Integration of traditional electric power networks operation system with renewable energy resources

Dr. Faisal Shoban*
Dr. Tarek Kherbik*
Sinan Razouk**

(Received 26 / 3 / 2019. Accepted 9 / 6 / 2019)

□ ABSTRACT □

In most countries, electrical power grids now rely on technologies and systems that have been in existence for more than 50 years, making their old instruction an obstacle to meeting the growing demand for energy and meeting the needs of electricity users. As a result of fast development of electrical power applications, the need to find new ways to produce, store and deliver electricity to the consumer has been directed towards the techniques of generating electricity from renewable energy sources such as solar, wind, biomass and other energy sources, Our traditional power grids today face new challenges, including the involvement of renewable energy resources distributed at different points of the network, or what is known as distributed generation, The disadvantages of this shift from central power generation to decentralized generation are voltage instability and changing power flow within the network. The concept of the smart grid of the energy system has recently been introduced. It is an integrated digital electricity system that effectively controls the production of energy from its various sources. In this paper, we presented a basic understanding of the performance of the traditional electrical grid when integrating with renewable energy resources distributed at different points, and the impact of smart grid technology on resolving the problem of load flow.

Key Words: Smart grid, distributed generation networks, power flow problem, Newton-Raphson method.

* **Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

** **Postgraduate student, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

تكامل عمل الشبكات الكهربائية التقليدية مع مصادر الطاقة المتجددة

الدكتور فيصل شعبان*

الدكتور طارق خيربك*

سنان رزوق**

(تاريخ الإيداع 26 / 3 / 2019. قُبِل للنشر في 9/ 6 / 2019)

□ ملخّص □

تعتمد شبكات الطاقة الكهربائية في أغلب البلدان حاليًا على تقنيات وأنظمة مر عليها ما يزيد عن خمسين عامًا، مما يجعل من بنتيها القديمة عائقًا في مواكبة الطلب المتزايد على الطاقة وتلبية احتياجات المستخدمين من الكهرباء. ونتيجة للتطور السريع في تطبيقات الطاقة الكهربائية كانت الحاجة إلى إيجاد سبل جديدة لإنتاج الكهرباء وتخزينها وتوصيلها إلى المستهلك، فكان التوجه نحو تقنيات توليد الطاقة الكهربائية من المصادر المتجددة للطاقة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح والكتلة الحيوية وغيرها من مصادر الطاقة الأخرى، الأمر الذي جعل من شبكات الطاقة الكهربائية التقليدية لدينا اليوم تواجه تحديات جديدة، بما في ذلك إشراك موارد الطاقة المتجددة الموزعة في نقاط مختلفة من الشبكة، أو ما يعرف بالتوليد الموزع (Distributed Generation). مساوئ هذه التحول من التوليد المركزي للطاقة إلى التوليد اللامركزي هي عدم استقرار الجهد وتغير سريان الاستطاعة داخل الشبكة. تم مؤخرا طرح مفهوم الشبكة الذكية لنظام الطاقة، حيث تعد نظامًا كهربائيًا رقميًا متكامل يتم من خلاله التحكم الفعلي في انتاج الطاقة من مصادرها المتنوعة. قدمنا في هذا البحث فهماً أساسياً لأداء الشبكة الكهربائية التقليدية عند التكامل مع موارد الطاقة المتجددة والموزعة في نقاط مختلفة منها، وتأثير تقنية الشبكة الذكية على حل مسألة سريان الحمولة.

الكلمات المفتاحية: الشبكات الذكية – شبكات التوليد الموزع –سريان الحمولة – طريقة نيوتن رافسون.

* **أستاذ – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

** **طالب دراسات عليا (دكتوراه) – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مقدمة

أولى التحديات التي تواجه مرافق نظام القدرة الكهربائي اليوم هي تحقيق التوازن بين انتاج الطاقة والطلب المتزايد عليها مع الحد من الاعتماد على مصادر الطاقة غير المتجددة والتي يشكل الوقود الأحفوري أهم مصدر لها، إلا أنه يعد سببا لانبعاثات الغازات كثاني أكسيد الكربون (CO_2) وغازات أخرى تؤدي إلى زيادة تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري[1]. لمواجهة أوقات الذروة للاستهلاك خلال ساعات الظهيرة من أيام الصيف الحارة مثلا، يتم عادة الاستعانة بالأنظمة الاحتياطية لمحطات توليد الطاقة المركزية. حيث يوفر هذا الاحتياطي إنتاجًا إضافيًا للطاقة اللازمة لسد حاجة الاستهلاك خلال وقت الذروة، إلا أنه أحيانا يتعذر الاعتماد على تلك الأنظمة، حيث تشكل قدرا كبيرا من الاستهلاك الإضافي لمصادر الطاقة كالنفط والغاز ذات تكلفة التشغيل الباهظة. من هنا تبرز أهمية الحاجة الفعلية لإيجاد وسائل بديلة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتطوير اليات استخدامها بحيث تحقق التوازن بين التوليد والاستهلاك خلال ساعات ذروة الطلب على الطاقة مع تجنب حالات العجز عن إمداد الطاقة للمستهلكين خلال تلك الأوقات وتحقيق التوفير الاقتصادي المرجو من عدم تشغيل الاحتياطي[2].

تتمثل أحد التحديات الأخرى في الإقبال المتزايد على إنتاج الطاقة المتجددة وتحول المستهلكين إلى "مستهلكين منتجين" إشارة إلى المستهلكين الذين ينتجون طاقة تزيد عن استهلاكهم، فخلال السنوات الأخيرة، تتجه أغلب الدول المتقدمة إلى دعم مواطنيها بالمحفزات والمقومات الأساسية التي تساعدهم في استغلال مصادر الطاقة المتجددة كالألواح الشمسية لتوليد الطاقة الكهروضوئية وتوربينات الرياح، وذلك من خلال توصيل تلك الوسائل بشبكات الكهرباء وبيع أي فائض من الطاقة التي يتم توليدها من خلال تلك المصادر، ورغم المزايا الرائعة لاستغلال المصادر المتجددة إلا أن توزيع انتاج الطاقة ما بين المصادر المتنوعة والموزعة في نقاط مختلفة من الشبكة يجعل من عملية تحقيق التوازن بين انتاج الطاقة والطلب عليها أمرًا غاية الصعوبة بالنسبة للمرافق الكهربائية، حيث تتحكم كمية الطاقة التي يتم توليدها من خلال مصادر الطاقة المتجددة في تحديد كمية الطاقة التي يحتاجها المستهلك من شبكات الكهرباء[2]، يضاف إلى ما سبق عدم انتظام مصادر الطاقة المتجددة مما يزيد من صعوبة عملية التحكم في الطاقة التي يتم توليدها، فعلى سبيل المثال تتحكم الظروف الجوية بشكل كبير في كفاءة تشغيل السخانات الشمسية وتوربينات الرياح، بعكس الوسائل التقليدية الأخرى مثل عملية التوليد باستخدام الفحم والتي يسهل التحكم فيها وتوقع نتائجها.

أهمية البحث وأهدافه:

أنشأت معظم دول العالم شبكة نظام الطاقة الكهربائية مع اتجاه واحد لسريان الطاقة من التوليد المركزي باتجاه المستهلكين، إن محدودية اتجاه واحد لتدفق الطاقة يجعل من الصعب على الشبكة الاستجابة لأي تغيير في متطلبات الطاقة الناشئة اليوم. وبالتالي، تم تصميم الشبكات الكهربائية الذكية لتؤدي وظائف مختلفة ومتنوعة من زيادة استقرار الشبكة ورفع مستوى الموثوقية والكفاءة في الأداء، ولتكون وسيلة للسماح بالتدفق المتبادل للطاقة والمعلومات بين شركات الكهرباء والمستهلكين، من خلال إمكانية استجرار الطاقة من مصادر بديلة تعتمد تقنيات توليد الطاقة الكهربائية عبر مصادر متجددة مستمدة من الطبيعة، والتي يمكن أن تكون موزعة في نقاط مختلفة على كامل امتداد منظومة القدرة الكهربائية، مما استدعى الحاجة إلى مزيد من الدراسات البحثية من أجل تحليل تأثير هذا التوليد الموزع على أداء الشبكة، لأنه حتى في حالة ربط الطاقة المتجددة بالشبكة، فإن شبكات التوزيع في جميع أنحاء العالم لا تملك أي وسيلة

لتوقع هذا التدفق الارتجاعي للكهرباء أو التعامل معه. تكمن أهمية هذا البحث في إيجاد آلية تسمح بمعرفة أداء نظام الشبكة الكهربائية التقليدية قبل وبعد التكامل مع موارد الطاقة المتجددة الموزعة في عقد مختلفة من الشبكة من خلال تحليل سريان الحمولة في شبكات التوليد الموزع، وبالتالي، فإن نمذجة شبكة الطاقة الكهربائية الذكية هي جزء من هذا البحث.

يهدف هذا البحث إلى:

أولا. تقييم تطور سريان الحمولة لنظام شبكة الطاقة الكهربائية التقليدية عند التكامل مع مصادر الطاقة البديلة الموزعة في عقد مختلفة من النظام.

ثانيا. تطوير لنموذج رياضي يحل مسألة سريان الطاقة الكهربائية للشبكات التقليدية ليكون ملائما لتحليل عمل شبكات التوليد الموزع عند التكامل مع موارد الطاقات المتجددة.

ثالثا. وضع برنامج حاسوبي لأجل نمذجة ومحاكاة سريان الحمولة في شبكات الطاقة الكهربائية الذكية.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدت طريقة البحث على:

- إمكانية تطوير نظام شبكة الطاقة الحالية. حيث خضعت الدراسات الإضافية في هذا القسم إلى تعريف الشبكة الذكية ومراجعة بعض الأفكار الأساسية من قبل بعض الباحثين المهتمين بهذه التقنية.
- تطوير نماذج النظام وحساب سريان الحمولة باستخدام برمجيات قائمة للتحليل، طريقة (نيوتن–رافسون). مناقشة النظرية هنا حول حساب سريان الحمولة للشبكات الذكية.
- محاكاة سريان الحمولة لنظام شبكة الطاقة الكهربائية العاملة بتوتر اسمي 66 Kv في محافظة اللاذقية من خلال برنامج صمم لهذه الغاية، يتيح تحليل الأداء الفني للشبكة قبل وبعد التكامل مع موارد الطاقة المتجددة.
- استعراض التوصيات اللازمة لأجل حل مسألة سريان الحمولة عند التكامل مع موارد الطاقة الموزعة، بعد مناقشة النتائج من خلال البرنامج.

شبكة الطاقة التقليدية

إن الاعتماد على توليد الطاقة الكهربائية من مصادر متعددة يتطلب حل العديد من المسائل المتعلقة بشبكة الطاقة الحالية. إذ تتطلب الإدارة الفعالة لشبكات الكهرباء زيادة الإحاطة بأساليب توليد الكهرباء وتوصيلها واستهلاكها وتطوير عملية التحكم في تلك الأساليب، وهنا تبرز الحاجة المتزايدة إلى الاعتماد على شبكات أكثر تطورا، نظرا لأن التوليد الموزع له تأثير فوري عندما يكون متصلاً في أنظمة التوزيع [3]. وكما نعلم ان الشبكات الحالية التقليدية تعمل على نقل الطاقة الكهربية في اتجاه واحد من محطات التوليد الى أماكن الاستهلاك، فغالبا ما تقع محطات التوليد في أماكن بعيدة عن المجتمعات العمرانية والصناعية نظرا لاحتياجها الى ظروف بيئية خاصة مثل أماكن انتاج الوقود المستخدم أو مواضع السدود المائية وغيرها، ويتم توليد الطاقة الكهربائية على جهد متوسط ليتم رفعه باستخدام محولات رفع الجهد تمهيدا لنقله عبر مسافات طويلة في حدود مئات الكيلو مترات ثم يتم خفض الجهد باستخدام محولات خفض الجهد على عدة مراحل وذلك للاستفادة من المستويات المختلفة للجهد في التطبيقات الصناعية المختلفة وكذلك لتوزيع الكهرباء على أماكن الاستهلاك [4]. ونتيجة لذلك كان صعباً أو مكلفاً أو ربما مستحيلاً ربط مصادر الطاقة المتجددة الموزعة

بالشبكة. ستساعد التقنيات المتعلقة بقياس الصافي على إدماج مصادر الطاقة المتجددة المتباينة في الشبكة، ومن الإمكانات الجديدة التي تتيحها الشبكة الذكية توليد الطاقة وتوزيعها بصورة لا مركزية[5].

الشبكة الذكية

لتحسين كفاءة نظام شبكة الطاقة والاستفادة من مصادر الطاقة البديلة على وجه التحديد، تطورت مفاهيم جديدة نظرًا لزيادة الطلب وتطور التقنيات التي تتيح استخدام الطاقة بأكثر الطرق فعالية. الشبكة الذكية هي المصطلح المناسب لتقديم تصور عن مستقبل شبكة الطاقة الكهربائية. إنها الحل الأكثر ملاءمة والمستدامة في الوقت الحاضر لتوفير إمدادات كهربائية آمنة وموثوقة ونظيفة وعالية الجودة [6]. واستناداً إلى شبكة الطاقة المادية القائمة، فإن الشبكة الذكية هي نوع جديد من شبكة الطاقة التي تتكامل بشكل كبير مع مصادر الطاقة المتجددة وتقنيات المعلومات والاتصال المتقدمة، وعلوم الكمبيوتر. وبهذه الطريقة، فإن الشبكة تعطي بعض المزايا مثل تحسين كفاءة الطاقة، الحد من التأثير السلبي على البيئة، تعزيز أمن وموثوقية إمدادات الطاقة، والتقليل من ضياع الطاقة لنقل الكهرباء [7]. لا تقتصر مزايا الشبكات الذكية على تطبيق بعض التقنيات المبتكرة فحسب، بل تشمل أيضًا التدريب الطوعي للمستهلكين على اختيار أسلوبًا معينًا لاستهلاك الطاقة على مدار اليوم؛ فأداة مثل (العداد الذكي) ستوفر للمستهلك معلومات فعلية عن كمية الطاقة التي يستهلكها وتكلفة الاستهلاك، ومع هذا الوعي المتزايد قد يصبح المستهلك أكثر قدرة على اتباع أنماط استهلاك معتدلة، كما ستساعد إمكانية التواصل الفعلي مع العملاء في ظهور المزيد من أساليب التحكم في الطلب على الطاقة وتنظيمه بحيث يتماشى مع الحصص المتاحة من الإنتاج[8].

دراسة سريان الحمولة في نظام الطاقة

يجب تحليل أداء نظام الطاقة سواء في أنظمة التشغيل العادية أو العابرة (حالة قصر في الدارة). هذا التحليل النوعي الذي يسمى في نظام الحالة المستقرة العادية سريان الاستطاعة أو دراسة سريان الحمولة. الهدف منه هو تقييم محددات ذلك الأداء مثل الجهود، والتيارات، وسريان الاستطاعة الفعلية والردية في نظام تحت ظروف تحميل معينة. الغاية الرئيسية من دراسة سريان الاستطاعة هي تحديد تصميم نظام معين بتكلفة أقل، بحيث يمكن أن ينتج جهد بارات ضمن حدود مقبولة[9]. سيقدم تخطيط شبكة الطاقة العديد من الدراسات التي تتناول تخطيط توليد الطاقة، تخطيط نظام النقل وتخطيط إمدادات الطاقة الردية. ذلك لضمان عمل شبكات الطاقة ضمن حدود التشغيل الخاصة بها وأن تكون جهود البارات ضمن الحدود المقبولة.

تحليل سريان الحمولة

حساب سريان الاستطاعة هو الشيء الأكثر أهمية في تحليل وتصميم نظام الطاقة. يتطلب حل مسألة سريان الحمولة خطوتين رئيسيتين، بمعنى الصياغة الرياضية للمسألة وتطبيق التقنية العددية لحل المشكلة[9]. شبكات التوزيع المستقبلية مثل الشبكات الذكية تحوي على مصادر طاقة متعددة ومتنوعة في عقد مختلفة من الشبكة، علاوة على ذلك، شبكات التوزيع الجديدة ليست شعاعية على عكس التقليدية. في الواقع ولزيادة فعالية وحدات التوليد الموزعة قد تحوي شبكات التوزيع الحديثة على أكثر من حلقة واحدة. لذلك لم تعد طرق الحل المتبعة في تحليل الشبكات الشعاعية والقائمة على مبدأ المسح الأمامي والعكسي مرغوبة في هذه الشبكات التي يمكن أن تحوي على أكثر من حلقة واحدة[10]. إذ أن مسألة سريان الحمولة هنا تتطلب حلولاً من معادلات غير خطية متزامنة، عادةً ما تستخدم طرق الحل التكرارية، مثل طريقة غاوس سايدل (Gauss–Seidel) وطريقة نيوتن رافسون (Newton Raphson). النتائج

هنا ضرورية لمزيد من الحساب لأجل التحليل والتصميم. بحثنا سيقدم الشيء المهم الذي يجب معرفته في دراسة سريان الحمولة مثل أنواع البارات، طريقة حل مسألة سريان الحمولة عند التكامل مع مصادر متوزعة للطاقة المتجددة، ثم اختبار بيانات شبكة الطاقة الكهربائية العاملة بالتوتر الاسمي 66 Kv في محافظة اللاذقية.

حل مسألة سريان الحمولة في شبكات التوليد الموزع

المنهجية المتبعة في هذا البحث مبنية على طريقة (نيوتن – رافسون)، والتي جعلت من الممكن حل المشكلة بالنسبة لنظام طاقة كبير. إذ أن هذه الطريقة تظهر تقارب عالي في الخصائص ومستقلة عن حجم الشبكة، وعدد بارات التحكم بالجهد. كما تحتاج إلى عدد أقل من التكرار عن غيرها من طرق الحل التكرارية، في هذه الطريقة، يُفترض أولاً تقدير أولي لمطال جهود البارات وزوايا الطور. باستبدال هذا التقدير في مجموعة المعادلات المحددة، يتم الحصول على تقدير ثانٍ، أفضل من الأول. تتكرر هذه العملية ويتم الحصول على تقديرات أفضل وأفضل من الحل السابق حتى يصبح الفرق بين التقديرات المتتالية أقل من التسامح المنصوص عليه[10]. في مسألة سريان الحمولة، يتم تعريف العديد من البارات. ولكن الأكثر أهمية ثلاثة أنواع هي بار التحميل، بار التحكم بالجهد، وبار التأرجح (المرجعي)[11]. يوضح الجدول (1) تصنيف أهم أنواع البارات حسب الكميات المحددة والأخرى المطلوب حسابها عبر حلول مسألة سريان الاستطاعة، هناك أربع كميات مرتبطة مع كل بار وهي:

PI: الطاقة الفعلية المحقونة في البار، QI : الطاقة الردية المحقونة في البار، IVI مطال الجهد على البار، δ زاوية الطور للجهد على البار.

الجدول (1) : أنواع البارات.

نوع البار	القيم المحددة	القيم غير المحددة
بار التحميل P – Q bus	P , Q	δ , | V |
بار التحكم بالجهد P – V bus	P , | V |	δ , Q
البار المرجعي Slack bus	δ , | V |	P , Q

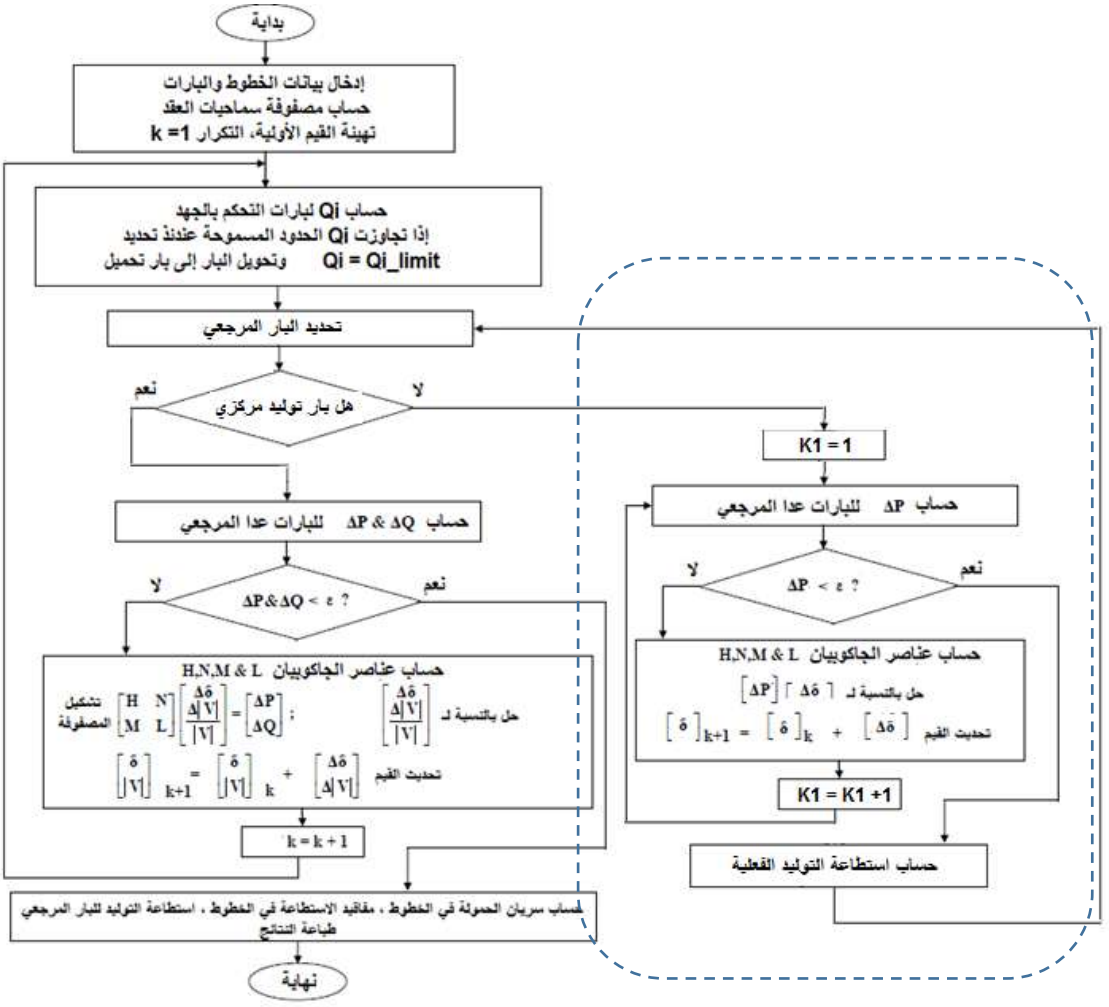
أنجزت في السابق العديد من الأبحاث حول الطرق التكرارية المعتمدة على الحاسب الآلي في حل مسألة سريان الحمولة للشبكات الكهربائية التقليدية، متضمنة المعادلات الرياضية المطلوب حسابها إضافة لخوارزمية الحل من أجل تطبيقها من خلال البرامج الحاسوبية. لذلك نكتفي في بحثنا هذا بعرض التعديلات المقترح تنفيذها على خوارزمية طريقة نيوتن رافسون التكرارية من أجل تحليل نظام عمل شبكات التوليد الموزع، والتي تأخذ بالحسبان التغيرات التالية الناتجة عن خصائص الشبكة الذكية[11]:

- تشبيك مصادر التوليد المتوزعة على الشبكة وتأثيرها الفوري على الجهد والسريان.
- صغر المسافة بين مراكز التوليد والاستهلاك.
- هناك مزيج من الخطوط القصيرة (ذات الممانعات الصغيرة) مع الخطوط الطويلة (ذات الممانعات العالية) أي أن نسبة X/R منخفضة في خطوط التوزيع.
- التوليد حسب الحاجة، يجب تحقيق معادلة التوازن في ظل التغيرات الدائمة في الطلب والتوليد.

عندما يتم اشراك مصادر التوليد الموزع مع الشبكة المحلية، الطاقة التي يتم التقاطها من الشمس أو مصدر الرياح، تجعل إنتاجها بصورة طاقة حقيقية فقط. في البداية يتم اعتبار نوع البار الذي من خلاله سيتم حقن الشبكة بالطاقة البديلة بار توليد مرجعي، وبنفس الوقت يتم اعتبار بار التوليد الذي كان من النوع المرجعي قبل الحقن على أنه بار

حمل ذو استطاعة تحميل سالبة (استطاعة التوليد المركزي قبل الحقن). عندئذ وأثناء التكرارات يتم العمل على القيم الفردية من مصفوفة الجاكوبيان دون تغيير في بقية القيم (العمل على الأقسام الحقيقية فقط) بحيث تعطي نتائج الحساب قيم الاستطاعة الفعلية اللازمة لتزويد كامل حمل الشبكة بالطاقة البديلة، ليتم بعدها مقارنة النتيجة مع قيمة الطاقة البديلة المقترح استجرارها، فإذا كانت هذه الأخيرة أعلى من قيمة طاقة التوليد المحسوبة عندئذ يتم اعتبار هذا البار كبار مرجعي لأجل أي حساب تالي لمسألة سريان الحمولة عند أي تغيير في قيمة حمل الشبكة أو ما يقابله من تغيير في قيمة التوليد. أما قيم زوايا الطور لجهود توترات البارات المحسوبة في تلك الحالة تعتبر كقيم أولية عند إجراء الحساب النهائي بعد إعادة تصنيف نوع بار التوليد المركزي على أنه بار مرجعي، لأنه عند دراسة تدفق الحمل، لا يمكن تحديد الطاقة الفعالة وغير الفعالة (أي الطاقة الردية) في جميع المصادر، وحيث أن صافي الطاقة الردية في الشبكة غير معروف مقدمًا، فإن مفاقيد الطاقة في النظام ستكون غير معروفة حتى اكتمال دراسة تدفق الحمل. ولذلك، من الضروري أن يكون هناك مصدر واحد (أي المصدر الثابت الجهد) تكون الطاقة الردية عنده غير محددة، بحيث تزود الفرق في خسائر مجمل حمل النظام الكلي بالإضافة إلى مجموع الطاقة الردية المحددة على البارات المتبقية.

لأجل تضمين الحسابات في إجراء موحد لجميع بارات التوليد الموزع أثناء العملية التكرارية، يتم تصنيف نوع جديد من البارات يؤثر على معامل القدرة، يطبق عليه التعديل السابق عند كل مرة يتم فيها استجرار طاقة فعلية متغيرة عن قيمة طاقة التوليد السابقة إن وجدت. يعرض الشكل(1) المخطط الصندوقي لخوارزمية تحليل سريان الحمولة وفق طريقة نيوتن رافسون لشبكات التوليد الموزع [12]. حيث تمت الإشارة إلى جزء التعديل المطلوب من خلال تمييزها بإطار منقط كما يلي



الشكل (1): المخطط الصندوقي لطريقة (نيوتن – رافسون) في شبكات التوليد الموزع.

تتضمن مرافق أنظمة مصادر الطاقة المتجددة كافة الأنظمة والمعدات التي تستخدم لاستغلال مصادر الطاقة المتجددة لإنتاج الطاقة الكهربائية، وتصنف إلى صنفين رئيسين، الصغيرة منها، حيث يتم وصلها على الجهد المتوسط لشبكة التوزيع. وأنظمة مصادر الطاقة المتجددة الكبيرة التي توصل مع نظام كهربائي مصمم على جهد كهربائي اسمي يزيد عن 33 Kv لغايات نقل الطاقة الكهربائية من محطة التوليد إلى محطة التحويل أو إلى محطة توليد أخرى أو بين محطتي تحويل أو إلى أي من شبكات الربط الخارجي. يتضمن هذا الصنف محطات توليد الطاقة التي تعتمد في انتاج الكهرباء على مصدر طاقة متجددة كالمحطات الحرارية ذات الطاقة الشمسية والمحطات الريحية لإنتاج الطاقة الكهربائية باستطاعة توليد تزيد عن 50 Mw [13].

تحليل بيانات شبكة 66 Kv لمحافظة اللاذقية

سيتم محاكاة شبكة الطاقة الكهربائية العاملة بتوتر اسمي 66 Kv في محافظة اللاذقية والمقدمة بياناتها في الشكلين(2) و(4). من خلال برنامج قمنا بتصميمه عبر لغة برمجية مرئية غرضية التوجه DELPHI. تسهل للمستخدم إمكانية نمذجة مختلف أنواع الشبكات الكهربائية الشعاعية منها والحلقية بصنفيها البسيط أو المعقد، من خلال تقنية سحب

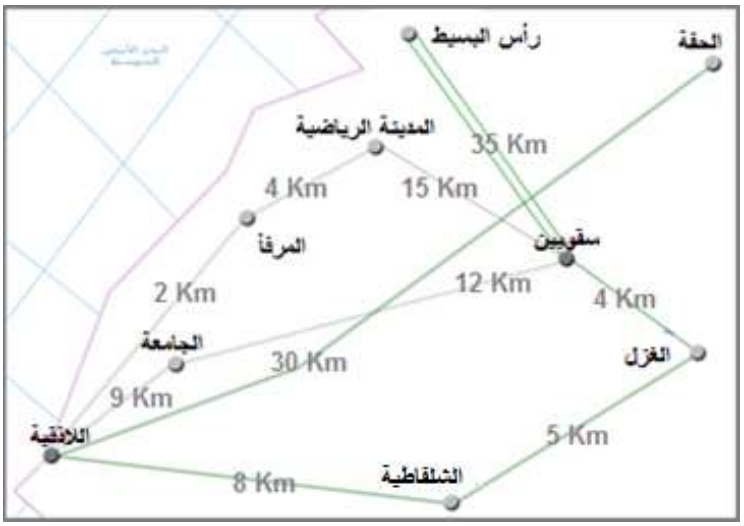
العناصر وإفلاتها، وتشكيل قواعد بيانات قابلة للتحرير والحفظ. ثم إجراء تحليل سريان الحمولة عند ظروف التحميل الطبيعية بطريقة (نيوتن رافسون) التكرارية، فيما يلي نعرض الإمكانيات التي يقدمها هذا البرنامج:

1. استخدام العناصر الرئيسية في نظام القدرة الكهربائي، التوليد وخطوط النقل، إضافة للأحمال والتعويض الردي، بعدد أقصاه 100 بار.
2. إدخال سهل لبيانات العناصر من خلال النقر المزدوج على العنصر، مع تصنيف آلي لأنواع البارات.
3. التأكد من صحة التوصيل، القيم الأولية لجهود البارات، بارامترات خطوط نقل الطاقة، قبل البدء بإجراء الحسابات اللازمة لحل مسألة سريان الاستطاعة بطريقة (نيوتن رافسون) التكرارية.
4. طباعة تقرير بنتائج الحساب والمتضمنة:

- تحديد مصفوفة مسايرات العقد في الشبكة Y_{bus}
- التغير في مطال جهود وزوايا الطور للجهد على البارات أثناء التكرار
- القيم النهائية لمطال جهود البارات وزوايا الطور لها، إضافة لنسبة مئوية لمقدار تغير الجهد عن جهد البار المرجعي.
- استطاعة التوليد اللازمة على البار المرجعي.
- كمية الاستطاعة المتدفقة في خطوط الربط بين البارات. وتحديد مفاقيد الطاقة الكلية.

5. إمكانية تحليل الأداء الفني للشبكة بعد التكامل مع عناصر التوليد الموزعة في عقد مختلفة، وبالتالي الانتقال إلى نمذجة الشبكات الكهربائية الذكية، كما يقوم البرنامج بتحليل معطيات الوقت الحقيقي لبارامترات الشبكة أثناء التكامل مع مصادر الطاقة البديلة من خلال مجموعة من أدوات التحكم تتيح تعديل البيانات خلال الوقت الحقيقي للنمذجة كما يلي:

- إمكانية إقحام مصدر طاقة متجددة في عقد مختلفة من الشبكة (بارات الشبكة) في نفس الوقت.
- إمكانية تعديل نوع البار المتكامل مع مصدر الطاقة البديلة (بار تحميل أو بار تحكم بالجهد).
- إمكانية تزويد منبع الطاقة البديلة بقيم متغيرة خلال الوقت الحقيقي للنمذجة، وتتبع نتائج التحليل من خلال مجموعة من المنحنيات تظهر تأثير هذا التغيير على بارامترات الشبكة.



الشكل (2): مخطط شبكة الطاقة العاملة بتوتر اسمي 66 Kv في محافظة اللاذقية*.

النتائج والمناقشة

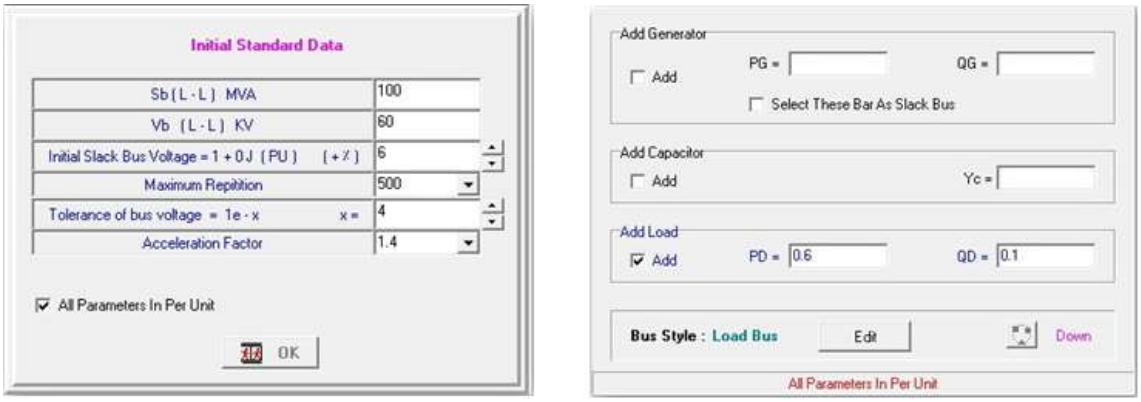
في البداية نقوم بتشكيل مخطط الطور الواحد الشبكة المطلوب نمذجتها، والمبينة في الشكل (2)، من خلال سحب العناصر المناسبة وإفلاتها على نافذة العمل الرئيسية للبرنامج. ثم نقوم بإدخال البارامترات اللازمة قبل البدء بتشغيل الحسابات والمتمثلة بالقيم التالية:

1 – استطاعة وجهد الأساس للشبكة، العدد الأقصى للتكرارات المتاحة، عامل التسريع، وكذلك حد التقارب المسموح بين تكرارين متتالين لجهود البارات.

2 – بارامترات البارات: استطاعات الأحمال، استطاعة التوليد إن وجدت، مطال وزوايا طور التوترات الابتدائية، نوع البار.

3 – بارامترات خطوط النقل: ممانعة الخطوط، السماحيات التفرعية والأطوال.

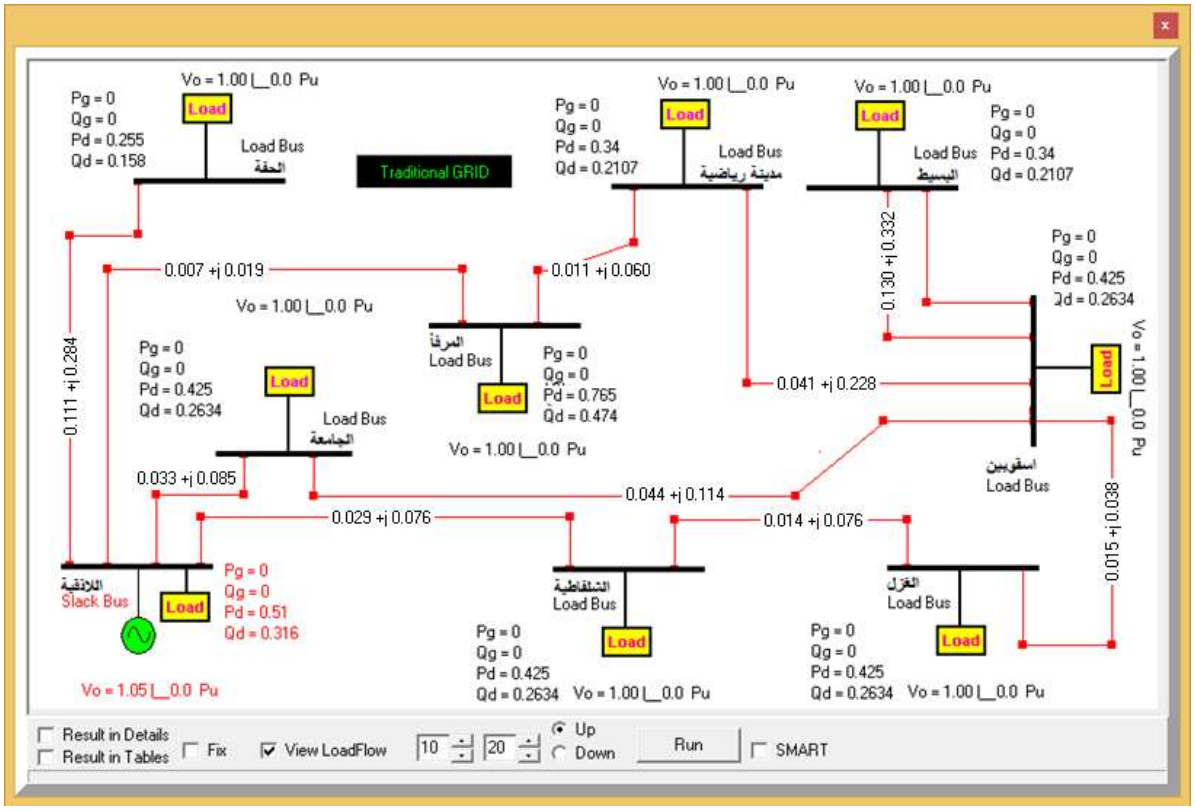
يظهر الشكل (3) بعض من نوافذ عمل البرنامج لغرض إدخال بارامترات مختلف عناصر الشبكة.



الشكل (3): نوافذ البرنامج لإدخال و تعديل بارامترات عناصر الشبكة.

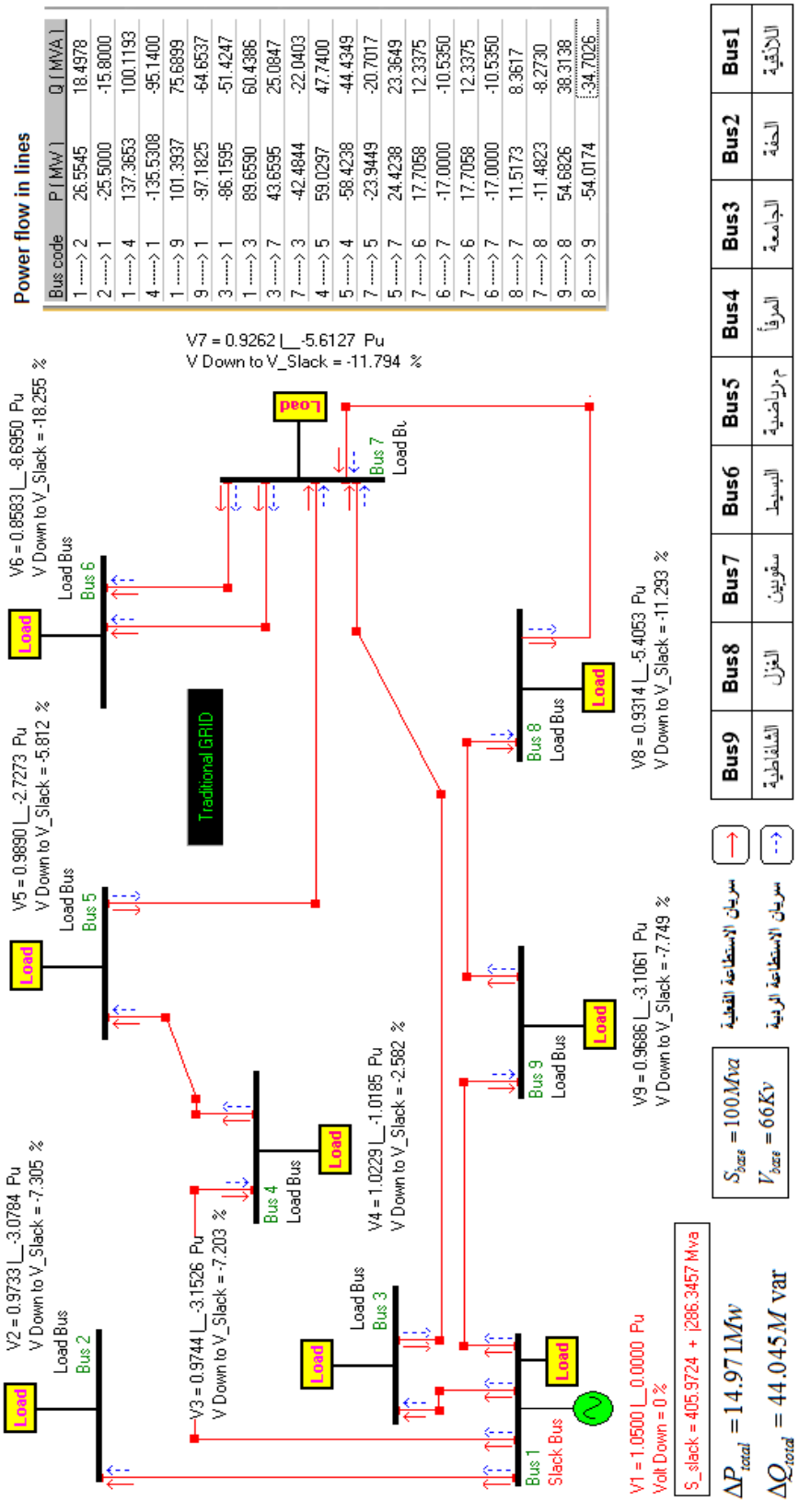
*** تم رسم المخطط بالشكل– لتسهيل الدراسة– لجزء الشبكة الخاص بمحافظة اللاذقية من المخطط الكامل لشبكة 66Kv للمنطقة الساحلية المصدق من قبل مؤسسة كهرباء اللاذقية.**

يظهر الشكل (4) شبكة 66 Kv، عند محاكاتها على نافذة العمل الرئيسية للبرنامج لأجل استطاعة أساس (100 Mva)، وتوتر أساس (66 Kv)، وقيم أولية لجهود البارات وأنواعها، أحمال الشبكة، وبارامترات خطوط النقل.



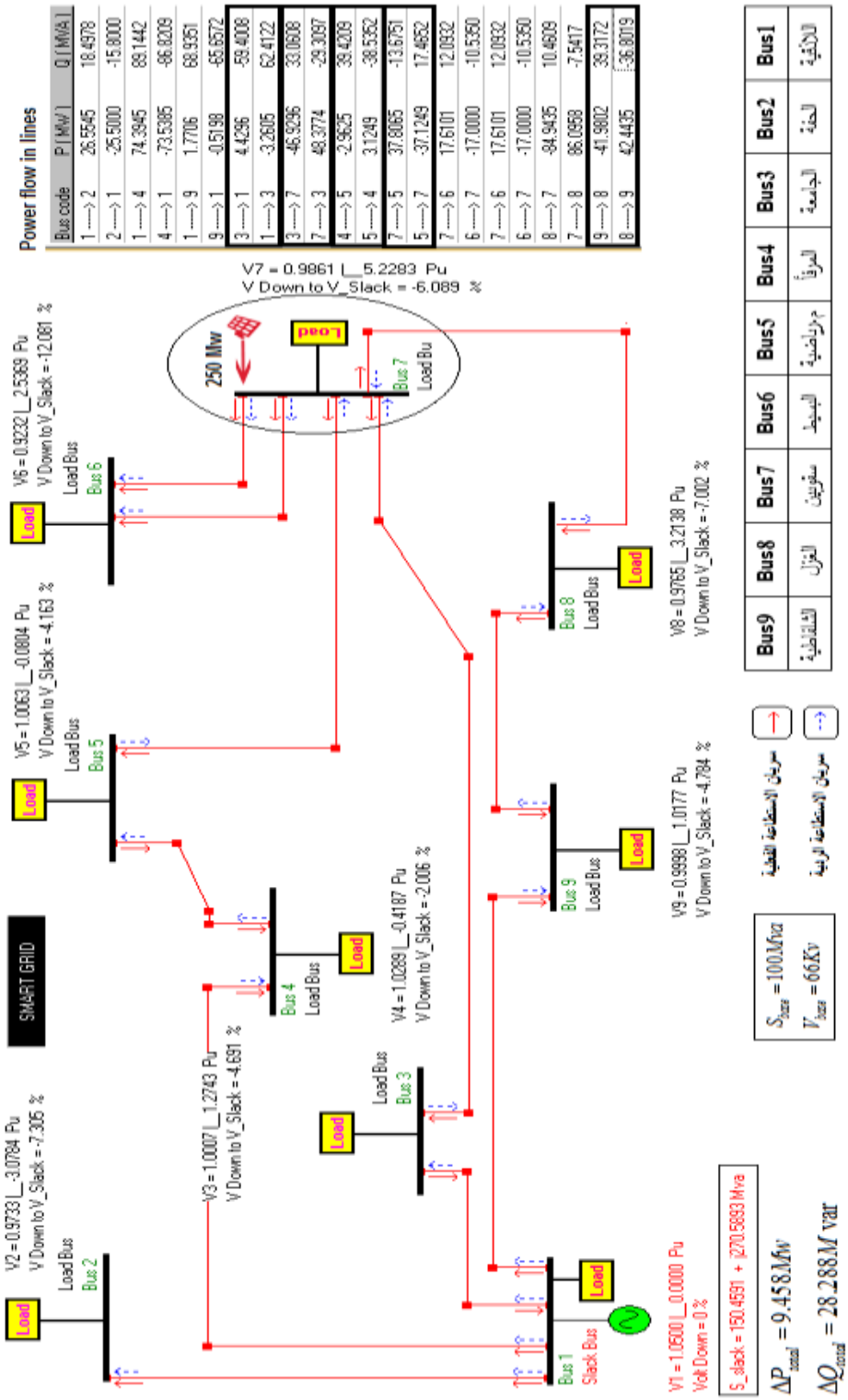
الشكل (4): محاكاة شبكة 66 Kv في محافظة اللاذقية على البرنامج.

بعد تدقيق صحة التوصيل والقيم الأولية لمعطيات الشبكة من قبل البرنامج، بالضغط على زر Run الظاهر في الشكل (4)، يقدم البرنامج في التقرير المعد للطباعة والمبين في الشكل (5)، نتائج التحليل متضمنة: القيم النهائية لمطال جهود البارات وزوايا الطور لها، نسبة مئوية لمقدار تغير جهد البارات عن جهد البار المرجعي، استطاعة التوليد الرئيسية، اتجاه وقيم تدفق الاستطاعة في الخطوط، ومجموع مفاقيد الطاقة الكلية.



الشكل(5): نتائج تحليل شبكة 66 Kv كما يظهرها البنامج.

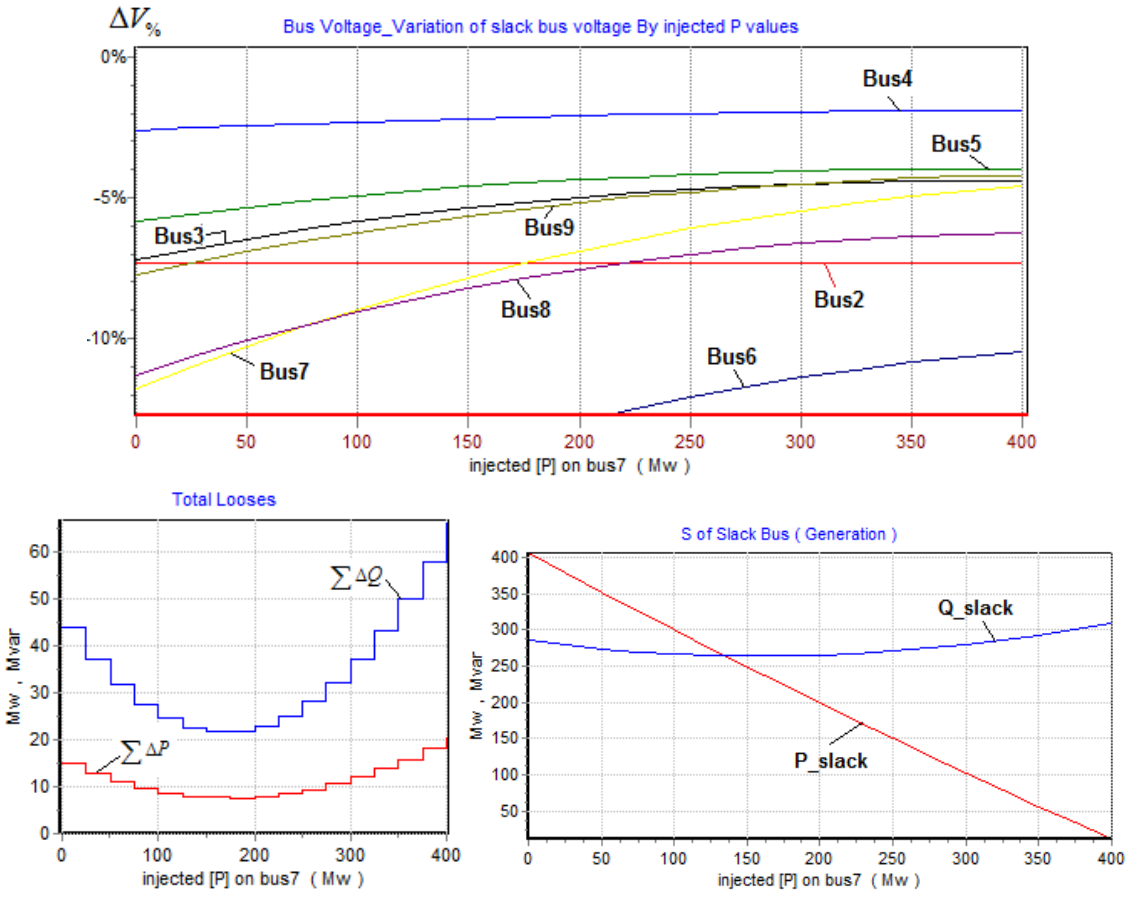
سيتم تعديل نموذج الشبكة الكهربائية إلى الشبكة الذكية التي تتكامل مع مصادر الطاقة المتجددة في عقد مختلفة، وسيكون الجزء التالي من التحليل هو الشبكة الذكية. يبين الشكل (6) نتائج تحليل الشبكة عند إشراك مصدر طاقة متجددة على البار رقم 7. المقابل لقضيب التجميع (سقوبين)، باستطاعة 250 Mw.



الشكل(6): نتائج الحساب بعد تكامل مورد طاقة متجددة على البار رقم 7 باستطاعة 250 Mw.

بينت النتائج انعكاس تدفق الطاقة الفعلية عما كانت عليه قبل التكامل مع مورد الطاقة البديلة على قضيب تجميع (سقوبين) في الخطوط: (اللاذقية – الجامعة)، (الجامعة – سقوبين)، (المرفأ – المدينة الرياضية)، (سقوبين – المدينة الرياضية)، (الغزل – الشلفاطية). كذلك انخفاض ضياع الطاقة الفعلية الكلي في الشبكة بمقدار 36.8% وتوفير 63% من طاقة التوليد الفعلية للمولد الرئيسي على البار الأول (اللاذقية).

يقدم البرنامج معطيات الشبكة ونتائج التحليل بالوقت الحقيقي من خلال إمكانية نمذجة مصادر توليد موزعة ذات قيم متغيرة مع الوقت. يبين الشكل (7) منحنيات تغير كل من الجهد على بارات الشبكة نسبة لجهد البار المرجعي، تغير مفاقيد الطاقة الكلية، تغير استطاعة التوليد على البار الرئيسي، أثناء التكامل مع مورد طاقة متجددة على البار رقم 7. المقابل لقضيب التجميع (سقوبين)، متغير من القيمة 10 Mw إلى القيمة 400 Mw.



الشكل(7): هبوط جهد البارات، مفاقيد الطاقة الكلية، استطاعة التوليد الرئيسية، أثناء التكامل مع مورد طاقة متغير على البار رقم 7.

تظهر المنحنيات في الشكل(7) أنه عند حقن الشبكة بمصدر بديل للطاقة على البار رقم 7، المقابل لقضيب التجميع (سقوبين) بمقدار 175 Mw فإننا نخفض قيمة مفاقيد الطاقة الفعلية في الشبكة إلى أدنى حد من قيمتها قبل الحقن، نسمي قيمة الطاقة البديلة المحقونة في البار والتي تقلل من الضياعات الفعلية الكلية في الشبكة إلى أدنى حد ممكن عما كانت عليه قبل الحقن، بالطاقة البديلة المثالية المحقونة في البار. يقارن الجدول(2) نتائج التحليل للشبكة قبل وبعد التكامل مع القيمة المثالية لمصدر الطاقة البديلة التي يمكن حقنها في قضيب التجميع (سقوبين).

جدول(2): نتائج التحليل قبل وبعد التكامل مع مورد طاقة بديلة 250Mw على البار رقم 7.

طاقة مثالية محقونة في Bus7	استطاعة التوليد الرئيسية MVA في Bus1	ضياع الاستطاعة الكلي في الشبكة MVA	تغير جهد البارات عن جهد البار المرجعي dv%			
نتائج التحليل قبل التكامل	405.97+ j286.34	14.97+ j44.04	**Bus2**	**Bus3**	**Bus4**	**Bus5**
			−7.3%	−7.2%	−2.58%	−5.8%
			Bus6	**Bus7**	**Bus8**	**Bus9**
			−18.2%	−11.8%	−11.3%	−7.7%
نتائج التحليل بعد التكامل	223.68 + j264.18	7.68 + j21.884	**Bus2**	**Bus3**	**Bus4**	**Bus5**
			−7.3%	−5.15%	−2.13%	−4.47%
			Bus6	**Bus7**	**Bus8**	**Bus9**
			−13.4%	−7.34%	−7.86%	−5.39%
مقارنة النتائج قبل وبعد التكامل	التوفير في استطاعة التوليد الفعلية	انخفاض ضياع الاستطاعة الفعلية	التغير في هبوط جهد بارات الشبكة			
	45 %	48.7 %	**Bus2**	**Bus3**	**Bus4**	**Bus5**
			0%	−28.5%	−17.4%	−23%
			Bus6	**Bus7**	**Bus8**	**Bus9**
			−26.4%	−37.8%	−30.4%	−30%

بتكرار الدراسة السابقة على بقية بارات التحميل في الشبكة، نحصل على جدول بقيم الطاقة الموزعة المثالية والمحقونة في كل بار على حدا، بحيث تحقق أفضل أداء للشبكة، من ناحية خفض الضياعات الفعلية الكلية إلى الحد الأدنى، والتقليل من تأرجح الجهد على البارات نسبة لجهد البار المرجعي.

جدول(3): القيم المرغوبة للتوليد الموزع على كل من بارات التحميل في الشبكة.

رقم البار	اسم البار	القيمة المثالية للطاقة البديلة المحقونة Mw	نسبة مئوية لخفض الضياعات الفعلية الكلية	التوفير من استطاعة التوليد الفعلية للمولد الرئيسي
2	الحفة	25 Mw	5.2 %	24 %
3	الجامعة	100 Mw	19 %	25.3 %
4	المرفأ	150 Mw	11 %	37.3 %
5	مدينة رياضية	125 Mw	17.5 %	31.4 %
6	البسيط	75 Mw	33.2 %	19.7 %
7	سقوبين	175 Mw	48.7 %	45 %
8	الغزل	150 Mw	42 %	38.5 %
9	الشلفاطية	150 Mw	29 %	38 %

عند إجراء الدراسة على توليد موزع بين البارات 3,5,7 بقيم ثابتة على البارين الثالث والخامس، ومتغيرة على البار السابع، النتائج المبينة في الجدول(4) تظهر حقن الشبكة بطاقة توليد بديلة على البار رقم 7 متغيرة من القيمة 20Mw إلى القيمة 240Mw مترافقة مع وجود توليد موزع ثابت القيمة على البارين رقم 3 ورقم 5 بقيمة 50Mw على كل بار.

جدول(4): نتائج التحليل لأجل طاقة محقونة في بار رقم 7 متغيرة. بوجود نقاط توليد موزع ثابتة على البارين رقم 3 و 5.

الطاقة البديلة المركبة على Bus7 بالـ Mw	استطاعة التوليد المركزي على Bus1 بالـ Mva	مقاقيد كلية بالـ MVA	تســـية منـــوية لتغير جهد البـــارات عن جهد البار المرجعي Bus1							
			Bus2	Bus3	Bus4	Bus5	Bus6	Bus7	Bus8	Bus9
0.000	302.395 275.565 j	11.393 33.264 j	-7.305 %	-5.791 %	-2.219 %	-4.871 %	-17.201 %	-10.825 %	-10.519 %	-7.216 %
20.000	281.040 271.294 j	10.039 28.993 j	-7.305 %	-5.502 %	-2.159 %	-4.682 %	-16.537 %	-10.214 %	-10.035 %	-6.890 %
40.000	259.934 267.828 j	8.933 25.527 j	-7.305 %	-5.236 %	-2.104 %	-4.507 %	-15.913 %	-9.639 %	-9.585 %	-6.586 %
60.000	239.065 265.130 j	8.064 22.829 j	-7.305 %	-4.989 %	-2.052 %	-4.345 %	-15.327 %	-9.098 %	-9.166 %	-6.301 %
80.000	218.422 263.167 j	7.421 20.866 j	-7.305 %	-4.762 %	-2.003 %	-4.196 %	-14.776 %	-8.588 %	-8.776 %	-6.036 %
100.000	197.997 261.911 j	6.996 19.610 j	-7.305 %	-4.553 %	-1.958 %	-4.059 %	-14.258 %	-8.109 %	-8.414 %	-5.790 %
120.000	177.783 261.338 j	6.782 19.037 j	-7.305 %	-4.362 %	-1.916 %	-3.934 %	-13.772 %	-7.659 %	-8.080 %	-5.561 %
140.000	157.772 261.427 j	6.771 19.126 j	-7.305 %	-4.188 %	-1.876 %	-3.820 %	-13.316 %	-7.236 %	-7.770 %	-5.349 %
160.000	137.959 262.160 j	6.958 19.859 j	-7.305 %	-4.031 %	-1.840 %	-3.717 %	-12.890 %	-6.840 %	-7.486 %	-5.153 %
180.000	118.341 263.522 j	7.340 21.221 j	-7.305 %	-3.890 %	-1.807 %	-3.625 %	-12.491 %	-6.470 %	-7.226 %	-4.974 %
200.000	98.912 265.500 j	7.911 23.199 j	-7.305 %	-3.765 %	-1.776 %	-3.543 %	-12.120 %	-6.125 %	-6.990 %	-4.810 %
220.000	79.670 268.084 j	8.668 25.783 j	-7.305 %	-3.655 %	-1.749 %	-3.471 %	-11.775 %	-5.804 %	-6.776 %	-4.662 %
240.000	60.611 271.266 j	9.610 28.965 j	-7.305 %	-3.560 %	-1.724 %	-3.409 %	-11.455 %	-5.507 %	-6.585 %	-4.529 %

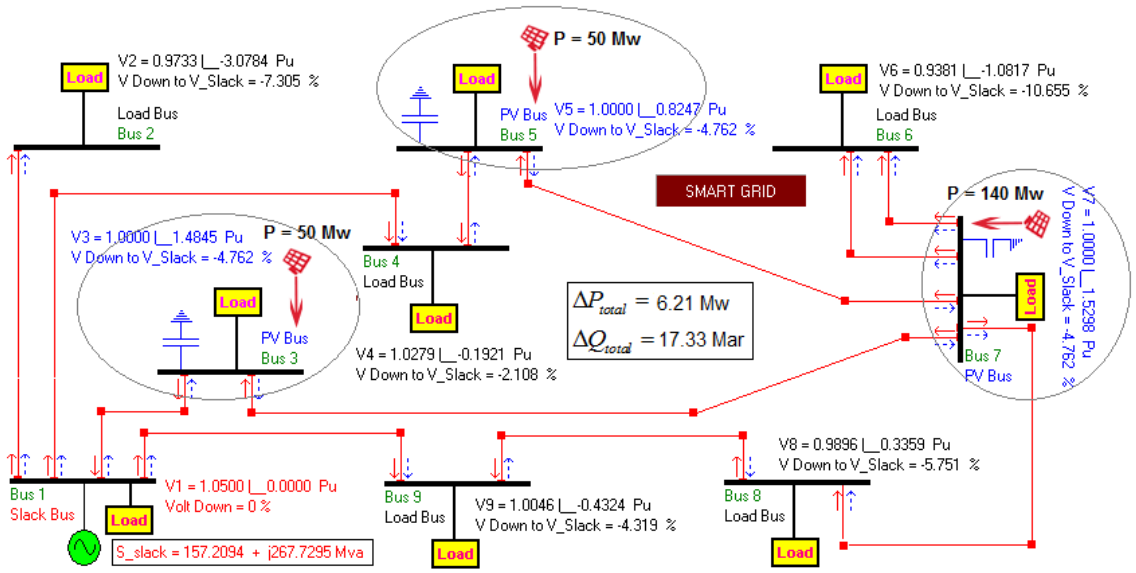
أظهرت النتائج لهذه الحالة أن القيمة المثالية للطاقة المحقونة في البار رقم 7 هي 140Mw. حيث تحقق انخفاض في ضياع الطاقة الفعلية الكلي للشبكة بمقدار 55%، وتوفير 61% من طاقة التوليد الرئيسية. علما أن مجموع التوليد الموزع بين بارات الشبكة سيكون حينئذ 240Mw.

يبين الجدول(5) مقارنة بين تأثير القيمة المثالية للطاقة المحقونة في البار رقم 7 على نتائج التحليل النهائية للشبكة، فيما لو تم حقنها منفردة على هذا البار، أو تم توزيع الحقن في نقاط مختلفة مشار إليها في الدراسة أعلاه.

جدول(5): مقارنة نتائج التحليل بين طريقتي حقن القيمة المثالية للطاقة البديلة على البار 7.

نسبة مئوية للتوفير في استطاعة التوليد الفعلية الرئيسية	نسبة مئوية لخفض الضياعات الفعلية الكلية في الشبكة	مجموع الطاقة البديلة الموزعة في عقد الشبكةMw	القيمة المثالية للطاقة البديلة المحقونة في Bus7 (Mw)	الطاقة البديلة المحقونة مسبقا Mw	
				Bus5	Bus3
45 %	48.7 %	175	175	0	0
48.7 %	52.7 %	190	150	20	20
53.7 %	53.8 %	210	150	30	30
58.6 %	54.3 %	230	150	40	40
61 %	55 %	240	140	50	50
62.3 %	54.7 %	245	125	60	60
67.3 %	54 %	265	125	70	70
66 %	53 %	260	100	80	80
70.8 %	51.6 %	280	100	90	90

أثناء الدراسة، تم اعتبار نوع بار التوليد الموزع من صنف بارات التحميل P–Q bus. إمكانية إدراج بارات التوليد الموزع كنوع بارات تحكم بالجهد P–V bus واردة، يظهر الشكل(8) نتائج التحليل مع معطيات التوليد الموزع بين البارات 3,4,5 المشار إليها أعلاه، فيما لو تم اعتماد نوع بارات التوليد الموزع على أنها بارات تحكم بالجهد.



الشكل(8): نتائج التحليل مع توليد موزع على البارات 3,5,7 عند اعتبارها بارات تحكم بالجهد.

الاستنتاجات والتوصيات:

- توزيع القيمة المثالية للطاقة البديلة والمرغوبة لأحد بارات الشبكة، بين عقد مختلفة، يؤدي إلى خفض مفاقيد الطاقة الفعالة بنسبة أعلى فيما لو تم التكامل معها في عقدة واحدة.
- تحديد القيم المثالية للطاقة الموزعة والمحقونة في كل بار على حدا، لا يعني بالضرورة إمكانية تحديد نفس القيمة المثالية والمرغوبة للطاقة البديلة عند توزعها في عقد مختلفة من الشبكة.
- تقديم نموذج لنوع جديد من البارات عند تحليل ودراسة سريان الحمولة، يعبر عن نمذجة لمحطة توليد طاقة شمسية أو محطة لتوليد طاقة الرياح متصلة بالبار. هذا النوع من البارات سيؤثر في محدد عامل الاستطاعة.
- تصميم برنامج حاسوبي لتحليل أداء شبكات التوليد الموزع، وتمكين آلية تضمن تحسين وتطوير شروط عمل هذه الشبكات، من خلال دراسة أدائها الفني قبل وبعد تكاملها مع موارد الطاقة المتجددة في عقد مختلفة من الشبكة. مما يعني إيجاد آلية لنمذجة الشبكات الذكية تسهم في وضع أساس مرن وسهل التعامل يخدم كافة الباحثين المهتمين بتقنية الشبكات الذكية.
- إمكانية تطوير البرنامج من خلال تزويده بخوارزميات طرق تحليل نظام عمل الشبكة عند الأعطال وحالات عدم اتزان حمولة الأطوار.

المراجـــــع:

1 - LOPEZ, J. A. ; HATZIARGYRIOU, N. ; MUTALE, J. N. *Integrating distributed generation into electric power system: A review of drivers, challenges and opportunities*. 1^{nd}.ed., Electric Power Systems Research, India, 2000, 77.

2 - HAMMONS, T. J. *Dispersed generation and its impact in europe on power system structure and secure power system operation*. 2^{nd}. ed., Upec, London, 2007, 430.

3 - YUKSEL, I. *Renewable Energy Status of Electricity Generation and Future Prospect Hydropower in Turkey*. 1^{nd}.ed., Sakarya University Turkey, Turkey, 2012, 570.

4 - XUESONG, Z. ; LIQIANG, C. ; YOUJIE, M. *Research on Smart Grid Technology*. 1^{nd}.ed., Tiangjin University of Technology, China, 2010, pp 1-2.

5 - BRAIAN, J. *The Smart Grid: An Introduction.* 2^{nd}.ed., U.S. Department of Energy, United States of America, 2008, 168.

6 - KEYHANI, A. *Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems*. 1^{nd}.ed., John Wiley & Sons, Inc New Jersey, 2011, 270.

7 - JAMAL, T. ; ONGSAKOUL, W. *Smart Grid in Bangladesh Power Distribution System Progress & Prospects.* 1^{nd}.ed., Allahad, Bangladesh, 2012, pp 1-2.

8 - HASMI, M. ; HANNINEN, S. ; MAKI, K. *Survey of Smart Grid Concepts, Architectures, and Technological Demonstrations Worldwide*. 1^{nd}.ed., IEEE, London, 2011, 34.

9 - VAISHALI, H. ; DEEPICA, M. *Power Flow Analysis of RDS by Artificial Network Technique*. 1^{nd}.ed., IOSRJEE, USA, 2012, pp 42-46.

10 - BADRUL, H. C. *Load Flow Analysis in Power System*. 1^{nd}.ed., University of Missouri Rolla, Turkey, 2004, 139.

11 - ZHANG, H. ; YANG, H. ; LI, T. *Optimal Power Flow Calculation and Analysis*. 2^{nd}.ed., Tiangjin University of Technology, China, 2013, 342.

12 – HEYDT, G.T. *The Next Generation of Power Distribution Systems*. 1^{nd}.ed., IEEE Trans on Smart Grid, Inc New Jersey, 2015, pp 225-235.

13 – ELTAMALY, A.M. ; AMER NASR ELGAFFAR, A. *Techno-Economical Study of Using Nuclear Power Plants for Supporting Electrical Grid in Arabian Gulf*. 1^{nd}.ed., Technol Econ Smart Grids Sustain Energy, MINIA University, 2017, pp 2: 14.