منهجيات وأساليب التخطيط للنظم الكهربائية في الشركة العامة للكهرباء الليبية

م. فتحي محمد أبوقراض* ، م. حدود عبد النبي حدود * ، د. بشير محمد جمعة *

مقدمـــة

إن الهدف الأساسي لأي نظام كهربائي يتمثل في تلبية الاحتياجات من الطاقـــة الكهربائيـــة المختلفة لكافة الأنشطة الاقتصادية ولكل شرائح الاستهلاك بأقل تكلفة ممكنة وبجـــودة فنيـــة عالية والمحافظة على معايير اعتمادية واستمرارية التغذية الكهربائية لجميع الزبـــائن. فـــي ليبيا تقع مسئولية إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية على عاتق الشركة العامة للكـــهرباء التي تتولى عملية تخطيط وتنفيذ مشروعات قطاع الكهرباء وكذلك تشـــغيل وصيانـــة النظـــام الكهربائي بشكل عام.

بلغت القدرات الكهربائية المركبة بالشـــبكة الليبيـــة حوالي 4000 ميجاوات بنهاية العام 1999 تمثل وحـــدات التوليد البخارية نســـبة 47% منـــها أي حـــوالي 1970 ميجاوات وتمثل وحدات التوليد الغازية الباقي في حـــدود 2250 ميجاوات. تطور الحمل الأقصى للشبكة من حـــوالي 150 ميجاوات عام 1970 إلى ما يزيد عن 4500 ميجـــاوات بنهاية العام 1999، وقد تضاعف نصيب استهلاك الفرد من الطاقة الكهربائية المنتجة إلى أكثر من ثمانية أضعاف حيـــث بلغ حوالي 2700 كيلووات ســـاعة عـــام 1999 مقارنـــة بحـــوالي 338 كيلـــووات ســـاعة عـــام 1970. [6] ومن المتوقع أن يتطور الطلب على الطاقة الكهربائية بنسبة نمو تصل إلى 6% تقريباً خلال الفترة القادمة ليصـــل إلى حـــوالي 4000 ميجـــاوات عـــام 2005، وحـــوالي 5000 ميجاوات عـــام 2010، ويتوقـــع أن يبلـــغ قرابـــة 6500 ميجاوات عام 2015، [1] لذلك تظهر الحاجة إلى إضافـــة قدرات توليد جديدة لمجابهة الزيادة المتوقعـــة للأحمـــال في الفترة القادمة، وتأسيساً على ذلك قامت الشركة العامـــة للكهرباء بدعم وتطوير النظام الكـــهربائي بالجماهيريـــة العظمى، حيث تم إنجاز الربط الكـــهربائي الوطـــني عـــام 1993، وتشغيل الربط الكهربائي مـــع جمهوريـــة مصـــر العربية على جهد 220 ك.ف. خلال العام 1998، كمـــا تم التعاقد على مشروع الربط الكهربائي مع تونـــس ومـــن

* الشركة العامة للكهرباء

المتوقع أن يدخل هذا المشروع حيز التنفيذ بحلول العام 2001.

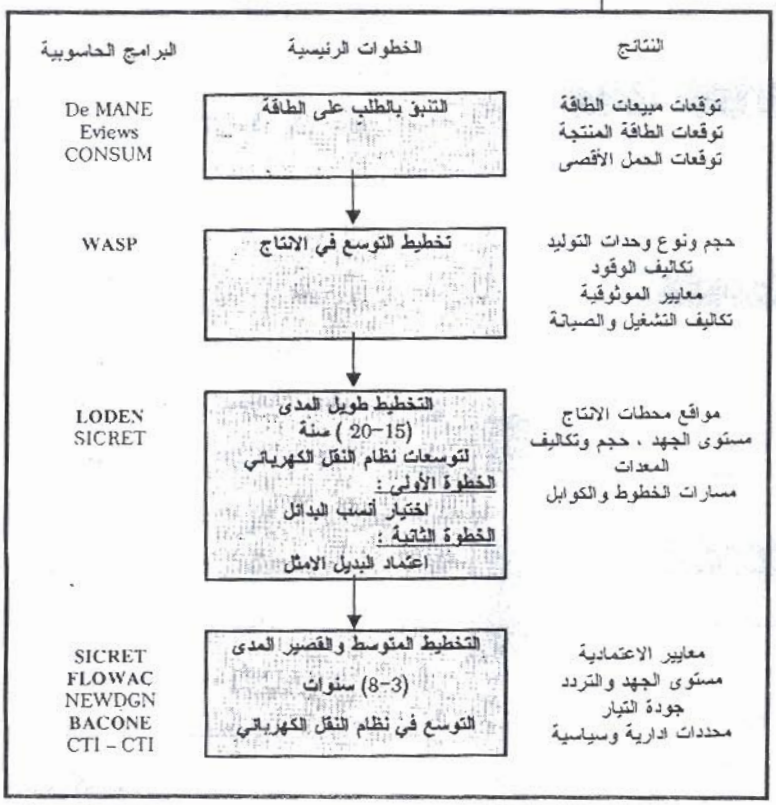
ونتيجة لتلك الالتزامات قررت الشركة العامة للكهرباء حل معضلة التخطيط الكهربائي واتباع أحد المنهجيات والأساليب وذلك بنقل المعرفة عن طريق التعاون وإجراء الدراسات المشتركة مع الهيئات الاستشارية المتخصصة في هذا المجال، وفي هذا الصدد تم التعاون مع هيئة كهرباء كيبك (هيدروكوبيك) (HQI) ومؤسسة الكهرباء الإيطالية (ENEL) لإجراء دراسات التنبؤ بالطلب على الطاقة الكهربائية وتخطيط التوسع في وحدات الإنتاج ومن ثم إعداد المخطط الشامل (Master Plan) طويل المدى لشبكة النقل الكهربائي الوطنية. تتناول هذه الورقة منهجيات التخطيط التي يتم تطبيقها الآن في الشركة العامة للكهرباء.

1 - خطوات التخطيط للنظام الكهربائي

يبدأ التخطيط لأي نظام كهربائي بتحديد الطلب على الطاقة الكهربائية والتنبؤ بالأحمال المتوقعة على المدى المتوسط والطويل يتم بعدها تحديد القدرات اللازمة لتغطية الطلب وتحديد الاحتياج الأمثل لمحطات إنتاج الطاقة الكهربائية، يلي ذلك مرحلة تخطيط التوسع في شبكات النقل الكهربائي بغرض تحديد نظام النقل الكهربائي المناسب لتأمين التغذية الكهربائية لمختلف نقاط الاستهلاك. يوضح الشكل رقم (1) المراحل المتبعة لتخطيط النظام الكهربائي بالجماهيرية العظمى. وستتناول الورقة هذه المرحلة بشيء من التفصيل.

1.1- التنبؤ بالطلب على الطاقة الكهربائية (Load Forecast)

يعتبر تحديد الطلب على الطاقة الكهربائيه والحصول على توقع مناسب للأحمال الكهربائية أمر مهماً لكافة شركات ومؤسسات الكهرباء، وذلك لأن الطلب على الطاقة الكهربائية يمثل حجر الأساس لتحديد نوع وحجم المعدات المطلوب إضافتها للشبكات الكهربائية. حيث تبدأ عمليات تخطيط التوسع في المنظومات الكهربائية القائمة واستحداث



شكل (1) المراحل الأساسية لتخطيط النظام الكهربائي بالجماهيرية العظمى

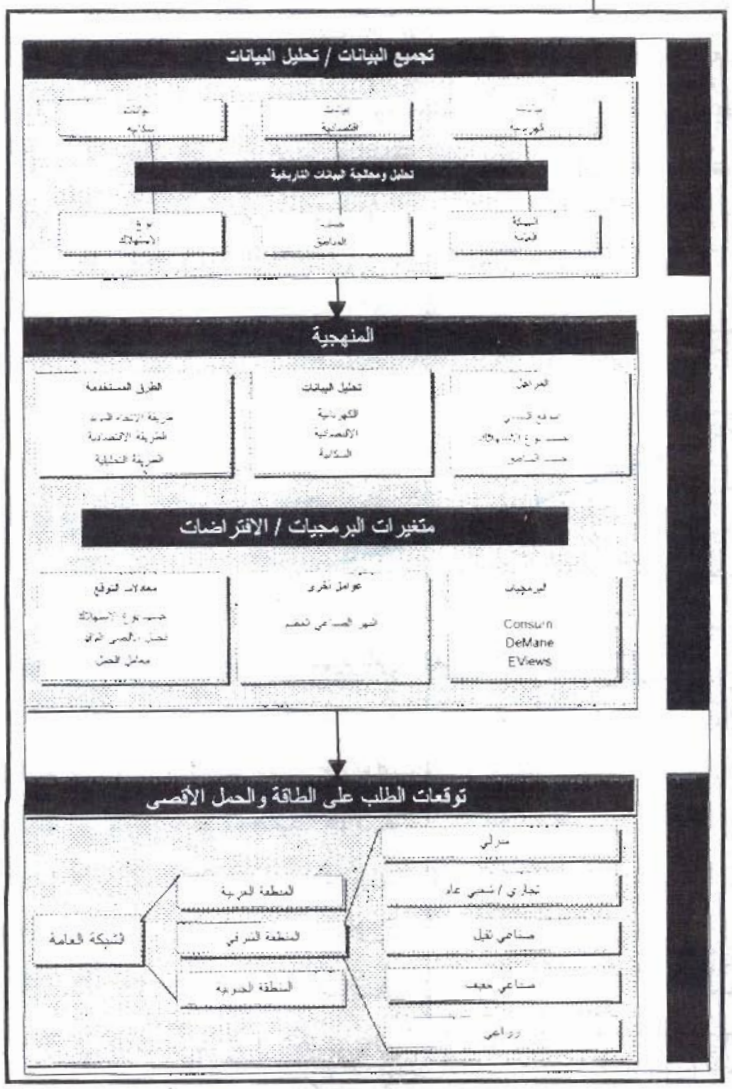
منظومات كهربائية جديدة بمعرفة الطلب المتوقع على الطاقة الكهربائية. والتنبؤ الجيد بالطلب على الطاقة هو الذي يكون فيه الطلب المتوقع قريباً جداً من الطلب الفعلي، فإذا كان الطلب المتوقع قليلاً جداً ينتج عنه خسارة مالية نتيجة لانخفاض مبيعات الطاقة، والعكس إذا كان الاحتياج المقدر كبيراً جداً ومبالغاً فيه ينتج عنه مبالغة في حجم الاستثمار المطلوب لتنفيذ المشروعات الكهربائية وبالتالي قد يؤدي هذا إلى صعوبة توفير التمويلات اللازمة لتلك المشاريع.

تتبع مختلف الشركات والمؤسسات الكهربائية في العالم طرق وأساليب مختلفة لتحديد الاحتياج الأنسب وتقدير الأحمال الكهربائية للوصول إلى أقرب توقع لتلك الأحمال، وتختلف هذه الأساليب باختلاف طبيعة ونمط الاستهلاك الكهربائي لكل دولة.

وفي إطار التخطيط طويل المدى للمنظومة الكهربائية الليبية أولت الشركة العامة للكهرباء بالجماهيرية هذا الموضوع أهمية بالغة تمثلت في إجراء الدراسات الميدانية لتحديد نمط استهلاك مختلف القطاعات والتنسيق مع مختلف القطاعات الاقتصادية الأخرى (الصناعة، الزراعة، ... الخ) لأخذ مخططاتها المستقبلية في الاعتبار، واعتمدت الشركة أيضاً أسلوب تطوير دراسات التنبؤ بالأحمال بالقيام بالدراسات المشتركة مع بعض الهيئات الاستشارية المتخصصة في هذا المجال ومشاركة العناصر الوطنية في إجراء هذه الدراسات بغرض نقل وتوطين المعرفة في هذا الجانب، (الشكل رقم 2) يوضح الخطوات الرئيسية لدراسة التنبؤ بالطلب على الطاقة [1]، وفي ما يلي نستعرض الخطوات المتبعة للتنبؤ بالطلب على الطاقة الكهربائية في ليبيا.

2.1- تجميع البيانات

تبدأ دراسات التنبؤ بالأحمال الكهربائية بعملية تجميع البيانات وتصنيفها وتحديد خواصها ومعالجتها بهدف وضعها في نمط يتناسب والنماذج الحاسوبية المستخدمة،



شكل (2) الخطوات الرئيسية لدراسة التنبؤ بالطلب

هذه البيانات لها فوائدها فمن خلالها نتعرف على العوامل التي من شأنها التأثير على استهلاك الطاقة الكهربائية، وتشمل هذه البيانات:

1.2.1- البيانات الديموغرافية والاقتصادية

تتمثل البيانات الديموغرافية في توزيع السكان على المناطق، عدد السكان حسب فئات السن والجنس، نسبة الوفيات والمواليد، الخ والهدف الأساسي لتلك هو تقدير الطاقة المستهلكة في القطاع المنزلي. أما البيانات الاقتصادية فتشمل الناتج القومي المحلي الإجمالي موزعاً على كافة الأنشطة الاقتصادية، بغية دراسة العلاقة التي تربط بين استهلاك الطاقة الكهربائية للنشاط والناتج القومي المحلي.

2.2.1- البيانات الكهربائية

تشمل البيانات التاريخية عن استهلاك الطاقة والأحمال الكهربائية ونذكر منها:

- إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة.
- كميات الطاقة الكهربائية المستهلكة للقطاعات الخدمية والإنتاجية المختلفة.
- الأحمال السنوية القصوى.
- المعلومات الكهربائية عن المشاريع المستقبلية.

2- منهجية التنبؤ بالطلب وتحديد الاحتياج [1]

1.2- الطرق المستخدمة لتقدير الطلب

توجد ثلاث مجموعات رئيسية للطرق المستعملة في التنبؤ بالطلب على الطاقة الكهربائية:

1.1.2- مجموعة الاتجاه السائد (طرق الاستقراء) (Trend Methods)

تعتمد هذه المجموعة على البيانات التاريخية وتفترض هذه الطريقة ثبوت العلاقة بين استهلاك الطاقة الكهربائية والزمن خلال فترة التنبؤ المستقبلية كما أن عدم قدرتها على تمثيل بعض التغيرات الأساسية يحد من إمكانية استعمالها في التنبؤ بالطلب على المدى الطويل، ولسهولة هذه الطريقة يمكن استخدامها للحصول على توقع مبدئي عام للأحمال الكهربائية لكي يعطي مؤشرات أساسية قد تستعمل للمقارنة.

2.1.2- مجموعة (Econometric Methods)

تستخدم هذه المجموعة من الطرق الاستقراء الخطي أو النسبي للبيانات التاريخية للحصول على توقعات مستقبلية للطلب، وتعتمد هذه الطرق بوجه عام على بيانات تاريخية جيدة مع افتراضات قليلة ولا تستخدم دائماً المتغيرات الاستقرائية أو المستقبلية وحيث إن هذه المجموعة من الطرق تحتاج إلى دقة عالية للبيانات التاريخية لذلك فهي محدودة الاستعمال للتنبؤ بالطلب على المدى البعيد ويعتمد عليها عادة في التقديرات متوسطة المدى فقط.

3.1.2- مجموعة الطرق التحليلية (Analytical or Desegregated Methods)

تعتمد هذه المجموعة على بيانات الاستعمال النهائي للطاقة الكهربائية (End-use of electricity) وتستعمل نماذج تحليلية تأخذ في الاعتبار أسلوب الاستعمال النهائي للتنبؤ بالطلب أو الأحمال الكهربائية متعدد المناطق، لكل فئات الزبائن أو المستهلكين (سكني، زراعي، صناعي ثقيل، صناعي خفيف وتجاري/ خدمات عامة). ومن ميزات هذه المجموعة ربط مستويات الاستهلاك المستقبلي للطاقة بمتغيرات محددة، سهلة الفهم،

وبهذه الطريقة يمكن دراسة تأثير تطور مشروعات محددة أو سياسات وطنية معينة للتوقع في الطلب على الطاقة الكهربائية.

3- البرامج الحاسوبية المستخدمة

1.3 برنامج (CONSUM)

صمم هذا النموذج بواسطة هيئة كهربائية كيوبيك الكندية (HQI) لتوقع الطلب على الطاقة الكهربائية بليبيا، وهو عبارة عن (لوغرثم) يعطي توقعا مفصلا للطلب باستعمال البيانات الداخلية (Internal Data) (بيانات ومعطيات الشركة) والبيانات الخارجية (External Data) (الديموغرافية والاقتصادية)، وفقا للطريقة المجزاة على أساس قطاعات الاستهلاك لكل منطقة من مناطق الجماهيرية ويعتمد النموذج على الاستعمال النهائي لفئات الزبائن، وبناء على البيانات المتوفرة يمكن تعديل البرنامج بدمج متغيرات جديدة أو حذف أي من المتغيرات الموجودة، ومن مخرجات هذا النموذج:

- إجمالي مبيعات الطاقة السنوية المتوقعة (GWh) وعدد الزبائن أو المشتركين لكل قطاع استهلاكي.
- إجمالي الطاقة الكهربائية المتوقع إنتاجها سنويا (GWh).
- معامل الحمل السنوي المتوقع.
- الحمل السنوي الأقصى المتوقع (MW) ومعدلات النمو السنوية.

2.3- برنامج (DEMANE)

صمم هذا النموذج لدراسات توقع الطلب فهو يعطي نتائج مفصلة لتوقعات عدد السكان وعدد الأسر، وباستخدام البيانات الإحصائية السكانية يمكن توقع عدد السكان والأسر لمناطق الدراسة لثلاثة مستويات: عال، متوسط ومنخفض ويمتاز النموذج بسهولة الاستعمال وتتضمن المخرجات:

- توقعات عدد السكان لمدى الدراسة حسب الجنس وفئات السن لكل سنة.
- متوسط الأعمار لعدد السكان المتوقع.
- هرم الأعمار لعدد السكان المتوقع ومؤشرات النمو للمواليد، الوفيات والهجرة.

3.3- البرنامج الإحصائي (Eviews)

هذا النموذج عبارة عن برنامج إحصائي يقوم بعمليات تحليل الانحدار للمتغيرات بهدف الحصول على تقديرات للمعاملات التي تعد من المدخلات الأساسية لنموذج التنبؤ بالطلب (CONSUM) ويمكن بهذا النموذج تقييم علاقة البيانات التاريخية للطاقة الكهربائية المستهلكة حسب شرائح الاستهلاك بالعوامل الديموغرافية والاقتصادية (تعداد السكان، الناتج المحلي الإجمالي).

4- الطريقة المتبعة والنتائج

1.4- الطريقة

تم إعداد توقعات الطلب على الطاقة والأحمال الكهربائية للمخطط العام طويل المدى 1995-2020 باستخدام الطريقة التحليلية المعتمدة على الاستعمال النهائي للطاقة الكهربائية حيث أن هذه الطريقة واسعة الانتشار والأكثر استعمالا في أغلب شركات ومؤسسات الكهرباء في العالم لما تمتاز به من سهولة الاستعمال، علاوة على إمكانية الحصول على توقع للأحمال الكهربائية لمناطق متعددة ومتباعدة أيضا، إضافة إلى أن هذه الطريقة يمكن أن تأخذ في الاعتبار اختلاف الخواص والأهداف الوطنية والجهوية. الأمر الذي يسفر عنه تصورات مختلفة لمعدلات

النمو. ولقد تم إنجاز دراسة التنبؤ بالطلب على أساس ثلاث مناطق كهربائية (طرابلس، بنغازي وسبها) أخذاً في الاعتبار الاستعمال النهائي لفئات المشتركين الأساسيين لكل منطقة وتتكون شرائح الاستهلاك من: السكني، الصناعي الثقيل، الصناعي الخفيف، الزراعي، التجاري والخدمات العامة. بحيث يكون مجموع الحمل المتوقع لكل شريحة من شرائح المستهلكين في كل منطقة هو الحمل المتوقع لتلك المنطقة ومجموع الأحمال المتوقعة للمناطق تعطي أساس التوقع العام لأحمال الشبكة الكهربائية الوطنية.

2.4- نتائج توقع الطلب

من خلال النتائج المتحصل عليها باستخدام المنهجية سالفة الذكر نجد أن إجمالي الطاقة المباعة على المستوى الوطني يصل إلى 15,647 جيجاوات ساعة بنهاية العام 2005 ومن المتوقع أن يصل إلى ما يقارب 20,000، 30,000 جيجاوات ساعة للسنوات 2010 و 2020 على التوالي بمتوسط نسبة نمو في حدود 5%. أما في ما يتعلق بالحمل الأقصى فمن المتوقع أن يبلغ حوالي 400 م.وات خلال العام 2005 وسيبلغ حوالي 5300، 6500، 8000 م.وات للأعوام 2010، 2015 و 2020 على التوالي بمتوسط نسبة نمو تتراوح ما بين (6-4%) خلال السنوات سالفة الذكر. التفاصيل موضحة بالجدول رقم (1).

وتجدر الإشارة إلى أنه تم دراسة ثلاثة حوارات لنمو الأحمال الكهربائية (العالي، المتوسط والمنخفض) للأخذ في الاعتبار الاحتمالات المختلفة للنمو الديموغرافي والاقتصادي وتم التركيز على الحوار المتوسط في إعداد المخطط الرئيسي لقطاع الكهرباء.

5- تخطيط التوسع في محطات الإنتاج

يعد تخطيط التوسع في إنتاج الطاقة الكهربائية من الخطوات المهمة للتخطيط لأي نظام كهربائي حديث، وبصورة عامة فإن مخطط التوسع في توليد الطاقة الكهربائية يجب أن يكون متوافقاً مع التنبؤ بالطلب على الطاقة الكهربائية باعتبار أن الطاقة الكهربائية لا يمكن تخزينها بكفاءة عالية وبكميات كبيرة، كما يعد اختيار النظام المناسب للتوسع في برنامج وحدات الإنتاج من بين الخيارات المختلفة أمراً معقداً إلى حد ما، حيث من الضروري البحث على أنسب استراتيجية يمكن إتباعها أخذاً في الاعتبار:

- برامج الصيانة وموثوقية وحدات التوليد.
- تكاليف الوقود المستخدم.

جدول رقم (1) الحمل الأقصى المتوقع والطاقة المرسلة والمبيعات حتى عام 2020

السنة	المبيعات (ج.و.س)	المعدل السنوي للنمو	الطاقة المرسلة (ج.و.س)	الحمل الأقصى بدون معامل التباين (م. وات)	الحمل الأقصى بمعامل التباين* (م. وات)
2000	11,718	-	14,413	3,133	2,976
2005	15,647	%6.0	19,245	4,182	3,973
2010	19,825	%4.8	24,384	5,294	5,030
2015	24,581	%4.4	30,234	6,540	6,213
2020	30,086	%4.1	37,007	7,966	7,567

* معامل التباين 5%

- تكاليف الإنشاء وتوفر رأس المال.
- زمن بداية التشغيل.

وتتمثل استراتيجية الشركة العامة للكهرباء التي تنتهجها لتخطيط وإعداد برنامج التوسع في قدرات التوليد في جملة من الأسس نذكر منها:

1- تأمين الاحتياجات المتزايدة من الطاقة الكهربائية لمختلف القطاعات الخدمية والإنتاجية.

2- إنشاء محطات إنتاج الطاقة الكهربائية ذات الوحدات الكبيرة لميزاتها الاقتصادية وبالحجم الذي يمكن أن تستوعبه الشبكة الكهربائية من الناحية الفنية.

3- التوسع في استعمال الغاز الطبيعي كوقود أساسي لتشغيل وحدات الإنتاج كلما أمكن ذلك.

4- التوسع في إنشاء محطات الإنتاج ذات الدورة المزدوجة لما لها من مزايا فنية واقتصادية وبيئية.

5- العمل على تحسين اقتصاديات التشغيل لمحطات الإنتاج وإنشاء مراكز التحكم المتطورة للتحكم في محطات الإنتاج وشبكات النقل وفق المعايير الفنية والاقتصادية السليمة.

6- استكمال وتعزيز مشروعات الربط الكهربائي مع الدول المجاورة وتشجيع التعاون في هذا المجال مع مجموعة الدول المتوسطية والإفريقية لما لهذه المشروعات من فوائد اقتصادية وفنية.

1.5- المنهجية والبرامج المستخدمة [2]

تستخدم الشركة العامة للكهرباء نموذج "واسب" (WASP) لتخطيط التوسع في محطات الإنتاج، هذا البرنامج مصمم للوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) ضمن برامج (ENPEP)، ويستعمل البرنامج من قبل مجموعة كبيرة من شركات الكهرباء في العالم وتستعمله معظم الشركات الكهربائية العربية للتخطيط الأمثل للتوسع في وحدات الإنتاج، ويستخدم هذا النموذج التمثيل الاحتمالي (Probabilistic Simulation) لحساب تكاليف التشغيل المتوقعة والبرمجة الديناميكية (Dynamic Programming) لتحديد التسلسل الأمثل لدخول محطات الإنتاج حيز التشغيل.

والهدف من اتباع هذا الأسلوب هو الوصول إلى البرنامج الأمثل لعدد، وحجم، ونوع، وزمن دخول وحدات التوليد الجديدة بأقل تكلفة ممكنة من حيث (الاستثمار والتشغيل والصيانة)، علاوة على ضرورة أن يكون مخطط التوسع في الإنتاج قادرا على تلبية الاحتياج من القدرات لتغطية الطلب على الطاقة الكهربائية المتوقعة وفقا لمستوى محدد من الاعتمادية.

2.5- المعايير المستخدمة لتخطيط التوسع في الإنتاج

اعتمدت الشركة العامة للكهرباء عند دراسة ووضع مخطط التوسع في وحدات إنتاج الطاقة الكهربائية معايير فنية تضمن التغطية الكاملة لأحمال الذروة وإجراء عمليات الصيانة والعمرات الجسيمة والاحتفاظ باحتياطي كاف لأغراض الطوارئ وتتبع الشركة معايير الكفاية (Adequacy Standards) المستخدمة على نطاق واسع عالميا، ويمكن تقسيم هذه المعايير بشكل عام إلى [5]:

- معايير محددة (Deterministic Criterion).
- معايير احتمالية (Probabilistic Criterion).

تستعمل الشركة النوعين من المعايير عند دراسة واتخاذ القرار بإضافة وحدات إنتاج جديدة للمنظومة الكهربائية ونوجز في ما يلي بعض معايير الاعتمادية المستخدمة:

- معيار أكبر وحدة إنتاج بالمنظومة (Largest unit size): أخذاً في الاعتبار هذا المقياس يجب إضافة ما يوازي أكبر وحدة إنتاج (أو أكبر وحدتين) إلى إجمالي القدرات الكهربائية المركبة.

- الاحتياطي الدوار (Spinning Reserve): باستخدام هذا المعيار، يضاف مقدار وحدة إنتاج للمحافظة على الاحتياطي عند معدل معين.

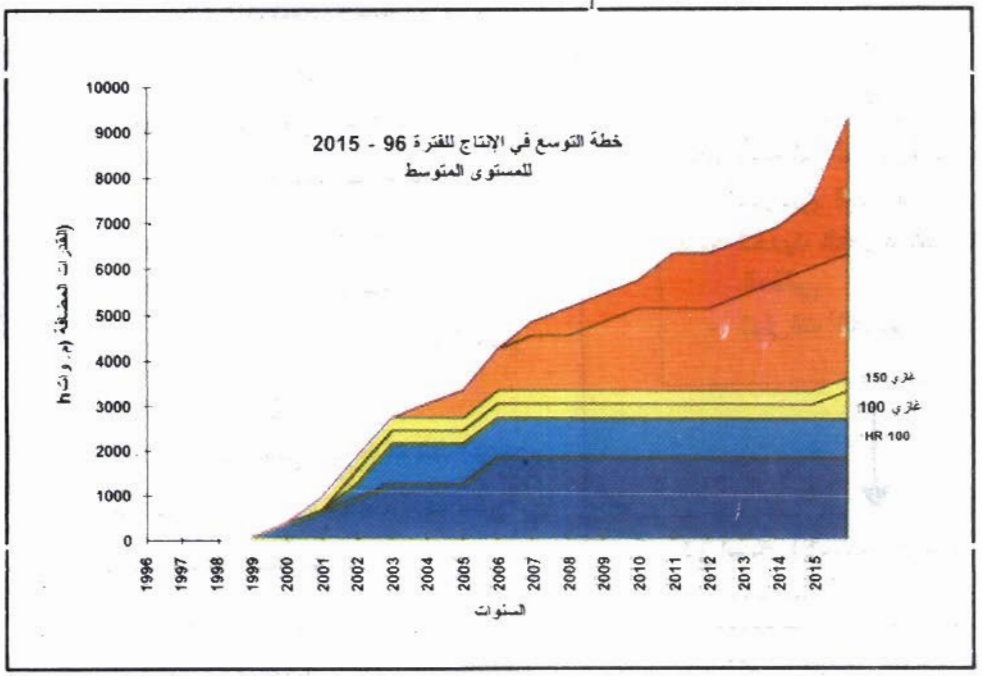
- مؤشر المخاطرة (Risk Index): عن طريق هذا المؤشر فإن احتمالية عدم القدرة على تلبية الطلب (تغطية الأحمال الكهربائية) يتم حسابها لكل (شهر) في السنة، بحيث تضاف وحدة إنتاج للمحافظة على مؤشر المخاطرة في الحدود الفنية المحددة. يسمى هذا المؤشر بالمعيار المحتمل لفقدان الحمل (Loss of Load Probability-LOLP).

يستخدم المعيار المحدد (Plant Margin) بمقدار (25–30%) من إجمالي الحمل الأقصى.

3.5- النتائج

بتطبيق المنهجية المذكورة أعلاه باستخدام النموذج (WASP) فإنه يتطلب إضافة ما يقارب 8750 ميجاوات قدرات مركبة جديدة للشبكة العامة عند الشروط المعيارية العالمية (ISO) أي ما يساوي حوالي 8000 ميجاوات عند ظروف الموقع (Site Rating) خلال الفترة القادمة وحتى العام 2015، وتبين النتائج أن كافة القدرات المضافة من نوع الوحدات ذات الدورة المزدوجة وهذا يرجع إلى الميزات العديدة الفنية والاقتصادية لهذا النوع من الوحدات منها: انخفاض التكلفة الاستثمارية، انخفاض تكاليف الوقود المستخدم (الغاز الطبيعي) وارتفاع الكفاءة. ويبين الشكل رقم (3) النتائج الأساسية للبرنامج [2].

لتقدير إجمالي القدرات اللازمة لتغطية الطلب على الطاقة الكهربائية تبنت الشركة العامة للكهرباء بالمعيار الاحتمالي (LOLP) قيمته 0.55% (يوم لكل خمسة سنوات) مع تقييم حساسية (يوم لكل ثلاث سنوات)، كما



شكل (3) النتائج الأساسية لتخطيط التوسع في وحدات الإنتاج

6- تخطيط التوسع في شبكات النقل

1.6- المنهجية والبرامج المستعملة

إن الهدف الأساسي لأي نظام كـــهربائي هـــو تلبيـــة احتياجات الزبائن بأقل تكلفة ممكنة ووفقا لأفضل المعايـــير الفنية المتبعة والمحافظة على استمرارية التغذية الكهربائيـــة وجودتها، وعليه تقوم الشركة العامة للكـــهرباء باتبـــاع منهجية عامة لتخطيط التوسع في شبكات النقل الكهربائيـة تأخـــذ في الاعتبار أحدث المعايير الفنيـــة والاقتصاديـــة لضمان كفاية وأمـــان (System Adequacy and Security) أداء المنظومة الكهربائية الليبية ورفع درجة اعتماديتها إلى الحدود الفنية الممكنة. تتكـــون هـــذه المنهجية من أربع خطوات [4] تحليل أساسية يتـــم اتباعهـــا على التوالـــي عند دراســـة تخطيـــط التوسع في منظومة النقل الكهربائية، (كما هي مبينـــة بالشكل رقم 4) لتحقيق الأهداف الأساسية التالية:

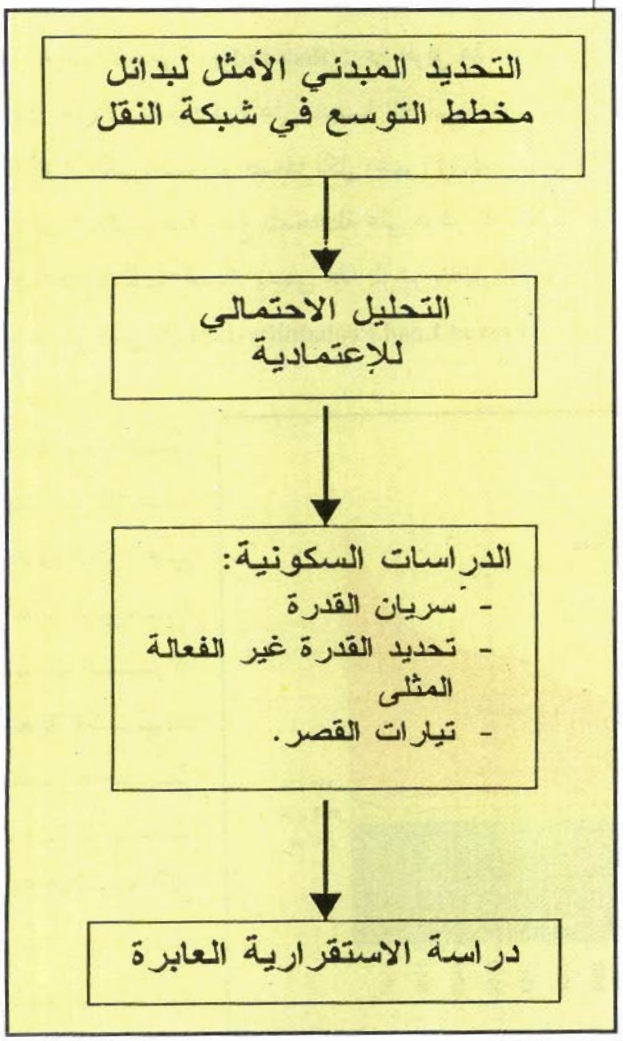
1- اختيار أفضل المخططات فنيـــا واقتصاديـــا للتوسع في شبكة النقل الكهربائي المختلفة مـــع مراعاة احتياجات النقل من القدرة الفعالـــة، وفي حدود معايير الاعتمادية المتعارف عليها.

2- تحقيق وتعديل البديل المقـــترح إذا كـــان ضروريا للأخذ في الاعتبار عمليـــة التحكـــم في مستوى جهد الشبكة ومحددات القـــدرة غـــير الفعالة لوحدات الإنتاج.

3- التأكد من أن البديل المقترح لمخطط التوسع في شبكة النقل الكهربائي يستجيب للشـــروط والضوابط المحددة سلفا وتشمل:

- قدرة النظام الكـــهربائي علـــى مواجهـــة الأحداث العابرة (Transient Disturbances).
- أن لا تتعدى أعلى قيمة لمســـتوى تيـــارات القصـــو (Maximum Short Circuit Currents). لمعدات محطات التحويل الحدود المسموح بها طبقـــا للمواصفات الفنية التصميمية.

وتضمن هذه المنهجية كفاية النظام (System Adequacy) الكهربائي لنقل القدرات الكهربائية المطلوبة من محطـــات التوليد إلى مراكز الأحمال المختلفة والمحافظة على شـــروط الاعتمادية والأمان (System Security) المطلوبة.



شكل (4) خطوات دراسة التوسع الأمثل لشبكات النقل الكهربائية

ولقد تم استخدام مجموعة برامج (SPIRA) لتخطيط التوسع في شبكات النقل الكهربائي على المدى الطويل لتطبيق تلك المنهجية. صممت هذه المجموعة من البرامج من قبل شركة (ENEL) الإيطالية وتمتاز باحتوائها على قاعدة بيانات عددية وبيانية موحدة، وتتكون هذه المنظومة من سلسلة البرامج الآتية [3]:

- برنامج التخطيط الأمثل لشبكات النقل الكهربائي للجهد العالي والفائق (LODEN).
- برنامج التحقق من اعتمادية البدائل المختارة للمخططات باستخدام البرنامج الحاسوبي الخاص (SECRET) وتحديد مدى كفاية البديل المطلوب بتفحص مؤشر الطاقة غير الموزعة (EENS).
- برنامج دراسة سريان القدرة (FLOWAC).
- برنامج التحديد الأمثل لمعدات تعويض القدرة غير الفعالة (BACONE).
- برنامج لحساب مستوى تيارات القصر (CITCIT).
- برنامج لدراسة الاستقرارية العابرة (NEWDEN).

وتستعرض البنود التالية بشكل موجز تطبيق هذه المنهجية لإعداد المخطط العام طويل الأمد (1995–2015) لشبكة النقل الوطنية والنتائج المتحصل عليها خلال خطوة من خطوات هذه الطريقة.

2.6- بدائل التوسع في تخطيط شبكة النقل الكهربائي

1.2.6- المنهجية

يستخدم في هذه الخطوة برنامج التخطيط الأمثل لشبكات النقل الكهربائي (LODEN) والهدف الأساسي من هذه الخطوة هو اختيار أنسب المخططات طويلة المدى لدعم وتطوير الشبكات الكهربائية من حيث المرونة، الكفاية، الاعتمادية والأنسب من الناحية الاقتصادية، ويقوم هذا البرنامج باختيار أنسب دعم للشبكات الكهربائية خلال مدة الدراسة اعتماداً على تكاليف المعدات ومستوى الجهد ومسارات الخطوط المقترحة، وهذه الطريقة شبه الآلية تأخذ في الاعتبار:

- الحالة الأساسية للنظام الكهربائي، الشبكة الكهربائية لسنة الأساس (خطوط النقل، محطات الإنتاج، المحولات والأحمال).
- تطور الطلب على الطاقة في محطات التوليد لآفاق الدراسة.
- مخطط التوسع في محطات التوليد لآفاق الدراسة.
- مسارات خطوط النقل المقترحة.
- مستويات الجهد الجديدة (يمكن استخدام مستويات للجهد).
- تطبيق قاعدة (N-1) لضمان اعتمادية المنظومة الكهربائية.

2.2.6- الفرضيات الأساسية

للقيام بدراسة تخطيط التوسع في النظام الكهربائي على المدى الطويل يستوجب استعمال بعض الفرضيات الضرورية نذكر منها:

- الفترة الزمنية للدراسة بسنة الأساس عام 1995 إلى سنة الأفق عام 2015. وعادة يتم تقسيم الفترة الزمنية للدراسة إلى عدد من الخطوات. وفي هذه الحالة تم تقسيم مدى الدراسة إلى 6 خطوات غير منتظمة كما هي موضحة بالجدول رقم (2) بهدف تطوير مخطط طويل المدى أكثر دقة خصوصا في الخطوات الأولى لفترة المخطط.

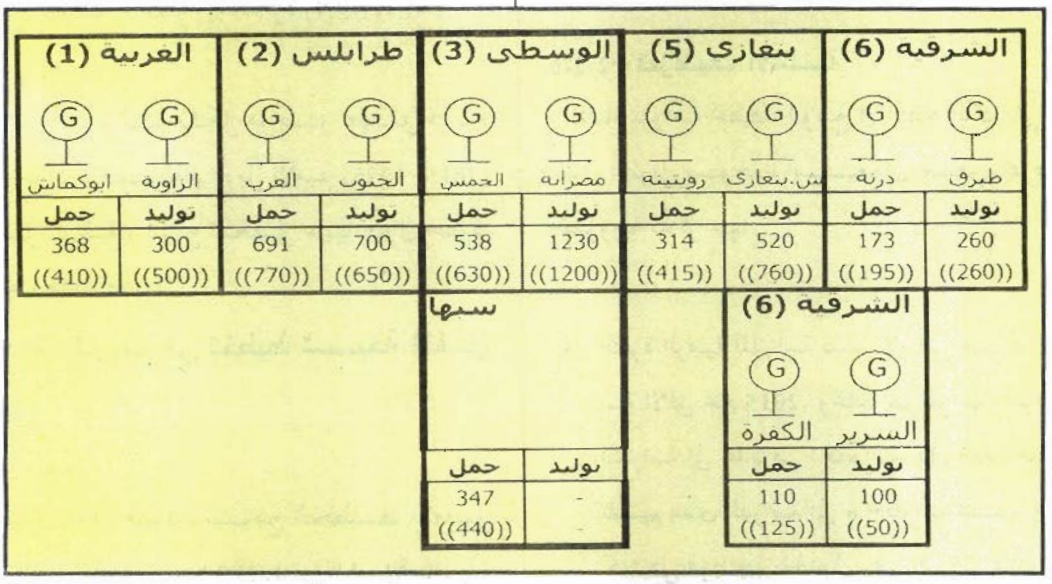
جدول (2) خطوات مدى الدراسة

سنة الأساس	الخطوات					
	الخطوة 1	الخطوة 2	الخطوة 3	الخطوة 4	الخطوة 5	الخطوة 6
1995	1998	2000	2003	2006	2010	2015

- التقسيم الجغرافي للمناطق (اختياري). الشكل رقم (5) يبين المناطق الجغرافية للشبكة الليبية.
- مخطط الشبكات: الشبكة الحالية، الشبكة المقترحة، والشبكة المبرمجة (خطوط النقل، المحولات ووحدات الإنتاج).
- اعتبار بديلين لمخطط التوسع في وحدات الإنتاج من حيث الموقع والسعة.
- اعتبار خيارين لتمثيل المنظومة الكهربائية:
  - عدم وجود تبادل للقدرة الكهربائية مع الدول المجاورة.

- افتراض عبور قدرة كهربائية من مصر شرقا إلى تونس غربا عبر الشبكة الليبية ابتداء من العام 2000.

- دراسة ثلاثة بدائل لتطوير وتوسيع شبكة النقل الكهربائي:
  - استخدام الجهد الحالي 220 ك.ف. فقط.
  - استخدام الجهد الفائق 400 ك.ف فقط.
  - تطوير المنظومة الكهربائية باستخدام الجهدين العالي 220 ك.ف والفائق 400 ك.ف. واعتمادا على دراسة سريان القدرة للتيار المستمر (D.C.) باستخدام برنامج (LODEN) يجب أن يكون مجموع قدرات التوليد لكافة محطات الإنتاج مساويا لمجموع الأحمال لكافة محطات التحويل لكل خطوة من خطوات الدراسة. الجدولين رقم (3،4) يوضحان الأحمال وقدرات التوليد المبرمجة خلال فترة الدراسة (1995–2015).



شكل (5) المناطق الجغرافية للشبكة الليبية

جدول (3) الأحمال القصوى موزعة حسب المناطق بالشبكة الليبية خلال فترة الدراسة

السنة	منطقة 1	منطقة 2	منطقة 3	منطقة 4
1995	313.8	578.7	445.0	228.0
1998	365.0	685.0	543.0	357.0
2000	408.8	774.0	627.0	443.0
2003	483	920	754.0	516.0
2006	544	1116	823.0	622.0
2010	868	1413	958.0	741.0
2015	904	1889	1168.0	920.0

السنة	منطقة 5	منطقة 6	منطقة 7	الإجمالي
1995	254.0	147.0	94.0	2060.0
1998	309.0	172.0	109.0	2540.0
2000	413.0	193.0	122.0	2980.0
2003	478.0	230.0	169.0	3550.0
2006	552.0	275.0	188.0	4120.0
2010	680.0	348.0	218.0	5044.0
2025	884.0	465.0	271.0	6510.0

جدول رقم (4) مخطط محطات الإنتاج بالشبكة الليبية خلال خطوات الدراسة

المحطة	الخطوة 1 سنة 1998 (MW)	الخطوة 2 سنة 2000 (MW)	الخطوة 3 سنة 2003 (MW)	الخطوة 4 سنة 2006 (MW)	الخطوة 5 سنة 2010 (MW)	الخطوة 6 سنة 2015 (MW)
الزاوية	250	500	500	720	720	720
جنوب طرابلس	240	400	400	80	–	
غرب طرابلس	250	250	160	–	660	660
الخمس	720	840	990	720	720	720
مصراتة للحديد	400	400	320	320	300	600
الخليج	–	–	300	900	1624	1881
الزويتينة	120	120	120	–	300	600
بنغازي	360	360	720	720	720	720
درنة	100	100	100			300
طبرق	100	100	100	–	–	300
الإجمالي	2540	2980	3550	4120	5044	6501

3.2.6- تطبيقات ونتائج تخطيط التوسع في الشبكة الليبية

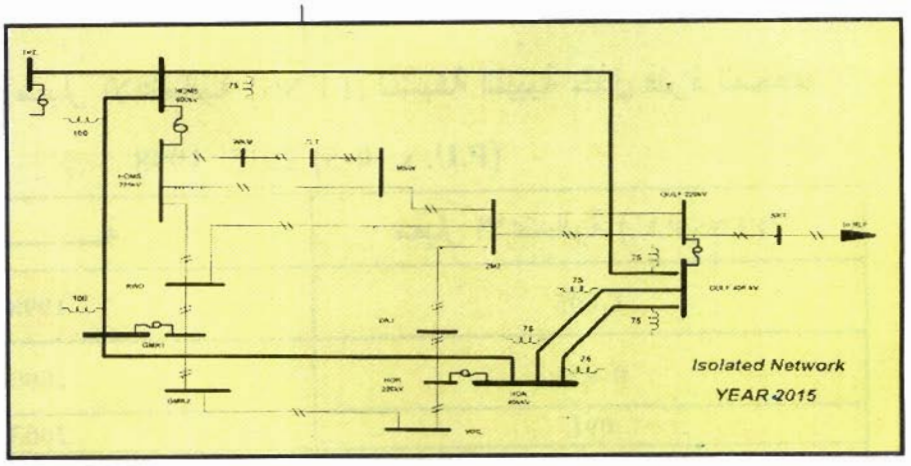
بداية من شبكة النقل الوطنية ذات الجهد العالي 220 ك.ف. لسنة الأساس عام 1995 تم استخدام الخيار المختلط 220، 400 ك.ف. كبديل مرشح للتوسع في الشبكة الكهربائية الليبية، ويحتوي هذا البديل كافة مسارات الخطوط التي من الممكن أن يتم تنفيذها لتعزيز وتقوية شبكة النقل الليبية على المدى الطويل لتغذية الأحمال باعتبار محطات التوليد والقدرة الكهربائية المتاحة من تلك المحطات. ولقد تم تحليل ودراسة العديد من البدائل والخيارات المختلفة لتطوير الشبكة واختيار أنسبها بغرض الدراسة التفصيلية في الخطوات اللاحقة، ويبين الجدول (5) النتائج الأساسية لمخطط التوسع في الشبكة الليبية في حالة عدم وجود تبادل للقدرة الكهربائية مع الدول المجاورة وكذلك في حالة عبور قدرة كهربائية من مصر شرقا إلى تونس غربا عبر الشبكة الليبية، حيث يتطلب تنفيذ حوالي 740 كم من خطوط النقل الكهربائي ذات الجهد الفائق 400 ك.ف. وحوالي 373 كم من خطوط النقل الكهربائي ذات الجهد العالي 220 ك.ف. وكذلك تنفيذ حوالي عدد 5 محطات تحويل 400/220 ك.ف. في حالة التخطيط المنفرد للشبكة أما في حالة افتراض عبور للقدرة الكهربائية بمقدار يبلغ 800 ميجاوات فإنه يستوجب تنفيذ حوالي 2775 كم من خطوط الجهد الفائق 400 ك.ف. وحوالي 429 كم جهد 220 ك.ف. وعدد حوالي 8 محطات تحويل 400/220 ك.ف. ويوضح الشكل رقم (7) المخطط الأحادي للشبكة المطورة في الحالتين.

جدول رقم (5) النتائج الأساسية لدراسة التوسع في تخطيط شبكة النقل الكهربائي الليبية

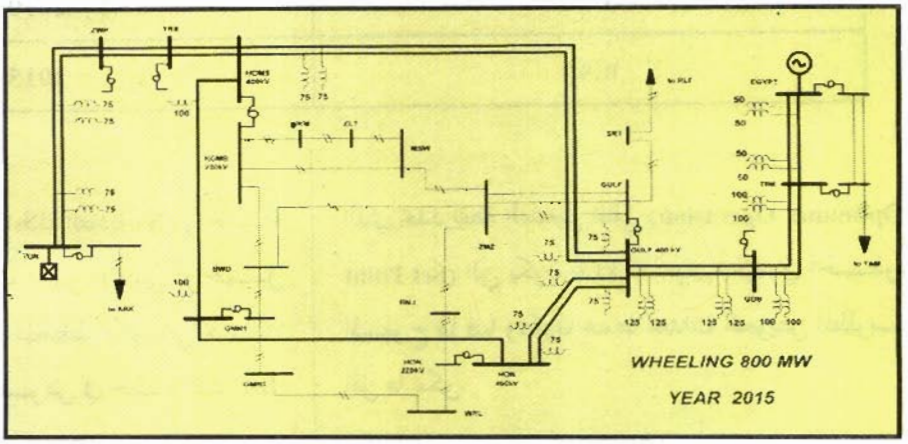
	في حالة عبور قدرة كهربائية	الشبكة الليبية المنفردة
أطول خطوط النقل 220 ك.ف. (كم)	7315	1404
الفاقد (ميجاوات)	589	242
أطول خطوط النقل 220 ك.ف.	429	373
+	2775	740
أطول خطوط النقل 400 ك.ف.	450	196
الفاقد (ميجاوات)		

3.6- دراسة تحليل الاعتمادية السكونية (Steady State Reliability Analysis)

لتحقيق كفاية النظام الكهربائي بشكل عام وتحديد ما إذا كان المخطط الذي تم اختياره مبدئيا خلال الخطوة السابقة يحتاج إلى دعم وتعزيز في أي جزء منه، يتم اختيار وتقييم ذلك المخطط باستخدام برنامج الاعتمادية السكونية (SECRET). حيث يتم في هذه الخطوة تطبيق الطريقة الاحتمالية (Probabilistic Method) للحصول على تقييم كمي (Quantitative Evaluation) لاعتمادية النظام الكهربائي المقترح من خلال مؤشر المخاطرة (Risk Index) للمعامل السنوي للطاقة غير الموزعة المتوقعة (EENS) أخذا في الاعتبار معدلات الخروج الاضطراري والمبرمج لمعدات المنظومة الكهربائية بما في ذلك وحدات التوليد، خطوط النقل والمحولات ويستخدم البرنامج طريقة (Montecarlo Sampling Technique) لحساب مؤشرات الاعتمادية: احتمالية فقدان الحمل



شكل (7أ) المخطط الأحادي لشبكة الجهد الفائق 400 ك.ف. (في الحالة المنفردة)



شكل (7ب) المخطط الأحادي لشبكة الجهد الفائق 400 ك.ف.
(في الحالة عبور 800 ميجاوات)

(LOLP)، فقدان الحمل المتوقع (LOLE) ومؤشر الطاقة غير الموزعة (EENS) المشار إليه أعلاه.

ويعتبر المخطط المقترح للتوسع في النظام الكهربائي جديرا بالاعتماد إذا كانت النسبة بين الطاقة السنوية المتوقعة غير الموزعة (EENS) إلى إجمالي الطاقة الكهربائية المطلوبة أقل من 10^{-4}.

باستخدام برنامج الاعتمادية (البرنامج الثاني من سلسلة منظومة تخطيط الشبكات) (SECRET) للمخطط العام للشبكة الليبية طويلة المدى والذي تم اختياره في الخطوة السابقة للبلدين:

- الشبكة الليبية منفردة.
- الشبكة الليبية في حالة عبور قدرة كهربائية تصل إلى 800 ميجاوات من الشرق إلى الغرب.

أوضحت النتائج أن معيلو الاعتمادية (EENS) لم يتعدى القيمة القصوى المحددة (10^{-4})، وعليه تعتبر البدائل المختارة للشبكة الليبية ذات اعتمادية عالية ولا تتطلب أي دعم أو تعزيز لنقل القدرة الكهربائية الفعالة من محطات الإنتاج إلى مراكز الأحمال المختلفة على مدى فترة الدراسة (1995–2015). والجدول رقم (6) يلخص النتائج.

4.6- دراسة سريان الحمل والتحديد الأمثل لمعدات تعويض القدرة غير الفعالة

الهدف الأساسي من هذه الخطوة هو تحليل المخطط الذي تم تطويره خلال الخطوتين السابقتين باستخدام برنامج سريان الحمل للتيار المتردد (FLOWAC) للتأكد من أن المخطط الذي تم اختياره لا يتعارض بل يستجيب

جدول رقم (6) معيار الاعتمادية (EENS) للشبكة الليبية خلال فترة المخطط 1998-2015 (P.U. x 10-5)

السنة	معيار الاعتمادية (EENS P.U.)
1998	1.605
2000	0.850
2003	091
2006	5.50
2010	0.86
2015	0.93

للمحددات الفنية للتشغيل في الحالة العادية (N) والحالة الاضطرارية (N-1) عند ظروف الحمل الأقصى، والحمل الأدنى، وبغرض التحقق من أن المخطط الكهربائي تحت الدراسة يتصرف بشكل مرض في حالة التشغيل السكونية (a.. c. Steady state Operation) بمعنى أن معدات النظام الكهربائي لا تتعدى معدلات تحميلها القصوى، وأن مستوى الجهد في الحدود المسموح بها، وأن وحدات الإنتاج لا تتعدى حدود تحميلها القصوى والدنيا، تحت ظروف التشغيل العادية (N) وغير العادية (N-1).

بعد الانتهاء من دراسة سريان الحمل وتحديد مستوى الجهد بكافة محطات التحويل بالشبكة والتعرف على معدات التعويض للقدرة غير الفعالة المطلوبة في حالتي الحمل الأقصى والأدنى والتأكد من أن كافة المعدات بالنظام الكهربائي تحت الدراسة لم تتعدى معدلات تحميلها طبقا لمواصفاتها الفنية، عندها يتم إجراء دراسة التحديد الأمثل لمعدات التعويض بواسطة النموذج (BACONE)، الذي يحدد نقطة التشغيل المثلى (Optimum Operation Set Point) التي يكون عندها مستوى الجهد في الحدود المسموح بها فنيا وتكون عندها معدات التعويض المطلوبة أقل ما يمكن.

وبتطبيق هذه الطريقة على المخططات متوسطة وطويلة المدى للمنظومة الليبية، أمكن الحصول على نتائج جيدة وذلك بتخفيض عدد المفاعلات (Reactors) المطلوبة بالشبكة لفترة التشغيل القصوى والدنيا. الجدول رقم (7) يبين نتائج هذه الخطوة عند دراسة المخطط الرئيسي للعام 2015 كمثال تطبيقي [3].

5.6- دراسة الاستقرارية العابرة (Transient Stability Analysis)

تعتبر هذه الدراسة الخطوة الأخ ـة في سلسلة الخطوات المتبعة لتخطيط التوسع في نظام ا مل الكهربائي وإعداد

جدول رقم (7 أ) إجمالي المفاعلات لسنة 2015

سنة 2015	شبكة معزولة التشغيل الأمثل	Flowac	الفـرق Mvars
الحمل الأقصى	700	1235	-535
الحمل الأدنى	930	1490	-565

جدول رقم (7 ب) مفاعلات شبكة 400 كيلو فولت

سنة 2015	شبكة معزولة التشغيل الأمثل	Flowac	الفـرق Mvars
الحمل الأقصى Line Bus	650 –	750 –	-100 –
الإجمالي	650	750	-100

جدول رقم (7 ج) مفاعلات شبكة 400 كيلو فولت

سنة 2015	شبكة معزولة التشغيل الأمثل	Flowac	الفـرق Mvars
الحمل الأقصى Line Bus	651 100	750 100	-100 0.0
الإجمالي	750	850	-100

المخطط الاستراتيجي طويل المدى للشبكة الكهربائية الليبية، وتهدف هذه الخطوة إلى التعرف على مستوى أمان الشبكة الكهربائية التي تم اختبارها وتحليلها في الخطوات السابقة، كما تهدف الدراسة إلى تحقيق ما إذا كان البديل الذي تم اختياره خلال الخطوات السابقة قادر على مواجهة الأعطال الطارئة والتي يمكن أن تسبب هزات عنيفة للمنظومة الكهربائية وفقاً لمعايير أمان محددة سلفاً لتخطيط التوسع في النظام الكهربائي.

وبتطبيق هذه الخطوة تبين أن البديل الذي تم التوصل إليه قادر على مجابهة الأعطال بمختلف أنواعها ويحقق أمن النظام الكهربائي الذي تمت دراسته طبقاً للمنهجية السابقة.

المراجع

1. "Load Forecast Final Report", (1995-2015), GECOL/HQI of Canada, 1995.
2. "Generation Expansion Plan", (1995-2015), GECOL/HQI of Canada, 1996.
3. B. M. Jomaa, F. M. Abuogarad, H. A. Hadoud, O. Bertoldi, A. Invernizzi, P. Baioni, B. Cova, A. Mansoldo "Transmission Power System Planning in Libya":
4. Part I System Network Planning Expansion Alternatives Selection.
5. Part II AC Load Flow Analysis and Reactive Power Optimization.
6. Part III Transient Stability under abnormal System Conditions.
7. "Project New 400 kV Libyan Network Study Reports, Vol. 1,2,3. GECOL/ENEL/CESI, July 1997.
8. AD Hoc Group 37.20 "Review of Adequacy Standards for Generation and Transmission Planning", Electra No. 150 October, 1993.
9. GECOL Annual Reports 1994, 1995, 1996, 1997 and 1998.