المحددات المناخية لمستوى كفاءة نقل الكهرباء عبر الشبكة المصرية الموحدة "دراسة في المناخ التطبيقي"

د. / زينهم السيد مجد *

مقدمة:

أدت الزيادة السكانية الكبيرة التي يشهدها العالم في الوقت الحالي ، علاوة على ارتفاع مستوى الرفاهية في كثير من دول العالم ، إلي زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية ؛ فمن المتوقع بحلول عام ٢٠٥٠م أن يصل عدد سكان العالم إلى٩مليار نسمة [١]، ومن المتوقع أيضاً أن يزداد عدد سكان الدول النامية و يتحسن مستوى معيشتهم ، مما يستلزم توفير قدر أكبر من الكهرباء ، الأمر الذي يشكل ضغطاً على محطات توليد الكهرباء وعلى شبكات نقل الكهرباء الحاليتين .

و لتلافي هذه المشكلة تتبنى العديد من دول العالم في الآونة الأخيرة توجهاً يدعو الى زيادة الطاقة الكهربائية المنتجة ، من خلال تحرير سوق الكهرباء والسماح للقطاع الخاص بالاستثمار فيه ، ولقد وضع هذا التوجه شركات نقل الكهرباء في مأزق كبير ، بسبب عدم قدرتها على استيعاب كافة الطاقة الكهربائية المولدة ، نتيجة لتقادم شبكة النقل والتوزيع ومن ثم انخفاض كفاءتها ، لذا تحدث فجوة كبيرة بين انتاج الكهرباء من ناحية ونقلها وتوزيعها من الناحية الاخرى ، فلم تعد شبكة النقل والتوزيع قادرة على استيعاب الكم الكبير من الطاقة الكهربائية المنتجة ، والتي تتعرض نسبة كبيرة منها للفقد اثناء عملية النقل والتوزيع[٢]، وللتصدي لهذه المشكلة لابد من الاتجاه نحو زيادة سعة خطوط النقل والتوزيع داخل حدود الدولة الواحدة ، وكذلك خطوط الربط بين الدول ورفع كفاءتها ، ويستلزم ذلك دراسة كافة العوامل المؤثرة في كفاءة نقل الكهرباء وفي مقدمتها عناصر المناخ ، لأن كلفة تدشين خطوط نقل جديدة لتعزيز قدرات الشبكات الكهربائية سيترتب عليه كلفة مالية وبيئية كبيرة ، تعجز ميزانيات الكثير من الدول عن الوفاء بها .

يسهم المناخ في التأثير على شبكات نقل الكهرباء بدرجة كبيرة ، وتتراوح أوجه التأثير بين المباشرة وغير المباشرة ؛ فلعناصر المناخ وبخاصة حرارة الهواء و الرياح تأثيرات مباشر في تصميم شبكة نقل الكهرباء؛ وتتمثل تلك التأثيرات في : تصميم الابراج التي تحمل الموصلات واختيار مادة صنعها وتحديد المسافة الفاصلة بينها ، وطريقة صنع الموصلات ونوع مادتها والمسافات التي تفصلها عن بعضها البعض وعن سطح الأرض وقوة شدها على الابراج ، علاوة على اضافة مكونات للشبكة مثل موانع الاهتزاز و حافظ مسافات الموصلات ومانع الصواعق.

---

* أستاذ مساعد المناخ التطبيقي بكلية الآداب - جامعة كفر الشيخ.

(1) Jane,E., and Walter,V.,Climate impact on Energy systems-key issues for energy sector Adaptation , world bank ,Washington, USA,2011.

(٢) بلغت نسبة الفقد في مصر نحو ١٧% من الطاقة التي يتم ضخها عبر الشبكة المصرية الموحدة عام ٢٠١٦/٢٠١٧م ، نقلاً عن : وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ، ٢٠١٧م .

يعتبر الاشعاع الشمسي والرياح مصدراً أساسياً لتوليد الكهرباء النظيفة والمتجددة ، والتي يتم نقلها عبر شبكات الكهرباء من محطات التوليد الى مراكز الأحمال ، كما تتأثر درجة حرارة الموصلات وبالتالي درجة مقاومتها لمرور التيار الكهربائي و كمية الفاقد منه ، وبالتالي كفاءتها في نقل التيار بطبيعة عناصر المناخ السائدة ، فالإشعاع الشمسي الكثيف الذي تستقبله الموصلات في بعض الشهور مثل شهور فصل الصيف وبعض الأوقات مثل ساعات الظهيرة ، علاوة على درجة حرارة الهواء المرتفعة التي تتعرض لها في الشهور و الأوقات نفسها ، يسهمان بدرجة كبيرة في رفع درجة حرارة الموصلات وبالتالي زيادة نسبة الفاقد من التيار وانخفاض سعة الخطوط ، كما تسهم الرياح التي تهب بشكل عمودي على محاور الموصلات في خفض درجة حرارتها و خفض نسبة فقد التيار و زيادة سعة الخطوط .

كما أن التغيرات المناخية التي بدأت أثارها السلبية في الظهور في كافة مناحي الحياة في الوقت الحالي ، ومن المتوقع زيادتها في المستقبل وفقاً للتقرير الخامس للهيئة الدولية الحكومية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ، نتيجة لزيادة نسب انبعاث الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري[١] ، أصبح موجهاً للكثير من الدراسات التطبيقية وبخاصة التي تتعلق بنقل الكهرباء ، فمن المتوقع أن تؤدي التغيرات المناخية الى تقليل كفاية الكهرباء نتيجة لزيادة الطلب عليها من ناحية و انخفاض سعة وكفاءة نقل خطوط الكهرباء من ناحية أخرى ، فقد قدر الانخفاض المتوقع في سعة الخطوط في الولايات المتحدة الأمريكية بنسبة تتراوح بين ٠.٩ -٥.٨% خلال المدة من عام ٢٠٤٠-٢٠٦٠ م مقارنة بنظيرتها خلال المدة من عام ١٩٩٠-٢٠١٠م [٢] .

وقد انتبهت كثير من دول العالم المتقدم الى أوجه التأثير المتعددة لعناصر المناخ على كفاءة نقل التيار الكهربائي عبر شبكاتها ، مما دعاها الى اتباع اسلوب ادارة وتحكم في خطوط نقل الكهرباء يراعي ديناميكية عناصر المناخ ؛ ولتحقيق ذلك يتم متابعة ورصد عناصر المناخ بالقرب من خطوط الموصلات ، من خلال شبكة من محطات الرصد الجوي التي تشمل أجهزة رصد اتوماتيكية حديثة صورة (١) .

ومن هنا تبع الأهمية التطبيقية للبحث ، حيث يسعى الباحث إلى تحقيق الاستفادة القصوى من الموصلات الكهربائية في مصر وزيادة سعتها ، من خلال تحديد طبيعة العلاقة بين العناصر المناخية ودرجة حرارة الموصلات ، والتي يترتب عليها مقاومتها لمرور التيار، ومقدار فقدها للكهرباء وبالتالي مستوى كفاءتها .

الدراسات السابقة :

تعددت الدراسات التي تناولت منظومة نقل الكهرباء سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة ، و قد اتخذ الباحث من نتائجها قاعدة علميه وأساس معرفي لإنجاز هذا البحث ، **و يمكن تصنيف أحدث هذه الدراسات** إلى ما يلي :

---

(1) available online at http:// www. ipcc.ch/index.htm, accessed on , 10/2/2017.

(2) Bartos,M.,impacts of rising air temperature on electric transmission ampacity and peak electricity load in the united states , Environmental research letters ,vol.11(no.11), iop publishing ltd,2016, available online at http:// www.iopscience.iop.org

المصدر :

Dynamic transmission line rating technology review 208478-cr-001, hydro- electric corporation ,Tasmania- Australia,2009, p14

صورة (١) رصد عناصر المناخ بالقرب من خطوط الموصلات الكهربائية في نيوزيلاندا.

١- دراسات غير جغرافية :

ركزت هذه الدراسات على الجوانب التصميمية والهندسية ، حيث انصبت على دراسة العوامل التي تتحكم في تصميم وادارة شبكات نقل الكهرباء ، وسبل تقييمها و تطويرها باستخدام المعادلات الإحصائية والنماذج وبرامج الحاسب الآلي ، وقد استعان الباحث بالعديد من المعادلات والنماذج الإحصائية المستخدمة في تلك الدراسات ومن أهما و أحدثها: دراسة (Petrovic) عام ٢٠١٤م[١] ، والتي انصبت على استنتاج درجة حرارة الموصلات في البيئة الطبيعية باستخدام معادلة التوازن الحراري ، ودراسة (Arroyo) عام ٢٠١٥م[٢] ، حول مقارنة درجات حرارة الموصلات في ظل الحرارة الواقعية والقياسية باستخدام معادلات المجلس الدولي للأنظمة الكهربائية الكبيرة (CIGRE) ومؤسسة مهندسي الكهرباء والالكترونيات (IEEE) ، ودراسة (Matthew) عام ٢٠١٦م [٣]، والتي انصبت على رصد تأثير درجة حرارة الهواء

(1)Petrovic,I., etal, current- temperature Analysis of ampacitey of overhead conductor depending on vol.(7) issue 2,2014, available on line at http:// www. Fe-um-si/en/jet.html , accessed on , 9/8/2018 .

(2)Arroyo,A,etal,comprasion between , IEEE and CIGR thermal behavior standards and measured temperature on a 132-KV overhead power line , journal of energy research ,vol.(8)issue 12, MDPI ,Switzerland ,2014, available on line at http:// www. mdpi.com, accessed on , 9/8/2018 .

(3) Matthew,B., etal,impact of rising air temperature on electric transmission ampacitey and peak electricity load in the united states ,environmental research letters , vol.11(N11),

على سعة خطوط الهوائية لنقل الكهرباء في الولايات المتحدة الأمريكية ، باستخدام معادلة التوازن الحراري ، وخلصت أن هناك انخفاض في سعة الخطوط في الولايات الجنوبية الشرقية وستبلغ الذروة بحلول عام ٢٠٨٠م ، ودراسة (Bigun) عام ٢٠١٨م[١]عن تأثير عناصر المناخ في معدلات الفقد الكهربائي في خطوط نقل الكهرباء الهوائية ، والتي أوصت بضرورة مراعاة ظروف المناخ في ادارة خطوط نقل الكهرباء.

٢- دراسات جغرافية :

انصبت بعض الدراسات الجغرافية على دراسة منظومة الكهرباء المصرية بصفة عامة ، من حيث انتاج الكهرباء ونقلها وتوزيعها في بعض محافظات مصر ، حيث ركزت على التطور التاريخي لدخول الكهرباء ، وتطور الانتاج و التباين المكاني و الزمني لشرائح الاستهلاك ، و المشكلات المرتبطة بكهربة الريف وقضايا تسعير الكهرباء ، ولم يتطرق أي منها الى دراسة دور عناصر المناخ في تحديد مستوى كفاءة شبكة النقل ، ومن هذه الدراسات : دراسة محمد محمود الديب عام ١٩٩٣م [٢]، والتي تطرق فيها الى شبكة نقل الكهرباء المصرية من حيث النشأة والتطور والعوامل المؤثرة فيها ، دراسة محمد أحمد مرعي عام ٢٠٠١م [٣] ، عن الكهرباء في محافظة دمياط ، والتي انصبت على دراسة تطور انتاج الكهرباء في المحافظة ، و قطاعات وشرائح الاستهلاك والعوامل المؤثرة فيها، والمشكلات التي يعاني منها قطاع الكهرباء في المحافظة ، ودراسة سعيد أحمد عبده عام ٢٠٠٢م[٤] عن الطاقة الكهربائية في مصر ، وتناول الباحث فيها تطور قطاع الكهرباء في مصر من عام ١٨٩٢م حتى عام ١٩٩٢م ، من حيث الانتاج و الاستهلاك وكذلك شبكة النقل والتوزيع ، دراسة محمد عزت الشيخ عام ٢٠٠٥م[٥]، عن انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة الدقهلية ، وتناول فيها انتاج الكهرباء في المحافظة وتطوره ، و قطاعات وشرائح الاستهلاك والعوامل المؤثرة فيها، والمشكلات التي يعاني منها قطاع الكهرباء في

IOP publishing ltd ,2016 , available on line at http:// www. Iop science.org, accessed on , 9/8/2018 .

(1)Bigun,A.,etal , mode and climatic factors effect on energy losses in transient heat modes of transmission lines , journal of physics : conf. series 944(2018),IOP publishing ltd , available on line at http:// www. Iop science.org, accessed on , 9/8/2018 .

(٢) محمد محمود الديب ، الطاقة في مصر- دراسة تحليلية في اقتصاديات المكان ، مكتبة الانجلو المصرية ، القاهرة ، ١٩٩٣م .

(٣) محمد أحمد مرعي ، انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة دمياط - دراسة في الجغرافيا الاقتصادية ، مجلة الانسانيات ، كلية الآداب – جامعة الاسكندرية – فرع دمنهور، العدد السابع ، ٢٠٠١م .

(٤) سعيد أحمد عبده ، تطور خريطة الطاقة الكهربائية في مصر(١٨٩٢-١٩٩٢م)المجلة الجغرافية العربية ، العدد التاسع والثلاثون – الجزء الاول ، الجمعية الجغرافية المصرية ،القاهرة ، ٢٠٠٢م .

(٥) محمد عزت الشيخ ، انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة الدقهلية – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية ، ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب – جامعة طنطا ، ٢٠٠٥م .

المحافظة ، ودراسة محمد أحمد الشناوي عام ٢٠١٣م [١] ، عن انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة الاسماعيلية ، و تناول الباحث فيها تطور انتاج الكهرباء ، وخصائص شبكة نقل وتوزيع الكهرباء بالمحافظة ومشكلات الكهرباء التي تعاني منها ، ودراسة أحمد موسى خليل عام ٢٠١٥م[٢] عن الربط الكهربائي بين الدول العربية ، وتناول فيها انتاج الطاقة الكهربائية واستهلاكها وتبادلها بين الدول العربية ، دراسة زينهم السيد مجد ٢٠١٨م[٣] ، عن المعوقات الحرارية لأداء الخلايا الكهروضوئية في مصر ، وتناول الباحث فيها التأثير الحراري السلبي لدرجة حرارة الهواء و الاشعاع الشمسي على توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية ، وتم من خلالها تصنيف مصر الى نطاقات تبعاً لنسبة المعوقات الحرارية التي تتعرض لها الخلايا الكهروضوئية.

يسعى الباحث من خلال الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية :

١- تسليط الضوء على شبكة الكهرباء المصرية الموحدة ، من حيث المكونات والامتداد والتطور والأهمية ، وإبراز دورها في توفير الطاقة الكهربائية لكافة قطاعات الاستهلاك في مصر مما يشجع الاستثمار في هذا القطاع الحيوي .

٢- تحديد دور عناصر المناخ في التأثير على مستوى أداء الموصلات الكهربائية في مصر وبخاصة عناصر: الإشعاع الشمسي و حرارة الهواء والرياح السطحية .

٣- رصد التغيرات المكانية والزمنية لدرجة حرارة الموصلات الكهربائية في مصر.

٤- رصد التغيرات المكانية والزمنية لفقد الكهرباء من الموصلات الكهربائية في مصر.

٥- تصنيف مصر إلى نطاقات تبعاً لمستوى أداء الموصلات الكهربائية.

٦- تصنيف شهور السنة تبعاً لمستوى أداء الموصلات الكهربائية في مصر.

٧- تحديد التقنيات والاجراءات الواجب إتباعها لتحقيق الاستفادة القصوى من الموصلات الكهربائية في مصر.

كما يسعى الباحث من خلال الدراسة إلى الإجابة على التساؤلات التالية :

١- إلى أي مدى يرتبط مستوى أداء الموصلات الكهربائية بعناصر المناخ .

٢- أي جهات مصر تعاني من انخفاض في مستوى اداء الموصلات الكهربائية.

وقد استعان الباحث في إتمامه للدراسة بالعديد من المناهج أهمها : المنهج الإقليمي و الموضوعي والأصولي والتاريخي ، بالإضافة إلى مجموعة من الأساليب منها: الاسلوب الكمي ، الاسلوب الكارتوجرافي ، بالإضافة الى الدراسة الميدانية لبعض خطوط نقل الكهرباء في محافظات: مطروح والاسكندرية و كفرالشيخ والغربية والدقهلية و القاهرة وجنوب سيناء ، والتي مكنت الباحث من التعرف على مكونات

---

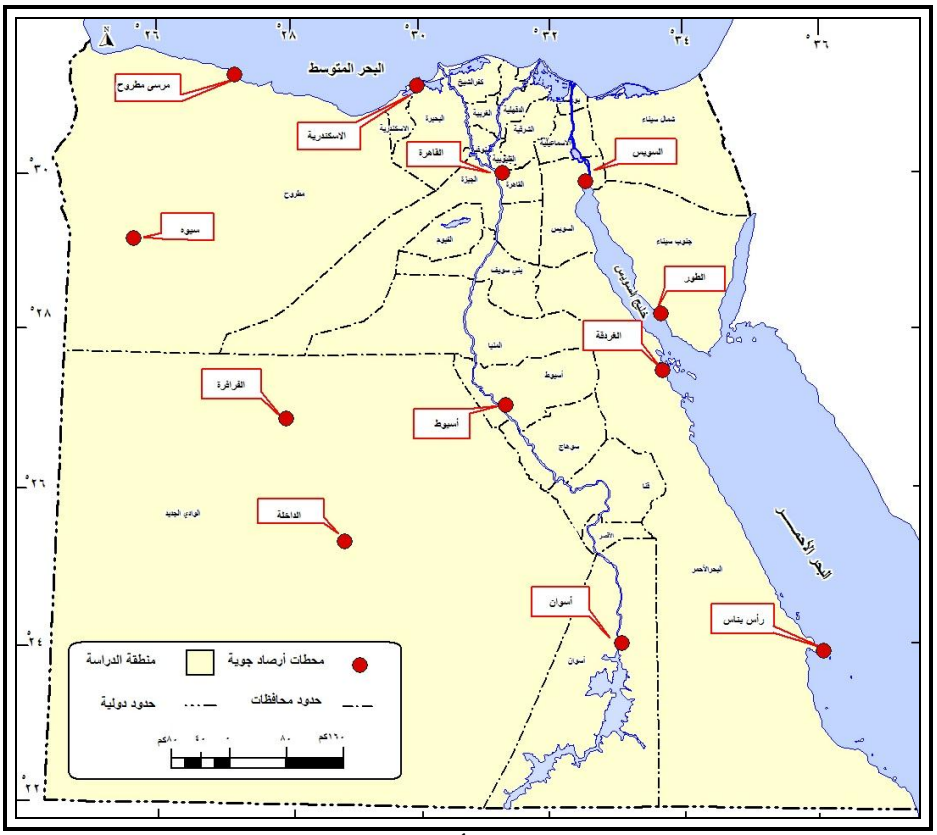
(١) محمد أحمد الشناوي، انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة الاسماعيلية – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية ، دكتوراه غير منشورة ، كلية الآداب – جامعة كفرالشيخ ، ٢٠١٣م .

(٢) أحمد موسى خليل ،الربط الكهربائي بين دول الوطن العربي – دراسة في جغرافية الطاقة ، المجلة الجغرافية العربية ، العدد السادس والستون ، الجمعية الجغرافية المصرية ، القاهرة ، ٢٠١٥م.

(٣) زينهم السيد مجد ، المعوقات الحرارية لأداء الخلايا الكهروضوئية في مصر – دراسة في المناخ التطبيقي، المجلة الجغرافية العربية ، العدد الثاني والسبعون ، الجمعية الجغرافية المصرية ،٢٠١٨م .

شبكة نقل الكهرباء وفهم أوجه تأثير عناصر المناخ فيها ، و الاحاطة بأهم المشكلات التي تعاني منها الشبكة .

اعتمد الباحث على البيانات المناخية لعدد ١٢ محطة أرصاد جوية تغطي معظم جهات مصر خلال المدة من ١٩٧٠- ٢٠٠٥م شكل (١) ، وبيانات الإشعاع الشمسي الكلي من قاعدة بيانات وكالة الفضاء الأمريكية (NASA) [(١)]، واستخدم بعض برامج الحاسب الآلي مثل: برامج الخرائط Arcgis و MapInfo و Surfer ، وبرنامج رسم الأشكال البيانية Excel ، و برنامج التحليل الإحصائيSPSS ، وبرنامج حساب زوايا الإشعاع الشمسي Solar position calculator[(٢)].



شكل (١) التوزيع الجغرافي لمحطات الأرصاد الجوية التي اعتمدت عليها الدراسة.

(1)NASA surface meteorology and solar Energy ,available on line at http:// www. Eosweb.larc.nasa.gov, accessed on , 1/12/2016 .

(2) available online at http:// www. Esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html, accessed on , 11/1/2015.

كما استعان الباحث بأحد البرامج المتخصصة في دراسة شبكات نقل الكهرباء وهو برنامج حساب درجة حرارة الموصلات Ratekit الاصدار الخامس[١]، و اعتمد فيه على معادلات المجلس الدولي للأنظمة الكهربائية الكبيرة conseil international (des grands reseaux electriques – CIGRE) [٢] ، وبخاصة معادلة التوازن الحراري (heat balance equation) :

$$qc + qr = qs + I^2R$$

حيث :

- qc الحرارة المفقودة من الموصل عن طريق عملية الحمل .
- qr الحرارة المفقودة من الموصل عن طريق عملية الاشعاع .
- qs الحرارة التي يكتسبها الموصل عن طريق الاشعاع الشمسي.
- I التيار الكهربائي المار عبر الموصل (أمبير).
- R مقاومة الموصل للتيار الكهربائي (أوم/كم).

اختار الباحث نوعين من الموصلات واسعة الانتشار لتطبيق البحث عليهما ، ويشير جدول (١) الى أهم مواصفاتهما الفنية .

كما استعان الباحث بالعديد من المعادلات الإحصائية وتتمثل فيما يلي :

١- معادلة تحديد زاوية ميل شعاع الشمس عن خط الاستواء ، أو زاوية دائرة عرض التعامد (Declination angle) :

$$\text{Solar declination} = 23.45 \times \sin[(360 \div 365) \times (284+N)]$$

حيث :

N هو ترتيب اليوم بالنسبة لباقي أيام السنة ، ويتراوح بين ١ و ٣٦٥ ، علماً بان الترتيب يبدأ من ١ يناير، ويتراوح ناتج للمعادلة بين ٢٣.٤٥ درجة عندما تتعامد الشمس على مدار السرطان في نصف الكرة الأرضية الشمالي ، و - ٢٣.٤٥ درجة عندما تتعامد الشمس على مدار الجدي في نصف الكرة الأرضية الجنوبي [٣].

٢- معادلة تحديد كثافة الشعاع الشمسي الساقط على دوائر العرض :

$$\text{Intensity} = \sin(A) \times 100$$

حيث :

A زاوية سقوط شعاع الشمس أو ارتفاعه [٤].

---

(1) available online at http:// www. Usi-power-com/rate Ki-thermal-rating-toolkit, accessed on , 8/7/2018.

(2)CIGRE tech.Brochure,No 207,2002,available online at http:// www. E-cigre.org, accessed on , 8/7/2018.

(3)Goswami,D., etal ,Principles of Solar Engineering , 2 nd Ed.,Taylor & francis , USA , 2000, p. 24.

(4) Michael ,P., Fundamentals of Physical Geography , 2 nd Ed. , 1999, P.9, available online at http:// www. e-booksdirectory .com , accessed on , 20/8/2016.

جدول (١) المواصفات الفنية للموصلات التي اعتمدت عليها الدراسة

Arbutus	Drake	كود الموصل (cod)
ألمونيوم كامل (AAC-1350)	ألمونيوم مدعم بفولاذ(ACSR)	نوع الموصل Conductor type
٢٦.٠٦	٢٨.١٤	قطر الموصل(ملليمتر) diameter (mm)
٢٥	٢٥	أدنى درجة حرارة للموصل (مئوية) low temperature (c^o)
٧٥	٧٥	أعلى درجة حرارة للموصل (مئوية) High temperature(c^o)
٠.٠٧٤٦	٠.٠٧٢٧	المقاومة عند أدنى درجة حرارة (أوم /كم) Resistance at low temp (ohm/km)
٠.٠٨٩٦	٠.٠٨٧٤	المقاومة عند أعلى درجة حرارة (أوم/كم) Resistance at high temp. (ohm/km)
٠.٥	٠.٥	معامل الاشعاع الحرارة coefficient of Emissity
٠.٥	٠.٥	معامل امتصاص أشعة الشمس coefficient of solar Absorptivity
٤٥	٤٥	زاوية توجيه الموصل Conductor orientation (degree)
٣٧	٢٦/٧	معامل الجدل (المونيوم / فولاذ) Strand ratio
٠.٦٢٤٥	٠.٧٢٦٤	مساحة المقطع(بوصة مربعة) Conductor area(sq.inch)
٩٠٠	٩٠٠	التيار الثابت (امبير) Constant current (amps)
CIGRE	CIGRE	المعادلات الحرارية Thermal model

المصدر : من اعداد الباحث اعتمادا على قاعدة بيانات برنامج ratekit

٣- معادلة تحديد زوايا سقوط الإشعاع الشمسي على سطح الأرض (زاوية الارتفاع):

$$\sin A = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \omega$$

حيث :

A زاوية السقوط (الارتفاع) ، و φ دائرة عرض المكان ، و δ زاوية ميل شعاع الشمس عن خط الاستواء ، و ω زاوية الساعة ، وتساوي صفر عند منتصف النهار ،

وتزيد الزاوية بإشارة سالبة بمعدل - ١٥ درجة لكل ساعة من ساعات النهار باتجاه شروق الشمس ، وبالمعدل نفسه ولكن بإشارة موجبة في اتجاه غروب الشمس [١].

وعلاوة على ما سبق من معادلات استعان الباحث بمعاملات الارتباط والانحدار و نسبة الاختلاف والانحراف المعياري .

٤- معادلة حساب الفقد في شبكة النقل [٢]:

$$E = 3R \times I^2$$

حيث :

- E مقدار فقد الكهرباء (وات/كم)
- R مقدار مقاومة الموصل (أوم /كم)
- I مقدار التيار المتدفق (الأمبير)
- 3 ثابت يستخدم في حالة الدائرة ثلاثية الأوجه (٣فاس)

وبناءً على ما سبق جاء البحث في **ثمانية أجزاء**:

تناول الباحث في **الجزء الأول:** نشأة شبكة الكهرباء الموحدة وتطورها ، وفي **الجزء الثاني** :تناول خصائص ومكونات شبكة الكهرباء الموحدة ، و في **الجزء الثالث**: أثر عناصر المناخ في مستوى كفاءة نقل الكهرباء ،و تناول الباحث في **الجزء الرابع** : التباين الزمني والمكاني لعناصر المناخ المؤثرة في كفاءة نقل الكهرباء ، وفي **الجزء الخامس** : التباين الزمني والمكاني لدرجة حرارة الموصلات الكهربائية ، وفي **الجزء السادس**: التباين الزمني والمكاني لفاقد النقل في الشبكة المصرية الموحدة ، وفي **الجزء السابع**: تصنيف شهور السنة تبعاً لكفاءة الموصلات الكهربائية ، وفي **الجزء الثامن**: تصنيف مصر لمناطق تبعاً لمستوى كفاءة نقل الكهرباء ، وأعقب ذلك عرض لنتائج وتوصيات الدراسة ، ثم قائمة بالملاحق والمراجع .

أولا: نشأة شبكة الكهرباء الموحدة وتطورها .

تعد مصر من أوليات الدول التي عرفت الكهرباء على مستوى العالم ، فقد دخلت مصر عصر الكهرباء مبكرًا في أواخر القرن التاسع عشر الميلادي ، فبفضل القطاع الخاص وبوجب الترخيص الذي ابرمته الحكومة المصرية مع شركة ليبون الفرنسية في الثالث من ديسمبر عام ١٨٩٢م ، تم انارة جزء من مدينة القاهرة ثم اعقب ذلك انارة مدينة الاسكندرية عام ١٨٩٣م [٣] .

أعقب ذلك حصول بعض الشركات الخاصة على امتياز انارة بعض المدن المصرية الاخرى بالكهرباء مثل مدن : المنصورة و طنطا وحلوان والسويس وبورتوفيق والاسماعيلية وبورسعيد فيما بين عامي ١٨٩٩و١٩٠٣م ، وقد كان لكل شركة شبكة توزيعها الخاصة ، لذا كان هناك اختلافات في نوعية التيار الكهربائي ،

---

(1)Robert,F.,etal, solar Energy – Renewable energy and the Environment , Taylor & Francis Group, USA,2010, p.14.

(2)Anthony,J.,Power transmission &distribution ,second edition , Fairmont press , inc ,USA, 2005,p.106.

(٣) ماهر عزيز ، مائة عام على الكهرباء في مصر ، مجلة الكهرباء والطاقة ،وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، العدد الثامن ، القاهرة ، ١٩٩٣م ، ص٤٢ .

فبعض الشركات تنتج تيار مستمر والبعض الأخر تيار متردد ذو وجه واحد أو ثلاثة وجوه ، وله تردد ٤٠ أو ٥٠ ذبذبة في الثانية ، واستمر الوضع على ذلك حتى تم توحيد خصائص التيار الكهربائي في كل الشركات ليصبح تيار متردد ثلاثي الأوجه له تردد ٥٠ ذبذبة عام ١٩٢٦م[١].

اقتصرت شبكة الكهرباء في البداية على المدن الكبرى مثل القاهرة والاسكندرية ، وكانت تختص بإمداد خطوط الترام بالكهرباء ، علاوة على انارة الاماكن العامة وبعض بيوت الأثرياء ، وقد ساهم النشاط الزراعي في نشأة وتطور شبكة الكهرباء الموحدة المصرية ، فبين عامي ١٩٣١-١٩٣٥م اتسع نطاق استغلال الكهرباء ليشمل ادارة طلمبات الري والصرف في شمال الدلتا ، حيث قامت مصلحة الميكانيكا والكهرباء بإنشاء شبكة كهرباء مزدوجة جهد ٦٦ كيلوفولت تعمل على جهد ٣٣ كيلوفولت ، بلغ طولها ٣٧٠ كيلومتر، وتستمد الكهرباء من ثلاث محطات توليد هي : العطف وبلقاس والسرو[٢] ، ويجدر الاشارة الى أن ملكية الشركات المسئولة عن توليد ونقل وتوزيع الكهرباء ظلت تابعة للشركات الاجنبية والقطاع الخاص حتى تم تأميمها عام ١٩٦٢م ، وأصبحت تابعة للدولة ويشرف عليها ثلاثة هيئات أحداهما مسئولة عن الانتاج والثانية مسئولة عن النقل والتوزيع أما الهيئة الثالثة فكان اختصاصها تنفيذ المشروعات الكهربائية ، وفي عام ١٩٦٥م تم انشاء هيئة كهرباء مصر لتصبح مسئولة عن انتاج ونقل وتوزيع الكهرباء، وفي عام ٢٠٠٠م تم فصل انتاج الكهرباء عن نقلها وتوزيعها ، لتتولى بذلك الشركة المصرية لنقل الكهرباء مسئولية تنظيم حركة الاحمال الكهربائية على شبكات الجهد العالي والفائق في كافة جهات مصر[٣] ،كما تختص بشراء الطاقة الكهربائية المنتجة من محطات التوليد طبقاً للحاجة ، واعادة بيعها سواء للمشتركين على الجهود العالية والفائقة ولشركات توزيع الكهرباء ، علاوة على تنفيذ مشروعات الربط الكهربائي والاشراف عليها.

توطنت محطات توليد الكهرباء في البداية في أسواق الاستهلاك والتي تتمثل في المدن الكبرى و محطات الري والصرف بشمالي الدلتا ، ويرجع ذلك الى ارتفاع تكلفة نقل الكهرباء ، ومن ثم فقد كان لكل محطة شبكة توزيع خاصة بها تختلف في مواصفاتها الفنية مثل نوع التيار أو مقدار الذبذبة ، واستمر الحال على ذلك حتى تم بناء خزان اسوان والسد العالي وأصبح من الضروري نقل فائض الكهرباء الذي تنتجه محطات التوليد المائية في أقصى جنوب مصر الى مراكز الاحمال الرئيسة في القاهرة والاسكندرية وشمال الدلتا ، ومن ثم بدأت الشبكة الموحدة في الظهور تدريجياً ، حيث بدأت بخط الجهد الفائق ٥٠٠كيلوفولت ليربط بين اسوان والقاهرة ، و خط جهد العالي ١٣٢كيلوفولت يربط بين مدن الصعيد ، ثم خطوط الجهد العالي ٢٢٠ كيلوفولت تربط بين نطاقات الدلتا الشرقية والغربية والوسطى ومدن القناه ، وخطوط الجهد المتوسط

---

(١) البير دره ، انتشار الكهرباء في المدن المصرية ، مجلة مصر الصناعية ، القاهرة ، العدد الثامن ، ١٩٣٩م ، ص ص١١-١٣ .

(٢) محمد محمود الديب ، الطاقة في مصر – دراسة تحليلية في اقتصاديات المكان ، مرجع سابق، ص ص ٧٦- ٧٨.

(٣) نبذة تاريخية عن وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، متاح على الموقع الرسمي للوزارة www.moee.gov.eg

٦٦ و ٣٣ كيلوفولت تربط بين خطوط الجهود الفائقة والعالية و خطوط التوزيع ، وبدأت ملامح شبكة الكهرباء الموحدة في الظهور.

حققت شبكة الكهرباء المصرية نموًا وازدهارًا ملحوظاً خلال الآونة الاخيرة ، فمن خلال الدراسة التحليلية لجدول (٢) يتضح التالي:

جدول (٢) بعض خصائص شبكة نقل الكهرباء المصرية الموحدة في عام ٢٠١٧/٢٠١٦م مقارنة بعام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م .

خصائص الشبكة	٢٠٠٩/٢٠٠٨م	٢٠١٧/٢٠١٦م	التغير(%)
اجمالي الطاقة المولدة (جيجاوات ساعة)	١٣١٠٤٠	١٨٩٥٥٠	٤٤.٧
الحمل الأقصى (ميجاوات)	٢١٣٣٠	٢٩٤٠٠	٣٧.٨
أطوال دوائر النقل على الجهدين الفائق والعالي (كم)	٤١٠١٦	٤٦٣١٧	١٢.٩
أطوال الخطوط على الجهدين المتوسط والمنخفض (كم)	٣٨٢٠٤١	٤٧٦٨٨٥	٢٤.٨
سعة محطات المحولات على الجهدين الفائق والعالي (ميجا فولت أمبير)	٧٨٩١٦	١٢٠١٦٠	٥٢.٣
سعة محولات التوزيع على الجهدين المتوسط والمنخفض (ميجا فولت أمبير)	٥٣٦٦٤	٧٦٦٠٠	٤٢.٧
عدد المشتركين بشركات التوزيع (مليون)	٢٤.٧	٣٣.٧	٣٦.٤
صافي تبادل الطاقة مع الخارج (صادر) (جيجاوات ساعة)	٨٩٦	٢٦٨	٧٠.١-
الكهرباء المولدة من المصادر المتجددة (رياح ، شمس ، حراري) جيجاوات ساعة	٩٣١	٢٧٨٠	١٩٨.٦

المصدر: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي لعامي ٢٠٠٩/٢٠٠٨ و ٢٠١٧/٢٠١٦م.

- ارتفعت معدلات توليد الكهرباء في مصر خلال عام ٢٠١٧/٢٠١٦م ، ليبلغ اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة ١٨٩٥٥٠ جيجاوات ساعة ، مقارنة بعام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م ، والذي لم يتجاوز اجمالي الطاقة المولدة به عن ١٣١٠٤٠ جيجاوات ساعة ، بزيادة قدرها ٥٨٥١٠جيجاوات ساعة ، وبنسبة تغير تبلغ ٤٤.٧% ، ويرجع ذلك الى اتجاه الدولة الى تنمية وتطوير قطاع الكهرباء ، والذي تمثل في رفع كفاءة محطات توليد الكهرباء القديمة ، علاوة على التوسع في انشاء محطات توليد كهرباء جديدة ، ويعتبر التشغيل التجاري لمحطات : بني سويف (قدرة٢٤٠٠ميجاوات) ، والبرلس (قدرة ١٦٠٠ميجاوات) صورة (٢) ، والعاصمة الادارية الجديدة (قدرة ٨٠٠ ميجاوات) ، بإجمالي قدرة يبلغ ٤٨٠٠ميجاوات

للمحطات الثلاث ، وربطها بشبكة الكهرباء المصرية الموحدة من أحدث انجازات قطاع الكهرباء المصري حتى عام ٢٠١٧م [١] .

المصدر : الدراسة الميدانية .

صورة (٢) محطة توليد البرلس قدرة ١٦٠٠ ميجاوات عام ٢٠١٨م.

- شهدت أطوال دوائر نقل الكهرباء بالشبكة المصرية الموحدة تطوراً ملحوظاً ، فقد بلغت أطوال دوائر نقل الكهرباء في الجهدين الفائق والعالي عام ٢٠١٧/٢٠١٦م ٤٦٣١٧ كم ، بزيادة قدرها ٥٣٠١ كم عن عام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م ، وبنسبة تغير بلغت ١٢.٩% عن العام ذاته ، وخير مثال على أهم دوائر نقل الكهرباء التي تم ضمها للشبكة حديثاً دائرة نقل الكهرباء من محطة البرلس وربطها بالشبكة الموحدة جهد ٥٠٠ كيلوفلت .
- شهدت أطوال خطوط توزيع الكهرباء بالشبكة الموحدة تطورا كبيراً، فقد بلغت أطوال خطوط توزيع الكهرباء في الجهدين المتوسط والمنخفض عام ٢٠١٧/٢٠١٦م ٤٧٦٨٨٥ كم ، بزيادة قدرها ٩٤٨٤٤ كم عن عام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م (٣٨٢٠٤١ كم)، وبنسبة تغير بلغت ٢٤.٨% عن العام ذاته.
- ارتفعت سعة محطات المحولات على دوائر النقل (جهد فائق وعالي) في عام ٢٠١٧/٢٠١٦م لتبلغ ١٢٠١٦٠ ميجا فولت أمبير ، بزيادة قدرها ٤١٢٤٤ ميجا فولت أمبير وبنسبة تبلغ ٥٢.٣% عن عام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م ،فقد بلغ عدد محطات المحولات ٦٥٢محطة (٢٥٣٤محول) ، كما ارتفعت أيضاً سعة محولات التوزيع (جهد متوسط ومنخفض) في عام ٢٠١٧/٢٠١٦م لتبلغ ٧٦٦٠٠ ميجا فولت أمبير ، بزيادة قدرها ٢٢٩٣٦ ميجا فولت أمبير وبنسبة تبلغ ٤٢.٧% عن عام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م .

(١) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ، ٢٠١٧م .

- استطاعت شبكة الكهرباء الموحدة بفعل عمليات التطوير المتلاحقة في الآونة الأخيرة من تلبية الاحمال القصوى التي تتعرض لها ، فقد زادت الاحمال القصوى للشبكة في عام ٢٠١٧/٢٠١٦م لتبلغ ٢٩٤٠٠ميجاوات مقارنة بحوالي ٢١٣٣٠ميجاوات عام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م ، وبنسبة زيادة تبلغ ٣٧.٨% ، وتعود زيادة الاحمال القصوى الى زيادة عدد المشتركين وبخاصة في شركات التوزيع من ٢٤.٧مليون مشترك عام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م الى ٣٣.٧مليون مشترك عام ٢٠١٧/٢٠١٦م ، بنسبة زيادة بلغت ٣٦.٤%.
- اهتمت الدولة بتنويع مصادر توليد الكهرباء لمواكبة الطلب المتنامي عليها في الآونة الاخيرة ، وقد كان لتوليد الكهرباء من المصادر المتجددة و المتمثلة في طاقة الرياح و الطاقة الشمسية نصيب كبير من هذا الاهتمام ، وقد انعكس ذلك على زيادة كمية الكهرباء المنتجة من هذه المصادر ، حيث بلغت ٢٧٨٠ جيجاوات ساعة في عام ٢٠١٧/٢٠١٦م ، بزيادة قدرها ١٨٤٩ جيجاوات ساعة ، وبنسبة تبلغ ١٩٨.٦% عن عام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م ، وتهدف الدولة الى زيادة نسبة الطاقة المتجددة لتبلغ ٢٠% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة بحلول عام ٢٠٢٢م.
- حققت مصر استفادة كبيرة من تبادل فائض الطاقة الكهربائية بينها وبين الدول المجاورة ، من خلال ربط الشبكة الموحدة المصرية مع شبكات الكهرباء مع تلك الدول ، وخير مثال على ذلك خط الربط الكهربائي المصري الليبي جهد ٢٢٠ كيلوفولت ، وخط الربط الكهربائي المصري الاردني جهد ٤٠٠ كيلوفولت ، وقد حققت مصر من خلالهما صافي تبادل طاقة مصدرة بلغ ٢٦٨ جيجاوات ساعة خلال عام ٢٠١٧/٢٠١٦م ، ويرجع انخفاض نسبة صافي تبادل الطاقة في هذا العام مقارنة بعام ٢٠٠٩/٢٠٠٨م (-٧٠.١%) الى زيادة معدلات استهلاك الكهرباء في السوق المحلي المصري ، وتسعى مصر من خلال عقدها لكثير من الاتفاقيات و توقيعها لكثير من مذكرات التفاهم بان تصبح مركز محوري للطاقة ، وخير مثال على ذلك توقيع اتفاقية الربط الكهربائي بين مصر والمملكة العربية السعودية عام ٢٠١٣م ، وعمل دراسة جدوى لمشروع الربط الكهربائي مع السودان عام ٢٠١٢م ، و تعد هذه الاجراءات بمثابة نواه لمحور الربط العربي الشامل ، علاوة على توقيع مذكرات تفاهم بين الشركة القابضة لكهرباء مصر وبعض الشركات في دولتي اليونان وقبرص عام ٢٠١٧م ، والتي تعد نواه لمحور الربط الكهربائي المصري الاوروبي.

ثانياً : خصائص ومكونات شبكة الكهرباء الموحدة .

تنبع أهمية شبكة الكهرباء المصرية الموحدة في قدرتها على الربط بين كافة وحدات انتاج الكهرباء المتصلة بها من جهة ، وبين كافة مراكز الاستهلاك في جميع أرجاء مصر من جهة أخرى ، وتحقق الشبكة الموحدة من وظيفتها العديد من الفوائد أهمها:

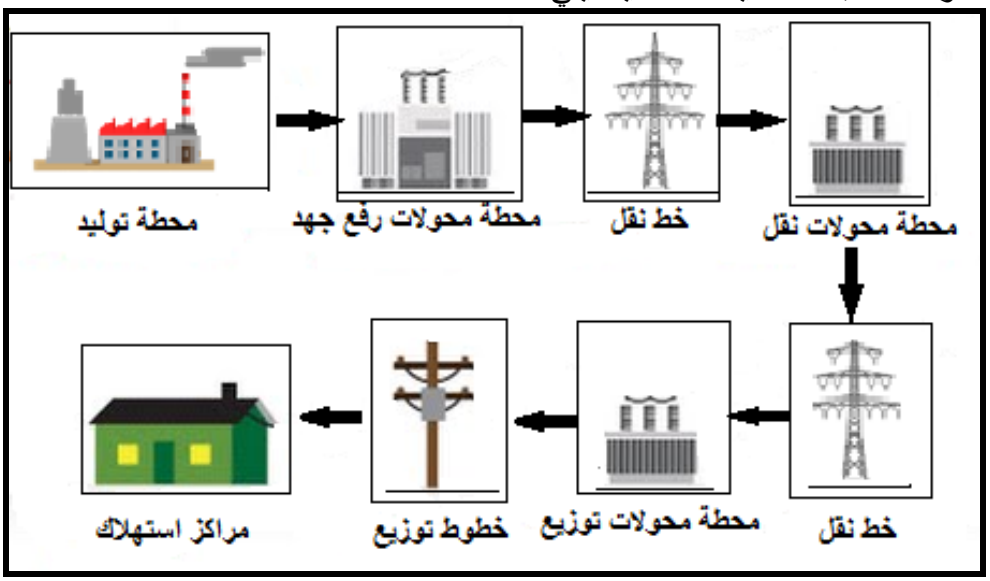
- ضمان وصول الكهرباء من مصادر بديلة اثناء اجراء عمليات الصيانة لدوائر النقل و محطات التوليد و المحولات.

- توزيع الاحمال على كافة محطات الشبكة في وقت الذروة ، واتاحة الفرصة لتلبية المتطلبات الطارئة ، والمساهمة في استعادة التوازن في حالات الاعطال وفقدان المولدات أو حالات الاظلام التام (Black out).
- زيادة انتاج الكهرباء وخفض تكلفة انتاجها عن طريق تشغيل وحدات التوليد الاحتياطية باستمرار .
- المرونة في توزيع المشروعات التنموية على كافة ارجاء الجمهورية ، وبخاصة المشروعات التي تحتاج كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية .
- استغلال الطاقة الكهربائية الزائدة في اوقات الاحمال المنخفضة عن طريق تصديرها لشبكات الدول المجاورة ، أو سهولة استيرادها في أوقات الاحمال القصوى أو الازمات .

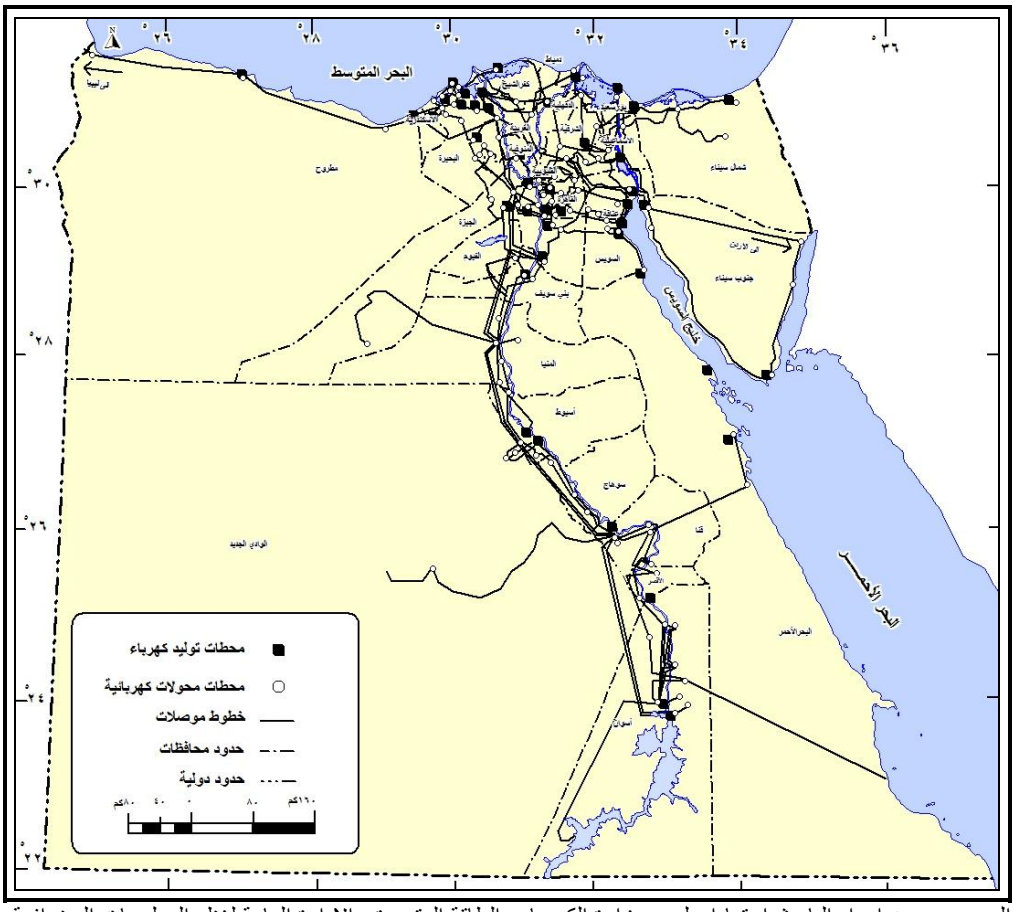
تشمل شبكة الكهرباء الموحدة العديد من المكونات ، لكل مكون منها وظيفة محددة ، تتكامل تلك الوظائف فيما بينها لتحقق الهدف المرجو من الشبكة ، تتشكل شبكة الكهرباء الموحدة من ثلاثة مكونات رئيسة وهي : المكونات المادية ، المكونات المعنوية ، العنصر البشري ، وفيما يلي شرح لتلك المكونات :

١- المكونات المادية :

تشمل جميع المعدات والآلات والاجهزة التي تختص بتوليد الكهرباء ونقلها وتوزيعها ، علاوة على مراكز تحكم تختص بمراقبة أداء المنظومة ، وقياس مستوى كفاءتها ومتابعة التغيرات التي تحدث فيها ، بغية حماية المنظومة من حدوث أخطاء تؤثر في وظيفتها ، وضمان سرعة التدخل حال حدوث تلك الاخطاء عن طريق أجهز الاتصال التي تربط كافة مكونات المنظومة ، ومن خلال شكل (٢، ٣) يتضح أن أهم مكونات الشبكة المادية تتمثل فيما يلي :



شكل (٢) المكونات الرئيسة لشبكة نقل وتوزيع الكهرباء الموحدة .



المصدر : من اعداد الباحث اعتمادا على : وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الادارة العامة لنظم المعلومات الجغرافية والفنية ، خريطة شبكة الكهرباء المصرية الموحدة ٢٠١٥م.

شكل (٣) التوزيع الجغرافي لأهم المكونات المادية لشبكة نقل الكهرباء المصرية عام ٢٠١٥م.

- **محطات توليد الكهرباء**. Generating station

تتلخص وظيفة محطات توليد الكهرباء في قدرتها على تحويل الطاقة الأولية الى طاقة حركية عن طريق تربين أو محرك أولي (prime mover) ، ثم تحويل تلك الطاقة الحركية الى كهرباء عن طريق مولد كهربائي (Generator) ، وتستطيع بعض المحطات الحديثة تحويل الطاقة الشمسية مباشرة الى طاقة كهربائية فيما يعرف بالخلايا الكهروضوئية photovoltaic cell (PV) ، وتصنف محطات توليد الكهرباء في مصر الى خمسة أنواع وفقاً لطبيعة الطاقة الأولية التي تعتمد عليها .

تعد المحطات البخارية (steam power station) أهم تلك الأنواع ، حيث تستحوذ على ٣٤.٣% من اجمالي القدرات الاسمية لمحطات التوليد في مصر عام ٢٠١٧م ، والبالغة نحو ٤٥٠٠٨ميجاوات ، ويتم حرق الغاز الطبيعي والمازوت والسولار في

هذه المحطات لتسخين الماء والحصول على بخار [١]، ومن أهم المحطات البخارية في مصر: محطة غرب القاهرة (قدرة ١٣٦٠ميجاوات) ، ومحطة أبوقيرالجديدة (قدرة ١٣٠٠ ميجاوات) ، ومحطة شبر الخيمة (قدرة ١٢٦٠ميجاوات).

تأتي المحطات الغازية (Gas power station) في المرتبة الثانية من محطات مصر في مقدار مساهمتها في القدرات الاسمية لتوليد الكهرباء ، حيث تسهم بنحو ٢٩.٧% من اجمالي القدرات الاسمية لمصر عام ٢٠١٧م ، ويتم ادارة التوربينات في هذه المحطات عن طريق ضغط الغازات الناجمة عن احتراق الغاز الطبيعي والمازوت والسولار ، وتعد محطات :٦أكتوبر (قدرة ١٣٦٠ميجاوات)، غرب اسيوط (قدرة ١٠٠٠ميجاوات)، والشباب (قدرة ١٠٠٠ميجاوات) من أهم المحطات الغازية في مصر .

تقوم بعض المحطات بتوليد الكهرباء عن طريق استغلال الضغط الناتج عن بخار الماء و غازات وعوادم الاحتراق في وقت واحد ، وتعرف بمحطات الدورة المركبة ، ويستحوذ هذا النوع على ٢٧.٨% من قدرات التوليد الاسمية في مصر عام ٢٠١٧م ، ومن أهم هذه المحطات: محطة شمال الجيزة (قدرة ٢٢٥٠ميجاوات) ، ومحطة النوبارية (قدرة ١٥٠٠ميجاوات) ، ومحطة شمال القاهرة (قدرة ١٥٠٠ميجاوات).

تأتي المحطات المائية في المنزلة الرابعة من محطات توليد الكهرباء في مصر ، حيث تسهم بنحو ٦.٢% من اجمالي القدرات الاسمية لتوليد الكهرباء عام ٢٠١٧م ، وتختلف عن أنواع المحطات الثلاثة السابقة ، والتي تعد جميعها محطات حرارية (Thermal power station) ، أما المحطات المائية فتنتمي النوع الهيدروليكي (Hydraulic power station) ، حيث يتم ادارة التوربينات عن طريق اندفاع المياه وتدفقها عبر السدود والقناطر، ومن أهم المحطات المائية في مصر محطة السدالعالي (قدرة ٢١٠٠ميجاوات) ، ومحطة خزان أسوان (قدرة ٢٨٠ ميجاوات) ، ومحطة قناطر اسنا (قدرة ٨٦ ميجاوات) .

يتم توليد الكهرباء في بعض المحطات الحديثة عن طريق استغلال قوة الرياح و طاقة الاشعاع الشمسي ، و تعرف بمحطات الطاقة الجديدة والمتجددة ، تسهم هذه المحطات بنحو ٢% من اجمالي القدرات الاسمية لتوليد الكهرباء بمصر عام ٢٠١٧م ، ومن أهم هذه المحطات :محطة الزعفرانة (قدرة ٥٤٧ميجاوات) ، ومحطة جبل الزيت (قدرة ٢٠٠ميجاوات) واللتان تعملان على طاقة الرياح ، ومحطة الكريمات الشمسية (قدرة ١٤٠ميجاوات) .

- **محطات المحولات**. Transformer station

تعتبر المحولات الكهربائية من أهم مكونات شبكة الكهرباء المصرية الموحدة ، وتنبع أهمية المحولات من قدرتها على التحكم في مستوى جهد التيار الكهربائي اثناء

---

(١)بلغت كمية الوقود المستهلك في محطات توليد الكهرباء بمصر عام ٢٠١٧م كالتالي: ٣٣٦٤٠مليون متر مكعب غاز ، ٧٢٨١ ألف طن مازوت ، ٥٥٨.٧ ألف طن سولار ، بإجمالي ٣٦٤٨٧ ألف طن مازوت معادل ، المصدر: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ٢٠١٧م ، ص ٣٢.

عملية النقل والتوزيع ، فالمحولات وفقاً لوظيفتها تصنف الى نوعين : النوع الاول محول رافع للجهد (step up transformer) ، يتمركز هذا النوع من المحولات بالقرب من محطات التوليد ، حيث يقوم برفع جهد التيار المتولد من المحطات تمهيداً لنقله عبر دوائر النقل الى أماكن الاستهلاك ، والتي تبعد عن المحطات مسافات كبيرة ، وغالباً ما تنتج محطات التوليد تيار كهربائي منخفض الجهد (١٥.٧٥كيلوفولت) [١]، واذا تم نقل التيار بهذا الجهد المنخفض تفقد نسبة كبيرة منه أثناء عملية النقل ، كما تزداد تكلفة انشاء دوائر النقل وأبراج القوى الكهربائية ، ومن ثم تنخفض الجدوى الاقتصادية لعملية التوليد ، لذا يرفع جهد التيار الكهربائي الى جهد فائق (٤٠٠،٥٠٠ كيلوفولت) أو جهد عالي (٢٢٠،١٣٢كيلوفولت) ، ويتم نقل التيار بهذه الجهود المرتفعة عبر دوائر النقل ، وبالقرب من مناطق الاستهلاك يوجد النوع الثاني من المحولات ، وهى محولات خافضة للجهد (step down transformer) ، حيث تقوم بخفض جهد التيار الى جهود متوسطة (٦٦ ،٣٣ كيلوفولت) ، ثم الى جهود منخفضة يصلح مستواها للتوزيع عبر خطوط التوزيع للمستهلكين .

تحتوي شبكة الكهرباء الموحدة المصرية على عدد كبير من محطات المحولات ، قدر في عام ٢٠١٧م بنحو ٦٥٢محطة موزعة على دوائر الجهد الفائق والعالي ، تحتوي هذه المحطات على نحو ٢٥٣٤ محول ، يقع معظم المحطات (٧٠.٧%) على دوائر جهد ٦٦كيلوفولت (٤٦١محطة) ، كما يقع عليه أيضاً عدد ١٨٧١ محول ، ويقدر ذلك بنحو ٧٣.٨% من اجمالي عدد محولات الشبكة الموحدة ، كما تحتوي الشبكة الموحدة على ١٨٢٨٣١محول توزيع ، موزعين على خطوط الجهد المتوسط والمنخفض .

- **دوائر النقل وخطوط التوزيع** Transmission and distribution line

تقوم دوائر نقل التيار الكهربائي بنقل التيار من محطات التوليد بعد رفع مستوى جهده عبر محولات رفع الجهد ، وايصاله الى مناطق الاستهلاك ليتم توزيعه عبر خطوط التوزيع بعد خفض جهده من قبل محولات خفض الجهد ، وينقل التيار الكهربائي على هيئة تيار متردد (Alternating current-A.C) [٢] خلال دوائر نقل ثلاثية الوجه (circuit three phase) اما مفردة أو مزدوجة ، و هي في الغالب خطوط هوائية (overhead line) ، وفيما يلي عرض لأهم مكونات دوائر نقل الكهرباء في مصر :

- **الأبراج towers**

تختص الابراج بحمل الموصلات بعيداً عن سطح الأرض ، وبقائها على مسافة آمنة (clearance) مع اي نشاط بشري ، مهما حدث لها من تمدد أو ترخيم

---

(1)Bakshi,U.,and Bakshi,M.,power system-I, Technical publication ,pune, india,2009, p21.

(٢)التيار المتردد هو تيار يتذبذب في مكانه ويغير اتجاهه بشكل دوري ، يرمز له بالحرفين (AC) ويتم استخدامه في نقل الكهرباء في معظم دول العالم منذ نهاية القرن الثامن عشر ،بعد صراع كبير دار بين مؤيدين استخدام هذا النوع من الترددات وعلى رأسهم جورج ويستينجهاوس ، وبين مؤيدي استخدام التيار المستمر(DC) وبخاصة توماس اديسون فيما عرف بحرب التيارات ، نقلا عن : https://ar.wikipedia.org

(sag) بفعل ارتفاع درجات الحرارة ، و لا تقل هذه المسافة في الجهود المرتفعة عن نحو ستة أمتار ، مع الحفاظ على مسافة كافية بين الموصلات بعضها البعض (لا تقل عن مترين ونصف في الجهد العالي).

تفصل بين الابراج مسافات تعرف بالبحر(span) ، وتختلف تبعاً لارتفاع البرج و حجم الموصل الذي تحمله ، والأبراج عبارة عن تركيب شبكي من الصلب المجلفن يتم تجميع اجزائه بواسطة مسامير خاصة ، تختلف الابراج فيما بينها من حيث الحجم والشكل والمسافات الفاصلة بينها وفقاً لوظيفتها ، ولمقدار الجهد الكهربائي المنقول عبر الموصلات المحمولة عليها ، وتضم الشبكة المصرية الموحدة عدة أنواع من الابراج يؤدي كل منها وظيفة محددة ، وتتمثل في :أبراج التعليق (suspension tower) ، أبراج الشد (tension tower) ، أبراج الزاوية (angle tower) ، أبراج التباديل (transposition tower) ، أبراج العبور (crossing tower) ، أبراج البداية والنهاية (terminal tower) ، وتشير صورة (٣) الى نماذج من أبراج نقل الكهرباء في الشبكة المصرية الموحدة .

- **الموصلات conductors**

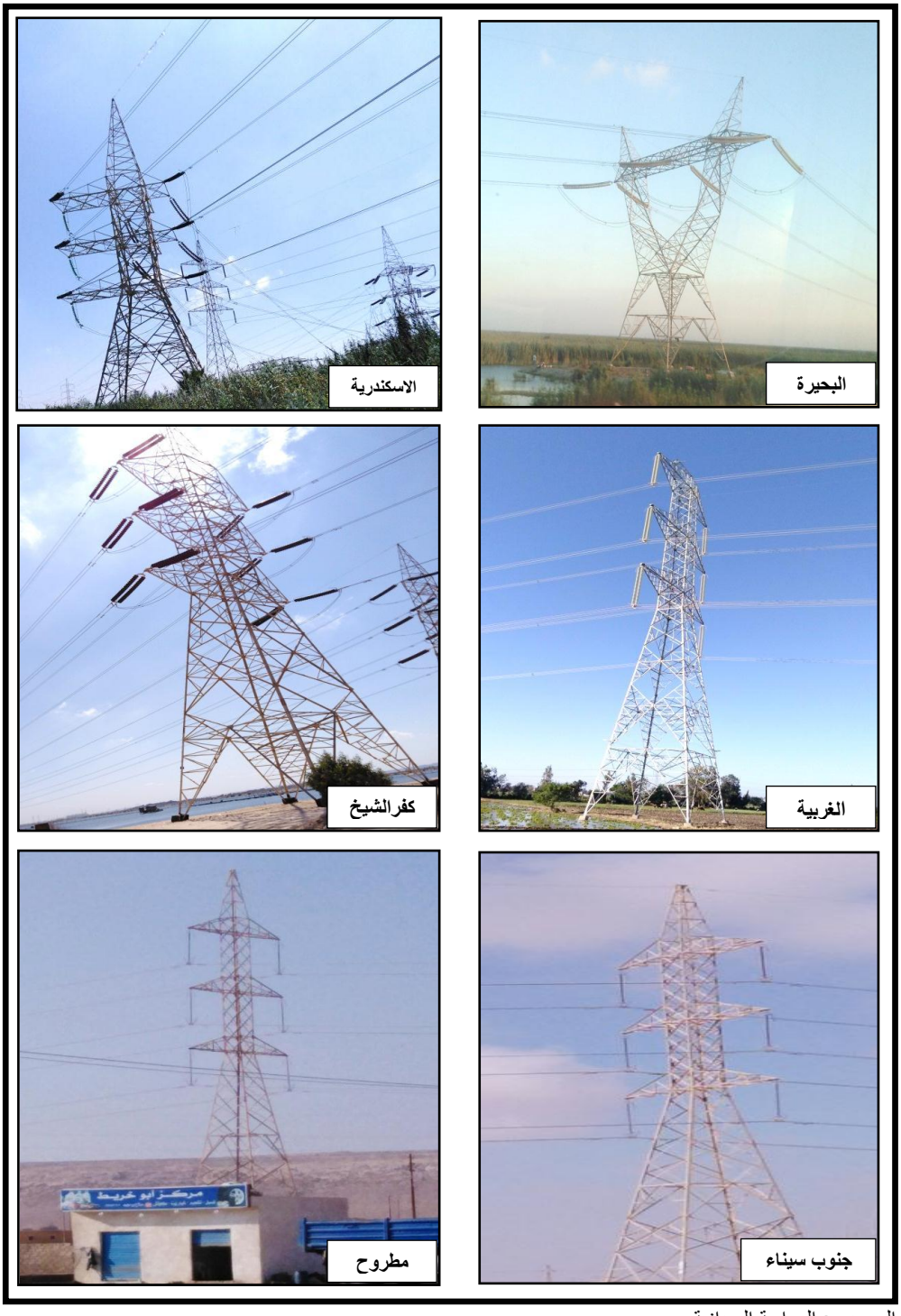
تعد الموصلات من أهم مكونات دوائر نقل الكهرباء في مصر ، حيث يقع على عاتقها وظيفة نقل الكهرباء لمسافات تبلغ الاف الكيلومترات ، يختلف نوع وخصائص الموصلات المستخدمة في نقل الكهرباء وفقاً لعدة معايير مثل: نوع مادة الصنع والقطر ودرجة التوصيل والمقاومة الكهربائية والسعة ، ويتم انتقاؤها وفقاً لمستوى الجهود الكهربائية التي ستحملها ، بالإضافة الى قدرتها على تحمل الظروف البيئية التي ستتعرض لها وبخاصة طبيعة عناصر المناخ ، ومن أهم أنواع الموصلات وأوسعها انتشاراً: الموصل المصنع بالكامل من مادة الألمونيوم (All- aluminum conductor- AAC) ، والموصل المصنع من خيوط أو جدائل الألمونيوم (strands) ومدعم بقلب من الفولاذ (Aluminum conductor steal reinforced- ACSR).

- **العازلات insulators**

تقوم الابراج بوظيفتها المتمثلة في حمل الموصلات عن طريق العازلات ، ولهذا يجب أن تتسم العازلات بالمتانة حتى تتحمل وزن الموصلات الكبير ، علاوة على القدرة الكبيرة على عزل التيار الكهربائي عن جسم البرج ، ولهذا تصنع من مواد رديئة التوصل للكهرباء مثل البورسلين و الزجاج والسيليكون والمطاط ، وتأخذ أشكال وأحجام متنوعة تبعاً لمستوى جهد التيار المار بالموصلات التي تحملها .

ومن خلال الدراسة التحليلية لجدول (٣) يمكن استخلاص ما يلي:

- يقطع التيار الكهربائي مسافات كبيرة عبر دوائر النقل في معظم أرجاء مصر ، وقد بلغ مجموع أطوال دوائر النقل في الشبكة المصرية الموحدة نحو ٤٦٣١٧.١ كيلومتر موزعة على الجهدين الفائق والعالي ، تستحوذ دوائر الجهد العالي على نحو ٤٢٣٣٥.١كيلومتر، بنسبة تبلغ ٩١.٥% من اجمالي دوائر النقل ، بينما



المصدر : الدراسة الميدانية .

صورة (٣) نماذج من أبراج نقل الكهرباء في الشبكة المصرية الموحدة ٢٠١٨م .

- تستحوذ دوائر الجهد الفائق على نحو ٣٩٨٢كيلومتر ، بنسبة تبلغ ٨.٥% من اجمالي دوائر النقل .
- بلغ اجمالي طول دوائر جهد ٢٢٠ كيلوفولت وجهد ٦٦ كيلوفولت نحو ١٨١٨١.٤ كيلومتر و ١٩٨٧٩.١ كيلومتر على الترتيب ، ليشكلا معاً نسبة ٨٢.٢% من اجمالي أطوال دوائر النقل .
- بلغ اجمالي أطوال خطوط توزيع الكهرباء في شبكة مصر الموحدة نحو ٤٧٦٨٨٥ كيلومتر ، تستحوذ الجهود المتوسطة على نحو ١٩١٦٩١ كيلومتر ، ويشكل ذلك نحو ٤٠.٢% من اجمالي أطوال خطوط التوزيع ، بينما تستأثر الجهود المنخفضة بنحو ٢٨٥١٩٤ كيلومتر ، ويشكل ذلك نحو ٥٩.٨% من اجمالي أطوال خطوط التوزيع.

جدول (٣) اجمالي أطوال موصلات شبكة كهرباء مصر الموحدة موزعة حسب جهد التيار المار.

جهد الدائرة		الطول (كم)	النسبة (%)
عالي	٣٣ (كيلوفولت)	١٧٩٠.٥	٣.٩
	٦٦ (كيلوفولت)	١٩٨٧٩.١	٤٢.٩
	١٣٢ (كيلوفولت)	٢٤٨٥.١	٥.٤
	٢٢٠ (كيلوفولت)	١٨١٨٠.٤	٣٩.٣
فائق	٤٠٠+٥٠٠(كيلوفولت)	٣٩٨٢	٨.٥
الاجمالي		٤٦٣١٧.١	١٠٠
متوسط	٢٢+١١(كيلوفولت)	١٩١٦٩١	٤٠.٢
منخفض	٣٨٠+٢٢٠ (فولت)	٢٨٥١٩٤	٥٩.٨
الاجمالي		٤٧٦٨٨٥	١٠٠

المصدر: من اعداد الباحث اعتماداً على: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ٢٠١٧م

- تمتد شبكة كهرباء مصر الموحدة لمسافة تبلغ نحو٥٢٣.٢ ألف كيلومتر ، تستحوذ خطوط التوزيع على نسبة ٩١.١%من جمالي اطوالها ، بينما لا تتعدى نسبة دوائر النقل على ٨.٩%.
- **الاحمال (أوجه استهلاك الطاقة الكهربائية).**

تعتبر أوجه استهلاك الطاقة الكهربائية من أهم مكونات شبكة الكهرباء الموحدة ، ويرجع ذلك الى تأثيرها المباشر وغير المباشر في باقي مكونات الشبكة ؛ فكمية الاحمال وتوزيعها المكاني والزمني يتحكمان معاً في كمية الطاقة التي يتم توليدها، علاوة على تأثيرهما في خصائص وامتداد دوائر النقل وخطوط التوزيع ، ومن خلال الدراسة التحليلية لجدول (٤) تتضح الحقائق التالية:

- معظم الكهرباء التي يتم بيعها عبر دوائر الجهود الفائقة والعالية (٨٦.١%) تذهب الى شركات التوزيع ، ولا تتعدى نسبة الكهرباء المستهلكة مباشرة على هذه الجهود عن ١٣.٩% من اجمالي الكهرباء المباعة ، ومعظم هذه النسبة يذهب الى النشاط الصناعي (١٢.٥%).
- معظم الكهرباء التي يتم بيعها عبر خطوط التوزيع (٥٧%) تذهب الى الاستهلاك المنزلي وانارة المحلات التجارية ، بينما بلغ اجمالي نسبة الكهرباء المستهلكة في النشاطين الصناعي والزراعي ٢٠.٢% ، و نسبة الكهرباء المستهلكة في المرافق العامة والجهات الحكومية ١٥.٣% من اجمالي الكهرباء المباعة.
- بلغت كمية الفاقد من الكهرباء المنقولة عبر دوائر الجهد الفائق والعالي ٧٦٨٠جيجاوات ساعة ، ويشكل هذا الفاقد نسبة ٤.٢% من اجمالي الطاقة التي تم شراؤها من محطات التوليد (١٨٢٣٠٠جيجاوات ساعة) .
- كما بلغت كمية الفاقد من الكهرباء المنقولة عبر خطوط التوزيع ٢٣٢٨٠ جيجاوات ساعة ، ويشكل هذا الفاقد نسبة ١٥.٥% من اجمالي الطاقة التي تم شراؤها من دوائر النقل (١٥٠٣٥٠ جيجاوات ساعة) .
- تشكل نسبتي الفقد على دوائر النقل و خطوط التوزيع نحو ١٧% من اجمالي الطاقة التي يتم ضخها عبر الشبكة الموحدة (١٨٢٣٠٠جيجاوات ساعة).
- **مكونات مادية أخري.**

علاوة على ما سبق ذكره من مكونات مادية للشبكة الموحدة ، تحتوي الشبكة على نظم للحماية : مثل القواطع والمصهرات ومحولات الجهد ومحولات التأريض ، ونظم أخرى للتحكم : مثل محولات تنظيم الجهد و أجهزة التحكم في سريان القدرة ، و نظم تختص بالقياس : مثل أجهزة قياس التيار و أجهزة قياس الجهد و عدادات مراقبة أداء المنظومة ، كما توجد أنظمة أخرى للاتصالات والتي تختص بنقل البيانات والاوامر بين أجزاء المنظومة و مراكز التحكم مثل: الهاتف و موجات الراديو وخطوط الاتصال الخاصة .

٢- مكونات فكرية :

تشتمل على حزم البرامج الحاسوبية التي يتم الاستعانة بها في مراقبة مستوى اداء الشبكة و ادارتها ، من خلال مركز التحكم القومي بالقاهرة أو مراكز التحكم الاقليمية ، علاوة على التنبؤ بالأحمال المستقبلية ، و التخطيط للمشروعات التوسعية لسد العجز ان وجد ، مثل : برنامج التحكم (distributed control system-DCS) وبرنامج (programmable logic controller-PLC) ، كما تشتمل ايضا على اللوائح والقوانين التي تضبط ايقاع العمل داخل المنظومة ، وقواعد الحفاظ على الأمن والسلامة والاجراءات المتبعة من أجل صيانة منظومة الكهرباء .

٣- مكونات بشرية :

تضم الكوادر البشرية التي يقع على كاهلها أعباء ادارة منظومة الكهرباء ، وتنتظم تلك الكوادر في تنظيم هرمي، يشمل القائمين على القيادة والتخطيط و الادارة

والمتابعة ، علاوة على المتخصصين في تشغيل مكونات المنظومة والتحكم فيها ، والقائمين بأعمال الصيانة واصلاح الاعطال .

وقد بلغ عدد العاملين بمنظومة الكهرباء المصرية عام ٢٠١٧م نحو ١٦٥٥٢٣عامل ، موزعين على الشركة القابضة (٢٧١٢عامل) و شركات الانتاج الست (٣٣١٧٤عامل) والشركة المصرية لنقل الكهرباء (٣٠١٤٧عامل) وشركات التوزيع التسع (٩٩٥١٧عامل) [١] .

جدول (٤) كمية الطاقة المباعة موزعة وفقاً لنوع النشاط على شبكتي النقل والتوزيع في مصر عام ٢٠١٧م

نوع الأحمال	شركة النقل		شركات التوزيع	
	الاستهلاك (ج و س)	%	الاستهلاك (ج و س)	%
صناعة	٢١٨٢٠	١٢.٥	١٩٦٦٠	١٥.٥
زراعة	٧١٠	٠.٤	٦٠٣٣	٤.٧
مرافق وجهات حكومية	٦٩٠	٠.٣	١٩٤٥١	١٥.٣
منزلي و محلات تجارية	ـــــ	ـــــ	٧٢٣٩٧	٥٧
مبيعات دول الربط	٢٦٠	٠.٢	ـــــ	ـــــ
شركات التوزيع	١٥٠٣٥٠	٨٦.١	ـــــ	ـــــ
أخرى	٧٩٠	٠.٥	٩٥٢٩	٧.٥
الاجمالي	١٧٤٦٢٠	١٠٠	١٢٧٠٧٠	١٠٠

المصدر: من اعداد الباحث اعتماداً على: وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ٢٠١٧م.

ثالثاً: أثر عناصر المناخ في مستوى كفاءة نقل الكهرباء.

تقوم شبكة الكهرباء الموحدة بعدة وظائف أهمها نقل الكهرباء من محطات التوليد الى مراكز الاستهلاك ، ويعبر مصطلح كفاءة نقل الكهرباء عن مدى قدرة الشبكة على نقل أكبر كمية من الكهرباء المولدة الى مناطق الاستهلاك عبر دوائر النقل باقل نسبة فقد ممكنة ، ولن يحدث ذلك الا اذا كان تصميم دوائر النقل يراعي كافة الضوابط البيئية وبخاصة طبيعة عناصر المناخ .

عند إنتاج الموصلات الكهربائية يتم إجراء بعض التجارب والقياسات المعملية عليها (STR_{nom} – Nominal static thermal rating)، بهدف تحديد مستوى كفاءتها في نقل الكهرباء (Transmission efficiency) ، وكمية الطاقة الكهربائية التي ستتعرض للفقد نتيجة مقاومة الموصل لمرور التيار الكهربائي ، وتتوقف مقدار مقاومة الموصل لمرور الكهرباء على درجة حرارته ، وتعد درجة حرارة الموصل نتاج تفاعل عدة عوامل يرجع بعضها الى خصائص الموصل نفسه وتتمثل في: ابعاد الموصل ونوع

(١) وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ، ٢٠١٧م ، ص٧٥.

المادة التي صنع منها وطريقة الصنع ، وكمية التيار الكهربائي المتدفق خلاله ، علاوة على ظروف المناخ التي يتعرض لها (ambient) .

تتم معايرة الموصلات في ظروف قياسية ، فالموصل المصنوع من الألمونيوم المدعم بقلب من الفولاذ (ACSR) على سبيل المثال تقيم كفاءته وسعته القصوى عندما تكون درجة حرارته ٧٥ درجة مئوية ، ودرجة حرارة الهواء المحيط به ٢٥درجة مئوية وسرعة الرياح ٠.٥متر/الثانية [١] ، الا أن الموصلات تتعرض الى ظروف مناخية متباينة خلال شهور السنة ، وبخاصة كمية الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء و سرعة الرياح ، ويترتب على ذلك انخفاض درجة حرارة الموصلات أو ارتفاعها ، ومن ثم يحدث تفاوت في سعتها الكهربائية بحيث تختلف عن الحسابات النظرية للمصانع (STR_{nom}) ، ولزيادة مستوى كفاءة الموصلات لابد من مراعاة التغيرات الشهرية في ظروف المناخ التي تتعرض لها ، حيث يتم التحكم في سعة الخطوط وفقاً لظروف المناخ السائدة ، وتسمى هذه الطريقة بالاسلوب الحراري الديناميكي (Dynamic thermal rating – DTR) .

تعد درجة حرارة الموصلات أهم المتغيرات التي يجب دراستها عند تقييم مستوى كفاءة الموصلات ، فعندما تتعرض الموصلات لظروف مناخية فعلية تختلف عن الظروف القياسية التي عويرت خلالها في كثير من الاحيان ،تتباين درجة حرارتها مما يترتب عليه تباين درجة مقاومتها لمرور التيار الكهربائي ، الامر الذي يؤدي الى ارتفاع نسبة الفاقد وبالتالي انخفاض مستوى كفاءة النقل ، في حالة الارتفاع الكبير في درجة الحرارة ، أو انخفاض نسبة الفقد واهدار قدرة الموصلات على نقل كمية أكبر من الكهرباء في حالة الانخفاض الكبير في درجة الحرارة ، وبناءً عليه يمكن الحكم على مستوى كفاءة نقل الكهرباء عبر الشبكة الموحدة ، من خلال مقدار التيار المفقود اثناء عملية النقل والذي يتأثر تأثراً كبيراً بدرجة حرارة الموصل .

تعد درجة حرارة الموصل نتاج تفاعل العديد من العوامل اهمها الظروف المناخية للمنطقة التي يمتد فيها ، وبخاصة الاشعاع الشمسي و حرارة الهواء و خصائص الرياح السطحية ، فدرجة حرارة الموصل تتوقف على مستوى التوازن الحراري بين الحرارة التي يكتسبها الموصل من التيار الكهربائي المتدفق خلاله ومن الاشعاع الشمسي وحرارة الهواء ، والحرارة التي يفقدها اما عن طريق عملية الاشعاع أو عملية الحمل [٢]،وفيما يلي سوف يتم استعراض أوجه التأثير المباشرة وغير المباشرة لعناصر المناخ على مكونات الشبكة ، وبخاصة درجة حرارة الموصلات والتي لها تأثير كبير على مقاومة الموصلات لمرور التيار(Resistance)، و يترتب عليها زيادة فواقد النقل وانخفاض سعة الخطوط.

---

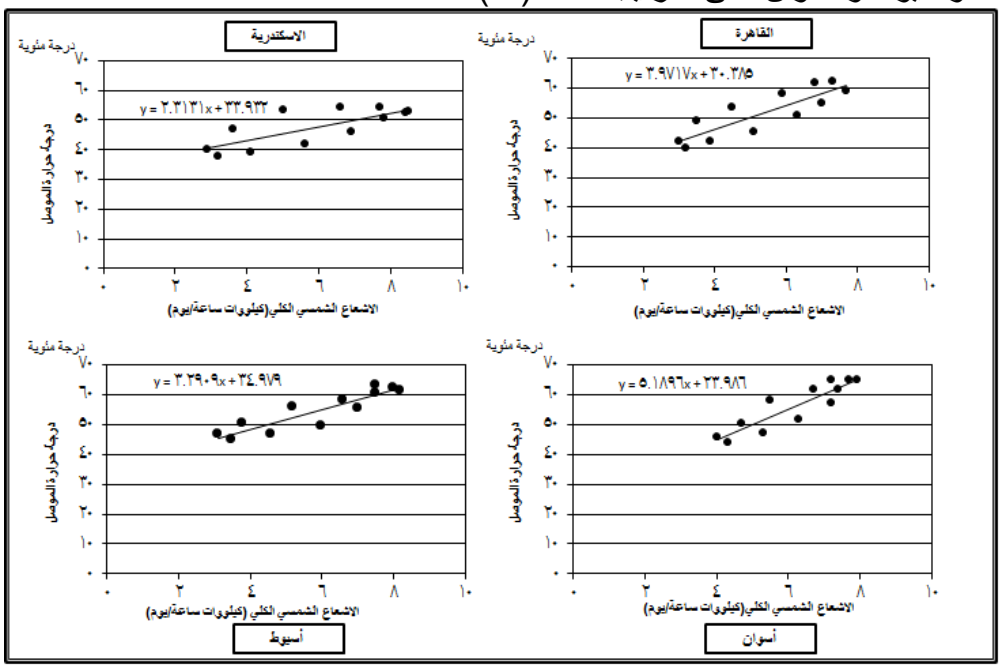
(1)Zhijie,Y.,etal,Analysis on ampacity of overhead transmission lines being operated, Journal of information processing systems (JIPS),vol.13,no.5,2017,p1358.

(2)Kotni,L.,Aproposed algorithm for an overhead transmission line conductor temperature rise calculation, international transactions on electrical energy systems, john Wiley & sons ,Ltd, usa,2014, p580.

١- أشعة الشمس .

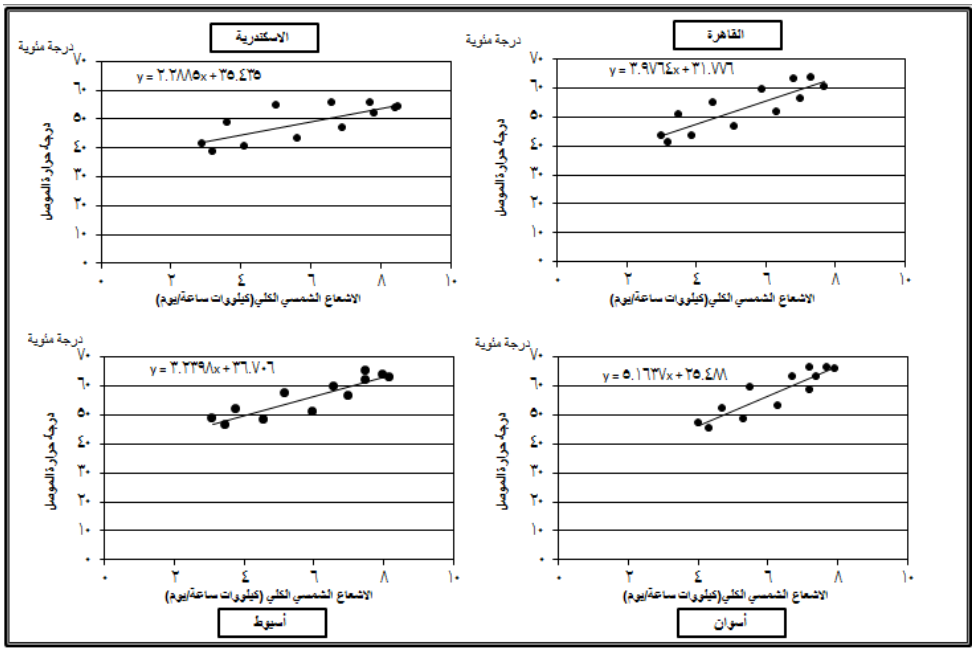
يعد الاشعاع الشمسي من أهم العناصر المناخية المؤثرة في مستوى كفاءة نقل الكهرباء ، من خلال تأثيره المباشر في درجة حرارة الموصلات ، حيث يسهم التأثير الحراري للإشعاع الشمسي في رفع درجة حرارتها .

يتوقف مقدار التأثير الحراري للإشعاع الشمسي على الكمية التي يستقبلها السطح الخارجي للموصل منه وعلى كثافة هذا الاشعاع ، فكلما ازدادت كمية الاشعاع المستقبل ارتفعت درجة حرارة الموصل ، فبقياس معامل الارتباط بين المعدل الشهري للإشعاع الشمسي الكلي ملحق (١) كمتغير مستقل و درجة حرارة الموصل ملحق (٥،٦) كمتغير تابع تبين وجود علاقة طردية قوية بينهما ، بلغت قيمتها بالنسبة للموصل دراك (٠.٨ ، ٠.٩ ، ٠.٩ ، ٠.٩) في الاسكندرية والقاهرة وأسيوط و أسوان على الترتيب شكل (٤) ، بينما بلغت قيمة الارتباط بالنسبة للموصل اربتوس (٠.٧ ، ٠.٩ ، ٠.٩ ، ٠.٩) في الاسكندرية والقاهرة وأسيوط و أسوان على الترتيب شكل (٥).



شكل (٤) العلاقة بين كمية الاشعاع الشمسي الكلي و درجة حرارة الموصل دراك في بعض جهات مصر.

وكلما ازدادت كثافة الاشعاع الشمسي الذي يستقبله سطح الموصل ازداد تأثيره الحراري ومن ثم ارتفعت درجة حرارة الموصل ، وتعد كثافة الاشعاع الشمسي نتاجاً لزاوية ارتفاعه عن سطح الموصل ، حيث تربطهما علاقة طردية قوية (٠.٩٧) ، و تختلف زاوية ارتفاع الشمس من يوم لأخر خلال العام وفقاً لحركة الشمس الظاهرية .



شكل (٥) العلاقة بين كمية الاشعاع الشمسي الكلي و درجة حرارة الموصل أربتوس في بعض جهات مصر.

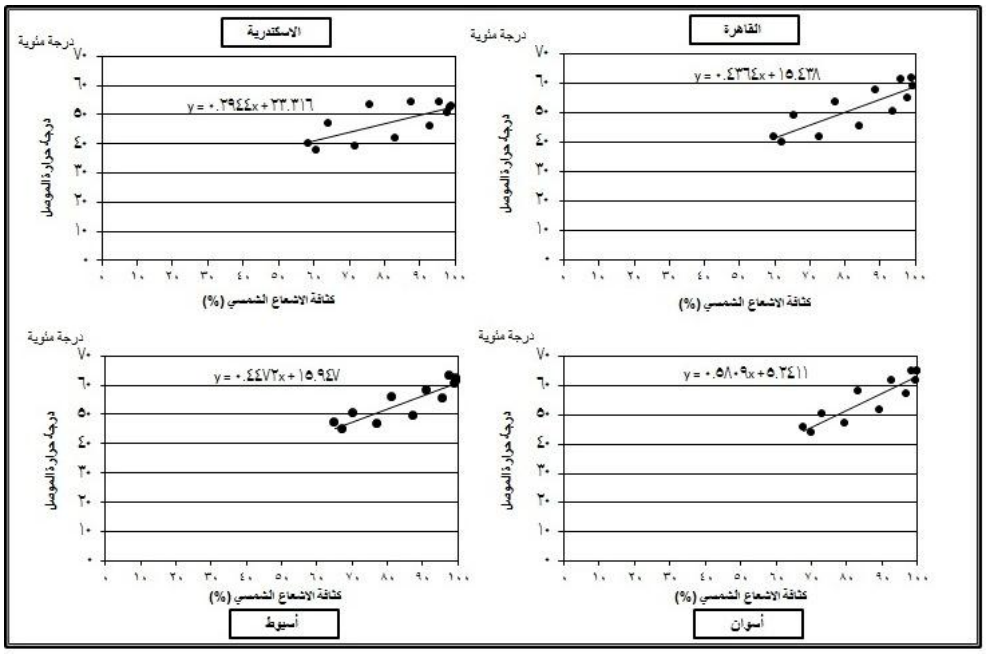
وبقياس معامل الارتباط بين المعدل الشهري لكثافة الاشعاع الشمسي (في منتصف النهار) ملحق (٢) كمتغير مستقل و درجة حرارة الموصل ملحق (٥ ، ٦) كمتغير تابع تبين وجود علاقة طردية قوية بينهما ، بلغت قيمتها بالنسبة للموصل دراك (٠.٧، ٠.٨ ، ٠.٩ ، ٠.٩) في الاسكندرية والقاهرة وأسيوط و أسوان على الترتيب شكل (٦) ، بينما بلغت قيمة الارتباط بالنسبة للموصل اربتوس (٠.٩ ، ٠.٩ ، ٠.٩ ، ٠.٩) في الاسكندرية والقاهرة وأسيوط و أسوان على الترتيب شكل(٧).

٢-حرارة الهواء .

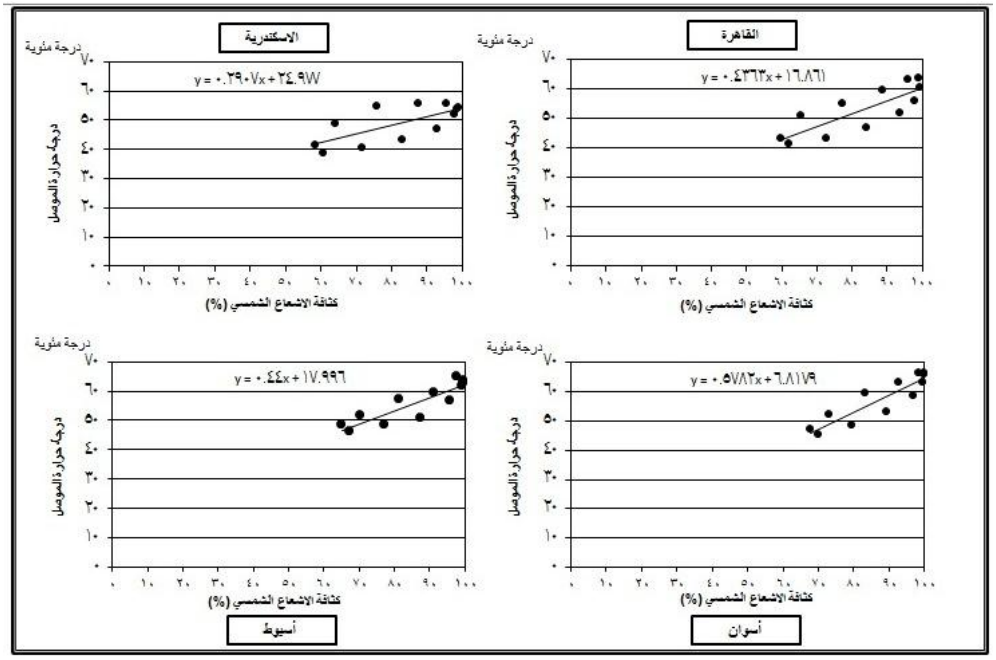
تؤثر حرارة الهواء تأثيراً غير مباشر في معدلات فقد الكهرباء أثناء عملية النقل ، من خلال تأثيرها في درجة حرارة الموصلات ، والتي تنعكس على مستوى مقاومة الموصلات لمرور التيار الكهربائي ، فارتفاع درجة حرارة الهواء يزيد من درجة حرارة الموصل وبالتالي يزيد من مستوى مقاومة مادة الموصل للتوصيل الكهربائي [١] ، ويساعد في ذلك مرور التيار الكهربائي في السطح الخارجي للموصلات وليس في القلب فيما يطلق عليه (skin effect) [٢]، وبقياس معامل الارتباط بين المعدلات الشهرية لدرجة حرارة الهواء العظمى ملحق (٣) كمتغير

(1)El-hawary,M.,Electrical power systems – design and analysis ,john Wiley &sons , inc , publication , USA ,1983, p.94.

(2)Short,T.,power distribution hand book,CRC press,USA,2014, p.44.



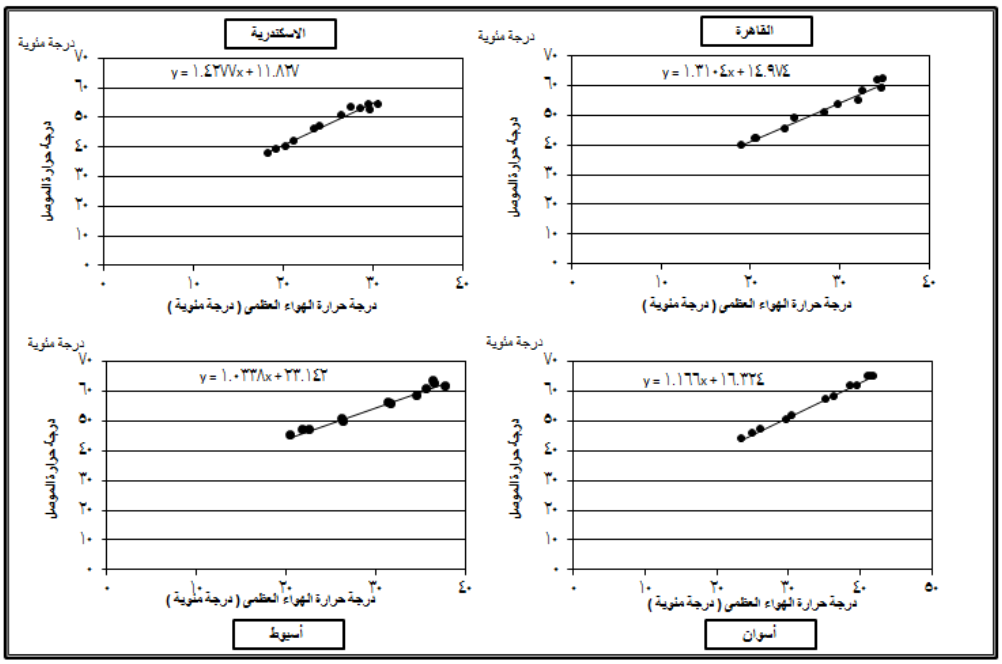
شكل (٦) العلاقة بين كثافة الاشعاع الشمسي و درجة حرارة الموصل دراك في بعض جهات مصر.



شكل (٧) العلاقة بين كثافة الاشعاع الشمسي و درجة حرارة الموصل أربتوس في بعض جهات مصر.

مستقل و درجة حرارة الموصل ملحق (٥، ٦) كمتغير تابع تبين وجود علاقة طردية قوية بينهما ، لم تقل قيمتها بالنسبة للموصلين دراك واربتوس عن (٠.٩) في الاسكندرية والقاهرة وأسيوط و أسوان شكل (٨،٩) .

لدرجة حرارة الهواء تأثير على سعة الخطوط الهوائية نظراً لتأثيرها الكبير في معدلات الفقد الحراري لحرارة الموصلات عن طريق الاشعاع والحمل ، وقد ثبت عملياً في مقاطعة شاندونج بالصين (Shandong) أن سعة الخطوط الهوائية تزداد



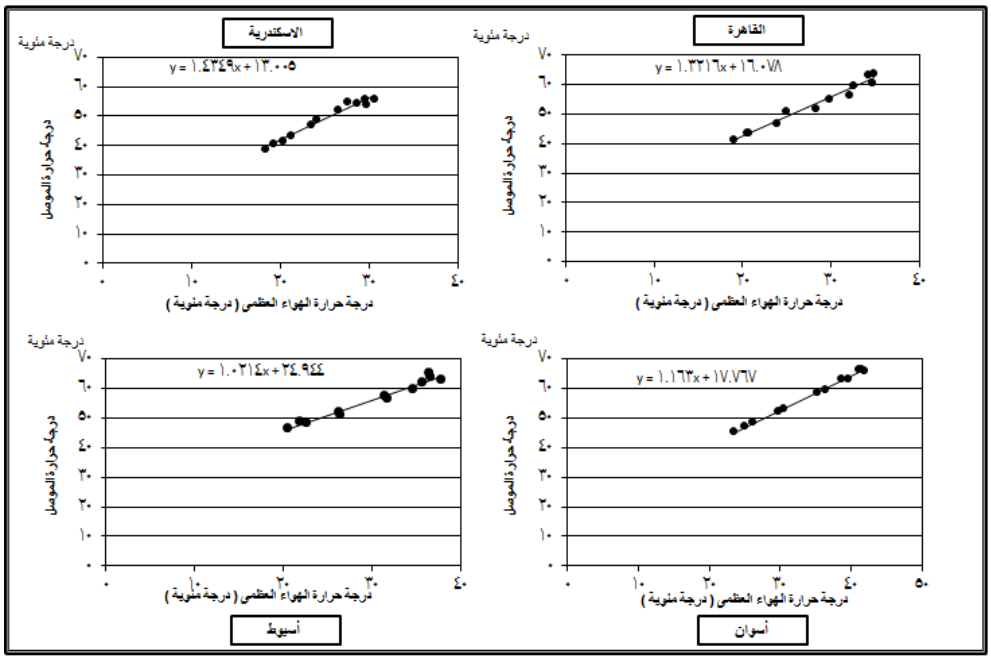
شكل (٨) العلاقة بين درجة حرارة الهواء العظمي و درجة حرارة الموصل دراك في بعض جهات مصر.

بنسبة تصل الى نحو ١% لكل انخفاض قدره درجة مئوية واحدة في حرارة الهواء[١] ، ووفقاً لذلك تزداد سعة الموصلات في شهور فصل الشتاء مقارنة بسعتها خلال شهور فصل الصيف ، ولهذا السبب تتبع الدول المتقدمة اسلوباً ديناميكياً (Dynamic thermal rating –DTR) في ادارة منظومة نقل الكهرباء ، يتم من خلاله وضع منظومة اجهزة لمراقبة ومتابعة درجة حرارة الخطوط وحرارة الهواء المحيط بها وسرعة الرياح وكمية الاشعاع الشمسي (Real-time monitoring systems – RTM) ، والتحكم في سعة الخطوط وفقاً لقيم التغير في درجات الحرارة[٢].

(1) Zhijie,Y.,etal,Analysis on ampacity of overhead transmission lines being operated,op.cit, p.1364.

(2) Stephen,R.,etal,Guid for application of direct real time monitoring systems ,working group B2.36,CIGRE publication ,2010 .P. 10.

تؤثر حرارة الهواء في تصميم شبكة الكهرباء الموحدة ، من خلال تأثيرها المباشر في درجة حرارة الموصلات فيما يعرف بالتصميم الميكانيكي للشبكة ، فالتغير في درجة حرارة الموصلات يترتب عليه ارتخاء الموصل (Sag) ، و انخفاض قوة شد الموصل على الابراج الحاملة له [(١)]، ومن ثم اقترابه من سطح الارض مما يشكل تهديداً على حياة المارة ، ومن ثم يجب مراعاة تأثير درجة الحرارة على مقدار شد الموصلات وارتخائها في شهور فصل الصيف الحارة ، و ضمان بقائها في حالة الارتخاء القصوى بعيدة بمسافة آمنة عن سطح الأرض و المنشئات المجاورة.



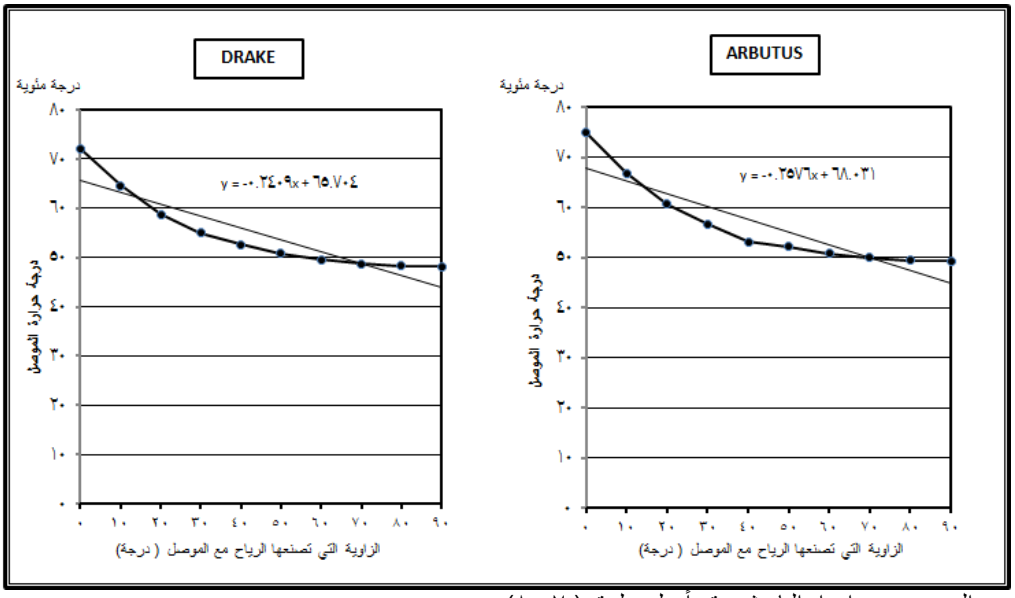
شكل (٩) العلاقة بين درجة حرارة الهواء العظمي و درجة حرارة الموصل أربتوس في بعض جهات مصر.

٣- الرياح .

تعد الرياح من أهم العوامل المؤثرة في مستوي كفاءة نقل الكهرباء ، فالرياح لها القدرة على تخفيض درجة حرارة الموصلات ، حيث تزيد من قدرة الموصل على التخلص من الحرارة الزائدة عن طريق الحمل ، ولا يتوقف ذلك على سرعة الرياح فقط ، وانما بدرجة كبيرة على الزاوية التي تصنعها الرياح مع محاور امتداد الموصلات ، فكلما كانت الزاوية تقترب من القائمة ، كلما كان التأثير التبريدي للرياح على الموصلات كبير شكل (١٠).

(1)Holland,H.,Transmission line-design manual, water resources technical publication, united states department of interior water and power resources service ,Colorado ,USA, 1980, p.25.

كما تسهم الرياح في حدوث بعض الظواهر المسببة لتسرب وفقد التيار الكهربائي ، فالرمال والاملاح التي تحملها الرياح تلتصق وتتراكم على أسطح العازلات مكونة طبقة من الاوساخ ، تتحول هذه الطبقة الى وسط رطب جيد التوصيل للكهرباء عندما تتراكم فوقها قطرات الماء بفعل الشبورة أو الندى ، ويساعد على حدوث ذلك خاصية القصور الحراري (thermal inertia) التي تتميز بها مادة الزجاج أو الخزف التي تصنع منها العازلات ، حيث تنخفض درجة حرارتها ليلاً بدرجات تقل عن درجات حرارة الهواء ، مما يساعد على تكاثف



المصدر : من اعداد الباحث معتمداً على ملحق (٧ ، ٨)

شكل (١٠) العلاقة بين الزاوية التي تصنعها الرياح مع محاور امتداد الموصلات و درجة حرارة الموصلين دراك وأربتوس في القاهرة .

بخار الماء عليها ، وتساعد تلك الظروف على تكون ظاهرة الوميض السطحي (flashover) حيث تتسرب الكهرباء عبر سطح العازلات لجسم البرج ، كما تسهم الرياح في زيادة نسبة فقد التيار بفعل ظاهرة التفريغ الهالي (corona) ، وهي عبارة عن تفريغ للشحنات الكهربائية بين الموصل والهواء الملامس له ، على شكل مجال كهربائي غير منتظم ، تظهر في صورة وميض لامع مائل للزرقة مصحوب بصوت أزيز.

تؤثر الرياح في تصميم جميع مكونات شبكة نقل الكهرباء ، فالرياح تمارس ضغطاً ميكانيكياً على كافة مكونات الشبكة ، لذا يراعى عن تصميمها سرعات الرياح السائدة واتجاهاتها ، فتصميم الأبراج التي تحمل الموصلات يقلل الاجهاد الميكانيكي الذي يتعرض له جسم البرج ، حيث تسمح الفراغات بين أجزاء البرج بنفاذ الرياح من كافة الاتجاهات ، كما تساعد القاعدة العريضة للبرج ذات الحوامل الأربعة والقمة الضيقة على اتزانه ، كما تصمم القواعد الخرسانية للأبراج بطريقة

تسمح لها بمقاومة قوة الضغط الناجمة عن حركة الرياح ، ويتم تركيب موانع اهتزاز (stock bridge damper) على الموصلات لتقليل الاهتزازات الميكانيكية التي تحدث بفعل الرياح ، كما يتم تركيب مثبت المسافة (spacer) على الدوائر التي تحتوي على أكثر من موصل لضمان عدم تقارب الموصلات أو احتكاكها معاً صورة (٤) ، و تقوى الموصلات المصنوعة من أسلاك الالمونيوم بقلب من الفولاذ لإكسابها قدر من المتانة .

تؤثر سرعة الرياح في أداء اعمال الصيانة الدورية للموصلات و العازلات ، فالرياح السريعة تعوق عمال الصيانة عن القيام بمهامهم ، والتي تستلزم تسلقهم للأبراج المرتفعة ، وبقائهم فترات زمنية كبيرة متدليين في الهواء بواسطة حبال صورة (٥).، أو استخدامهم في حالة صيانة الجهود الفائقة مروحيات خاصة ، والتي تحتاج الى البقاء ثابته في الهواء فوق الابراج لفترات زمنية محددة ، وبالطبع تعوق ثباتها الرياح السريعة .

رابعاً : التباين الزمني والمكاني لعناصر المناخ المؤثرة في كفاءة نقل الكهرباء.

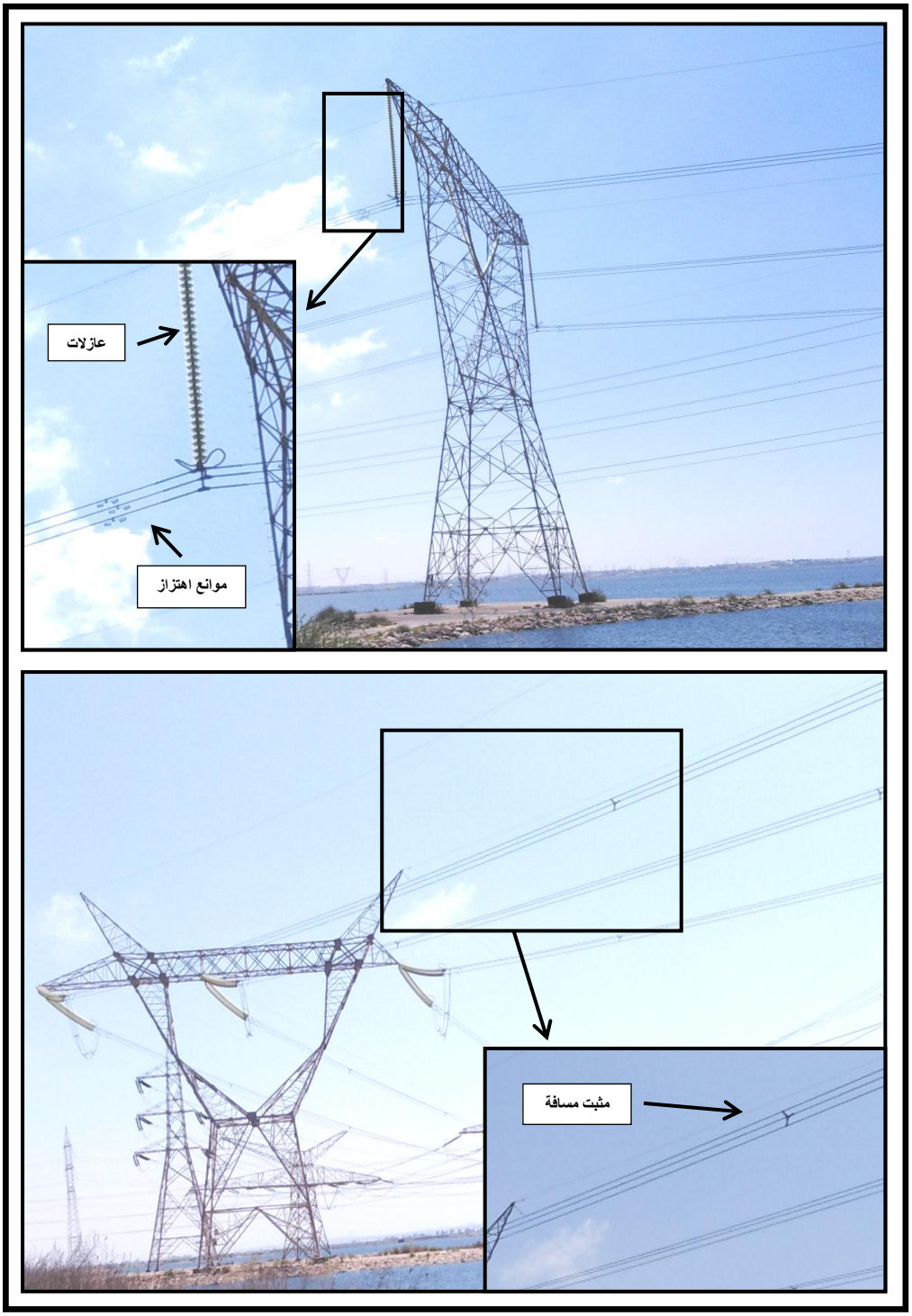
١- الإشعاع الشمسي .

يؤثر الاشعاع الشمسي في التوازن الحراري للموصلات ، ويتوقف مقدار الطاقة الحرارية التي يستمدها الموصل من الاشعاع الشمسي على معيارين : أولهما كمية الإشعاع الشمسي الكلي التي يستقبلها الموصل ، وثانيهما كثافة الاشعاع الشمسي والتي تتوقف على زاوية ارتفاعه ، وفيما يلي عرض لهذين المعيارين .

- **كمية الإشعاع الشمسي الكلي .**

من خلال الدراسة التحليلية لملحق(١) وشكل(١١) يمكن استخلاص الحقائق التالية:

- تتفاوت كمية الإشعاع الشمسي التي تستقبلها الطبقة السطحية للموصلات من شهر لأخر خلال العام ؛ ويبلغ التفاوت الشهري أدنى مستوى له في جنوب شرق مصر، حيث بلغ الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي الكلي الساقط على محطة رأس بناس ١.١ كيلووات ساعة/مترمربع/يوم ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٨.٦% ، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في شمالي غرب مصر؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ١.٩كيلوات ساعة/مترمربع/اليوم في محطة مرسى مطروح ، و بلغت نسبة الاختلاف ٣٦.٢% في المحطة نفسها .
- تستقبل الطبقة السطحية للموصلات في كافة أجزاء الشبكة المصرية الموحدة كمية متقاربة من الإشعاع الشمسي الكلي خلال الشهر الواحد ، فلم يزد الانحراف المعياري في أي من شهور العام عن نصف كيلووات ساعة/مترمربع/يوم ، كما هو الحال في شهور فصل الشتاء (ديسمبر ويناير وفبراير) ، والتي سجلت نسبة اختلاف قدرها ١٣.٨% و١٣.٥% و ١١.٦% على الترتيب .



المصدر : الدراسة الميدانية .

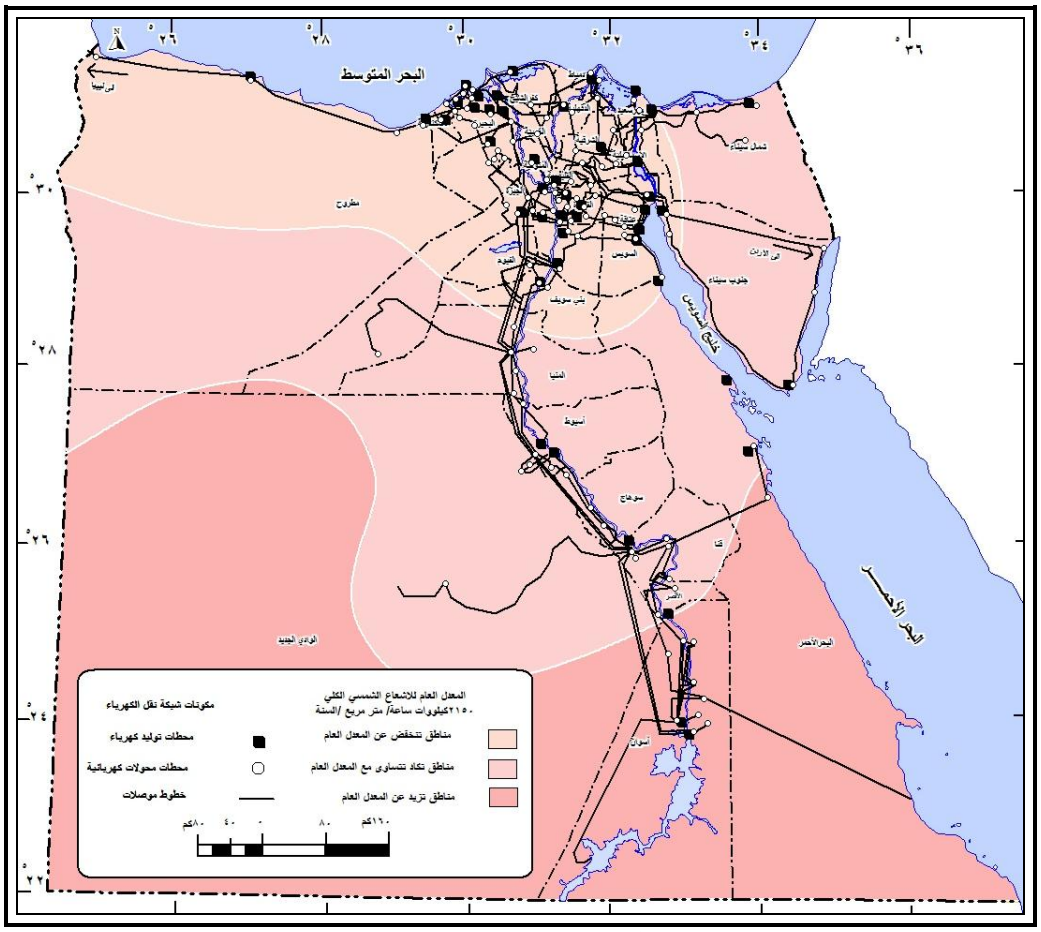
صورة (٤) نماذج من تأثير الرياح على بعض مكونات شبكة نقل الكهرباء .

المصدر : https://www.youtube.com , accessed on , 5/12/2018.

صورة (٥) أعمال الصيانة الدورية للعازلات بخط جهد عالي بمحافظة سوهاج.

- تستقبل الطبقة السطحية للموصلات أكبر معدل شهري للإشعاع الشمسي الكلي خلال شهر يونيو ، وبخاصة في جنوبي الصحراء الغربية (محطة الفرافرة)، والتي استقبلت ٨.٥ كيلووات /ساعة/مترمربع/اليوم ، في حين تستقبل الطبقة السطحية للموصلات أصغر معدل شهري خلال شهر ديسمبر ، كما هو الحال في شمالي غرب مصر (محطة مرسي مطروح) والتي استقبلت ٢.٥كيلووات /ساعة/مترمربع/اليوم .
- تستقبل الطبقة السطحية للموصلات أكبر معدل فصلي للإشعاع الشمسي الكلي خلال فصل الصيف ، كما هو الحال في محطة الفرافرة (٨.١ كيلووات /ساعة/مترمربع/اليوم) ، بينما تستقبل أصغر معدل فصلي خلال فصل الشتاء ، كما هو الحال في محطة مرسى مطروح (٢.٨ كيلووات /ساعة/مترمربع/اليوم).
- يزداد المعدل السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الذي تستقبله الطبقة السطحية للموصلات في الشبكة المصرية الموحدة بالاتجاه العام من الشمال والشمال الغربي صوب الجنوب والجنوب الشرقي ، فقد بلغ المعدل في مطروح بشمالي غرب مصر ١٩٢٩.٥ كيلووات /ساعة/مترمربع/العام ، بينما بلغ المعدل ذاته ٢٢٥٤.٦ كيلووات /ساعة/مترمربع/العام في أسوان بجنوبي مصر.

وبناءً على ما سبق يمكن تقسيم مصر وفقاً لمعدلات الإشعاع الشمسي السنوية التي تستقبلها الطبقة السطحية للموصلات إلى المناطق التالية:



شكل (١١) التباين المكاني للمعدل السنوي للإشعاع الشمسي الكلي الذي تتعرض له الموصلات في مصر.

- **مناطق تنخفض عن المعدل العام .**

ينخفض المعدل السنوي الذي تستقبله الطبقة السطحية للموصلات من الإشعاع الشمسي الكلي عن ٢١٥٠كيلووات ساعة/مترمربع/العام ، ويبلغ إجمالي مساحة تلك المناطق نحو ١٦٨.٨ ألف كيلومتر مربع ، أي ما يعادل نحو ١٦.٩% من إجمالي مساحة اليابس المصري ، ويوجد بها معظم محطات توليد الكهرباء المصرية و معظم محطات المحولات ، كما تتوزع فيها أغلبية خطوط نقل الكهرباء في مصر، علاوة على خط الربط الكهربائي المصري الليبي.

تقع هذه المناطق بشمالي مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظات : بورسعيد و الإسماعيلية و السويس والدقهلية و الشرقية والقليوبية و القاهرة و بني سويف والفيوم والجيزة والمنوفية والغربية و كفرالشيخ والبحيرة والإسكندرية والأطراف الشمالية لمحافظة مطروح .

يقل عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية في هذه المناطق نتيجة لتأثرها بحركة المنخفضات الجوية خلال فصل الشتاء ، والتي تجلب كتل هوائية باردة رطبة على امتدد جبهاتها الباردة ، فتتشكل سحب كثيفة بفعل عملية الرفع الجبهي ، مما يترتب عليه حجب نسبة كبيرة من الإشعاع الشمسي الكلي.

- **مناطق تكاد تتساوى مع المعدل العام .**

يكاد يتساوى المعدل السنوي الذي تستقبله الطبقة السطحية للموصلات من الإشعاع الشمسي الكلي في هذه المناطق مع المتوسط العام لمصر(٢١٥٠ كيلووات ساعة/مترمربع/العام) ، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ٣٤٥.١ألف كيلومتر مربع ، وتشكل نحو ٣٤.٦% من إجمالي مساحة اليابس المصري، يوجد بهذه المناطق معظم خطوط نقل الكهرباء في صعيد مصر ، كما يوجد بها بعض محطات توليد الكهرباء مثل: الوليدية و أسيوط و نجع حمادي واسنا ، ويمر خلالها خط الربط الكهربائي المصري الاردني.

تقع هذه المناطق داخل الحدود الإدارية لمحافظات : شمال سيناء وجنوب سيناء و المنيا و أسيوط وسوهاج وقنا والأقصر والأطراف الشمالية لمحافظتي البحر الأحمر والوادي الجديد والأطراف الجنوبية لمحافظة مطروح .

- **مناطق تزيد عن المعدل العام .**

تستقبل الموصلات في هذه المناطق أكبر معدل سنوي للإشعاع الشمسي الكلي في مصر ، كما هو الحال في القصير حيث استقبلت ٢٢٩٧.٥ كيلووات ساعة/مترمربع/العام ، ويبلغ إجمالي مساحة هذه المناطق نحو ٤٨٢.٦ألف كيلومتر مربع ، أي ما يعادل نحو ٤٨.٥% من إجمالي مساحة اليابس المصري ، يوجد بهذه المناطق عدد محدود من محطات التوليد الكهربائي متمثلة في محطة السد العالي وخزان أسوان ، ونسبة صغيرة من أطوال موصلات الشبكة المصرية الموحدة .

تقع هذه المناطق جنوبي مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظات : البحرالأحمر وأسوان والوادي الجديد ، تستقبل الموصلات في هذه المناطق كمية كبيرة من الاشعاع الشمسي الكلي ، نتيجة لخلو السماء النسبي من السحب الكثيفة معظم شهور العام ، بالإضافة الى تعامد أشعة الشمس عليها إبان فصل الصيف، وقربها من دوائر عرض التعامد في باقي الفصول مقارنة بالنطاقين السابقين ، لذا ترتفع درجات حرارة الموصلات في هذه المناطق مما يترتب عليه زيادة فواقد النقل مقارنة بكافة جهات مصر.

- **كثافة الإشعاع الشمسي .**

يرتبط مقدار التأثير الحراري للإشعاع الشمسي على الموصلات الكهربائية بكثافة الاشعاع ؛ فأشعة الشمس تصبح أكثر مقدرة على تسخين الموصلات اذا كانت كثافتها كبيرة ، وترتبط كثافة الاشعاع الشمسي بتغيرات زوايا ارتفاع الشمس وزوايا ميلها خلال العام ، والتي ترتبط بحركتها الظاهرية ودرجات عرض تعامدها على سطح الأرض ، ومن خلال الدراسة التحليلية لكثافة الاشعاع الشمسي بدوائر

العرض التي تمثل معظم اليابس المصري ملحق (٢) يمكن استخلاص الحقائق التالية:

- تستقبل سطوح الموصلات اشعاعاً شمسياً يصل متوسط كثافته السنوية إلى ٨٥.٣% ، مما يزيد من قدرة الشمس على تسخين الموصلات فترتفع درجة حرارتها .
- تستقبل سطوح الموصلات اشعاعاً شمسياً شديد الكثافة إبان فصل الصيف مقارنة بباقي فصول السنة ، فقد بلغ معدل كثافة الاشعاع نحو ٩٨.٧% ، كما تستقبل سطوح الموصلات اشعاعاً شمسياً شديد الكثافة خلال شهر يونيو مقارنة بباقي شهور السنة ، حيث بلغت كثافة الإشعاع ٩٩.٨% ، مما يترتب عليه زيادة التأثير الحراري للإشعاع الشمسي على الموصلات.
- تستقبل سطوح الموصلات اشعاعاً شمسياً قليل الكثافة إبان فصل الشتاء مقارنة بباقي فصول السنة ، فقد بلغ معدل كثافة الاشعاع نحو ٦٩% ، كما تستقبل سطوح الموصلات اشعاعاً شمسياً قليل الكثافة خلال شهر ديسمبر مقارنة بباقي شهور السنة ، حيث بلغت كثافة الإشعاع ٦٤.١%، ويترتب على ذلك انخفاض التأثير الحراري للإشعاع الشمسي على الموصلات.
- يقل التأثير الحراري للإشعاع الشمسي على سطوح الموصلات بالاتجاه من جنوبي مصر صوب شمالها ، ويرجع ذلك لانخفاض كثافة الاشعاع الشمسي في الاتجاه نفسه ، فقد بلغت الكثافة ٨٨.٨% عند دائرة عرض ٢٢درجة بجنوبي مصر ، في حين بلغت الكثافة ٨٢.١%عند دائرة عرض ٣١درجة شمالاً بشمالي مصر.

٢-حرارة الهواء .

تؤثر درجة حرارة الهواء في التوازن الحراري للموصلات الكهربائية وبالتالي في قدرتها على نقل الكهرباء ، وعلى مقدار ما تفقده أثناء عملية النقل ، ومن خلال الدراسة التحليلية لملحق (٣) وشكل (١٢) يمكن استخلاص الحقائق التالية :

- تتفاوت درجة حرارة الهواء العظمى التي تتعرض لها الطبقة السطحية للموصلات من شهر لأخر خلال العام ؛ ويبلغ التفاوت الشهري أدنى مستوى له في شمالي غرب مصر، حيث بلغ الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية لدرجة حرارة الهواء العظمى في محطة مرسى مطروح ٤.١ درجة مئوية ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٧.١%، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في جنوبي مصر؛ حيث بلغ الانحراف المعياري في محطة أسوان ٦.٨درجة مئوية ، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٢٠.٤% في المحطة ذاتها.
- تتعرض الطبقة السطحية للموصلات في كافة أجزاء الشبكة المصرية الموحدة الى درجات متفاوتة من حرارة الهواء العظمى خلال الشهر الواحد ، فلم يقل الانحراف المعياري في أي من شهور العام عن ٢درجة مئوية (شهر نوفمبر) ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٧.٨% ، في حين يصل الانحراف المعياري الى أعلى مستوياته خلال شهر ابريل (٥.٥درجة مئوية) ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١٩.٤% .

- تتعرض الطبقة السطحية للموصلات الى أعلى معدل شهري لدرجة الحرارة العظمى خلال شهر يوليو ، وبخاصة في جنوبي مصر (محطة أسوان)، والتي بلغ المعدل الشهري فيها ٤١درجة مئوية ، في حين تتعرض الطبقة السطحية للموصلات لأصغر معدل شهري لدرجة الحرارة العظمى خلال شهر يناير ، كما هو الحال في شمالي غرب مصر (محطة مرسي مطروح) والتي بلغ المعدل الشهري فيها ١٨درجة مئوية.
- تتعرض الطبقة السطحية للموصلات الى أعلى معدل فصلي لدرجة الحرارة العظمى خلال فصل الصيف ، كما هو الحال في محطة أسوان (٤٠.٩درجة مئوية) بجنوبي مصر ، بينما تتعرض الطبقة السطحية للموصلات لأصغر معدل فصلي لدرجة الحرارة العظمى خلال فصل الشتاء ، كما هو الحال في محطة مرسى مطروح (١٨.٨درجة مئوية) بشمالي غرب مصر .
- يزداد المعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء العظمى الذي تتعرض له الطبقة السطحية للموصلات في الشبكة المصرية الموحدة بالاتجاه العام من شمالي مصر صوب جنوبها ، فقد بلغ المعدل في محطة مرسى مطروح بشمالي غرب مصر ٢٤.٢ درجة مئوية ، بينما بلغ المعدل ذاته٣٤.١ درجة مئوية في محطة أسوان بجنوبي مصر.

وبناءً على ما سبق يمكن تقسيم مصر وفقاً لمعدلات درجة حرارة الهواء العظمى التي تتعرض لها الطبقة السطحية للموصلات إلى المناطق التالية:

- **مناطق تنخفض عن المعدل العام .**

ينخفض المعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء العظمى الذي تتعرض له الموصلات في هذه المناطق عن ٢٧ درجة مئوية ، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ١٣٠.٦ألف كيلومتر مربع ، أي ما يعادل نحو ١٣.١% من إجمالي مساحة اليابس المصري .

تقع هذه المناطق في شمالي مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظات:شمال سيناء وجنوب سيناء و بورسعيد و الإسماعيلية و الدقهلية و الشرقية و دمياط والمنوفية والغربية و كفرالشيخ والبحيرة والإسكندرية والأطراف الشمالية لمحافظة مطروح .

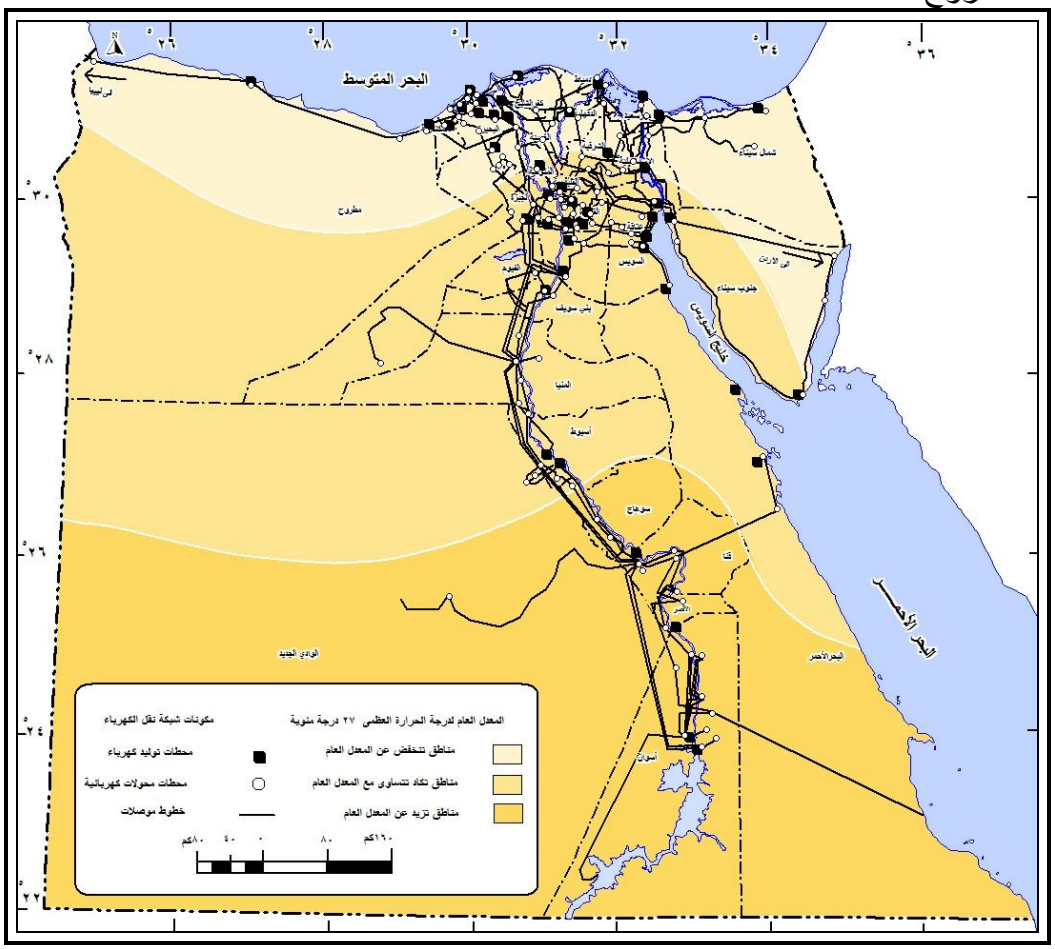
تنخفض معدلات الحرارة العظمى في هذه المناطق مقارنة بباقي جهات مصر، نتيجة لتأثرها بدرجة حرارة مياه البحرالمتوسط وبخاصة أثناء فصل الصيف ، و يمتد التأثير إلى داخل اليابس بفعل هبوب الرياح التجارية الشمالية الشرقية .

- **مناطق تكاد تتساوى مع المعدل العام .**

يكاد يتساوى المعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء العظمى الذي تتعرض له الموصلات الكهربائية في هذه المناطق مع المعدل العام (٢٧ درجة مئوية) ، تمتد هذه المناطق الى الجنوب من المناطق السابقة لتحتل بذلك وسط مصر ، يبلغ إجمالي مساحتها نحو٣٦٥.٥ألف كيلومتر مربع ، أي ما يعادل نحو٣٦.٧% من إجمالي مساحة اليابس المصري ، تقع في هذه المناطق معظم محطات توليد

الكهرباء و معظم خطوط الموصلات الكهربائية ابتداء من الحدود الجنوبية لمحافظة أسيوط حتى محافظة المنوفية.

تقع هذه المناطق في وسط مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظات : جنوب سيناء والإسماعيلية و السويس والشرقية و القليوبية و المنوفية والقاهرة و الجيزة والفيوم و بني سويف و المنيا و أسيوط و البحر الأحمر و الفيوم والوادي الجديد و مطروح .



شكل (١٢) التباين المكاني للمعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء العظمى الذي تتعرض له الموصلات في مصر.

- **مناطق تزيد عن المعدل العام .**

يرتفع المعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء العظمى الذي تتعرض له الموصلات الكهربائية في هذه المناطق عن المعدل العام (٢٧ درجة مئوية) ، ليصل إلى أعلى معدل سنوي له ٣٤.١ درجة مئوية في محطة أسوان ، تقع في الاطراف الجنوبية لمصر، ويبلغ إجمالي مساحتها نحو ٥٠٠.١ألف كيلومتر مربع ، أي ما يعادل نحو نصف مساحة اليابس المصري (٥٠.٢%) ، يوجد بهذه المناطق معظم محطات

التوليد الكهرومائية مثل :اسنا ونجع حمادي و خزان أسوان والسد العالي ، وتمتد الموصلات فيها من محافظة أسوان حتى الحدود الجنوبية لمحافظة أسيوط .

تقع هذه المناطق في جنوبي مصر داخل الحدود الإدارية لمحافظات : البحرالأحمر وأسوان و الوادي الجديد و سوهاج وقنا والأقصر، ترتفع معدلات حرارة الهواء العظمى التي تتعرض لها الموصلات الكهربائية في هذه المناطق نتيجة تعامد أشعة الشمس عليها في فصل الصيف ، وقربها من دوائر عرض تعامد الشمس في باقي فصول السنة ، علاوة على انخفاض تأثير المسطحات المائية مقارنة بالمناطق المتاخمة لسواحل البحرالمتوسط.

٣- الرياح السطحية.

للرياح دور كبير في التوازن الحراري للموصلات الكهربائية ، فالرياح السريعة تسهم في تبريد الموصلات الكهربائية ، شريطة أن يصنع اتجاه هبوبها زاوية قائمة أو تقترب من القائمة مع محاور الموصلات ، واذا توافر ذلك تنخفض حرارة الموصلات وترتفع قدرتها على نقل الكهرباء ، ويقل مقدار ما تفقده من كهرباء أثناء عملية النقل .

- **سرعة الرياح السطحية.**

ومن خلال الدراسة التحليلية لملحق (٤) وجدول (٥) يمكن استخلاص الحقائق التالية :

- تتفاوت سرعة الرياح التي تتعرض لها الموصلات من شهر لأخر خلال العام ؛ ويبلغ التفاوت الشهري أدنى مستوى له في جنوبي مصر ، حيث بلغ الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية لسرعة الرياح في محطة أسوان ٠.٢ متر/الثانية ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٥.٢%، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في ساحل خليج السويس شرقي مصر؛ حيث بلغ الانحراف المعياري في محطة الطور ٠.٩ متر/الثانية ، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٢١.٤% في المحطة ذاتها.
- تتعرض الموصلات في كافة أجزاء الشبكة المصرية الموحدة الى درجات متفاوتة من سرعة الرياح خلال الشهر الواحد ، فلم يقل الانحراف المعياري لمعدل سرعة الرياح في أي من شهور العام عن ١متر/الثانية (شهر ابريل) ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٢٢% ، في حين وصل الانحراف المعياري الى أعلى مستوياته خلال شهر ديسمبر (١.٣متر/الثانية) ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٣٤.٣%.
- تتعرض الموصلات الى أعلى معدل شهري لسرعة الرياح خلال شهر يونيو ، وبخاصة في ساحل البحرالأحمر شرقي مصر (محطة الغردقة)، والتي بلغ المعدل الشهري فيها ٧.٦ متر/الثانية ، في حين تتعرض الموصلات لأصغر معدل شهري لسرعة الرياح خلال شهر نوفمبر ، كما هو الحال في غرب مصر (محطة سيوة) والتي بلغ المعدل الشهري فيها ٢ متر/الثانية.
- تتعرض الموصلات الى أعلى معدل فصلي لسرعة الرياح خلال فصلي الربيع والصيف ، كما هو الحال في محطة الغردقة بشرقي مصر ، حيث بلغ المعدل٦.٤

و ٦.٧ متر /الثانية للفصلين على الترتيب ، مقارنة بفصلي الشتاء والخريف حيث تتعرض الموصلات لأصغر معدل فصلي لسرعة الرياح ، كما هو الحال في محطة الداخلة بغربي مصر ، حيث بلغ المعدل١.٩ و ٢.٤ متر /الثانية للفصلين على الترتيب.

- تتسبب الرياح السريعة في اثارة الرمال والاتربة وبخاصة خلال شهور فصل الربيع ، وينتهي مطاف ذرات الرمال والاتربة فوق العوازل حيث تلتصق بها، مما يهيئ الفرصة لتكون ظاهرة القوس الكهربائي ، والتي يترتب عليها فقد الكهرباء وانهيار العوازل.
- يزيد المعدل السنوي لسرعة الرياح السطحية الذي تتعرض له الموصلات في الشبكة المصرية الموحدة على ساحل البحرالمتوسط والجهات المتاخمة له ، وعلى ساحل البحرالأحمر والجهات المتاخمة له ، مقارنة بوادي النيل ودلتاه والصحراء الغربية ، فقد بلغ المعدل في محطتي مرسى مطروح والغردقة ٥.٢ و٦.٢ متر/الثانية على الترتيب ، بينما بلغ المعدل في محطتي الداخلة والفرافرة ٢.٤ و ٢.٧ متر/الثانية.

جدول (٥) زوايا واتجاه محصلة هبوب الرياح السنوية ببعض محطات مصر

المحطة	المحصلة		المحطة	زاوية المحصلة	
	زاوية	اتجاه		زاوية	اتجاه
مرسى مطروح	٣١٠	شمال غرب	أسيوط	٣٠٢	شمال غرب
الاسكندرية	٣٣٢	شمال غرب	الغردقة	٣٢٩	شمال غرب
سيوة	٣٥٩	شمال	الطور	٣٣٠	شمال غرب
القاهرة	٣٥٦	شمال	الداخلة	٣٢٦	شمال غرب
السويس	٣٤٤	شمال	أسوان	٣١٨	شمال غرب
الفرافرة	٣٢٣	شمال غرب	راس بناس	٣٥١	شمال

المصدر : من اعداد الباحث

- **اتجاه هبوب الرياح السطحية.**

- تهب معظم الرياح السطحية على كافة جهات مصر من الاتجاه الشمالي الغربي ثم الاتجاه الشمالي ، بزوايا تنحصر بين ٣٠٢درجة في محطة أسيوط و ٣٥٩درجة في محطة سيوة .
- تسمح زوايا هبوب الرياح التي تهب على شبكة الكهرباء الموحدة بخفض درجة حرارة الموصلات ، فالموصلات تمتد محاورها باتجاه شرقي- غربي خاصة في دلتا النيل ، ومن ثم يصنع اتجاه الرياح زاوية تتراوح بين ٤٠ الى ٦٠درجة مع محاور الموصلات ، وخير مثال على ذلك خطوط الموصلات التي تمتد موازية لساحل البحرالمتوسط من محافظة كفرالشيخ شرقاً حتى محافظة الاسكندرية ومنها الى محافظة مطروح غرباً .

- تمتد معظم محاور الموصلات في وادي النيل اما باتجاه شمالي - جنوبي كما هو الحال في محافظات أسوان الأقصر والمنيا ، أو اتجاه شمالي غربي- جنوبي شرقي كما هو الحال في محافظتي سوهاج و أسيوط ، مما يقلل الزاوية التي تصنعها الرياح مع محاور الموصلات ، لتتراوح بين ٥الى ٣٠ درجة ، مما يحد من قدرة الرياح على تبريد الموصلات حتى لو كانت سرعتها كبيرة.

خامساً: التباين الزمني والمكاني لدرجة حرارة الموصلات الكهربائية.

من خلال الدراسة التحليلية لملحق (٦،٥) وشكل(١٣، ١٤) يمكن استخلاص الحقائق التالية :

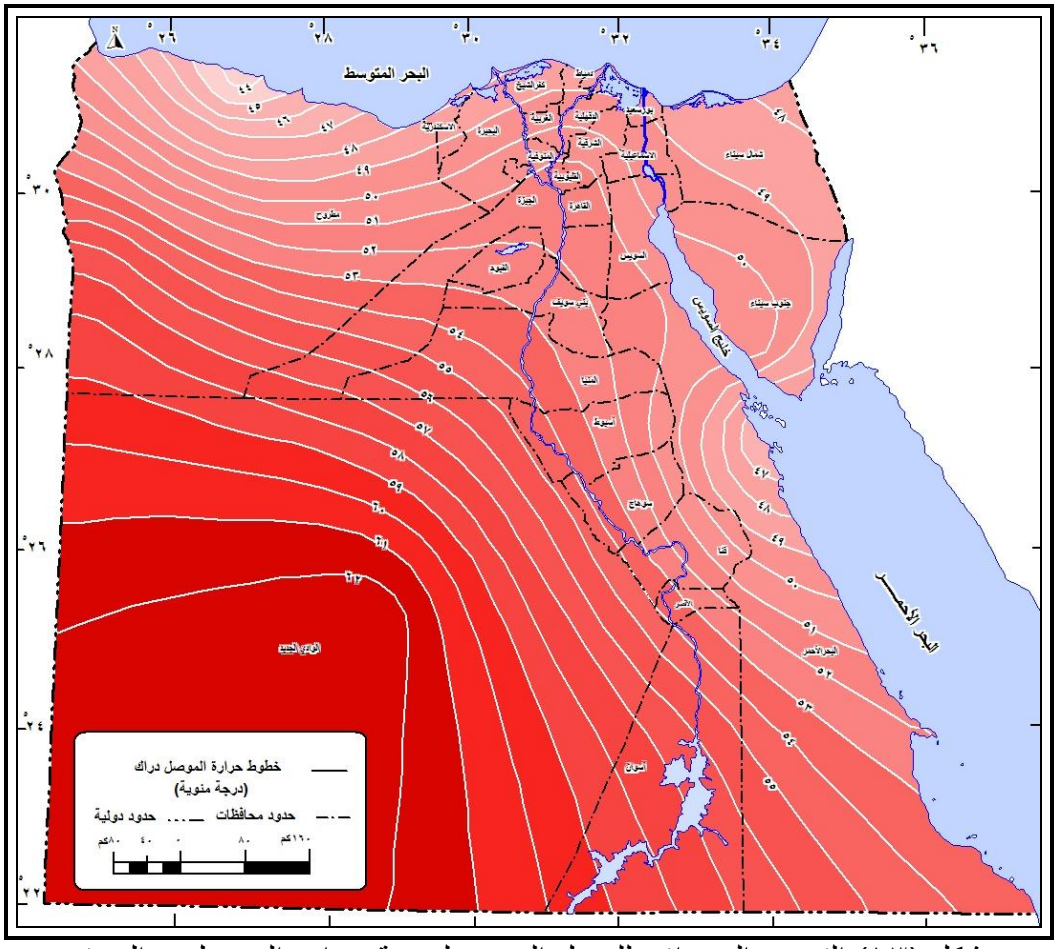
١- يتسم التوزيع الشهري لدرجة حرارة الموصلات بجهات مصر بالتذبذب ؛ فبحساب الانحراف المعياري لدرجة حرارة الموصلين دراك و أربتوس بمواقع محطات الأرصاد الجوية ، تبين أنه لا ينخفض في أي منها عن ٤.٣ درجة مئوية (محطة الطور) ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٨.٥% و٨.٢% للموصلين على الترتيب في المحطة ذاتها ، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في محطة سيوة ؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ٨.٥ درجة مئوية لكلا الموصلين ، بينما بلغت نسبة الاختلاف ١٤.٥% و ١٤.٨% للموصلين على الترتيب.

٢- تتفاوت الاختلافات المكانية لدرجة حرارة الموصلات الكهربائية خلال كل شهر من شهور السنة على حده ، فبحساب الانحراف المعياري لدرجة حرارة الموصلين دراك و أربتوس بمواقع محطات الأرصاد الجوية كل شهر على حده ، تبين أنه يصل لأعلى مستوي له خلال شهر يوليو حيث بلغ ٦.٦ و ٦.٨ درجة مئوية للموصلين على الترتيب ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف تبلغ نحو ١١% لكلا الموصلين ، بينما بلغ الانحراف المعياري للمعدل ذاته أدنى مستوى له في شهر نوفمبر حيث بلغ ٤.٩ و ٥.٢ درجة مئوية للموصلين على الترتيب ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ٩.٧% و ١٠% للموصلين على الترتيب.

٣- ترتفع المعدلات الشهرية لدرجة حرارة الموصلين دراك و أربتوس إبان شهر أغسطس لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام ، كما هو الحال في محطة الداخلة بجنوبي مصر ، حيث بلغ المعدل ٧٠.٤ و ٧٢.٣ درجة مئوية للموصلين على الترتيب ، بينما انخفضت المعدلات ذاتها إبان شهر يناير لتصل إلى أدنى مستوى شهري لها خلال العام ، كما هو الحال في محطة مرسى مطروح بشمالي غرب مصر ، حيث بلغ المعدل ٣٣.٩ و ٣٤.٩ درجة مئوية للموصلين على الترتيب.

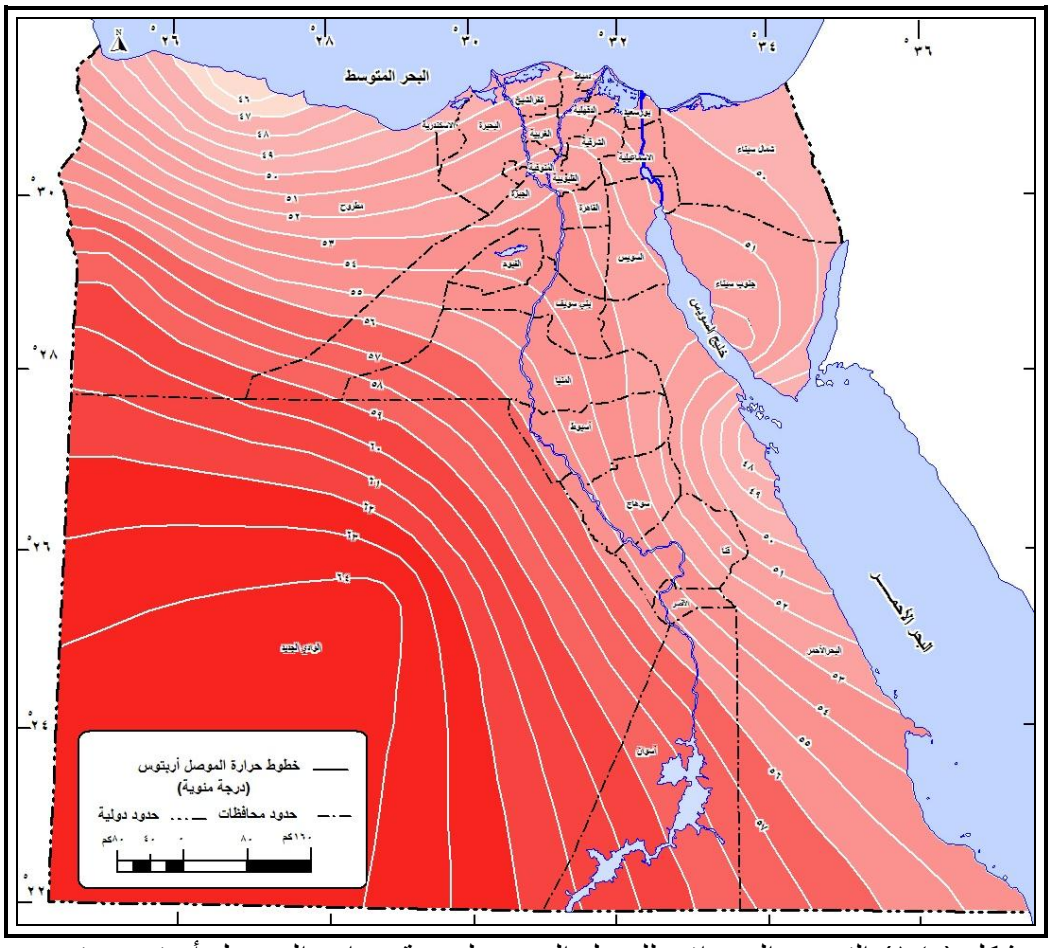
٤- ترتفع المعدلات الفصلية لدرجة حرارة الموصلات الكهربائية خلال فصل الصيف لتصل إلى أعلى معدل فصلي لها خلال العام ، كما هو الحال في محطة الداخلة بجنوبي مصر حيث بلغ المعدل الفصلي للموصلين دراك و أربتوس ٦٩.٢ و ٧١ درجة مئوية على الترتيب ، بينما تنخفض المعدلات نفسها خلال

فصل الشتاء لتصل إلى أدنى مستوى خلال العام ، كما هو الحال في محطة مرسى مطروح بشمالي غرب مصر، حيث بلغ المعدل ٣٤.٩ و ٣٥.٩ درجة مئوية للموصلين على الترتيب.



شكل (١٣) التوزيع الجغرافي للمعدل السنوي لدرجة حرارة الموصل دراك في مصر.

٥- تنخفض المعدلات السنوية لدرجة حرارة الموصلات الكهربائية بالاتجاه من جنوبي غرب مصر صوب الجهات الساحلية في الشمال والشرق ؛ فقد بلغ المعدل ٤٣.٤ و ٤٤.٥ درجة مئوية للموصلين دراك و أربتوس على الترتيب بمحطة مرسى مطروح على ساحل البحر المتوسط بشمالي غرب مصر ، و بلغ المعدل ذاته ٤٥.٢ و ٤٦.٢ درجة مئوية للموصلين نفسهما على الترتيب بمحطة الغردقة على ساحل البحر الأحمر شرقي مصر، مقارنة بالمعدل ذاته بمحطة الداخلة بجنوبي غرب مصر ، الذي بلغ ٦٢.٥ و٦٤.٤ درجة مئوية للموصلين على الترتيب .



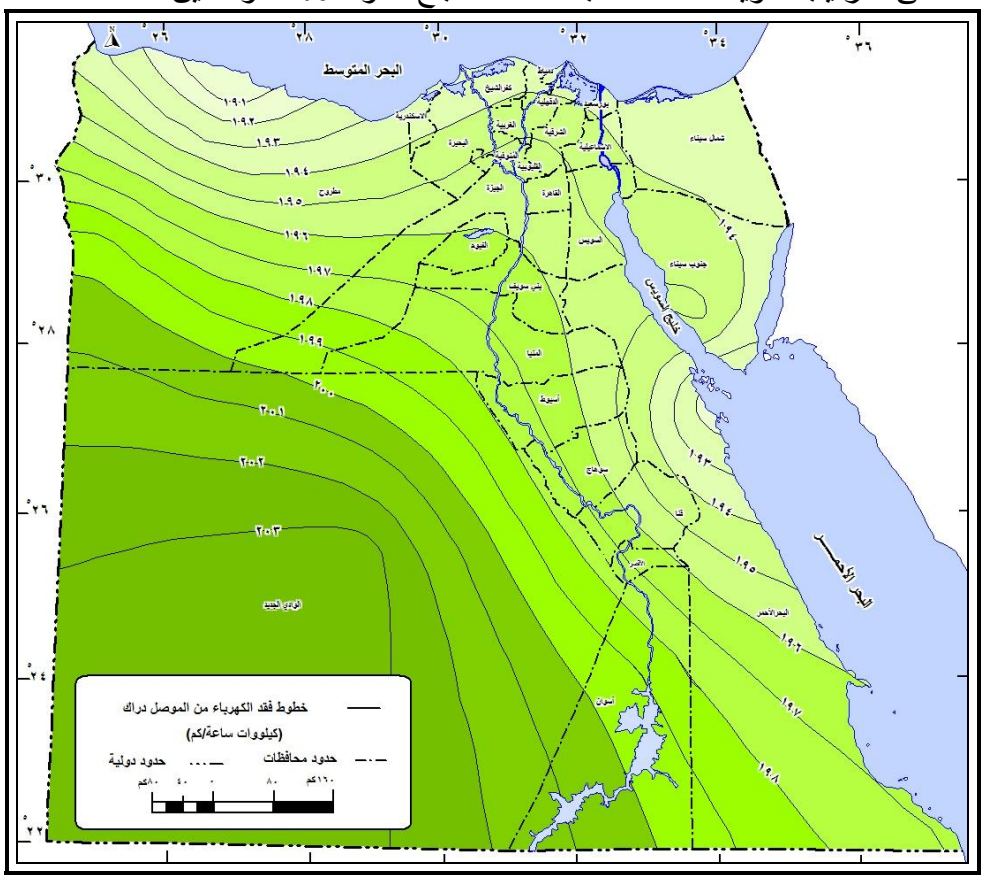
شكل (١٤) التوزيع الجغرافي للمعدل السنوي لدرجة حرارة الموصل أربتوس في مصر.

سادساً: التباين الزمني والمكاني لفاقد النقل في الشبكة المصرية الموحدة.

من خلال الدراسة التحليلية لملحق(٩ ، ١٠) وشكل (١٥،١٦) يمكن استخلاص الحقائق التالية :

١-يتسم التوزيع الشهري لفقد التيار الكهربائي عبر الموصل دراك و أربتوس بجهات مصر بالتذبذب البسيط ؛ فبحساب الانحراف المعياري لفقد التيار الكهربائي المار عبر دائرة مفردة ثلاثية الأوجه بمواقع محطات الأرصاد الجوية ، تبين أنه لا ينخفض في أي منها عن ٣.١ كيلووات ساعة /كيلومتر(محطة الطور) ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف قدرها ١.٦% للموصلين في المحطة نفسها ، بينما وصل التفاوت الشهري لحدوده القصوى في محطة سيوة ؛ حيث بلغ الانحراف المعياري ٦و ٦.٣ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين على الترتيب ، بينما بلغت نسبة الاختلاف ٣% للموصلين في المحطة ذاتها.

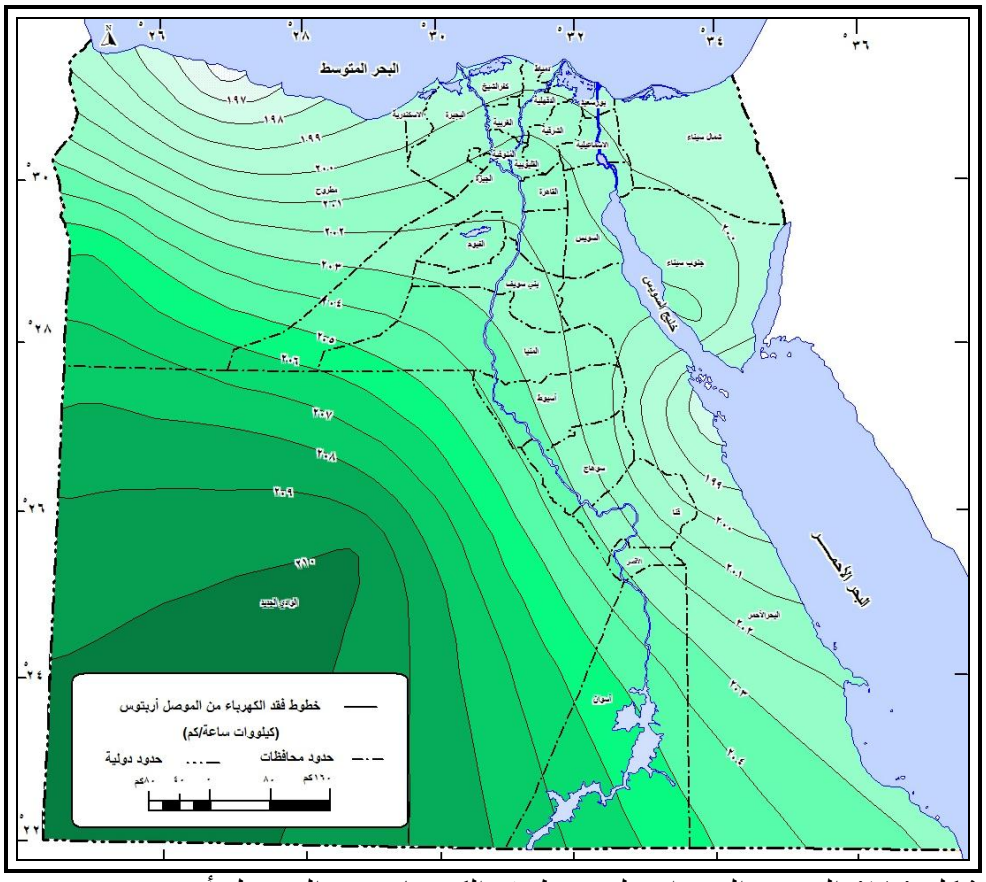
٢- تتفاوت الاختلافات المكانية لفقد التيار الكهربائي عبر الموصل دراك و أربتوس خلال كل شهر من شهور السنة على حده ، فبحساب الانحراف المعياري للمعدلات الشهرية لفقد التيار الكهربائي بمواقع محطات الأرصاد الجوية كل شهر على حده ، تبين أنه يصل لأعلى مستوي له خلال شهر يوليو ، حيث بلغ ٤.٦ و ٥ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين على الترتيب ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف تبلغ نحو ٢.٣% للموصلين ، بينما بلغ الانحراف المعياري للمعدل ذاته أدنى مستوى له في شهر نوفمبر ، حيث بلغ ٣.٥ و ٣.٨ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين على الترتيب ، ويشكل ذلك نسبة اختلاف تبلغ نحو ٢% للموصلين.



شكل (١٥) التوزيع الجغرافي لمتوسط فقد الكهرباء عبر الموصل دراك في مصر .

٣- ترتفع المعدلات الشهرية لفقد التيار الكهربائي عبر الموصل دراك و أربتوس إبان شهر أغسطس لتصل إلى أعلى معدل شهري لها خلال العام ، كما هو الحال في محطة الداخلة بجنوبي مصر ، حيث بلغ المعدل ٢٠٩.٢ و ٢١٥.٨ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين على الترتيب ، بينما انخفضت المعدلات ذاتها إبان شهر يناير لتصل إلى أدنى مستوى شهري لها خلال العام ، كما هو الحال في محطة مرسى مطروح بشمالي غرب مصر ، حيث بلغ المعدل ١٨٣ و ١٨٨ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين على الترتيب.

٤- ترتفع المعدلات الفصلية لفقد التيار الكهربائي عبر الموصل دراك و أربتوس خلال فصل الصيف لتصل إلى أعلى معدل فصلي لها خلال العام ، كما هو الحال في محطة الداخلة بجنوبي مصر حيث بلغ المعدل الفصلي للموصلين دراك و أربتوس ٢٠٨.٣و ٢١٤.٩ كيلووات ساعة /كيلومتر على الترتيب ، بينما تنخفض المعدلات نفسها خلال فصل الشتاء لتصل إلى أدنى مستوى خلال العام ، كما هو الحال في محطة مرسى مطروح بشمالي غرب مصر، حيث بلغ المعدل ١٨٣.٨ و ١٨٩.٣ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين على الترتيب.



شكل (١٦) التوزيع الجغرافي لمتوسط فقد الكهرباء عبر الموصل أربتوس في مصر .

٥- تنخفض المعدلات السنوية لفقد التيار الكهربائي عبر الموصل دراك و أربتوس بالاتجاه من جنوبي غرب مصر صوب الجهات الساحلية في الشمال والشرق ؛ فقد بلغ المعدل ١٨٩.٨ و ١٩٥.٥ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين دراك و أربتوس على الترتيب بمحطة مرسى مطروح على ساحل البحر المتوسط بشمالي غرب مصر ، و بلغ المعدل ذاته ١٩١.١و ١٩٦.٨ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين نفسهما على الترتيب بمحطة الغردقة على ساحل البحرالأحمر شرقي

مصر، مقارنة بالمعدل ذاته بمحطة الداخلة بجنوبي غرب مصر ، الذي بلغ ٢٠٣.٥و٢١٠.١ كيلووات ساعة /كيلومتر للموصلين على الترتيب .

سابعاً: تصنيف شهور السنة تبعاً لكفاءة الموصلات الكهربائية.

يتباين مستوى كفاءة الموصلات الكهربائية في مصر خلال شهور السنة ، و الذي يتمثل في تباين قيم فقد الكهرباء أثناء عملية النقل ؛ والتي ترجع بدورها إلى تباين قيم الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء و الرياح السطحية ، ويمكن تقسيم شهور السنة وفقاً لمستوى أداء الموصلات الى الفئات التالية :

١- شهور تنخفض كفاءة الموصلات فيها عن المعدل العام .

تتمثل في شهور: مايو ويونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر وأكتوبر ، يرتفع متوسط الفقد الكهربائي للموصلات في هذه الشهور في أغلبية جهات مصر ليزيد عن ٢٠٠كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل دراك ، و ٢٠٧كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل أربتوس ، ويرجع ذلك الى ارتفاع درجة حرارة الموصلات ، نتيجة لارتفاع درجة حرارة الهواء و ارتفاع كمية الاشعاع الشمسي الذي تتعرض له الموصلات في تلك الشهور .

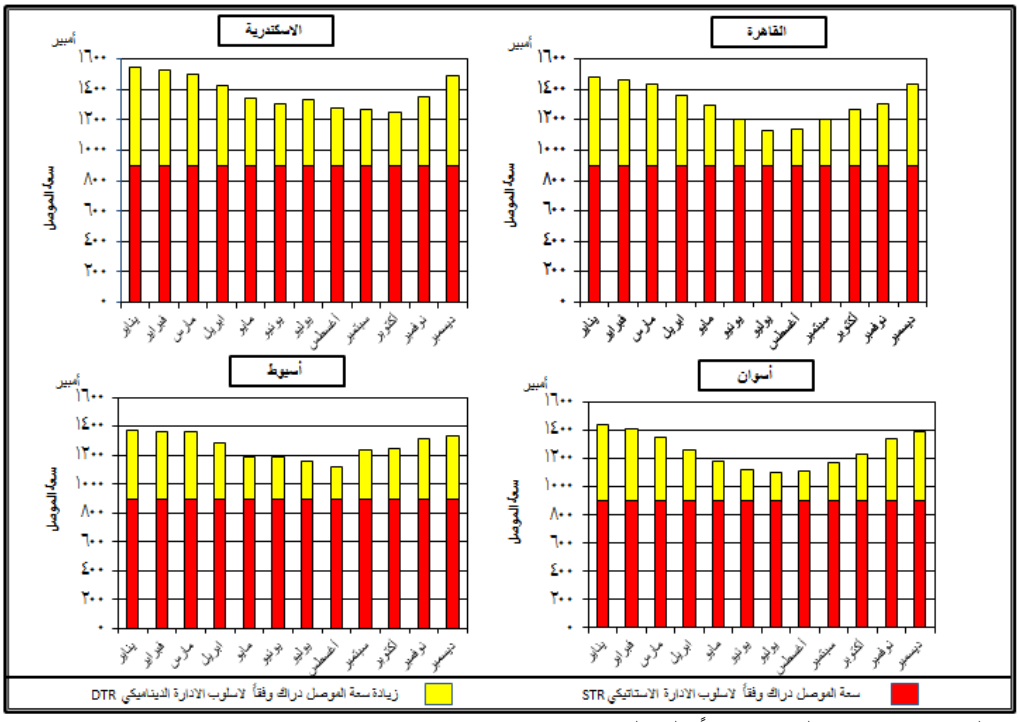
٢- شهور تكاد تتساوى كفاءة الموصلات فيها مع المعدل العام .

تتمثل في شهور: مارس و نوفمبر وابريل ، يتراوح متوسط الفقد الكهربائي للموصلات في هذه الشهور في أغلبية جهات مصر بين ١٩٣- ٢٠٠كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل دراك ، وبين ١٩٨- ٢٠٧كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل أربتوس ، ويرجع ذلك الى الانخفاض التدريجي في كمية الاشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء التي تتعرض لها الموصلات مقارنة بشهور الفئة السابقة ، الا ان الموصلات تتعرض في شهري مارس وابريل الى مشكلة تراكم ذرات الرمال والاتربة على العوازل ، مما يسمح بتكون ظاهرة الوميض السطحي فيتسرب التيار الى الابراج ومنها الى سطح الارض ، ومن ثم يهدد سلامة العوازل ويؤدي الى تدميرها.

٣- شهور ترتفع كفاءة الموصلات فيها عن المعدل العام .

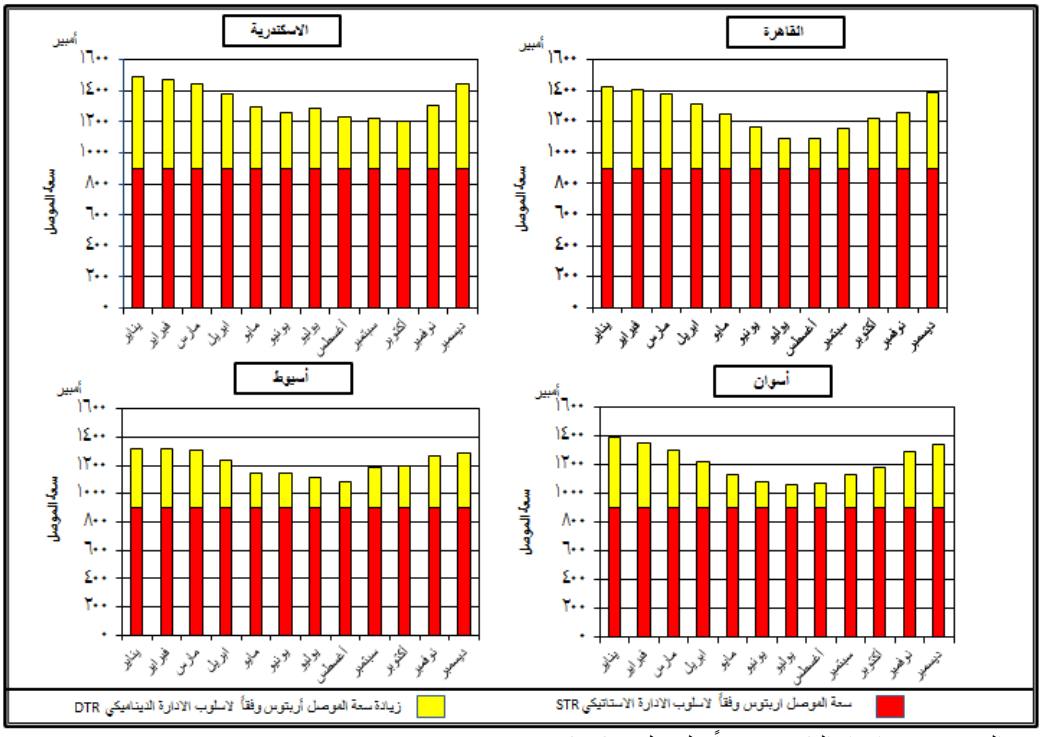
تتمثل في شهور: يناير وفبراير وديسمبر ، ينخفض متوسط الفقد الكهربائي للموصلات في هذه الشهور في أغلبية جهات مصر ليقل عن ١٩٣كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل دراك ، وعن ١٩٨كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل أربتوس ، ويرجع ذلك الى انخفاض درجة حرارة الموصلات ، بسبب انخفاض درجة حرارة الهواء وانخفاض كمية الاشعاع الشمسي الذي تتعرض له الموصلات في تلك الشهور ، بالإضافة الى التأثير التبريدي للرياح على الموصلات ، كما تسهم الأمطار التي تسقط على مصر في هذه الشهور وبخاصة سواحل البحرالمتوسط على غسيل الموصلات و تنقيتها من الملوثات المتمثلة في ذرات الرمال والاتربة والاملاح أو الرماد المتطاير من مداخن المصانع ، مما يقلص فرص تسرب التيار الكهربائي بفعل ظاهرة الوميض السطحي.

يمكن استغلال ارتفاع مستوى كفاءة النقل في كثير من شهور العام وبخاصة شهور فصل الشتاء في زيادة سعة الموصلات ، ومن ثم يمكن نقل كمية أكبر من الكهرباء والتغلب على مشكلة زيادة الاحمال على الشبكة ، من خلال اتباع الاسلوب الديناميكي في ادارة الخطوط ، ويشير شكل (١٨،١٧) الى الحدود القصوى لسعة الموصلات في ظروف المناخ الفعلية ببعض جهات مصر مقارنه بالسعة التصميمية للموصلات ، ومنها يتضح انه يمكن زيادة سعة الخطوط في كافة شهور السنة بنسب متفاوتة ، وبخاصة خلال شهور فصل الشتاء نتيجة لانخفاض درجة حرارة الموصلات وانخفاض متوسط الفقد خلالها ، فالموصل دراك على سبيل المثال يمكن زيادة سعته خلال شهر يناير في الاسكندرية و القاهرة و اسيوط واسوان بنحو ٦٤٩ و ٥٧٧ و ٤٧١ و٥٤١ أمبير عن السعة التصميمية (٩٠٠أمبير) على الترتيب ، والموصل أربتوس يمكن زيادة سعته خلال الشهر ذاته بنحو ٥٩٢ و ٥٢٢ و ٤٢٠ و٤٨٧ أمبير عن السعة التصميمية (٩٠٠أمبير) في المحطات نفسها على الترتيب .



المصدر : من اعداد الباحث معتمداً على ملحق (١١)

شكل (١٧) الحدود القصوى لسعة الموصلات في ظروف المناخ الفعلية ببعض جهات مصر مقارنه بالسعة التصميمية للموصل دراك .



المصدر : من اعداد الباحث معتمداً على ملحق (١١)

شكل (١٨) الحدود القصوى لسعة الموصلات في ظروف المناخ الفعلية ببعض جهات مصر مقارنه بالسعة التصميمية للموصل أربتوس .

ثامناً : تصنيف مصر تبعاً لمستوى كفاءة نقل الكهرباء.

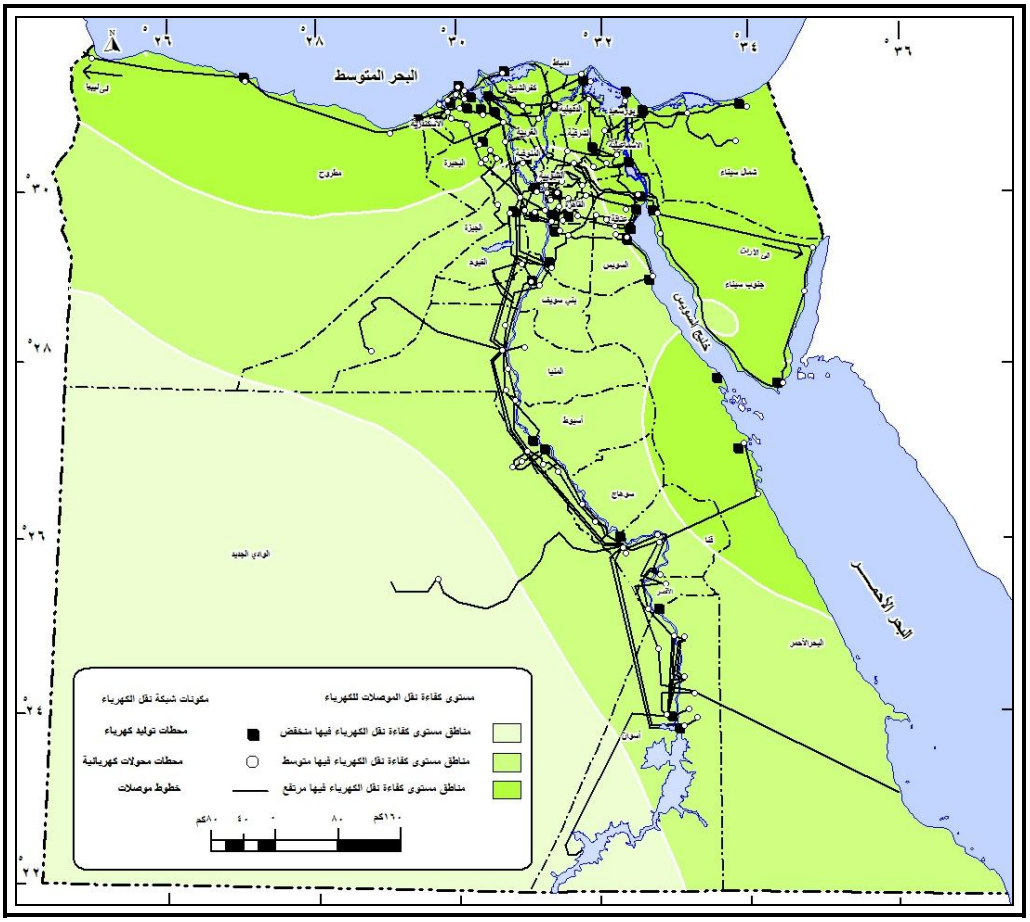
من خلال الدراسة التحليلية لشكل (١٩) يمكن تقسيم مصر وفقاً لمستوى كفاءة نقل الموصلات للكهرباء إلى النطاقات التالية :

١- مناطق مستوى كفاءة نقل الكهرباء فيها مرتفع.

تقع هذه المناطق في الجهات المتاخمة لساحل البحر المتوسط بشمالي مصر و ساحل البحر الأحمر شرقاً ، ويبلغ إجمالي مساحتها ١٨٧ألف كيلومتر مربع ، وتمتد داخل الحدود الإدارية لمحافظات : شمال سيناء و جنوب سيناء و بورسعيد و الإسماعيلية و دمياط والدقهلية و الشرقية و كفرالشيخ والغربية والبحيرة والإسكندرية والقطاع الشمالي من محافظة مطروح والشرقي من محافظة البحر الأحمر، وتضم العديد من محطات توليد الكهرباء الكبرى مثل محطات :البرلس وطلخا والشباب وأبوسلطان و أبوقير.

تنخفض قيمة الفقد الكهربائي من الموصلات في هذه المناطق لأدنى مستوى لها مقارنة بباقي جهات مصر ؛ حيث يقل الفقد في الموصل دراك و أربتوس عن ١٩٥و ٢٠١كيلووات ساعة /كيلومتر على الترتيب ، ويرجع ذلك الى انخفاض درجة حرارة الموصلات لأدنى مستوى لها مقارنة بباقي جهات مصر ، نتيجة لانخفاض قيم الإشعاع الشمسي الكلي وانخفاض كثافته مقارنة بباقي جهات مصر

، علاوة على ارتفاع قدرة الرياح على تبريد الموصلات نتيجة لسرعتها وتعامدها على محاور امتداد الموصلات ، والتي تمتد بصفة عامة من الشرق صوب الغرب في هذا النطاق .



شكل (١٩) التباين المكاني لمستوى كفاءة نقل الكهرباء في مصر .

على الرغم من انخفاض معدل فقد الكهرباء في هذه المناطق ، مقارنة بباقي جهات مصر، الا ان الموصلات تتعرض لبعض المشكلات ، حيث تتسبب الرياح السريعة الى جانب تأثيرها الايجابي في تبريد الموصلات في اهتزازها ، مما يترتب عليه تقارب موصلات الدائرة الواحدة أو احتكاكها ، ويترتب على ذلك نسبة فاقد في الكهرباء عن طريق ظاهرة التقاربية (proximity effect) ، وزيادة الاجهادات الميكانيكية للعوازل ، كما يزداد معدل الفقد نتيجة ظاهرة التفريغ الهالي بفعل الرياح السريعة ، ولتلافي هذه التأثيرات السلبية يتم تركيب بعض المكونات الاضافية لخطوط النقل ، والتي تتمثل في خامد الاهتزاز ومثبت المسافة (spacer) وبخاصة في الخطوط المزدوجة ، كما تنتشر نوعية الموصلات المدعومة بقلب من الفولاذ في هذه المناطق ، لقدرتها على تحمل قوة ضغط الرياح.

٢- مناطق مستوى كفاءة نقل الكهرباء فيها متوسط .

تقع هذه المناطق إلى الجنوب والغرب من المناطق السابقة ، ويبلغ إجمالي مساحتها ٣٩٦.٥ ألف كيلومتر مربع ، وتمتد داخل الحدود الإدارية لمحافظات: المنوفية والقليوبية والقاهرة والجيزة والفيوم و بني سويف و المنيا و أسيوط وسوهاج و الأقصر وقنا ، والقطاع الغربي من محافظة البحرالأحمر و الشرقي من محافظة الوادي الجديد والقطاع الجنوبي من محافظة مطروح ، واجزاء من محافظة البحيرة والسويس ، وتضم العديد من محطات توليد الكهرباء الكبرى مثل محطات : شبرا وغرب القاهرة ٦و أكتوبر و العاصمة الادارية الجديدة والتبين والكريمات علاوة المحطات الكهرومائية مثل محطة :السد العالي وخزان اسوان واسنا ونجع حمادي وأسيوط .

ترتفع قيمة الفقد الكهربائي من الموصلات في هذه المناطق مقارنة بالمناطق السابقة ؛ حيث يتراوح الفقد في الموصل دراك بين ١٩٥و ٢٠٠ كيلووات ساعة /كيلومتر ، بينما يتراوح الفقد في الموصل أربتوس بين٢٠١و٢٠٦ كيلووات ساعة /كيلومتر ، ويرجع ذلك الى الارتفاع النسبي في درجة حرارة الموصلات ، نتيجة لارتفاع قيم الإشعاع الشمسي الكلي وارتفاع كثافته مقارنة بالنطاق السابق ، علاوة على انخفاض قدرة الرياح على تبريد الموصلات نتيجة لانخفاض سرعتها وعدم تعامدها على معظم محاور امتداد الموصلات ، حيث تمتد بصفة عامة من الشمال صوب الجنوب في هذا النطاق .

تتعرض الموصلات في هذه المناطق الى مشكلة انهيار العوازل بسبب ظاهرة الوميض السطحي ، فالرياح غالباً ما تهب على الموصلات وهي محملة بالرمال و الأتربة أو الأبخرة وعوادم المصانع ، وبخاصة خلال شهور فصل الربيع ، فتتراكم فوق العوازل مكونه وسط جيد التوصيل للكهرباء عندما يمتزج ببخار الماء من الهواء ، فتتسبب في تسرب الكهرباء عبر الابراج وانهيار العوازل ، لذا يجب الحرص على القيام بأعمال الصيانة وتنظيف العوازل بالمياه الخالية من الشوائب والاملاح بصورة دورية ، والتي تستخدم فيها الطائرات المروحية (من طراز هل) في خطوط الجهود الفائقة ، كما تستخدم عوازل خاصة تصنع من مادة الزجاج على هيئة سلاسل يصل طولها الى ٣٨طبقة ، كما هو الحال في خط الجهد الفائق ٥٠٠كيلوفولت الواصل بين كفر الزيات و بسوس و أبو زعبل .

١- مناطق مستوى كفاءة نقل الكهرباء فيها منخفض.

تقع هذه المناطق في الأطراف الجنوبية الغربية لمصر ، ويبلغ إجمالي مساحتها ٤١٣.٤ ألف كيلومتر مربع ، وتمتد داخل الحدود الإدارية لمحافظات : أسوان و الوادي الجديد ومطروح ، لا توجد في هذه المناطق أي محطات توليد متصلة بالشبكة الموحدة ، وانما يجري انشاء محطات توليد كهروضوئية مثل محطات: درب الاربعين و أبومنقار والفرافرة ، ويوجد بها خط موصلات واحد يربط بين نجع حمادي والخارجة.

ترتفع قيمة الفقد الكهربائي من الموصلات في هذه المناطق مقارنة بباقي جهات مصر ؛ حيث يصل الفقد في الموصل دراك و الموصل أربتوس الي ٢٠٤ و ٢١٠ كيلووات ساعة /كيلومتر على الترتيب ، ويرجع ذلك الى الارتفاع الكبير في درجة حرارة الموصلات ، والتي تصل في الخارجة للموصلين دراك و أربتوس الى ٧٠.٤ و ٧٢.٣ درجة مئوية على الترتيب خلال شهر أغسطس ، نتيجة لارتفاع قيم الإشعاع الشمسي الكلي وارتفاع كثافته ، علاوة على ارتفاع درجات حرارة الهواء وانخفاض سرعة الرياح مقارنة بباقي جهات مصر .

تعتبر هذه المناطق من المناطق الواعدة لإقامة مشروعات لتوليد كهرباء نظيفة و متجددة في مصر، من خلال تحويل أشعة الشمس إلي طاقة حرارية عن طريق المجمعات الحرارية الشمسية solar thermal collector ، حيث تستغل طاقة الاشعاع الشمسي الحرارية في تشغيل تربينات بخارية لتوليد الكهرباء بطريقة غير مباشرة ، ولربط هذه المشروعات بالشبكة الموحدة للاستفادة من فائض الانتاج لابد أن تراعى الضوابط المناخية في تصميم جميع مكونات الخطوط وادارتها ، وفي اجراء أعمال الصيانة الدورية و اصلاح الاعطال.

النتائج والتوصيات :

أولاً النتائج :

خلص الباحث من خلال الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها :

١- حقق قطاع الكهرباء المصري نمواً ملحوظاً خلال الآونة الاخيرة (٢٠٠٨-٢٠١٧م)، وتمثلت أهم مؤشرات النمو في ارتفاع اجمالي الطاقة المولدة بنسبة ٤٤.٧% ، وازدياد أطوال خطوط نقل الكهرباء بنسبة ١٢.٩% وخطوط التوزيع بنسبة ٢٤.٨% .

٢- بلغت نسبة فقد الكهرباء في الشبكة المصرية الموحدة نحو ١٨٢٣٠٠ جيجاوات ساعة ، ويشكل ذلك ١٧% من اجمالي الطاقة التي تم ضخها عبر الشبكة عام ٢٠١٧م .

٣- يتسبب الاشعاع الشمسي الكثيف الذي تستقبله الموصلات الكهربائية في مصر، علاوة على درجة حرارة الهواء الذي تتعرض لها في رفع درجة حرارتها ، ويفسر ذلك الارتباط الطردي القوي الذي يربط بين كمية الاشعاع الشمسي و كثافته ودرجة حرارة الهواء العظمي كمتغيرات مستقلة ودرجة حرارة الموصلات (دراك و أربتوس) كمتغير تابع .

٤- للرياح أوجه متعددة في التأثير على مستوى كفاءة نقل الكهرباء ، ويتراوح تأثيرها بين: التأثير الايجابي من خلال قدرة الرياح المتعامدة على محاور الموصلات على خفض درجة حرارتها ، و التأثير السلبي و الذي يتمثل في اهتزاز الموصلات وارتفاع نسبة فقد الكهرباء من خلال ظاهرة الوميض السطحي و التفريغ الهالي .

٥- تؤدي زيادة الإشعاع الشمسي الكلي وارتفاع كثافته ، علاوة على ارتفاع درجة حرارة الهواء بالاتجاه من شمالي مصر نحو جنوبها ، إلى رفع درجة حرارة الموصلات الكهربائية لمعدلات تفوق درجة الحرارة القياسية ، فقد بلغ المعدل

٤٣.٤ و ٤٤.٥ درجة مئوية للموصلين دراك و أربتوس على الترتيب بمحطة مرسى مطروح على ساحل البحر المتوسط بشمالي غرب مصر ،مقارنة بالمعدل ذاته بمحطة الداخلة بجنوبي غرب مصر ، الذي بلغ ٦٢.٥ و٦٤.٤ درجة مئوية للموصلين على الترتيب .

٦- يرتفع مستوي كفاءة نقل الكهرباء في خطوط شبكة الكهرباء المصرية الواقعة في الجهات المتاخمة لساحل البحر المتوسط بشمالي مصر و ساحل البحر الأحمر شرقاً ، ويبلغ إجمالي مساحة تلك المناطق ١٨٧ألف كيلومتر مربع ، وتمتد داخل الحدود الإدارية لمحافظات : شمال سيناء و جنوب سيناء و بورسعيد و الإسماعيلية و دمياط والدقهلية و الشرقية و كفرالشيخ والغربية والبحيرة والإسكندرية والقطاع الشمالي من محافظة مطروح والشرقي من محافظة البحرالأحمر، و تنخفض قيمة الفقد الكهربائي في هذه المناطق لأدنى مستوى لها مقارنة بباقي جهات مصر ؛ حيث يقل الفقد في الموصل دراك و أربتوس عن ١٩٥و ٢٠١كيلووات ساعة /كيلومتر على الترتيب .

٧- ينخفض مستوي كفاءة نقل الكهرباء في خطوط شبكة الكهرباء المصرية الواقعة في الجهات الجنوبية الغربية لمصر ، ويبلغ إجمالي مساحتها ٤١٣.٤ ألف كيلومتر مربع ، وتمتد داخل الحدود الإدارية لمحافظات : أسوان و الوادي الجديد ومطروح ، ترتفع قيمة الفقد الكهربائي في هذه المناطق مقارنة بباقي جهات مصر ؛ حيث يصل الفقد في الموصل دراك و الموصل أربتوس الي ٢٠٤ و ٢١٠ كيلووات ساعة /كيلومتر على الترتيب .

٨-يزداد التأثير السلبي لعناصر المناخ على مستوى أداء الموصلات الكهربائية خلال شهور: مايو ويونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر وأكتوبر ، حيث يرتفع متوسط الفقد الكهربائي للموصلات في هذه الشهور في أغلبية جهات مصر ليزيد عن ٢٠٠كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل دراك ، و ٢٠٧كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل أربتوس.

٩- يقل التأثير السلبي لعناصر المناخ على مستوى أداء الموصلات الكهربائية خلال شهور: يناير وفبراير وديسمبر ، حيث ينخفض متوسط الفقد الكهربائي للموصلات في هذه الشهور في أغلبية جهات مصر ليقل عن ١٩٣كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل دراك ، وعن ١٩٨كيلووات ساعة/كيلومتر في الموصل أربتوس .

ثانياً التوصيات :

١-ضرورة اتباع الاسلوب الديناميكي (Dynamic thermal rating –DTR) في ادارة منظومة نقل الكهرباء ، والحرص على وضع منظومة اجهزة لمراقبة ومتابعة درجة حرارة الخطوط وحرارة الهواء المحيط بها وسرعة الرياح وكمية الاشعاع الشمسي (Real-time monitoring systems – RTM) ، والتحكم في سعة الخطوط وفقاً لقيم التغير في درجات الحرارة.

٢-الحرص على انتقاء نوعية موصلات التي تتسم بمواصفات تلائم ظروف المناخ السائدة ، كأن يتم استخدام الموصلات المصنوعة من جدائل الألمونيوم المقوى بقلب

من الفولاذ (ACSR) والتي تتسم بالمتانة في الجهات الساحلية ، والتي تتعرض لرياح سريعة كما هو الحال في شمالي وشرقي مصر .

٣- زيادة سعة الخطوط في كافة شهور السنة بنسب متفاوتة ، وبخاصة خلال شهور فصل الشتاء نتيجة لانخفاض درجة حرارة الموصلات وانخفاض متوسط الفقد خلالها ، فالموصل دراك على سبيل المثال يمكن زيادة سعته خلال شهر يناير في الاسكندرية و القاهرة و اسيوط واسوان بنحو ٦٤٩ و ٥٧٧ و ٤٧١ و٥٤١ أمبير عن السعة التصميمية (٩٠٠أمبير) على الترتيب ، والموصل أربتوس يمكن زيادة سعته خلال الشهر ذاته بنحو ٥٩٢ و ٥٢٢ و ٤٢٠ و٤٨٧ أمبير عن السعة التصميمية (٩٠٠أمبير) في المحطات نفسها على الترتيب .

٤- الحرص على تركيب موانع اهتزاز (stock bridge damper) على الموصلات لتقليل الاهتزازات الميكانيكية التي تحدث بفعل الرياح ، و تركيب مثبت المسافة (spacer) على الدوائر التي تحتوي على أكثر من موصل لضمان عدم تقارب الموصلات أو احتكاكها معاً ، في الجهات القريبة من ساحلي البحر المتوسط والأحمر.

٥- الحرص على اجراء صيانة دورية للعازلات و تنظيفها من الرمال و الاملاح التي تلتصق بها وبخاصة خلال شهور فصلي الربيع والخريف ، وتغطيتها بمادة (Rtv) والتي تكسب العازلات سطح غير مائي أملس يقلل من الفقد الكهربائي الذي يحدث من خلال ظاهرة الوميض السطحي (flashover).

٦- ضرورة متابعة سرعة الرياح خلال فترات اجراء الصيانة الدورية لخطوط نقل الكهرباء ، وبخاصة عند استخدام الطائرات المروحية في اعمال صيانة خطوط الجهود الفائقة ، واتباع اجراءات الأمن والسلامة تجنباً لوقوع الحوادث .

٧- عند التوسع في انشاء خطوط نقل كهرباء في المناطق التي ترتفع فيها درجة حرارة الموصلات (جنوب وغرب مصر) ، من الضروري ان يتم مراعاة اتجاهات هبوب الرياح الدائمة ، بحيث تصنع زاوية تقترب بقدر الامكان من الزاوية القائمة مع محاور امتداد الموصلات ، بهدف زيادة التأثير التبريدي للرياح على حرارة الموصل .

٨- ضرورة استبدال العازلات الموجودة في الخطوط التي تمر بالمناطق الصحراوية ، بعازلات من النوع الزجاجي (aerodynamic insulator) ، نظراً لصعوبة التصاق الرمال والملوثات بها ، وسهولة اكتشاف الشروخ والكسور التي تحدث لها بالعين المجردة .

قائمة الملاحق :

ملحق (١) المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية للإشعاع الشمسي الكلي الذي يستقبله سطح الموصلات بمواقع محطات منطقة الدراسة

(كيلووات ساعة/ متر مربع /اليوم)

المحطة / الشهر	مرسى مطروح	الإسكندرية	سيوة	القاهرة	السويس	الفرافرة	أسيوط	الغردقة	الطور	الداخلة	أسوان	رأس بناس
يناير	٢.٧	٣.٢	٣.٥	٣.٢	٣.٢	٣.٩	٣.٥	٣.٩	٤.٢	٤	٤.٣	٤.٥
فبراير	٣.٢	٤.١	٤.٦	٣.٩	٤.٢	٥	٤.٦	٥	٥.٣	٥	٥.٣	٥.٤
مارس	٥	٥.٦	٥.٦	٥.١	٥.٦	٦.١	٦	٦.١	٦.٤	٦	٦.٣	٦.٢
ابريل	٦.٢	٦.٩	٦.٨	٦.٣	٦.٨	٧.١	٧	٧.١	٧.٢	٦.٨	٧.٢	٦.٩
مايو	٧.١	٧.٨	٧.٦	٧	٧.٥	٧.٨	٧.٥	٧.٨	٧.٦	٧.٤	٧.٤	٧.١
يونيو	٧.٩	٨.٥	٨.٤	٧.٧	٨.١	٨.٥	٨.٢	٨.٥	٨.٣	٨.١	٧.٩	٧.٥
يوليو	٧.٨	٨.٤	٨.٢	٧.٣	٧.٩	٨.٢	٨	٨.٢	٨.١	٧.٨	٧.٧	٧.٢
أغسطس	٧.١	٧.٧	٧.٥	٦.٨	٧.٣	٧.٧	٧.٥	٧.٧	٧.٦	٧.٣	٧.٢	٦.٦
سبتمبر	٥.٩	٦.٦	٦.٥	٥.٩	٦.٣	٦.٨	٦.٦	٦.٨	٦.٨	٦.٥	٦.٧	٦.١
أكتوبر	٤.٣	٥	٥.٢	٤.٥	٤.٨	٥.٧	٥.٢	٥.٧	٥.٦	٥.٥	٥.٥	٥.٢
نوفمبر	٣.١	٣.٦	٣.٩	٣.٥	٣.٦	٤.٢	٣.٨	٤.٢	٤.٥	٤.٣	٤.٧	٤.٥
ديسمبر	٢.٥	٢.٩	٣.٢	٣	٣	٣.٥	٣.١	٣.٥	٤	٣.٧	٤	٤.١
الشتاء	٢.٨	٣.٤	٣.٨	٣.٤	٣.٥	٤.١	٣.٧	٤.١	٤.٥	٤.٢	٤.٥	٤.٧
الربيع	٦.١	٦.٨	٦.٧	٦.١	٦.٦	٧	٦.٨	٧	٧.١	٦.٧	٧	٦.٧
الصيف	٧.٦	٨.١	٨	٧.٣	٧.٨	٨.١	٧.٩	٨.١	٨	٧.٧	٧.٦	٧.١
الخريف	٤.٤	٥.١	٥.٢	٤.٦	٤.٩	٥.٦	٥.٢	٥.٦	٥.٦	٥.٤	٥.٦	٥.٣
السنوي	٥.٢	٥.٩	٥.٩	٥.٤	٥.٧	٦.٢	٥.٩	٦.٢	٦.٣	٦	٦.٢	٥.٩

المصدر: من اعداد الباحث اعتماداً على :

NASA surface meteorology and solar Energy ,available on line at http:// www. Eosweb.larc.nasa.gov

ملحق (٢) كثافة الإشعاع الشمسي في منتصف كل شهر عند بعض دوائر العرض الرئيسة في مصر

الشهر	دائرة عرض التعامد	٢٢°	٢٤°	٢٦°	٢٨°	٣٠°	٣١°
		الكثافة %	كثافة %	كثافة %	كثافة %	كثافة %	كثافة %
يناير	٢١.٧° جنوباً	٧٢.٣	٦٩.٨	٦٧.٣	٦٤.٧	٦١.٩	٦٠.٦
فبراير	١٣.٣° جنوباً	٨١.٦	٧٩.٥	٧٧.٤	٧٥.١	٧٢.٨	٧١.٦
مارس	٢.٨° جنوباً	٩٠.٨	٨٩.٣	٨٧.٦	٨٥.٩	٨٤	٨٣.١
ابريل	٩.٤° شمالاً	٩٧.٩	٩٦.٨	٩٥.٨	٩٤.٨	٩٣.٦	٩٢.٩
مايو	١٨.٨° شمالاً	٩٩.٨	٩٩.٦	٩٩.٢	٩٨.٧	٩٨	٩٧.٧
يونيو	٢٣.٣° شمالاً	٩٩.٩	٩٩.٩	٩٩.٨	٩٩.٧	٩٩.٣	٩٩.١
يوليو	٢١.٥° شمالاً	١٠٠	٩٩.٩	٩٩.٧	٩٩.٤	٩٨.٩	٩٨.٦
أغسطس	١٣.٨° شمالاً	٩٩	٩٨.٤	٩٧.٧	٩٦.٩	٩٦	٩٥.٥
سبتمبر	٢.٢° شمالاً	٩٤.١	٩٢.٨	٩١.٥	٩٠	٨٨.٥	٨٧.٦
أكتوبر	٩.٦° جنوباً	٨٥.٢	٨٣.٣	٨١.٣	٧٩.٢	٧٧.١	٧٥.٩
نوفمبر	١٩.١° جنوباً	٧٥.٤	٧٣	٧٠.٦	٦٨.١	٦٥.٥	٦٤.١
ديسمبر	٢٣.٣° جنوباً	٧٠.٣	٦٧.٨	٦٥.٢	٦٢.٥	٥٩.٨	٥٨.٤
المتوسط السنوي		٨٨.٨	٨٧.٥	٨٦.١	٨٤.٦	٨٢.٩	٨٢.١

المصدر: من اعداد الباحث اعتماداً على معادلة حساب الكثافة (Sin (A)×100)

ملحق (٣) المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية لدرجة حرارة الهواء العظمى بمحطات منطقة الدراسة خلال المدة من ١٩٧٠- ٢٠٠٥ م

(درجة مئوية)

المحطة / الشهر	مرسى مطروح	الإسكندرية	سيوة	القاهرة	السويس	الفرافرة	أسيوط	الغردقة	الطور	الداخلة	أسوان	رأس بناس
يناير	١٨	١٨.٤	١٩.٦	١٩	١٩.٢	٢٠.٤	٢٠.٦	٢١	٢١.١	٢١.٤	٢٣.٥	٢٤.٨
فبراير	١٨.٨	١٩.٣	٢١.٨	٢٠.٧	٢١.٤	٢٢.٧	٢٢.٧	٢١.٦	٢١.٧	٢٣.٨	٢٦.٢	٢٦.١
مارس	٢٠.٤	٢١.٣	٢٥.١	٢٣.٩	٢٣.٤	٢٦.٥	٢٦.٥	٢٣.٨	٢٤.٢	٢٧.٨	٣٠.٥	٢٨.٦
ابريل	٢٢.٧	٢٣.٥	٢٩.٨	٢٨.٣	٢٨.١	٣١.٤	٣١.٨	٢٦.٧	٢٧.٩	٣٢.٨	٣٥.٣	٣٢
مايو	٢٥.٤	٢٦.٦	٣٤.١	٣٢.١	٣١	٣٤.٥	٣٥.٨	٣٠	٣٠.٧	٣٦.٧	٣٨.٧	٣٥.٤
يونيو	٢٨.١	٢٨.٦	٣٧.٣	٣٤.٧	٣٣.٧	٣٧.٦	٣٨	٣٢.٢	٣٣.٥	٣٨.٧	٤١.٨	٣٨.٤
يوليو	٢٩.١	٢٩.٧	٣٧.٧	٣٤.٩	٣٤.٥	٣٧.٣	٣٦.٧	٣٣	٣٤.٦	٣٨.٤	٤١.٤	٣٨.٤
أغسطس	٢٩.٧	٣٠.٦	٣٧.٥	٣٤.٣	٣٤.٦	٣٧.٣	٣٦.٦	٣٣.١	٣٤.٨	٣٨.٤	٤١	٣٨.٨
سبتمبر	٢٨.٦	٢٩.٦	٣٤.٩	٣٢.٥	٣١.٨	٣٤.٩	٣٤.٨	٣١.٢	٣٢.٦	٣٥.٧	٣٩.٥	٣٧.٢
أكتوبر	٢٦.٩	٢٧.٦	٣١.٣	٢٩.٨	٢٩.٢	٣١.٣	٣١.٥	٢٩.١	٢٩.٦	٣٢.٣	٣٦.٤	٣٤.١
نوفمبر	٢٣.٢	٢٤.٢	٢٥.٩	٢٥	٢٤.٦	٢٥.٧	٢٦.٤	٢٥.٩	٢٦.٦	٢٧.٤	٢٩.٨	٢٩.٤
ديسمبر	١٩.٥	٢٠.٣	٢١.١	٢٠.٥	٢٠.٣	٢١.٢	٢٢	٢٢.٥	٢٢.٥	٢٣	٢٥	٢٦.١
الشتاء	١٨.٨	١٩.٣	٢٠.٨	٢٠.١	٢٠.٣	٢١.٤	٢١.٨	٢١.٧	٢١.٨	٢٢.٧	٢٤.٩	٢٥.٧
الربيع	٢٢.٨	٢٣.٨	٢٩.٧	٢٨.١	٢٧.٥	٣٠.٨	٣١.٤	٢٦.٨	٢٧.٦	٣٢.٤	٣٤.٨	٣٢
الصيف	٢٩	٢٩.٦	٣٧.٥	٣٤.٦	٣٤.٣	٣٧.٤	٣٧.١	٣٢.٨	٣٤.٣	٣٨.٥	٤١.٤	٣٨.٥
الخريف	٢٦.٢	٢٧.١	٣٠.٧	٢٩.١	٢٨.٥	٣٠.٦	٣٠.٩	٢٨.٧	٢٩.٦	٣١.٨	٣٥.٢	٣٣.٦
السنوي	٢٤.٢	٢٥.٠	٢٩.٧	٢٨	٢٧.٧	٣٠.١	٣٠.٣	٢٧.٥	٢٨.٣	٣١.٤	٣٤.١	٣٢.٤

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، بيانات غير منشورة للمدة من ١٩٧٠ – ٢٠٠٥ م

ملحق (٤) المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية لسرعة الرياح بمحطات منطقة الدراسة خلال المدة من ١٩٧٠- ٢٠٠٥ م

(متر/الثانية)

المحطة / الشهر	مرسى مطروح	الإسكندرية	سيوة	القاهرة	السويس	الغرافرة	أسيوط	الغردقة	الطور	الداخلة	أسوان	رأس بناس
يناير	٥.٩	٤.٣	٢.٩	٣.٨	٢.٩	٢.١	٣.٢	٥.٦	٣.٩	١.٨	٤	٤.٦
فبراير	٥.٩	٤.٣	٣.٢	٤	٣.٤	٢.٥	٣.٥	٦.١	٣.٤	٢.١	٤.٢	٤.٧
مارس	٦.١	٤.٥	٣.٨	٤.٣	٤.٢	٢.٨	٤.١	٦.٤	٣.٩	٢.٥	٤.٥	٥.٢
ابريل	٥.٦	٤.٢	٣.٩	٤.٤	٤.٥	٣	٤.٣	٦.٢	٤.٢	٢.٦	٤.٦	٥.٤
مايو	٤.٨	٣.٩	٣.٤	٤.٤	٤.٧	٣.١	٤.١	٦.٦	٤.٦	٣	٤.٤	٦.١
يونيو	٥	٣.٩	٣.١	٤	٤.٦	٣.٢	٤.٥	٧.١	٥.٥	٣.١	٤.٥	٦.٩
يوليو	٥.١	٤.٣	٣	٣.٣	٥.٢	٢.٨	٣.٩	٦.٥	٤.٩	٢.٦	٤.١	٥.١
أغسطس	٤.٦	٣.٩	٢.٦	٣.٢	٤.٧	٢.٧	٣.٥	٦.٥	٤.٩	٢.٥	٤.١	٥.٣
سبتمبر	٤.٣	٣.٥	٢.٤	٣.٤	٥.٢	٢.٩	٤.٢	٦.٨	٥	٢.٨	٤.٣	٦.٢
أكتوبر	٤.٢	٣	٢.٢	٣.٥	٤.٤	٢.٥	٣.٦	٥.٦	٣.١	٢.٤	٤.١	٤.٧
نوفمبر	٤.٦	٣.٣	٢	٣.١	٣.٧	٢.٣	٣.٤	٥.١	٢.٧	٢.١	٤	٤.٩
ديسمبر	٥.٧	٤	٢.٥	٣.٦	٣.١	١.٩	٣	٥.٤	٢.٩	١.٧	٣.٩	٤.٥
الشتاء	٥.٨	٤.٢	٢.٩	٣.٨	٣.١	٢.٢	٣.٢	٥.٧	٣.٤	١.٩	٤.٠	٤.٦
الربيع	٥.٥	٤.٢	٣.٧	٤.٤	٤.٥	٣	٤.٢	٦.٤	٤.٢	٢.٧	٤.٥	٥.٦
الصيف	٤.٩	٤.٠	٢.٩	٣.٥	٤.٨	٢.٩	٤	٦.٧	٥.١	٢.٧	٤.٢	٥.٨
الخريف	٤.٤	٣.٣	٢.٢	٣.٣	٤.٤	٢.٦	٣.٧	٥.٨	٣.٦	٢.٤	٤.١	٥.٣
السنوي	٥.٢	٣.٩	٢.٩	٣.٨	٤.٢	٢.٧	٣.٨	٦.٢	٤.١	٢.٤	٤.٢	٥.٣

المصدر: الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، بيانات غير منشورة للمدة من ١٩٧٠ – ٢٠٠٥ م

ملحق (٥) المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية لدرجة حرارة الموصل دراك بمواقع محطات منطقة الدراسة .

(درجة مئوية)

المحطة / الشهر	مرسى مطروح	الإسكندرية	سيوة	القاهرة	السويس	الفرافرة	أسيوط	الغردقة	الطور	الداخلة	أسوان	رأس بناس
يناير	٣٣.٩	٣٧.٦	٤٤.٣	٤٠.١	٤٣.٧	٥٠.٩	٤٤.٧	٣٧.٩	٤٢	٥٥	٤٣.٩	٤٤.٣
فبراير	٣٥.٤	٣٩.٤	٤٦.٢	٤٢.٢	٤٤.٩	٥١.٦	٤٦.٧	٣٨.٣	٤٥.٤	٥٦	٤٧.١	٤٦.٢
مارس	٣٧.٥	٤١.٩	٤٨.٣	٤٥.٦	٤٥.١	٥٤.٩	٤٩.٥	٤٠.٨	٤٧.١	٥٨.٣	٥١.٧	٤٨.٣
ابريل	٤١.٥	٤٥.٩	٥٣.٧	٥٠.٧	٤٩.٩	٥٩.٧	٥٥.١	٤٤.٧	٥٠.٧	٦٣.٨	٥٧.٢	٥٢
مايو	٤٦.٥	٥٠.٦	٦٠.٦	٥٥	٥٢.٧	٦٢.٨	٦٠.٣	٤٧.٧	٥٢.٧	٦٥.٧	٦١.٧	٥٤.٣
يونيو	٤٩	٥٢.٨	٦٥.٥	٥٩.١	٥٥.٩	٦٥.٦	٦١.٣	٤٩.٢	٥٣.٥	٦٧.٣	٦٤.٨	٥٦.١
يوليو	٤٩.٧	٥٢.٥	٦٦.٤	٦٢.٢	٥٥.١	٦٧.٥	٦٢	٥١	٥٦	٧٠	٦٥.٢	٥٩.٦
أغسطس	٥١.٤	٥٤.٥	٦٨.٢	٦١.٧	٥٦.٢	٦٧.٨	٦٣.٢	٥٠.٩	٥٦	٧٠.٤	٦٤.٨	٥٩.٣
سبتمبر	٥٠.٤	٥٤.٢	٦٦	٥٨.١	٥١.٤	٦٣.٣	٥٨	٤٨	٥٢.٨	٦٤.٨	٦١.٩	٥٥.٤
أكتوبر	٤٧.٩	٥٣.٢	٦٢.٤	٥٣.٧	٤٩.٨	٦٠.٨	٥٥.٧	٤٧.١	٥٥.٢	٦٢.٧	٥٨.٢	٥٤.٧
نوفمبر	٤٢	٤٧.١	٥٧	٤٩.٢	٤٦.٢	٥٥	٥٠.١	٤٤	٥٣	٥٨.٦	٥٠.٦	٤٨.٥
ديسمبر	٣٥.٥	٤٠.١	٤٧.٧	٤٢	٤٣.٦	٥٣	٤٦.٨	٤٢.٧	٤٧.١	٥٧.٣	٤٥.٨	٤٥.٧
الشتاء	٣٤.٩	٣٩	٤٦.١	٤١.٤	٤٤.١	٥١.٨	٤٦.١	٣٩.٦	٤٤.٨	٥٦.١	٤٥.٦	٤٥.٤
الربيع	٤١.٨	٤٦.١	٥٤.٢	٥٠.٤	٤٩.٢	٥٩.١	٥٥	٤٤.٤	٥٠.٢	٦٢.٦	٥٦.٩	٥١.٥
الصيف	٥٠	٥٣.٣	٦٦.٧	٦١	٥٥.٧	٦٧	٦٢.٢	٥٠.٤	٥٥.٢	٦٩.٢	٦٤.٩	٥٨.٣
الخريف	٤٦.٨	٥١.٥	٦١.٨	٥٣.٧	٤٩.١	٥٩.٧	٥٤.٦	٤٦.٤	٥٣.٧	٦٢	٥٦.٩	٥٢.٩
السنوي	٤٣.٤	٤٧.٥	٥٧.٢	٥١.٦	٤٩.٥	٥٩.٤	٥٤.٥	٤٥.٢	٥١	٦٢.٥	٥٦.١	٥٢

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على معادلة التوازن الحراري باستخدام برنامج حساب درجة حرارة الموصلات Ratekit

ملحق (٦)المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية لدرجة حرارة الموصل اربوتوس بمواقع محطات منطقة الدراسة

(درجة مئوية)

المحطة / الشهر	مرسى مطروح	الإسكندرية	سيوة	القاهرة	السويس	الفرافرة	أسيوط	الغردقة	الطور	الداخلة	أسوان	رأس بناس
يناير	٣٤.٩	٣٨.٩	٤٥.٩	٤١.٤	٤٥.٤	٥٢.٩	٤٦.٣	٣٨.٩	٤٣.٣	٥٧.٣	٤٥.٣	٤٥.٥
فبراير	٣٦.٤	٤٠.٧	٤٧.٨	٤٣.٥	٤٦.٣	٥٣.٤	٤٨.٢	٣٩.٣	٤٦.٩	٥٨.١	٤٨.٤	٤٧.٤
مارس	٣٨.٥	٤٣.١	٤٩.٧	٤٦.٨	٤٦.٤	٥٦.٥	٥٠.٨	٤١.٧	٤٨.٤	٦٠.١	٥٣	٤٩.٤
ابريل	٤٢.٥	٤٧.١	٥٥	٥١.٩	٥١.١	٦١.٤	٥٦.٤	٤٥.٧	٥٢	٦٥.٦	٥٨.٥	٥٣
مايو	٤٧.٧	٥١.٩	٦٢	٥٦.٣	٥٣.٩	٦٤.٤	٦١.٦	٤٨.٦	٥٣.٩	٦٧.٤	٦٣	٥٥.٣
يونيو	٥٠.١	٥٤.١	٦٧.١	٦٠.٥	٥٧.١	٦٧.٢	٦٢.٦	٥٠.٢	٥٤.٥	٦٩	٦٦	٥٧
يوليو	٥٠.٨	٥٣.٨	٦٨	٦٣.٨	٥٦.٢	٦٩.٢	٦٣.٤	٥٢	٥٧.٢	٧١.٨	٦٦.٦	٦٠.٧
أغسطس	٥٢.٦	٥٥.٨	٧٠.١	٦٣.٣	٥٧.٤	٦٩.٦	٦٤.٧	٥١.٩	٥٧.٢	٧٢.٣	٦٦.٢	٦٠.٥
سبتمبر	٥١.٦	٥٥.٧	٦٧.٩	٥٩.٦	٥٢.٥	٦٥	٥٩.٣	٤٨.٩	٥٤	٦٦.٦	٦٣.٢	٥٦.٤
أكتوبر	٤٩.٢	٥٤.٨	٦٤.٤	٥٥.٢	٥١.١	٦٢.٦	٥٧.٢	٤٨.٢	٥٦.٨	٦٤.٦	٥٩.٦	٥٥.٩
نوفمبر	٤٣.٢	٤٨.٧	٥٩.٢	٥٠.٩	٤٧.٦	٥٧	٥١.٦	٤٥.٢	٥٤.٨	٦٠.٧	٥٢	٤٩.٦
ديسمبر	٣٦.٥	٤١.٥	٤٩.٥	٤٣.٤	٤٥.١	٥٥.٢	٤٨.٤	٤٣.٨	٤٨.٨	٥٩.٣	٤٧.٢	٤٦.٩
الشتاء	٣٥.٩	٤٠.٤	٤٧.٧	٤٢.٨	٤٥.٦	٥٣.٨	٤٧.٦	٤٠.٧	٤٦.٣	٥٨.٢	٤٧.٠	٤٦.٦
الربيع	٤٢.٩	٤٧.٤	٥٥.٦	٥١.٧	٥٠.٥	٦٠.٨	٥٦.٣	٤٥.٣	٥١.٤	٦٤.٤	٥٨.٢	٥٢.٦
الصيف	٥١.٢	٥٤.٦	٦٨.٤	٦٢.٥	٥٦.٩	٦٨.٧	٦٣.٦	٥١.٤	٥٦.٣	٧١	٦٦.٣	٥٩.٤
الخريف	٤٨	٥٣.١	٦٣.٨	٥٥.٢	٥٠.٤	٦١.٥	٥٦	٤٧.٤	٥٥.٢	٦٤	٥٨.٣	٥٤
السنوي	٤٤.٥	٤٨.٨	٥٨.٩	٥٣.١	٥٠.٨	٦١.٢	٥٥.٩	٤٦.٢	٥٢.٣	٦٤.٤	٥٧.٤	٥٣.١

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على معادلة التوازن الحراري باستخدام برنامج حساب درجة حرارة الموصلات Ratekit

ملحق (٧) علاقة حرارة الموصل دراك بالزاوية التي يصنعها اتجاه الرياح معه بموقع محطة القاهرة

(درجة مئوية)

الزاوية / الشهر	٠	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠	٨٠	٩٠
يناير	٥٩	٥٢	٤٦.٦	٤٣.٢	٤٠.٩	٣٩.٣	٣٨.٢	٣٧.٥	٣٧.١	٣٦.٩
فبراير	٦١.٤	٥٤.٣	٤٨.٩	٤٥.٣	٤٣.١	٤١.٤	٤٠.٣	٣٩.٥	٣٩.١	٣٩
مارس	٦٤.٩	٥٧.٧	٥٢.٣	٤٨.٨	٤٦.٥	٤٤.٨	٤٣.٧	٤٢.٩	٤٢.٥	٤٢.٣
ابريل	٧٠.٤	٦٣.١	٥٧.٥	٥٣.٩	٥١.٦	٤٩.٩	٤٨.٧	٤٧.٩	٤٧.٥	٤٧.٣
مايو	٧٥	٦٧.٦	٦٢	٥٨.٣	٥٥.٩	٥٤.٢	٥٣	٥٢.٢	٥١.٨	٥١.٦
يونيو	٨٠	٧٢.٤	٦٦.٥	٦٢.٦	٦٠.١	٥٨.٣	٥٧.١	٥٦.٢	٥٥.٧	٥٥.٦
يوليو	٨٤.٨	٧٦.٦	٧٠.٣	٦٦.١	٦٣.٣	٦١.٣	٥٩.٩	٥٩	٥٨.٤	٥٨.٣
أغسطس	٨٤.٤	٧٦.٢	٦٩.٨	٦٥.٦	٦٢.٨	٦٠.٨	٥٩.٤	٥٨.٥	٥٧.٩	٥٧.٧
سبتمبر	٧٩.٦	٧١.٨	٦٥.٧	٦١.٧	٥٩.١	٥٧.٢	٥٥.٩	٥٥	٥٤.٥	٥٤.٣
أكتوبر	٧٤.١	٦٦.٦	٦٠.٩	٥٧.١	٥٤.٦	٥٢.٩	٥١.٦	٥٠.٨	٥٠.٣	٥٠.٢
نوفمبر	٧٠	٦٢.٤	٥٦.٦	٥٢.٧	٥٠.٢	٤٨.٤	٤٧.٢	٤٦.٣	٤٥.٨	٤٥.٧
ديسمبر	٦١.١	٥٤	٤٨.٦	٤٥.١	٤٢.٩	٤١.٣	٤٠.١	٣٩.٤	٣٨.٩	٣٨.٨
الشتاء	٦٠.٥	٥٣.٤	٤٨	٤٤.٥	٤٢.٣	٤٠.٧	٣٩.٥	٣٨.٨	٣٨.٤	٣٨.٢
الربيع	٧٠.١	٦٢.٨	٥٧.٣	٥٣.٧	٥١.٣	٤٩.٦	٤٨.٥	٤٧.٧	٤٧.٣	٤٧.١
الصيف	٨٣.١	٧٥.١	٦٨.٩	٦٤.٨	٦٢.١	٦٠.١	٥٨.٨	٥٧.٩	٥٧.٣	٥٧.٢
الخريف	٧٤.٦	٦٦.٩	٦١.١	٥٧.٢	٥٤.٦	٥٢.٨	٥١.٦	٥٠.٧	٥٠.٢	٥٠.١
السنوي	٧٢.١	٦٤.٦	٥٨.٨	٥٥	٥٢.٦	٥٠.٨	٤٩.٦	٤٨.٨	٤٨.٣	٤٨.١

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على معادلة التوازن الحراري باستخدام برنامج حساب درجة حرارة الموصلات Ratekit

ملحق (٨) علاقة حرارة الموصل اربتوس بالزاوية التي يصنعها اتجاه الرياح معه بموقع محطة القاهرة

(درجة مئوية)

الزاوية / الشهر	٠	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠	٨٠	٩٠
يناير	٦١.٩	٥٤.٣	٤٨.٥	٤٤.٨	٣٢.٤	٤٠.٧	٣٩.٥	٣٨.٧	٣٨.٢	٣٨.١
فبراير	٦٤.٢	٥٦.٥	٥٠.٦	٤٦.٩	٤٤.٤	٤٢.٧	٤١.٥	٤٠.٧	٤٠.٢	٤٠.١
مارس	٦٧.٦	٥٩.٨	٥٤	٥٠.٢	٤٧.٨	٤٦	٤٤.٨	٤٤	٤٣.٥	٤٣.٤
ابريل	٧٣	٦٥.٢	٥٩.٢	٥٥.٤	٥٢.٩	٥١.٢	٤٩.٨	٤٩	٤٨.٥	٤٨.٤
مايو	٧٧.٦	٦٩.٧	٦٣.٧	٥٩.٨	٥٧.٢	٥٥.٤	٥٤.٢	٥٣.٣	٥٢.٨	٥٢.٧
يونيو	٨٢.٩	٧٤.٧	٦٨.٤	٦٤.٢	٦١.٥	٥٩.٦	٥٨.٣	٥٧.٤	٥٦.٩	٥٦.٧
يوليو	٨٨	٧٩.٢	٧٢.٤	٦٧.٩	٦٤.٩	٦٢.٨	٦١.٣	٦٠.٣	٥٩.٧	٥٩.٥
أغسطس	٨٧.٦	٧٨.٨	٧١.٩	٦٧.٤	٦٤.٥	٦٢.٣	٦٠.٨	٥٩.٨	٥٩.٣	٥٩.١
سبتمبر	٨٢.٧	٧٤.٣	٦٧.٨	٦٣.٥	٦٠.٧	٥٨.٧	٥٧.٣	٥٦.٣	٥٥.٨	٥٥.٦
أكتوبر	٧٧.٢	٦٩.١	٦٢.٩	٥٨.٨	٥٦.٢	٥٤.٣	٥٣	٥٢.١	٥١.٦	٥١.٤
نوفمبر	٧٣.٣	٦٥.١	٥٨.٨	٥٤.٦	٥١.٩	٥٠	٤٨.٦	٤٧.٧	٤٧.٢	٤٧
ديسمبر	٦٤.١	٥٦.٤	٥٠.٦	٤٦.٨	٤٤.٤	٤٢.٦	٤١.٤	٤٠.٦	٤٠.١	٤٠
الشتاء	٦٣.٤	٥٥.٧	٤٩.٩	٤٦.٢	٤٠.٤	٤٢.٠	٤٠.٨	٤٠.٠	٣٩.٥	٣٩.٤
الربيع	٧٢.٧	٦٤.٩	٥٩	٥٥.١	٥٢.٦	٥٠.٩	٤٩.٦	٤٨.٨	٤٨.٣	٤٨.٢
الصيف	٨٦.٢	٧٧.٦	٧٠.٩	٦٦.٥	٦٣.٦	٦١.٦	٦٠.١	٥٩.٢	٥٨.٦	٥٨.٤
الخريف	٧٧.٧	٦٩.٥	٦٣.٢	٥٩	٥٦.٣	٥٤.٣	٥٣	٥٢.٠	٥١.٥	٥١.٣
السنوي	٧٥	٦٦.٩	٦٠.٧	٥٦.٧	٥٣.٢	٥٢.٢	٥٠.٩	٥٠.٠	٤٩.٥	٤٩.٣

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على معادلة التوازن الحراري باستخدام برنامج حساب درجة حرارة الموصلات Ratekit

ملحق (٩)المعدلات الشهرية والسنوية لفقد الكهرباء من الموصل دراك بمواقع محطات منطقة الدراسة

(كيلووات/ كم)

المحطة / الشهر	مرسى مطروح	الإسكندرية	سيوة	القاهرة	السويس	الفرافرة	أسيوط	الغردقة	الطور	الداخلة	أسوان	رأس بناس
يناير	١٨٣	١٨٥.٧	١٩٠.٥	١٨٧.٤	١٩٠	١٩٥.١	١٩٠.٨	١٨٥.٩	١٨٨.٨	١٩٨.١	١٩٠.٣	١٩٠.٥
فبراير	١٨٤.٢	١٨٧.١	١٩٢	١٨٩.١	١٩١	١٩٥.٦	١٩٢.٢	١٨٦.١	١٩١.٢	١٩٨.٨	١٩٢.٥	١٩١.٧
مارس	١٨٥.٧	١٨٨.٨	١٩٣.٤	١٩١.٥	١٩١	١٩٨.١	١٩٤.٢	١٨٨.١	١٩٢.٥	٢٠٠.٥	١٩٥.٩	١٩٣.٤
ابريل	١٨٨.٦	١٩١.٧	١٩٧.١	١٩٥.١	١٩٤.٤	٢٠١.٥	١٩٨.٣	١٩٠.٨	١٩٥.١	٢٠٤.٤	١٩٩.٨	١٩٥.٩
مايو	١٩٢	١٩٤.٩	٢٠٢.٢	١٩٨.١	١٩٦.٦	٢٠٣.٦	٢٠٢	١٩٢.٩	١٩٦.٦	٢٠٥.٨	٢٠٢.٩	١٩٧.٦
يونيو	١٩٤	١٩٦.٦	٢٠٥.٦	٢٠١	١٩٨.٨	٢٠٥.٦	٢٠٢.٧	١٩٣.٩	١٩٧.١	٢٠٧	٢٠٥.١	١٩٨.٨
يوليو	١٩٤.٤	١٩٦.٣	٢٠٦.٣	٢٠٣.٢	١٩٨.٣	٢٠٧	٢٠٣.٢	١٩٥.٤	١٩٨.٨	٢٠٨.٧	٢٠٥.٣	٢٠١.٥
أغسطس	١٩٥.٦	١٩٧.٨	٢٠٧.٥	٢٠٢.٩	١٩٩	٢٠٧.٣	٢٠٣.٩	١٩٥.١	١٩٨.٨	٢٠٩.٢	٢٠٥.١	٢٠١.٢
سبتمبر	١٩٤.٩	١٩٧.٦	٢٠٦.١	٢٠٠.٢	١٩٥.٦	٢٠٤.١	٢٠٠.٢	١٩٣.٢	١٩٦.٦	٢٠٥.١	٢٠٢.٩	١٩٨.٥
أكتوبر	١٩٢.٩	١٩٦.٨	٢٠٣.٤	١٩٧.١	١٩٤.٤	٢٠٢.٢	١٩٨.٥	١٩٢.٥	١٩٨.٣	٢٠٣.٦	٢٠٠.٥	١٩٧.٨
نوفمبر	١٨٨.٨	١٩٢.٥	١٩٩.٥	١٩٣.٩	١٩١.٧	١٩٨.١	١٩٤.٧	١٩٠.٣	١٩٦.٦	٢٠٠.٧	١٩٥.١	١٩٣.٤
ديسمبر	١٨٤.٢	١٨٧.٦	١٩٣	١٨٨.٨	١٩٠	١٩٦.٨	١٩٢.٢	١٨٩.٣	١٩٢.٥	١٩٩.٨	١٩٣.٢	١٩١.٥
الشتاء	١٨٣.٨	١٨٦.٨	١٩١.٨	١٨٨.٤	١٩٠.٤	١٩٥.٩	١٩١.٧	١٨٧.١	١٩٠.٨	١٩٨.٩	١٩٢	١٩١.٢
الربيع	١٨٨.٧	١٩١.٨	١٩٧.٦	١٩٤.٩	١٩٤	٢٠١	١٩٨.١	١٩٠.٦	١٩٤.٧	٢٠٣.٦	١٩٩.٥	١٩٥.٧
الصيف	١٩٤.٦	١٩٦.٩	٢٠٦.٥	٢٠٢.٣	١٩٨.٧	٢٠٦.٦	٢٠٣.٢	١٩٤.٨	١٩٨.٢	٢٠٨.٣	٢٠٥.٢	٢٠٠.٥
الخريف	١٩٢.٢	١٩٥.٦	٢٠٣	١٩٧.١	١٩٣.٩	٢٠١.٥	١٩٧.٨	١٩٢	١٩٧.٢	٢٠٣.٢	١٩٩.٥	١٩٦.٦
السنوي	١٨٩.٨	١٩٢.٨	١٩٩.٧	١٩٥.٧	١٩٤.٢	٢٠١.٢	١٩٧.٧	١٩١.١	١٩٥.٢	٢٠٣.٥	١٩٩	١٩٦

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على معادلة حساب الفقد ($E = 3R \times I^2$)

ملحق (١٠)المعدلات الشهرية والسنوية لفقد الكهرباء من الموصل أربوتوس بمواقع محطات منطقة الدراسة

(كيلووات/ كم)

المحطة / الشهر	مرسى مطروح	الإسكندرية	سيوة	القاهرة	السويس	الفرافرة	أسيوط	الغردقة	الطور	الداخلة	أسوان	رأس بناس
يناير	١٨٨.٦	١٩١.٥	١٩٦.٦	١٩٣.٢	١٩٦.١	٢٠١.٧	١٩٦.٨	١٩١.٥	١٩٤.٦	٢٠٤.٨	١٩٦.١	١٩٦.٣
فبراير	١٨٩.٥	١٩٢.٧	١٩٧.٨	١٩٤.٩	١٩٦.٨	٢٠١.٩	١٩٨.٣	١٩١.٧	١٩٧.٣	٢٠٥.٣	١٩٨.٣	١٩٧.٦
مارس	١٩١	١٩٤.٤	١٩٩.٣	١٩٧.٣	١٩٦.٨	٢٠٤.٤	٢٠٠.٢	١٩٣.٤	١٩٨.٣	٢٠٧	٢٠١.٧	١٩٩
ابريل	١٩٤.٢	١٩٧.٦	٢٠٣.١	٢٠١	٢٠٠.٢	٢٠٧.٨	٢٠٤.١	١٩٦.٣	٢٠١	٢١٠.٩	٢٠٥.٨	٢٠١.٧
مايو	١٩٧.٨	٢٠١	٢٠٨.٣	٢٠٤.١	٢٠٢.٤	٢١٠.٢	٢٠٨	١٩٨.٥	٢٠٢.٤	٢١٢.٤	٢٠٩	٢٠٣.٤
يونيو	١٩٩.٥	٢٠٢.٤	٢١٢.١	٢٠٧.٣	٢٠٤.٨	٢١٢.١	٢٠٨.٧	١٩٩.٧	٢٠٢.٩	٢١٣.٤	٢١١.٢	٢٠٤.٦
يوليو	٢٠٠.٢	٢٠٢.٢	٢١٢.٦	٢٠٩.٧	٢٠٤.١	٢١٣.٦	٢٠٩.٢	٢٠١	٢٠٤.٨	٢١٥.٥	٢١١.٧	٢٠٧.٣
أغسطس	٢٠١.٤	٢٠٣.٩	٢١٤.٣	٢٠٩.٢	٢٠٥.١	٢١٣.٨	٢١٠.٤	٢٠١	٢٠٤.٨	٢١٥.٨	٢١١.٤	٢٠٧.٣
سبتمبر	٢٠٠.٧	٢٠٣.٦	٢١٢.٦	٢٠٦.٦	٢٠١.٤	٢١٠.٤	٢٠٦.٣	١٩٨.٨	٢٠٢.٤	٢١١.٧	٢٠٩.٢	٢٠٤.٤
أكتوبر	١٩٩	٢٠٣.١	٢١٠.٢	٢٠٣.٤	٢٠٠.٢	٢٠٨.٧	٢٠٤.٨	١٩٨.٣	٢٠٤.٦	٢١٠.٢	٢٠٦.٦	٢٠٣.٩
نوفمبر	١٩٤.٦	١٩٨.٥	٢٠٦.٣	٢٠٠.٢	١٩٧.٨	٢٠٤.٦	٢٠٠.٧	١٩٦.١	٢٠٣.١	٢٠٧.٣	٢٠١	١٩٩.٣
ديسمبر	١٨٩.٨	١٩٣.٢	١٩٩.٣	١٩٤.٦	١٩٥.٩	٢٠٣.٤	١٩٨.٣	١٩٤.٩	١٩٨.٥	٢٠٦.٣	١٩٣.٢	١٩٧.٣
الشتاء	١٨٩.٣	١٩٢.٥	١٩٧.٩	١٩٤.٢	١٩٦.٣	٢٠٢.٣	١٩٧.٨	١٩٢.٧	١٩٦.٨	٢٠٥.٥	١٩٥.٩	١٩٧.١
الربيع	١٩٤.٣	١٩٧.٦	٢٠٣.٦	٢٠٠.٨	١٩٩.٨	٢٠٧.٤	٢٠٤.١	١٩٦.١	٢٠٠.٦	٢١٠.١	٢٠٥.٥	٢٠١.٤
الصيف	٢٠٠.٤	٢٠٢.٨	٢١٣	٢٠٨.٧	٢٠٤.٧	٢١٣.٢	٢٠٩.٥	٢٠٠.٦	٢٠٤.٢	٢١٤.٩	٢١١.٤	٢٠٦.٤
الخريف	١٩٨.١	٢٠١.٨	٢٠٩.٧	٢٠٣.٤	١٩٩.٨	٢٠٧.٩	٢٠٤	١٩٧.٧	٢٠٣.٤	٢٠٩.٧	٢٠٥.٦	٢٠٢.٥
السنوي	١٩٥.٥	١٩٨.٧	٢٠٦	٢٠١.٨	٢٠٠.٢	٢٠٧.٧	٢٠٣.٨	١٩٦.٨	٢٠١.٢	٢١٠.١	٢٠٤.٦	٢٠١.٨

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على معادلة حساب الفقد ($E = 3R \times I^2$)

ملحق (١١) التوزيع الشهري لسعة الموصلات الممكنة بمواقع محطات منطقة الدراسة

(أمبير)

المحطة / الشهر	الإسكندرية		القاهرة		أسيوط		أسوان	
	دراك	أربتوس	دراك	أربتوس	دراك	أربتوس	دراك	أربتوس
يناير	١٥٤٩	١٤٩٢	١٤٧٧	١٤٢٢	١٣٧٠	١٣٢٠	١٤٤١	١٣٨٧
فبراير	١٥٢٤	١٤٦٨	١٤٦٣	١٤٠٩	١٣٦٥	١٣١٥	١٤٠٧	١٣٥٦
مارس	١٥٠٢	١٤٤٧	١٤٣٤	١٣٨١	١٣٦١	١٣١٢	١٣٥٣	١٣٠٣
ابريل	١٤٢٦	١٣٧٤	١٣٦٢	١٣١٣	١٢٨٤	١٢٣٨	١٢٦٥	١٢١٩
مايو	١٣٤٠	١٢٩٢	١٢٩٣	١٢٤٦	١١٩٠	١١٤٧	١١٧٧	١١٣٥
يونيو	١٣٠٧	١٢٦٠	١٢٠٧	١١٦٤	١١٨٥	١١٤٢	١١٢٣	١٠٨٣
يوليو	١٣٣١	١٢٨٣	١١٣٠	١٠٩٠	١١٥٤	١١١٣	١١٠٣	١٠٦٤
أغسطس	١٢٨٠	١٢٣٤	١١٣٥	١٠٩٤	١١١٩	١٠٧٩	١١١١	١٠٧٢
سبتمبر	١٢٦٥	١٢١٩	١٢٠٠	١١٥٦	١٢٣٢	١١٨٧	١١٧١	١١٢٩
أكتوبر	١٢٥٢	١٢٠٦	١٢٧٠	١٢٢٤	١٢٤٣	١١٩٧	١٢٢٨	١١٨٣
نوفمبر	١٣٥٢	١٣٠٢	١٣٠٩	١٢٦٠	١٣١٣	١٢٦٥	١٣٤٤	١٢٩٤
ديسمبر	١٤٩٤	١٤٣٩	١٤٣٨	١٣٨٤	١٣٣١	١٢٨٢	١٣٩٢	١٣٤٠

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على معادلة التوازن الحراري باستخدام برنامج حساب درجة حرارة الموصلات Ratekit

قائمة المراجع والمصادر:

أولاً: المراجع والمصادر العربية.

١- أحمد موسى خليل ،الربط الكهربائي بين دول الوطن العربي – دراسة في جغرافية الطاقة ، المجلة الجغرافية العربية ، العدد السادس والستون ، الجمعية الجغرافية المصرية ، القاهرة ، ٢٠١٥م.

٢- البير دره ، انتشار الكهرباء في المدن المصرية ، مجلة مصر الصناعية ، القاهرة ، العدد الثامن ، ١٩٣٩م ، ص ص١١-١٣ .

٣- زينهم السيد مجد ، المعوقات الحرارية لأداء الخلايا الكهروضوئية في مصر – دراسة في المناخ التطبيقي، المجلة الجغرافية العربية ، العدد الثاني والسبعون ، ٢٠١٨م .

٤- سعيد أحمد عبده ، تطور خريطة الطاقة الكهربائية في مصر(١٨٩٢-١٩٩٢م)المجلة الجغرافية العربية ، العدد التاسع والثلاثون – الجزء الاول ، الجمعية الجغرافية المصرية ،القاهرة ، ٢٠٠٢م .

٥- ماهر عزيز ، مائة عام على الكهرباء في مصر ، مجلة الكهرباء والطاقة ،وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، العدد الثامن ، القاهرة ، ١٩٩٣م .

٦- محمد أحمد الشناوي، انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة الاسماعيلية – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية ، دكتوراه غير منشورة ، كلية الآداب – جامعة كفرالشيخ ، ٢٠١٣م .

٧- محمد أحمد مرعي ، انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة دمياط - دراسة في الجغرافيا الاقتصادية ، مجلة الانسانيات ، كلية الآداب – جامعة الاسكندرية – فرع دمنهور، العدد السابع ، ٢٠٠١م .

٨- محمد عزت الشيخ ، انتاج الكهرباء واستهلاكها في محافظة الدقهلية – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية ، ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب – جامعة طنطا ، ٢٠٠٥م .

٩- محمد محمود الديب ، الطاقة في مصر- دراسة تحليلية في اقتصاديات المكان ، مكتبة الانجلو المصرية ، القاهرة ، ١٩٩٣م .

١٠- الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، المعدلات الشهرية لبعض عناصر المناخ ، بيانات غير منشورة ، المدة من ١٩٧٠م-٢٠٠٥م.

١١- الهيئة المصرية العامة للمساحة ، خريطة مصر الطبوغرافية مقياس رسم ١:٢٠٠٠٠٠٠ ، ٢٠١٦ م .

١٢- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الادارة العامة لنظم المعلومات الجغرافية والفنية ، خريطة شبكة الكهرباء المصرية الموحدة ٢٠١٥م.

١٣ـ وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ، ٢٠١٧م .
١٤ـ وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ، ٢٠٠٩م .

ثانياً: المراجع والمصادر الأجنبية.

1- Anthony,J.,Power transmission &distribution ,second edition , Fairmont press , inc ,usa, 2005.
2- Arroyo,A,etal,comprasion between , IEEE and CIGR thermal behavior standards and measured temperature on a 132-KV overhead power line , journal of energy research,vol.(8)issue 12, MDPI ,Switzerland, 2014, available on line at http:// www. mdpi.com, accessed on , 9/8/2018 .
3- Bakshi,U., and Bakshi , M., power system-I, Technical publication , pune , india,2009 .
4- Bartos,M.,impacts of rising air temperature on electric transmission ampacity and peak electricity load in the united states , Environmental research letters ,vol.11(no.11) , iop publishing ltd, 2016 , available online at http:// www.iopscience.iop.org.
5- Bigun,A.,etal , mode and climatic factors effect on energy losses in transient heat modes of transmission lines , journal of physics : conf. series 944(2018),IOP publishing ltd, ,available on line at http:// www. Iop science.org, accessed on , 9/8/2018 .
6- CIGRE tech.Brochure,No 207,2002,available online at http:// www. E-cigre.org, accessed on , 8/7/2018.
7- Dynamic transmission line rating technology review 208478-cr-001, hydro- electric corporation ,Tasmania-Australia,2009.
8- El-hawary,M.,Electrical power systems – design and analysis ,john Wiley &sons , inc , publication , USA ,1983.
9 - Goswami,D., etal ,Principles of Solar Engineering , 2 nd Ed. ,Taylor & francis , USA , 2000.
10- Holland,H.,Transmission line-design manual, water resources

technical publication, united states department of interior water and power resources service ,Colorado ,USA, 1980.

11- Jane,E., and Walter,V.,Climate impact on Energy systems-key issues for energy sector Adaptation , world bank ,Washington, USA,2011.

12- Kotni,L.,A proposed algorithm for an overhead transmission line conductor temperature rise calculation, international transactions on electrical energy systems, john Wiley & sons ,Ltd, USA,2014.

13- Matthew,B., etal,impact of rising air temperature on electric transmission ampacity and peak electricity load in the united states ,environmental research letters , vol.11(N11), IOP publishing ltd, 2016, available on line at http:// www. Iop science.org, accessed on , 9/8/2018 .

14- Michael ,P., Fundamentals of Physical Geography , 2 nd Ed. , 1999, available online at http:// www. e-books directory .com , accessed on , 20/8/2016.

15- NASA surface meteorology and solar Energy ,available on line at http:// www. Eosweb.larc.nasa.gov, accessed on , 1/12/2016 .

16- Petrovic,I., etal, current- temperatureAnalysis of Ampacitey of overhead conductor depending on vol.(7) issue 2,2014, available on line at http:// www. Fe-um-si/en/jet.html, accessed on , 9/8/2018 .

17- Robert,F.,etal, solar Energy – Renewable energy and the Environment , Taylor & Francis Group, USA,2010.

18- Short,T.,power distribution hand book ,CRC press,USA,2014 .

19- Stephen,R.,etal,Guid for application of direct real time monitoring systems ,working group B2.36,CIGRE publication ,2010 .

20- Zhijie,Y.,etal,Analysis on ampacity of overhead transmission lines being operated, Journal of information processing systems (JIPS),vol.13,no.5,2017.

ثالثاً : قائمة مواقع الأنترنت:

1- https:// www.ar.wikipedia.org.
2- http:// www. Esrl.noaa.gov.
3- http:// www. ipcc.ch.
4- http:// www.moee.gov.eg.
5- http:// www. Usi-power-com.
6- https://www.youtube.com