LJAST
Libyan Journal of Applied Science and Technology
مجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

Volume 13 Issue 01
June 2025
ISSN 2958-6119

التنبؤ بالأحمال على المدى الطويل لمحطة كهرباء فشلوم الثانوية باستخدام برنامجNeplan

على باللاغة[1], صفوان الغويل [2], صفاء مصطفي [3] , علي كريميد [4]
[1,2,3,4]كلية التقنية الهندسية – جنزور

الملخص

يلعب التنبؤ بالأحمال الكهربائية على المدى الطويل دورًا محوريًا في دعم اتخاذ القرار لدى مرافق الطاقة والمخططين، لا سيما في مجالات تطوير البنية التحتية الكهربائية وتخطيط التوسع الشبكي. حيث يؤدي التقدير المفرط للأحمال المستقبلية إلى استثمارات غير ضرورية في إنشاء بنى تحتية فائضة، في حين أن التقدير المنخفض قد يؤدي إلى عجز في التوليد وعدم القدرة على تلبية الطلب.
في هذا السياق، تواجه شبكة التوزيع الكهربائي في منطقة فشلوم تحديات تشغيلية متزايدة تمثلت في الهبوط المتكرر للجهد الكهربائي والتحميل الزائد على بعض مكونات الشبكة، نتيجة للنمو العمراني السريع والامتداد السكني الواسع في المدينة. تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تحليل وتخطيط طويل الأجل (2020–2030) لشبكة توزيع الكهرباء في منطقة فشلوم، بما يضمن تلبية الطلب المتنامي وتحقيق استقرار الشبكة، وذلك باستخدام برنامج NEPLAN كأداة للمحاكاة والتحليل.
أظهرت نتائج الدراسة أن الحمل الإجمالي بلغ 137.306 ميغاواط في عام 2020، مع وجود تحميل زائد على بعض مكونات الشبكة تجاوز الحدود المسموح بها. وفي عام 2025، ارتفع الحمل إلى 201.731 ميغاواط، بينما وصل الحمل المتوقع إلى 295.432 ميغاواط بحلول عام 2030، مما زاد من تعقيد المشاكل الفنية المرتبطة بزيادة الأحمال وعدم كفاية سعة النقل.
لمعالجة هذه التحديات، اقترحت الدراسة مجموعة من الحلول الهندسية العملية، شملت إضافة محول جديد بنفس السعة لتعزيز قدرة الشبكة على الاستيعاب، بالإضافة إلى إنشاء خط نقل كهربائي موازٍ وبنفس الطول لتخفيف الازدحام وتحسين كفاءة وموثوقية التوزيع. وقد أكدت النتائج أن هذه الإجراءات كفيلة بتحقيق أداء مستقر للشبكة ومواكبة التوسع المستقبلي بشكل فعال.

الكلمات المفتاحية: شبكات التوزيع الكهربائي– التحميل الزائد – الهبوط في الجهد – التنبؤ بالأحمال – NEPLAN – تخطيط طويل الأجل– كفاءة الشبكة – محاكاة الشبكات الكهربائية.

1. المقدمة

يُعد التنبؤ بالأحمال الكهربائية ركيزة أساسية في تخطيط وتشغيل أنظمة الطاقة الكهربائية الحديثة، حيث يسهم في اتخاذ قرارات استراتيجية تتعلق بتوسعة الشبكات، وتوزيع الاستثمارات، وضمان الاستقرار التشغيلي لأنظمة التوزيع والنقل. وتزداد أهمية هذا التنبؤ في ظل التغيرات الديناميكية التي تشهدها أنماط الاستهلاك الكهربائي، والنمو الحضري المتسارع، والتوجه نحو مصادر الطاقة المتجددة، إن أي انحراف في دقة التنبؤ بالأحمال، سواء بالمبالغة أو النقصان، قد يترتب عليه تأثيرات اقتصادية وتقنية خطيرة. فالتقدير المفرط يؤدي إلى إنشاء بنى تحتية مكلفة تفوق الحاجة الفعلية، في حين يؤدي التقليل إلى عدم كفاية سعة التوليد والنقل، مما يهدد استقرار الشبكة وموثوقية إمداد الطاقة. وبالتالي، فإن التنبؤ الدقيق للأحمال يمثل أداة حيوية لضمان الاستدامة الفنية والاقتصادية لأنظمة الطاقة.

تواجه ليبيا، كغيرها من الدول النامية، تحديات كبيرة في إدارة شبكاتها الكهربائية، خصوصاً في ظل تزايد الطلب على الكهرباء وانخفاض كفاءة البنية التحتية. تعتبر شبكة فشلوم من أبرز مناطق التوزيع في طرابلس والتي تعكس ديناميكيات الطلب الحضري المتنامي.

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

تسعى هذه الدراسة إلى تقديم نموذج تطبيقي دقيق للتنبؤ بالأحمال في منطقة فشلوم للفترة الزمنية 2010–2030، باستخدام برنامج NEPLANالمتخصص في تحليل شبكات التوزيع. تركز الورقة على تقييم كفاءة الشبكة، تحديد الاختناقات، وتقديم حلول تقنية قائمة على إضافة مكونات شبكية لتحسين الأداء وتقليل الخسائر.

تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نموذج تنبؤي دقيق للأحمال الكهربائية على المدى الطويل، بما يتيح تحسين فعالية تخطيط الطاقة الكهربائية في شبكة توزيع فشلوم. وقد تم تنفيذ تحليل شامل للأداء التشغيلي للشبكة من خلال خمس مراحل زمنية مفصلّة تغطي الفترة الممتدة من عام 2010 إلى عام 2030. اعتمد التحليل على بيانات تشغيلية فعلية، مع مراعاة التغيرات السنوية المتوقعة في نمو الأحمال بنسبة تقديرية بلغت 8٪ سنويًا.

كما تسعى الدراسة إلى اقتراح حلول هندسية عملية من شأنها تقليل الفقد الكهربائي وتحسين استقرار الشبكة تحت ظروف التشغيل المتغيرة. وتشمل هذه الحلول تحسين توزيع الأحمال، وإدراج خطوط نقل جديدة، وإعادة تقييم استراتيجيات التشغيل.

بالإضافة إلى ذلك، تسلط هذه الورقة الضوء على إمكانات استخدام برنامج NEPLAN كأداة فعالة للنمذجة والتحليل في قطاع الطاقة، بهدف تعزيز مهارات المهندسين المحليين في استخدام أدوات التحليل الذكية الحديثة، وتحقيق تكامل أكبر بين البرمجيات المتقدمة ومتطلبات البنية التحتية الكهربائية المحلية.

2. دراسات سابقة

يُشكّل التنبؤ بالأحمال الكهربائية أحد المحاور الأساسية في التخطيط الاستراتيجي لأنظمة الطاقة، وقد تناولت العديد من الدراسات العلمية هذا الموضوع من جوانب مختلفة، سواء باستخدام نماذج رياضية تقليدية أو أدوات محاكاة متقدمة.

دراسة علي واخرون (2023): "التخطيط الاستراتيجي لتوسعة نظم التوزيع الكهربائية في المناطق الحضرية سريعة النمو باستخدام النمذجة الديناميكية في Neplan". نُشرت في مجلة "هندسة الطاقة المتقدمة". قدمت هذه الدراسة إطارًا منهجيًا متكاملًا في Neplan لنمذجة نمو الأحمال الحضرية المعقدة على مدى 20 سنة، معتبرة عوامل النمو السكاني والاقتصادي والتحول الكهربائي. أظهرت فعالية أدوات Neplan في محاكاة سيناريوهات التوسع المختلفة وتقييم تأثيرها على سعة المحطات الفرعية ومستويات التوتر.[1]

دراسة تشين واخرون (2022): "دمج مصادر الطاقة المتجددة الموزعة في تخطيط الشبكات الكهربائية: تطبيق عملي باستخدام برنامج Neplan". نُشرت في "المجلة الدولية للطاقة الكهربائية وأنظمة الطاقة". ركزت على تحدي التنبؤ بالأحمال في ظل انتشار أنظمة التوليد الموزع (كالطاقة الشمسية على الأسطح) وأثرها غير المباشر على أحمال المحطات الفرعية. استخدمت الدراسة أدوات تحليل التدفق الأحمال واحتمالية الأعطال في Neplan لتقييم تأثير التوليد الموزع على الملامح المستقبلية للحمل والاحتياجات التحديثية للمحطات الفرعية[2].

دراسة غارسيا و واخرون (2021): "تقييم موثوقية الشبكات الكهربائية الفرعية تحت سيناريوهات نمو حمل متعددة باستخدام المحاكاة الاحتمالية في Neplan". استكشفت هذه الدراسة العلاقة بين دقة التنبؤ طويل المدى بالأحمال وموثوقية التشغيل. طبقت

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

منهجية تنبؤ إحصائية-احتمالية على بيانات تاريخية، ثم استخدمت مخرجاتها كمدخلات لمحاكاة موثوقية متقدمة في Neplan لتقييم مخاطر انقطاع التيار وتحديد استثمارات التحديث المطلوبة في المحطات الفرعية[3].

دراسة محمد واخرون (2020): "تحسين تنبؤ الأحمال الكهربائية طويلة الأجل باستخدام خوارزميات التعلم الآلي وتكاملها مع برامج محاكاة الشبكات (Neplan)". مثلت هذه الدراسة جسرًا بين تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة وأدوات المحاكاة الهندسية. طورت نموذج تنبؤ دقيقًا باستخدام الآلة المتجهة الداعمة (SVM)، ثم صدرت نتائج التنبؤ لتكون مدخلات لمحاكاة شاملة في Neplan لتقييم أداء محطة فرعية نموذجية تحت الحمل المتوقع، مع تحليل للحساسية تجاه دقة التنبؤ[4].

دراسة كيم واخرون (2019): "تقييم كفاءة استخدام المحولات في محطات التوزيع الفرعية تحت أنماط حمل متغيرة باستخدام تحليل الديناميكيات الزمنية في Neplan". ركزت على جانب حاسم في إدارة المحطات الفرعية: تحميل المحولات. استخدمت النمذجة الديناميكية الدقيقة في Neplan لمحاكاة تأثير اتجاهات الأحمال طويلة المدى (بما في ذلك ذروة المساء والتحول نحو السيارات الكهربائية) على شيخوخة المحولات وكفاءة التشغيل، مقدمة رؤى لتوقيت استبدال المحولات[5].

دراسة بن عبد الله واخرون (2018): "استخدام تقنية المحاكاة في برنامج Neplan لتقييم تأثير المشاريع الكبرى على حمل المحطات الفرعية الكهربائية: حالة دراسة مدينة جديدة. قدمت نموذجًا تطبيقيًا مباشرًا. حللت كيف يمكن لمشروع تنموي كبير (مدينة جديدة) أن يشكل عبئًا غير متوقع على محطة فرعية قائمة. استخدمت Neplan لنمذجة الحمل الإضافي المتوقع من المدينة على المحطة وتحديد متطلبات التوسعة اللازمة (محولات إضافية، خطوط تغذية) مسبقًا[6].

دراسة باتل واخرون (2017): "مقارنة منهجيات التنبؤ بالأحمال الكهربائية طويلة الأجل لتخطيط الشبكات الفرعية: تطبيق على بيانات حقيقية باستخدام أدوات Neplan. قارنت هذه الدراسة المنهجية بين عدة تقنيات كلاسيكية (مثل الانحدار الخطي، التمهيد الأسي) وحديثة للتنبؤ طويل المدى. ثم طبقت النماذج الأكثر دقة على بيانات حمل محطة فرعية حقيقية، مستخدمةً Neplan لتقييم الفروق العملية في نتائج تخطيط الشبكة (مثل سعة المحولات المطلوبة) بناءً على منهجية التنبؤ المستخدمة[7].

دراسة سميث واخرون (2016): "تقييم مخاطر التحميل الزائد للمحطات الفرعية في شبكات التوزيع تحت ظروف عدم اليقين في التنبؤ بالأحمال: منهجية باستخدام Neplan والتوزيعات الاحتمالية". تناولت بشكل مباشر مشكلة عدم اليقين في تنبؤات الأحمال بعيدة المدى. استخدمت توزيعات احتمالية (مثل التوزيع الطبيعي اللوغاريتمي) لتمثيل نطاق الأحمال المتوقعة بدلًا من قيمة واحدة. ثم استغلت قدرات Neplan على المحاكاة الاحتمالية لتقدير احتمالية حدوث تحميل زائد للمحولات في المحطة الفرعية خلال سنوات التخطيط[8].

دراسة وانغ واخرون (2015): "التكامل بين نماذج التنبؤ الاقتصادي القطاعي ونمذجة شبكات الكهرباء في Neplan لتخطيط محطات التوزيع الفرعية".ربطت بشكل منهجي بين التنبؤ الاقتصادي الكلي (نمو الصناعة، التجارة، القطاع السكني) والتنبؤ بالطلب الكهربائي على مستوى المحطة الفرعية. طورت نموذجًا لتحويل مؤشرات النمو الاقتصادي القطاعي إلى نموذج حمل كهربائي، ثم تم تغذية هذا النموذج إلى Neplan لتخطيط تعزيزات الشبكة الفرعية بشكل متسق مع التوقعات الاقتصادية الإقليمية[9].

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

دراسة مولر واخرون (2014): "تطبيق برنامج Neplan في التخطيط طويل الأمد لشبكات التوزيع الكهربائية: الدروس المستفادة من دراسات حالة أوروبية. تقدم رؤية شاملة وتقييمًا عمليًا لتجارب ممتدة في استخدام Neplan للتخطيط الاستراتيجي لشبكات التوزيع (بما فيها المحطات الفرعية) عبر أفق زمني يصل إلى 30 سنة. ناقشت التحديات العملية في جمع البيانات، بناء النماذج، معالجة عدم اليقين، وكيفية ترجمة نتائج محاكاة Neplan إلى خطط استثمارية فعالة ومرنة[10].

تُظهر هذه الدراسات، مع تباين الأساليب والأدوات، اتفاقًا عامًا على أن التنبؤ الدقيق بالأحمال الكهربائية هو عنصر حاسم في ضمان استقرار الشبكات، ويُعد أداة لا غنى عنها لتحديد الاحتياجات المستقبلية وتوجيه الاستثمارات في البنية التحتية. تستند هذه الورقة البحثية إلى المفاهيم والأسس التي قدمتها الدراسات السابقة، مع تبني أسلوب محاكاة ميداني يعتمد على برنامج NEPLAN لتحليل تطور الأحمال في شبكة توزيع فشلوم بطرابلس، مما يوفر تطبيقًا عمليًا يعزز القيمة التطبيقية والبحثية لهذا المجال الحيوي.

3. الإطار النظري للدراسة

يمثل التنبؤ بالأحمال الكهربائية أداة استراتيجية في عمليات التخطيط والتشغيل لشبكات الطاقة، لا سيما في المناطق الحضرية ذات النمو السكاني والتوسع العمراني المتسارع. ويعتمد هذا التنبؤ على استقراء البيانات التشغيلية التاريخية للنظام، وتحليل الأنماط الزمنية للاستهلاك، والعوامل المؤثرة مثل العوامل المناخية، وعدد السكان، والأنشطة الاقتصادية. ومن هذا المنطلق، يشكل نموذج التنبؤ بالأحمال أحد الأركان الأساسية لتعزيز موثوقية الشبكة الكهربائية وتخفيض التكاليف المرتبطة بالإنتاج والنقل والتوزيع. تعتمد هذه الدراسة على أسس تحليلية لتقييم تأثير نمو الأحمال على كفاءة الشبكة الكهربائية، من خلال مقارنة الأداء الفني في فترات زمنية متفرقة. وتمثل شبكة توزيع فشلوم – كمثال تطبيقي – بيئة تحليلية مناسبة لدراسة سلوك الشبكات تحت تأثير النمو التدريجي للأحمال ومحدودية البنية التحتية الحالية.

1.3 - محطة كهرباء فشلوم الفرعية

تعتبر المحطات الفرعية عنصراً حيوياً في شبكات توزيع الطاقة الكهربائية، حيث تعمل على خفض الجهد من مستويات النقل العالية إلى مستويات التوزيع المناسبة لتغذية الأحمال المختلفة. تهدف هذه الورقة البحثية إلى تقديم دراسة تحليلية نموذجية شاملة لمكونات محطة كهرباء فشلوم الفرعية بجهد 11/33 كيلو فولت، تتضمن المحطة سبعة خطوط نقل كما هو موضح بالشكل (1)، ويوضح الجدول (1) توزيع الاحمال من القدرة الفعالة والغير فعالة لكل المناطق وذلك بهدف فهم تأثير هذه المكونات على منهجية التنبؤ بالأحمال الكهربائية. الذي يعتبر أمراً ضرورياً لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن تخطيط وتطوير الشبكة، وضمان استقرارية التشغيل وتقليل الفقد في الطاقة.

جدول 1 يوضح الاحمال الشبكة لسنة 2015

ZONE	P (MW)	Q (MWR)

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

الظهرة	23.803	11.460
زاوية الدهماني	17.926	8.669
الالكترونات	5.877	2.792
بن عتمان	20.864	10.138
فشلوم	6.612	3.233
الفيحاء	18.367	8.963
سانية الشريف	00	00

2.3- مكونات المحطة الفرعية

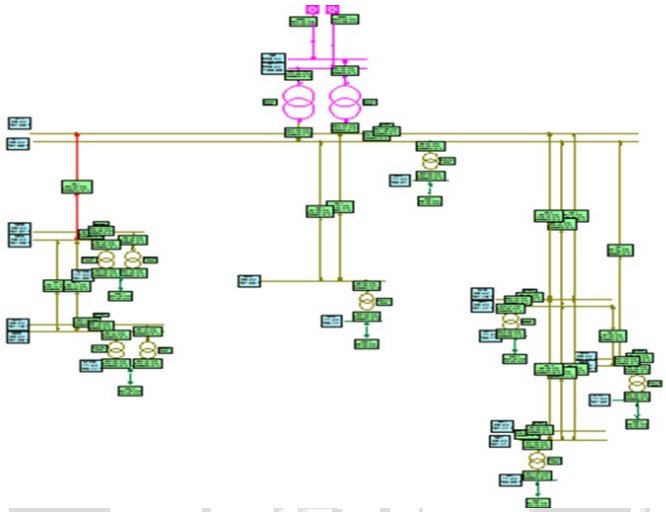
تتكون المحطة الفرعية قيد الدراسة من المكونات الرئيسية التالية:

1. قواطع الدائرة :تقوم بحماية المحطة والشبكة من الأعطال والتيار الزائد، وتعمل على فصل الدوائر الكهربائية عند الحاجة للصيانة. يتم تحديد المواصفات الفنية لقواطع الدائرة، مثل تحمل التيار المقنن وقدرة القطع، بناءً على دراسات تدفق القدرة وتحليل الأعطال المتوقعة.
2. المحولات :تعمل على خفض الجهد من 33 كيلو فولت إلى 11 كيلو فولت. يتم تحديد سعة المحولات ونسبة التحويل بناءً على الأحمال المتوقعة في المحطة. تلعب المحولات دوراً هاماً في تنظيم الجهد وتوزيع الطاقة بكفاءة.
3. مفاتيح الفصل :تستخدم لفصل المعدات المختلفة (المحولات، قواطع الدائرة) بشكل ميكانيكي، وذلك لضمان السلامة أثناء الصيانة والإصلاح.
4. مانعات الصواعق :تحمي المعدات من ارتفاعات الجهد العابرة الناتجة عن الصواعق أو عمليات الفصل والتوصيل.
5. قضبان التوزيع :تستخدم لتوصيل وتوزيع الطاقة الكهربائية إلى مختلف أجزاء المحطة. يتم تصميم قضبان التوزيع لتحمل التيارات العالية والجهود المختلفة.
6. معدات الوقاية والتحكم :تشمل أجهزة الوقاية (مثل مرحلات التيار الزائد والجهد المنخفض) وأجهزة التحكم (مثل وحدات التحكم عن بعد وأنظمة الاتصالات SCADA). تعمل هذه المعدات على حماية المعدات من الأعطال ومراقبة وتحكم في عمليات المحطة عن بعد.

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

7. مكثفات تحسين معامل القدرة :تستخدم لتحسين معامل القدرة لتقليل الفقد في الشبكة وتحسين كفاءة نقل الطاقة. يتم تحديد عدد وسعة المكثفات بناءً على متطلبات تحسين معامل القدرة في الشبكة.

8. المباني والإنشاءات :تشمل مبنى التحكم، وغرف المعدات، والأسوار، ونظام التأريض.



شكل (1) نموذج كامل لشبكة توزيع فشلوم

3.3- تأثير مكونات المحطة الفرعية على التنبؤ بالأحمال

تلعب مكونات المحطة الفرعية دوراً هاماً في دقة التنبؤ بالأحمال. على سبيل المثال، تؤثر سعة المحولات على قدرة المحطة على تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء. كما يؤثر أداء معدات الوقاية والتحكم على استقرارية الشبكة وتقليل احتمالية حدوث انقطاعات. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤثر تركيب مكثفات تحسين معامل القدرة على دقة التنبؤ بالأحمال غير الفعالة.

4.3 - تصنيف التنبؤ بالأحمال الكهربائية

ويُصنّف التنبؤ النشط بأحمال الطاقة في محطات التوزيع الفرعية إلى ثلاث فئات بناءً على أفق زمني: التنبؤ بالأحمال على المدى القصير والمتوسط والطويل ويُعرض الجدول (2) تفاصيل كل نوع من أنواع التنبؤ بالأحمال.

الجدول 2: تصنيف التنبؤ بالأحمال

نوع التنبؤ بالأحمال	الأفق الزمني	الغرض
قصير المدى	بضع ساعات إلى أيام	جدولة توليد ونقل الكهرباء

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

متوسط المدى	بضعة أسابيع إلى أشهر	جدولة شراء الوقود
طويل المدى	من سنة إلى عشر سنوات	تطوير أنظمة التوليد والنقل والتوزيع

5.3- منهجية التنبؤ بالأحمال

تتضمن منهجية التنبؤ بالأحمال الخطوات التالية:

1. جمع البيانات التاريخية للأحمال :يتم جمع بيانات الأحمال (القدرة الفعالةP ، القدرة غير الفعالةQ ، الجهدV ، التيار I) من نظام SCADA أو من العدادات الذكية على مدى فترة زمنية طويلة.
2. تحديد المتغيرات المؤثرة على الأحمال :يتم تحديد المتغيرات التي تؤثر على الأحمال، مثل الطقس (درجة الحرارة، الرطوبة، الإشعاع الشمسي) والنشاط الاقتصادي (النمو السكاني، التوسع الصناعي).
3. اختيار نموذج التنبؤ المناسب :يتم اختيار نموذج التنبؤ المناسب بناءً على طبيعة البيانات والمتطلبات الدقة.
4. تدريب النموذج وتقييمه :يتم تدريب النموذج باستخدام البيانات التاريخية، ثم يتم تقييم أدائه باستخدام مجموعة بيانات مستقلة. يتم استخدام مقاييس مثل متوسط الخطأ المطلق (MAE) والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) لتقييم دقة التنبؤ.
5. تطبيق النموذج للتنبؤ بالأحمال المستقبلية :يتم استخدام النموذج المدرب للتنبؤ بالأحمال المستقبلية على المدى القصير أو المتوسط.

مجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

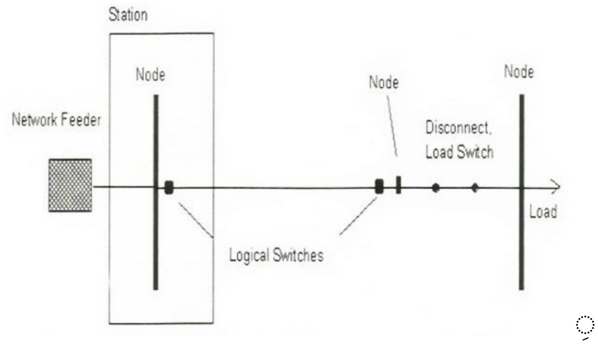
4. برنامج نيبلان

يعتبر برنامج نيبلان أداة برمجية لتحليل وتخطيط وتحسين ومحاكاة الشبكات الكهربائية. تكمن قوة البرنامج في واجهته الرسومية سهلة الاستخدام للغاية مع مكتبات شاملة لعناصر الشبكة وأجهزة الحماية ودوائر التحكم، مما يتيح للمستخدم إجراء دراسة الحالات بكفاءة عالية. يتميز البرنامج بمفهوم معياري، يستند إلى المعايير الدولية، مثل IEC وANSI وIEEE وغيرها. يُستخدم في شبكات النقل والتوزيع والتوليد، وغيرها، لتخطيط الشبكات والاستثمار، وجودة الطاقة، والتحسين متعدد الفترات، وإعدادات الحماية وتقييمها، والمحاكاة الديناميكية (RMS/EMT). تتميز النماذج الثابتة والديناميكية لشبكات التيار المتردد والتيار المستمر أحادية الطور بدقة وأداء عاليين. يمكن التعامل بسهولة مع الشبكات الكبيرة جدًا (أكثر من 500,000 قضيب ناقل) باستخدام تقنيات وخوارزميات تكنولوجيا المعلومات الحديثة. الشكل(2) يوضح كيفية تمثيل برنامج نيبلان NEPLAN للعناصر الرئيسية لنظام القدرة الكهربائية.

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

LJAST
Libyan Journal of Applied Science and Technology
مجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

Volume 13 Issue 01
June 2025
ISSN 2958-6119



الشكل2 :مخطط توضيحي لتمثيل برنامج نبيلان (NEPLAN

5. الحمل الأقصى المتوقع

يعتمد التخطيط المستقبلي لمشاريع الطاقة الكهربائية، سواء كانت مشاريع إنتاج أو شبكات نقل وتوزيع، بشكل حاسم على تقدير دقيق للحمل الأقصى السنوي(Peak Load) ، والذي يُحسب وفقًا للمعادلة التالية:

$$\text{الحمل الأقصى} = \frac{\text{الطاقة المنتجة سنوياً}}{\text{عدد ساعات السنة} * \text{معامل الحمل}} \qquad \text{..........(1)}$$

في ليبيا، ووفقًا لمعدلات الزيادة السنوية للأحمال، بلغ متوسط معامل نمو الحمل السنوي 8% خلال الفترة 2010-2030، وهي قيمة مجمعة تعكس تأثير النمو السكاني، والتوسع الصناعي، والتطورات الاستراتيجية ، وتُستخدم كأساس لتقدير الأحمال المستقبلية باستخدام المعادلة العامة لنمو الحمل.

$$\text{Pnew} = \text{Pold}\ (1 + 0.08)^{n} \qquad \text{..........(2)}$$

حيث: Pnew وPold هي مقدار القدرات القديمة والجديدة   n تمثل عدد السنوات

6. منهجية الدراسة

اعتمدت هذه الدراسة منهجية تحليلية تعتمد على أدوات المحاكاة لتخطيط وتحسين أداء نظام توزيع الطاقة الكهربائية في منطقة فشلوم، وذلك باستخدام برنامج **NEPLAN** كنظام نمذجة متكامل. تم التركيز على الفترة الزمنية من عام 2020 إلى 2025 ولمدة زمنية قدرها خمس سنوات بهدف تقييم الحالة التشغيلية للشبكة وتحديد نقاط الضعف المحتملة، خصوصًا تلك المرتبطة بهبوط الجهد، ومستويات التحميل، وقيم الفقد في الطاقة. وقد شملت المنهجية تحليل تدفق القدرة لتحديد كفاءة توزيع الطاقة ضمن شبكة التوزيع، مع إجراء توقعات مستقبلية لسنة 2030 عبر نماذج تحميل متزايدة لتحديد تأثير الأحمال الإضافية على عناصر الشبكة. كما تم تقييم مدى تجاوز المحولات للحدود التشغيلية المسموح بها، واقتراح التعديلات الهندسية المطلوبة لضمان الاستقرار التشغيلي وتقليل الفقد وتحسين كفاءة الأداء العام للشبكة، وذلك بالاعتماد على نتائج مخططات سريان القدرة المستخرجة من برنامج NEPLAN.

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

تعدّ دراسة أداء شبكات توزيع الطاقة الكهربائية وتقييم قدرتها على تلبية الطلب المتزايد أمرًا بالغ الأهمية لضمان استمرارية الخدمة وموثوقيتها. تتناول هذه الورقة تحليل أداء شبكة توزيع الطاقة الكهربائية في منطقة فشلوم في ليبيا، مع الأخذ في الاعتبار سيناريوهات نمو الأحمال المتوقعة حتى عام 2030. تم استخدام برنامج Neplan لمحاكاة أداء الشبكة وتقييم تأثير زيادة الأحمال على استقرارها وكفاءتها.

تعتمد الدراسة على تحليل تدفق القدرة (Power Flow Analysis) باستخدام برنامج .Neplan تم تطوير نموذج محاكاة للشبكة الكهربائية في منطقة فشلوم، مع إدخال بيانات الأحمال الحالية والمستقبلية باستخدام المعادلة رقم (1). تم اعتماد سيناريو نمو ثابت للأحمال بنسبة 8% سنويًا، وتم تحليل أداء الشبكة في الأعوام 2020، 2025، و 2030. شمل التحليل تقييم مستويات التحميل على الخطوط والمحولات، وحساب الفقد في الشبكة. تم اقتراح حلول لتحسين أداء الشبكة، مثل إضافة خطوط نقل جديدة وزيادة سعة المحولات، وتم تقييم فعاليتها من خلال المحاكاة.

7. التحليل والنتائج:

تهدف الدراسة إلى تقييم الحالة التشغيلية للنظام، من خلال تحليل شامل لعناصر الشبكة المختلفة، وتحديد مكامن القوة والضعف، ومدى توافق مستويات التحميل والجهد مع المعايير الفنية المسموح بها. كما تهدف إلى تقديم رؤية واضحة حول مدى كفاءة الشبكة في ظل النمو المستمر في الطلب على الطاقة الكهربائية.

يعتمد التحليل على إدخال بيانات واقعية دقيقة تمثل شبكة التوزيع في منطقة الدراسة داخل برنامجNEPLAN ، متبوعة بإجراء محاكاة تقنية لسريان القدرة وتحليل مؤشرات الأداء المختلفة، مثل: الفقد في الطاقة، التحميل الزائد، والجهد عند العقد. تُعرض النتائج بصريًا في الشكل (1) لتوضيح الحالة التشغيلية العامة، بينما يوفر الجدول (2) بيانات كمية مفصلة حول أداء مكونات الشبكة.

1.7-أداء الشبكة عام 2020

أداء الشبكة عام 2020 : يوضح الجدول 3 توزيع الأحمال الفعالة (P) وغير الفعالة (Q) على المناطق المختلفة في شبكة فشلوم عام 2020.

جدول 3: يوضح الاحمال لسنة 2025

ZONE	P (MW)	Q (MWR)
الظهرة	34.974	16.838
زاوية الدهماني	26.339	12.737
الالكترونات	8.635	4.102

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

بن عتمان	30.656	14.896
فشلوم	9.715	4.750
الفيحاء	26.987	13.169
سانية الشريف	00	00

حيث اظهرت نتائج المحاكاة (الشكل 3) وجود تحميل زائد على الخطين Line1 وLine8 ، والمحولتين TR2.330 و TR2.795. ولتحسين أداء الشبكة، تم اقتراح زيادة سعة خط النقل وإضافة محول آخر بنفس المواصفات. بعد تطبيق هذه الحلول، تحسن أداء الشبكة (الشكل 4). بلغت قيمة الفقد في الشبكة عام 2020 حوالي 1.48 MW للقدرة الفعالة و 30.49 MVAR للقدرة غير الفعالة.

From Area/Zone	To Area/Zone	P Loss	Q Loss	P Imp	Q Imp	P Gen	Q Gen	P Load	Q Load	Gen. Cost	Qc Shunt	Ql Shunt	Q Comp	Iron Losses
		MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	Curr. Units	MVar	MVar	MVar	MW
Network		1.646	33.005	139.192	98.111	139.192	98.111	137.546	65.106	0	0	0	0	0
Area 1		1.646	33.005	0	0	139.192	98.111	137.546	65.106	0	0	0	0	0
Zone 1		1.646	33.005	0	0	139.192	98.111	137.546	65.106	0	0	0	0	0
Un		P Loss Li	Q Loss L	P Loss T	Q Loss									
kV		MW	MVar	MW	MVar									
30		0.282	-0.837	0.768	15.349									
220		0	0	0.58	18.493									
Overloads														
Nodes (lower	%													
N67	89.07													
N129	89.06													
N547	88.57													
N126	87.67													
Elements	%	Type												
Line 1	119.74	Line												
TR2-343	110.69	2W Transf												
TR2-330	110.68	2W Transf												
Line 8	103.64	Line												
Line 9	103.64	Line												

شكل 3. يوضح النتائج لسنة 2020

From Area/Zone	To Area/Zone	P Loss	Q Loss	P Imp	Q Imp	P Gen	Q Gen	P Load	Q Load	Gen. Cost	Qc Shunt	Ql Shunt	Q Comp	Iron Losses
		MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	Curr. Units	MVar	MVar	MVar	MW
Network		1.482	30.492	139.028	95.598	139.028	95.598	137.546	65.106	0	0	0	0	0
Area 1		1.482	30.492	0	0	139.028	95.598	137.546	65.106	0	0	0	0	0
Zone 1		1.482	30.492	0	0	139.028	95.598	137.546	65.106	0	0	0	0	0
Un		P Loss Li	Q Loss L	P Loss T	Q Loss									
kV		MW	MVar	MW	MVar									
30		0.223	-1.152	0.675	13.49									
220		0	0	0.569	18.153									

شكل 4. يوضح النتائج لسنة 2020 بعد المعالجة

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

2.7-أداء الشبكة عام 2025:

مع استمرار نمو الأحمال ، ازدادت مشاكل التحميل الزائد على الخطوط والمحولات .الجدول (4)يوضح توزيع الأحمال عام 2025

جدول 4: يوضح الاحمال لسنة 2025

Q (MWR)	P (MW)	ZONE
24.741	51.388	الظهرة
18.714	38.701	زاوية الدهماني
6.027	12.688	الالكترونات
21.887	45.044	بن عتمان
6.979	14.275	فشلوم
19.349	39.653	الفيحاء
00	00	سانية الشريف

أظهرت المحاكاة الشكل (5) تحميلًا زائدًا على الخطوط Line1, Line4, Line5, Line6, Line8, وLine9 ، بالإضافة إلى عدد كبير من المحولات. لمواجهة هذه المشكلة، تم اقتراح إضافة خطوط نقل جديدة ذات سعة أعلى وتركيب مكثفات لتعويض الأحمال. كما تم اقتراح زيادة سعة المحولات أو إضافة محول آخر. بعد تطبيق هذه الحلول، تحسن أداء الشبكة الشكل (6). بلغت قيمة الفقد في الشبكة عام 2025 حوالي 2.35 MW للقدرة الفعالة و 46.66 MVAR للقدرة غير الفعالة.

From Area/Zone	To Area/Zone	P Loss	Q Loss	P Imp	Q Imp	P Gen	Q Gen	P Load	Q Load	Gen. Cost	Qc Shunt	Ql Shunt	Q Comp	Iron Losses
		MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	Curr. Units	MVar	MVar	MVar	MW
Network		3.892	83.184	205.641	180.881	205.641	180.881	201.749	97.697	0	0	0	0	0
Area 1		3.892	83.184	0	0	205.641	180.881	201.749	97.697	0	0	0	0	0
Zone 1		3.892	83.184	0	0	205.641	180.881	201.749	97.697	0	0	0	0	0
Un		P Loss L	Q Loss L	P Loss T	Q Loss									
kV		MW	MVar	MW	MVar									
30		0.585	-0.024	1.771	35.377									
220		0	0	1.5	47.83									
Overloads														
Nodes (lower	%													
N17	88.99													
N14	88.96													
N35	88.81													
N55	88.68													
N58	88.67													
N161	88.67													
N23	88.55													
N20	88.54													
N49	88.51													
N52	88.5													
N29	88.33													
N26	88.32													

شكل 5. يوضح النتائج لسنة 2025

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

From Area/Zone	To Area/Zone	P Loss	Q Loss	P Imp	Q Imp	P Gen	Q Gen	P Load	Q Load	Gen. Cost	Qc Shunt	Ql Shunt	Q Comp	Iron Losses
		MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	Curr. Units	MVar	MVar	MVar	MW
Network		2.353	46.661	204.102	144.358	204.102	144.358	201.749	97.697	0	0	0	0	0
Area 1		2.353	46.661	0	0	204.102	144.358	201.749	97.697	0	0	0	0	0
Zone 1		2.353	46.661	0	0	204.102	144.358	201.749	97.697	0	0	0	0	0
Un		P Loss Li	Q Loss L	P Loss T	Q Loss									
kV		MW	MVar	MW	MVar									
30		0.384	-0.991	1.055	21.083									
220		0	0	0.833	26.569									
Overloads														
Nodes (lower	%													
N38	89.85													
N126	89.6													
N129	89.41													
N361	89.37													
N67	89.15													
N547	88.75													

شكل 6. يوضح النتائج لسنة 2025 بعد المعالجة

3.7- أداء الشبكة عام 2030:

مع استمرار نمو الأحمال الجدول (5)، تفاقمت مشاكل التحميل الزائد على الشبكة .بافتراض معدل نمو سنوي ثابت قدره 8%، وباستخدام المعادلة (1)، تم الحصول على النتائج المتوقعة حتى عام 2030، والموضحة في الجدول 5.

جدول 5: يوضح الاحمال لسنة 2030

Q (MWR)	P (MW)	ZONE
36.352	75.505	الظهرة
27.497	56.864	زاوية الدهماني
8.856	18.642	الالكترونات
32.159	66.184	بن عتمان
10.254	20.974	فشلوم
28.430	58.263	الفيحاء
00	00	سانية الشريف

أظهرت المحاكاة الشكل (7) تحميلًا زائدًا على الخطوط والمحولات بشكل كبير. لمواجهة هذه المشكلة، تم التأكيد على ضرورة إضافة محولات ذات سعة مناسبة وتركيب خطوط نقل جديدة أو تعزيز الخطوط الحالية. يجب أن تأخذ الإجراءات بعين الاعتبار نسبة

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

التحميل الاحتياطي لكل محطة فرعية لضمان استقرار الشبكة. بعد تطبيق هذه الحلول، تحسن أداء الشبكة الشكل (8). بلغت قيمة الفقد في الشبكة عام 2030 حوالي 3.84 MW للقدرة الفعالة و 75.53 MVAR للقدرة غير الفعالة.

From Area/Zone	To Area/Zone	P Loss	Q Loss	P Imp	Q Imp	P Gen	Q Gen	P Load	Q Load	Gen. Cost	Qc Shunt	Ql Shunt	Q Comp	Iron Losses
		MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	Curr. Units	MVar	MVar	MVar	MW
Network		6.174	125.866	302.606	269.414	302.606	269.414	296.432	143.548	0	0	0	0	0
Area 1		6.174	125.866	0	0	302.606	269.414	296.432	143.548	0	0	0	0	0
Zone 1		6.174	125.866	0	0	302.606	269.414	296.432	143.548	0	0	0	0	0
Un		P Loss Li	Q Loss L	P Loss T	Q Loss									
kV		MW	MVar	MW	MVar									
30		1.008	0.837	2.766	55.243									
220		0	0	2.189	69.786									
Overloads														
Nodes (lower	%													
N17	89.05													
N14	88.97													
N35	88.75													
N55	88.67													
N58	88.67													
N161	88.67													
N23	88.52													
N20	88.49													
N49	88.49													
N52	88.45													
N29	88.28													
N26	88.27													
N61	88.08													
N64	88.08													
N38	82.1													

شكل 7. يوضح النتائج لسنة 2030

From Area/Zone	To Area/Zone	P Loss	Q Loss	P Imp	Q Imp	P Gen	Q Gen	P Load	Q Load	Gen. Cost	Qc Shunt	Ql Shunt	Q Comp	Iron Losses
		MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	Curr. Units	MVar	MVar	MVar	MW
Network		3.838	75.529	300.27	219.077	300.27	219.077	296.432	143.548	0	0	0	0	0
Area 1		3.838	75.529	0	0	300.27	219.077	296.432	143.548	0	0	0	0	0
Zone 1		3.838	75.529	0	0	300.27	219.077	296.432	143.548	0	0	0	0	0
Un		P Loss Li	Q Loss L	P Loss T	Q Loss									
kV		MW	MVar	MW	MVar									
30		0.642	-0.745	1.613	32.223									
220		0	0	1.382	44.051									
Overloads														
Nodes (lower	%													
N361	89.89													
N547	88.54													
N129	88.03													
N126	87.9													
N67	87.67													

شكل 8. يوضح الشبكة لسنة 2030 بعد المعالجة

- تشير نتائج الشبكة لعام 2030 إلى زيادة ملحوظة في نسب التحميل على المحولات والخطوط التالية: Line1، Line4، Line5، Line6، Line8، وLine9، بالإضافة إلى المحولات TR2-212 ، TR2-231، TR2-244، TR2-272، TR2-291، TR2-305، TR2-330، TR2-343، TR2-374، TR2-568، TR2-841، TR2-860، TR2-896، TR2-915، TR2-934، TR2-701، TR2-720، و TR2-814.
- لمواجهة زيادة الأحمال، يتطلب الأمر:
  - إضافة محولات ذات سعة مناسبة على الشبكة، بحيث تتوافق مع الطلب المستقبلي المتزايد.

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

- تركيب خطوط نقل جديدة أو تعزيز خطوط الحالية لتقليل الضغط على الشبكة وتلبية احتياجات المستهلكين المتزايدة.

- يجب أن تأخذ الإجراءات بعين الاعتبار نسبة التحميل الاحتياطي لكل محطة ومحطة فرعية، لضمان استقرار الشبكة وسلامتها التشغيلية.

- على سبيل المثال،:

  - عند إضافة خط على الخط 4، سيتم معالجة نسبة التحميل المرتفعة عليه.

  - وعند إضافة محول إلى المحول TR2-841 ، سيتم تقليل الحمل على المحول TR2-292 ، مما يساهم في تحسين أداء الشبكة بشكل عام.

تعتبر هذه الإجراءات ضرورية لتحسين موثوقية واستقرار الشبكة، مع مراعاة الطلب المستقبلي والتكاليف المرتبطة بتنفيذها.

8. الاستنتاجات والتوصيات

1.8 الاستنتاجات

أظهرت نتائج هذا البحث أن الاعتماد على نماذج التنبؤ طويلة الأمد في تخطيط شبكات التوزيع الكهربائية يُعد أداة فعالة في مواجهة تحديات النمو السكاني والطلب المتزايد على الطاقة. من خلال تحليل أداء شبكة فشلوم خلال خمس مراحل زمنية رئيسية، تبين أن الاستهلاك الكهربائي يشهد نمواً مطرداً قد يتجاوز قدرة البنية التحتية الحالية إذا لم يتم تنفيذ توسعات مدروسة تقنياً. كما أثبت استخدام برنامج NEPLAN فعاليته العالية في الكشف عن مواقع الضعف ضمن الشبكة وتقييم تأثير الإجراءات التصحيحية المحتملة. وقد تبيّن من خلال النتائج أن الفقد في الطاقة ومشكلات الجهد المنخفض تظهر بشكل جلي ابتداءً من العام 2020، وتزداد حدةً في السنوات التالية

2.8 التوصيات

1. تحديث دوري للتنبؤ بالأحمال :يُوصى بإجراء تحديثات دورية على نموذج التنبؤ بالأحمال بما يعكس التغيرات الفعلية في النمو السكاني والطلب التجاري والصناعي، على أن يتم إدماج هذه التوقعات ضمن خطط التوسعة المستقبلية لشبكة فشلوم.

2. تنفيذ إجراءات تصحيحية تدريجية :ينبغي البدء فورًا في تنفيذ التدخلات التقنية المقترحة، مثل تقوية المغذيات ذات الأحمال الزائدة، وتركيب منظمات جهد، وإعادة توزيع الأحمال لضمان استقرار الجهد وتقليل الفقد الفني للطاقة.

3. الاستثمار في مصادر الطاقة المتجددة :تقترح الدراسة دمج الطاقة الشمسية والأنظمة اللامركزية لتغذية الأحمال غير الحرجة، خصوصًا في أوقات الذروة، مما سيسهم في تخفيف الضغط على الشبكة الرئيسية وتحقيق استدامة التشغيل.

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية

4. بناء القدرات الفنية :تشدد الدراسة على أهمية تعزيز قدرات الكوادر المحلية في استخدام أدوات المحاكاة المتقدمة مثل NEPLAN، وذلك عبر برامج تدريب رسمية وورش عمل تطبيقية، لتمكينهم من إجراء دراسات تخطيط مستقبلية مستقلة وفعالة.

5. التوسع في استخدام أدوات المحاكاة: توصي الدراسة بتعميم تجربة استخدام برنامج NEPLAN على بقية شبكات التوزيع في ليبيا، بما يضمن الوصول إلى تخطيط طاقي أكثر دقة وتكاملًا على المستوى الوطني.

المراجع

1. Ali, M., & Ahmed, S. (2023). Strategic planning for the expansion of electrical distribution systems in rapidly growing urban areas using dynamic modeling in Neplan. ***Journal of Advanced Power Engineering***, ***55***(1), 89-100.
2. Batl, N., & Deshpande, A. (2017). Comparison of long-term electrical load forecasting methodologies for substation planning: Application to real data using Neplan tools. ***Energy Engineering Journal***, ***123***(4), 456-467.
3. Ben Abdallah, K., & Ibrahim, M. (2018). Using simulation technology in Neplan software to evaluate the impact of major projects on the load of electrical substations: A case study of a new city. ***The Arabian Journal for Science and Engineering***, ***25***(2), 123-134.
4. Chen, L., Wang, X., Zhang, Y., & Li, Q. (2022). Integrating distributed renewable energy sources in electrical grid planning: A practical application using Neplan software. ***International Journal of Electrical Power & Energy Systems***, ***145***, 108567.
5. Garcia, R., & Luis, F. (2021). Reliability assessment of electrical sub-networks under multiple load growth scenarios using probabilistic simulation in Neplan. ***Electric Power Systems Journal***, ***31***(5), 678-689.
6. Kim, S., & Jung, H. (2019). Evaluating the utilization efficiency of transformers in distribution substations under varying load patterns using time dynamics analysis in Neplan. ***Journal of Power Systems Planning***, ***43***(1), 78-89.
7. Mohammad, A., & Al-Tayeb, T. (2020). Improving long-term electrical load forecasting using machine learning algorithms and their integration with network simulation software (Neplan). ***Journal of Electrical and Computer Engineering***,***36***(3), 321-332.
8. Müller, P., & Wagner, G. (2014). Application of Neplan software in the long-term planning of electrical distribution networks: Lessons learned from European case studies. ***Electric Power Systems Engineering Journal***, ***28***(6), 789-800.
9. Smith, J., & Brown, A. (2016). Assessing the risk of substation overload in distribution networks under load forecasting uncertainty: A methodology using Neplan and probabilistic distributions. ***Journal of Power Systems and Engineering***, ***30***(2), 234-245.
10. Wang, Z., & Zhao, L. (2015). Integration between sectoral economic forecasting models and power grid modeling in Neplan for planning distribution substations. ***Electric Power and Energy Systems Planning Journal***, ***37***(4), 567-578.

Copyright © LJAST
حقوق الطبع محفوظة
لمجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية