درجة حرارة مياه النيل يزيد من حجم استهلاك الغاز الطبيعي المطلوب لعمليات تسخين وتدفئة المياه في الاستهلاك المنزلي. ويتعاطف دور النيل المُلطف بسبب ظروف الموضع التي جعلته يحيط بالمدينة بطول ثلاث جهات.
 - تؤكد الدور الملطف لنهر النيل من انخفاض درجة الحرارة دائماً في شياخات حي شرق المجاورة للنيل عن مثيلتها في شياخات حي غرب أسيوط الذي يقع بعيداً عن نهر النيل مجاوراً للهضبة الغربية، ما جعلها الأولى أكثر استهلاكاً للغاز الطبيعي بشكل مستمر عن الشياخات البعيدة. وفي ذلك إشارة إلى ضرورة الأخذ في الاعتبار التباين المكاني للطلب على الغاز الطبيعي في المدينة وعلاقته بالتأثير الملطف لنهر النيل، ودور كل ذلك في تباين حجم الأحمال من شياخة لأخرى.
 - كشف تحليل الانحدار المتعدد الاستكشافي أن أفضل نموذج للتنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي في القطاع المنزلي وبحجم الأحمال على نظم إنتاجه هو نموذج ثلاثي يعتمد على درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية ودرجات أيام التدفئة، حيث يمكن استخدامه لتقدير ٩٦% من حجم الطلب على الغاز الطبيعي بدلالة إحصائية ٠,٠١، ومستوى ثقة يزيد عن ٩٩%. كما قدم التحليل نموذجاً أحادي للتنبؤ بالطلب على الغاز الطبيعي في القطاع التجاري اعتماداً على أي من درجات أيام التدفئة أو درجة حرارة الهواء، ولكن بمعامل تحديد منخفض ومستوى ثقة أقل.
 - شهدت درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية في المدينة اتجاهاً صاعداً خلال الفترة ١٩٦١-٢٠٢٠. ومن المتوقع أن يؤدي استمرار التغير مستقبلاً بنفس النمط إلى خفض الطلب على الغاز الطبيعي وتقليل الأحمال على نظم إنتاجه، دون الأخذ في الاعتبار بقية العوامل غير المناخية المؤثرة في الطلب. وقد قُدرت نسب الانخفاض المتوقعة عام ٢٠٧٠

في الطلب على الغاز الطبيعي داخل القطاع السكني بنحو ٣٢,٧%، ١٠,٤%، ٨,٦%،
١١,٦% في الفصول الأربعة على الترتيب.

وتوصي الدراسة أخيرا بضرورة اتباع الاستراتيجيات التكاملية في إدارة وتخطيط النظم الاقتصادية في مصر لتحقيق أعلى معدلات الكفاءة في تشغيل تلك النظم، وتلافي ما قد يعتريها من أوجه القصور المختلفة نتيجة غياب تلك النظرة التكاملية. ويظهر ذلك تحديدا في سياق البحث الحالي من خلال ضرورة الربط والتكامل بين نظم إنتاج الطاقة من ناحية، وبين نظم الخدمة المختلفة للرصد الجوي من ناحية أخرى، سواء أكانت رسمية محلية ممثلة في هيئة الأرصاد الجوية المصرية، أو دولية وتشمل نظم رصد ومراقبة الغلاف الجوي بالأقمار الصناعية.

المصادر والمراجع

أولاً: المصادر.

- ١- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء (٢٠١٦): مركز نظم المعلومات الجغرافية خريطة مدينة أسيوط، مقياس ١: ٥٠٠٠٠.
- ٢- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء (٢٠١٧): التعداد العام للسكان والإسكان والمنشآت.
- ٣- الشركة المصرية القابضة للغازات الطبيعية، نيابة العمليات، إدارة أنشطة توصيل الغاز الطبيعي: بيانات غير منشورة عن الاستهلاك الشهري للغاز الطبيعي في أحياء مدينة أسيوط ٢٠١٢-٢٠١٨.
- ٤- الهيئة العام للأرصاد الجوية المصرية: بيانات غير منشورة للمتوسطات الشهرية لعناصر درجة الحرارة وسرعة الرياح والرطوبة النسبية ١٩٦١-٢٠٢٠.
- ٥- المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS، أربع مرئيات فضائية للقمر الصناعي Landsat-8 OLI/TIRS خلال عام ٢٠٢٠، <https://earthexplorer.usgs.gov>.
- ٦- المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS، مرئيات فضائية للقمر الصناعي Terra MODIS (MOD11A2 v061) لفترة الدراسة، <https://earthexplorer.usgs.gov>.
- 7- Egyptian Meteorological Authority (EMA) (2001): Climatological Normals for the Arab Republic of Egypt: Surface Stations 1976-2005.

ثانياً: المراجع العربية.

- ١- أحمد على إسماعيل (٢٠٠٣): مدينة أسيوط، ندوة المدن المصرية، المجلس الأعلى للثقافة، الجزء الأول، مدن الصعيد، تحرير أحمد على إسماعيل، القاهرة.
- ٢- الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (٢٠١٨): توقعات الطاقة المتجددة: مصر، الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA، أبو ظبي.
- ٣- خالد بن عبد الله بن مقرن آل سعود (٢٠٠٦): دراسة ظاهرة الجزر الحرارية في المدن الصحراوية: حالة دراسية مدينة الرياض، مجلة جامعة الملك سعود، العدد ١٨.
- ٤- سعود عياش، معتصم سلمان، نجاح الحافي (١٩٨٥): تحليل تأثير درجة الحرارة على استهلاك الكهرباء في الكويت، مجلة النفط والتعاون العربي "منظمة الأقطار العربية المصدرة للبتروول"، مجلد ١١، العدد ٢ع، ص ٤٧-٥٩.

- ٥- وائل هريدي زهران مهران ضيف (٢٠١٨): الجزيرة الحرارية وبعض آثارها البيئية في مدينة أسيوط، دراسة في جغرافية المناخ الحضري، باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة أسيوط.
- ٦- وليد عباس عبد الراضي (٢٠١٣): الحرارة في مجمع القاهرة الحضري، دراسة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.
- ٧- يوسف عبد المجيد فايد (١٩٩٤): مناخ مصر، في جغرافية مصر، يوسف أبو الحجاج، وآخرون، محررون، "٩١-١٣٤، القاهرة، المجلس الأعلى للثقافة، الهيئة المصرية للكتاب.

ثالثاً: المراجع الأجنبية.

- 1- Akara, G.K., Hingary, B., Diawar, A., and Diedhiou, A., (2021): Effect of weather on monthly electricity consumption in three coastal cities in West Africa. *AIMS Energy* 9(3): 446-464 [10.3934/energy.2021022].
- 2- Alberini, A., and Filippini, M. (2011): Response of Residential Electricity Demand to Price: The Effect of Measurement Error. *Energy Economics* 33(5): 889-895 [10.1016/j.eneco.2011.03.009]
- 3- Amato, A. D., Ruth, M., Kirshen, P., & Horwitz, J. (2005): Regional energy demand responses to climate change: methodology and application to the commonwealth of Massachusetts. *Climatic Change*, 71(1), 175-201.
- 4- Aras, N. (2008): Forecasting residential consumption of natural gas using genetic algorithms. *Energy Exploration & Exploitation*, 26(4), 241-266.
- 5- Ardenete, F., Beccali, M., Cellura, M., and Lo Brano. V. (2008): Energy Performances and Life Cycle Assessment of an Italian Wind Farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(1): 200-217.
- 6- Arens, E.A., and Williams, P.B. (1997): The Effect of Wind on Energy Consumption in Buildings. *Energy and Buildings* 1(1): 77-84.
- 7- Barsi, J. A., Schott, J. R., Hook, S. J., Raqueno, N. G., Markham, B. L., & Radocinski, R. G. (2014): Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626.
- 8- Chen, L., Fang, X., & Li, S. (2007): Impacts of climate warming on heating energy consumption and southern boundaries of severe cold and cold regions in China. *Chinese Science Bulletin*, 52(20), 2854-2858.
- 9- Chodakowska, E., Nazarko, J., and Nazarko, L. (2021): ARIMA Models in Electrical Load Forecasting and Their Robustness to Noise. *Energies* 14(23): 7952 [10.3390/en14237952]
- 10- Colombo, A. F., Etkin, D., & Karney, B. W. (1999): Climate variability and the frequency of extreme temperature events for nine sites across Canada: implications for power usage. *Journal of Climate*, 12(8), 2490-2502.
- 11- Eskeland, G., and Mideksa, T. (2010): Electricity Demand in a Changing Climate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15(8): 877-897 [10.1007/s11027-010-9246-x]

- 12- Fung, W. Y., Lam, K. S., Hung, W. T., Pang, S. W., & Lee, Y. L. (2006): Impact of urban temperature on energy consumption of Hong Kong. *Energy*, 31(14), 2623-2637.
- 13- Hamzacebi, C., Avni Es, H., and Cakmak, R. (2019): Forecasting of Turkey's Monthly Electricity Demand by Seasonal Artificial Neural Network. *Neural Comput & Applic* 31:2217–2231 [10.1007/s00521-017-3183-5]
- 14- Hekkenberg, M., Benders, R. M. J., Moll, H. C., & Uiterkamp, A. S. (2009): Indications for a changing electricity demand pattern: The temperature dependence of electricity demand in the Netherlands. *Energy Policy*, 37(4), 1542-1551.
- 15- IPCC (2007): 4th Assessment Report "Climate Change 2007: Synthesis Report". Download from <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm> (2008-11-24).
- 16- Jovanović, S., Savić, S., Bojić, M., Djordjević, Z., Nikolić, D. (2015): The Impact of the Mean Daily Air Temperature Change on Electricity Consumption. *Energy* 88: 604-609 [10.1016/j.energy.2015.06.001].
- 17- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., and Rubel, F., (2006): World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated, *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15, No. 3, pp. 259-263.
- 18- Labandeira X., Labeaga, J.M., and Lopez-Otero, X. (2011): Energy Demand for Heating in Spain: An Empirical Analysis with Policy Purposes. Project: Energy demand, taxes and microsimulation.
- 19- Laosuan, T., Gomasathit, T., & Rotjanakusol, T. (2017): Application of Remote Sensing for Temperature Monitoring: The Technique for Land Surface Temperature Analysis. *Journal of Ecological Engineering*, 18(3), 53-60.
- 20- Lee, T. C., Kok, M. H., & Chan, K. Y. (2010): Climatic influences on the energy consumption in domestic and commercial sectors in Hong Kong. In *Proceedings of the The 16th Annual International Sustainable Development Research Conference, Hong Kong, China (Vol. 30)*.
- 21- Liu, X., & Sweeney, J. (2012): The impacts of climate change on domestic natural gas consumption in the Greater Dublin Region. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*.
- 22- Mariano-Hernández, D., Hernández-Callejo, L., García, F.S., Duque-Perez, O., and Zorita-Lamadrid, A. L. (2020): A Review of Energy Consumption Forecasting in Smart Buildings: Methods, Input Variables, Forecasting Horizon and Metrics. *Applied Sciences* 10(23), 8323.
- 23- Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Georgopoulou, E., Lalas, D. P., Moschovits, M., Karagiannis, F., & Papakonstantinou, D. (2006): Models for mid-term electricity demand forecasting incorporating weather influences. *Energy*, 31(2-3), 208-227.
- 24- Noro, M., Busato, F., & Lazzarin, R. M. (2015): Urban heat island in Padua, Italy: Experimental and theoretical analysis. *Indoor and Built Environment*, 24(4), 514-533.
- 25- Pardo, A., Meneu, V., and Valor, E. (2002): Temperature and Seasonality Influences on Spanish Electricity Load. *Energy Economics* 24(1): 55-70.

- 26- Parkpoom, S., & Harrison, G. P. (2008): Analyzing the impact of climate change on future electricity demand in Thailand. *IEEE Transactions on Power Systems*, 23(3), 1441-1448.
- 27- Psiloglou, B.E., Giannakopoulos, C., Majithia, S., and Petrakis, M. (2009): Factors Affecting Electricity Demand in Athens, Greece and London, UK: A Comparative Assessment. *Energy* 34(11): 1855-1863.
- 28- Rajeshwari, A., & Mani, N. D. (2014): Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122-126.
- 29- Reiss, P.C., & White, M. W. (2005): Household Electricity Demand, Revisited. *The Review of Economic Studies* 72(3): 853-883.
- 30- Roshan, G. R., Orosa, J. A., & Nasrabadi, T. (2012): Simulation of climate change impact on energy consumption in buildings, case study of Iran. *Energy Policy*, 49, 731-739.
- 31- Roshan, G. R., Ranjbar, F., & Orosa, J. A. (2010): Simulation of global warming effect on outdoor thermal comfort conditions. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(3), 571-580.
- 32- Sailor, D. J., & Muñoz, J. R. (1997): Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the USA—Methodology and results for eight states. *Energy*, 22(10), 987-998.
- 33- Sailor, D. J., Rosen, J. N., & Muñoz, J. R. (1998): Natural gas consumption and climate: a comprehensive set of predictive state-level models for the United States. *Energy*, 23(2), 91-103.
- 34- Sallam, A., and Malik, O. (2019): Load Forecasting. In: Sallam, A., and Malik, O., *Electric Distribution Systems: Planning and Utilization*. John Wiley & Sons, Inc., Second ed. (First published 2018), 41-74 p.
- 35- Santamouris, M., Kapsis, K., Korres, D., Livada, I., Pavlou, C., & Assimakopoulos, M. N. (2007): On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, 39(8), 893-905.
- 36- Soldo, B. (2012): Forecasting natural gas consumption. *Applied Energy*, 92, 26-37.
- 37- Sun, T., Zhang, T., Teng, Y., Chen, Z., and Fang, J. (2019): Monthly Electricity Consumption Forecasting Method Based on X12 and STL Decomposition Model in an Integrated Energy System. *Mathematical Problems in Engineering* 2019: 9012543 [10.1155/2019/9012543]
- 38- Thornton, H.E., Hoskins, B.J., & Scaife, A.A. (2016): The role of temperature in the variability and extremes of electricity and gas demand in Great Britain. *Environmental Research Letters*, 11(11), 114015.
- 39- Timmer, R. P., & Lamb, P. J. (2007): Relations between temperature and residential natural gas consumption in the Central and Eastern United States. *Journal of applied meteorology and climatology*, 46(11), 1993-2013.
- 40- Tso, G. K., & Yau, K. K. (2003): A study of domestic energy usage patterns in Hong Kong. *Energy*, 28(15), 1671-1682.
- 41- USGS (2019): *Landsat-8 OLI/TIR Science Data Users Handbook*. Version 5, Sioux Falls, South Dakota, 106 p.

- 42- Valor, E., Meneu, V., and Caselles, V. (2001): Daily Air Temperature and Electricity Load in Spain. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 40(8): 1413–1421.
- 43- Yan, Y.Y. (1998): Climate and residential electricity consumption in Hong Kong. *Energy*, 23(1), 17-20.
- 44- Yi-Ling, H., Hai-Zhen, M., Guang-Tao, D., & Jun, S. (2014): Influences of urban temperature on the electricity consumption of Shanghai. *Advances in climate change research*, 5(2), 74-80.

The Role of Climate in Managing and Planning the Energy Sector of Egypt: A Case of the Natural Gas Sector of Assiut City

ABSTRACT

Owing to the crucial importance of the energy sector in Egypt, the study aims to analyze the monthly and seasonal variations of natural gas consumption in Assiut City and to explain these variations based on the prevailing climatic conditions, i.e., air and land surface temperatures, water surface temperature of the Nile River, wind speed and relative humidity. The research also seeks to utilize this relationship to optimize the management and planning of the energy sector through identifying the temporal behavior of the energy demand, the related peak loads, and building a predictive statistical model to estimate the expected demand for natural gas according to the potential atmospheric conditions. We relied on diverse datasets of natural gas consumption, climate variables, and Terra MODIS and Landsat8 OLI/TIRS imageries. The heating and cooling degree days were used as indicators of heating and cooling requirements. A final treatment focused on the future demand for natural gas considering the changes in temperature and relative humidity. The results revealed that temperature is the main forcing factor of the natural gas demand, as a strong inverse birelationship was detected within the residential sector ($R = -0.85$ and confidence level = 99%). A less strong relationship ($R = -0.56$) with a lower confidence level (95%) persisted in the commercial sector. Neither the relative humidity nor the wind speed was shown as major determinants. The analysis also showed that a tri-variable model (air temperature, relative humidity, and heating degree days) is the best for predicting the residential demand for natural gas and the relevant loads. The model can be used to predict 96% of the demand with a confidence level of more than 99%. This provides a quantitative assessment of the expected loads and their spatio-temporal variation. Accordingly, the governmental authorities can plan the energy production and manage their facilities in response to these expected loads. It is recommended that the integration between the local-to-global meteorological services and the economic systems in Egypt is a crucial need to achieve the optimal operating efficiency, and to avoid the various shortcomings that may be experienced as a result of the absence of that integrative view.

Key Words: Energy demand, Natural gas, MODIS, Landsat-8, Heating degree days, Predictive models, Assiut City.