Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University of Mosul
College of Computer Science and
Mathematics
Department of Computer Science

Design an Adaptive and Scalable Topologies for the Iraqi Electricity Power Grid Network

**A Thesis Submitted to the Council of the College of
Computer Science and Mathematics
University of Mosul
as a Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Computer Science**

By

Rasha Jamal Hussein Al-Jarrah

Supervised by

Dr. Manar Younis Ahmed Kashmola

Professor

2022 A.D. **1443 A.H.**

Abstract

Over the past few years, Iraq has encountered successive wars that have destroyed much of the important infrastructures and have led to a reduction in spending on them. Especially the electrical infrastructure including the Iraqi Electricity Power Grid network (**IEPG**) and its components which is considered one of the motivations of this work. Moreover, there are no studies that consider the *IEPG* network in terms of modeling and analysis. In general, the *IEPG* network divides into three main types of electric power stations. The main source of power is Generation Power Stations (G.P.S) and the second is Ultra High Voltage Stations_400 (U.H.V.S). The third is High Voltage Substations_132 (H.V.S.S) which supplies the consumers with electricity directly. Finally, there are transmission lines connecting these stations (400 *kv* and 132 *kv*).

Recently, Iraq has suffered from a severe shortage of electricity production and consumer supply. At the same time, the demand for electricity has increased due to population and economic growth. Whereas, the demand for electricity is increased from 11000 *MW* in 2007 to 16000 *MW* in 2013. While it has increased in 2018 to 24500 *MW* and has recently reached about 30000 *MW* with a low in electricity production simultaneously which is considered the main problem in the *IEPG* network. These problems have led to frequent interruptions in the supply of electricity and the occurrence of complete and partial shutdowns. As mentioned, during the events of the past few years, the scale of damage to the infrastructure of the *IEPG* network has put challenges of electricity generation and transmission into the limelight. Therefore, several models for the *IEPG* network development have been proposed in order to raise the level of electricity production to cover the needs of consumers. These models reflect the most prominent problems that the *IEPG* network faces on a periodic or annual basis, or during emergency events that occur suddenly. For instance, Model *A* with its scenarios *A1*, *A2* and *A3* reflect the rehabilitation of the idle power stations. While the Model *B* with its scenarios *B1*, *B2* and *B3* refer to expand and develop the *IEPG* network. At the same time, Model *C* with its scenarios *C1*, *C2* and *C3* are proposed for reinforcement of transmission lines 400 *kv* and 132 *kv* among stations. Finally, Model *D* is suggested for constructing several solar power stations based on solar radiation distributed in the western and south of Iraq. The main objective of this work is to improve the performance of the *IEPG* network in a way that lives up to the Iraqi

individual's ambition in terms of electricity consumption. This is done by suggesting a theoretical topological representation to help engineers working in this field to analyze and study the overall *IEPG* network performance by assuming real-life models that represent challenges to the power grid administrators.

Therefore, this work contributes to the modeling of the current *IEPG* network using Complex Network (CN) concepts. Also, presenting recommendations and proposals to benefit from them to advance the current reality of the national *IEPG* network. Recently, the field of CN has taken a modern and efficient direction with various applications in our life. CN are used to form complex phenomena in graph-based models composed of nodes and the edges connecting them. As well as the use of Complex Network Analysis (CNA) by using network metrics such as node degree, clustering coefficient, path length, centrality, closeness, betweenness, density and diameter, to mention a few. The topology of the complex interconnections of power grids is one of the problems that can be encountered in understanding or analyzing the network. Therefore some countries around the world use CN concepts to model and analyze their electric power grid networks. In the context of this work, the *IEPG* network is modeled in the form of nodes and edges using Gephi software based on the CN concepts. This is done by representing the power stations as nodes and the transmission lines connecting the stations as edges. The number of nodes and edges are about 315 power stations and 432 transmission lines. This work provides a professional visualization of the *IEPG* network that has been modeled based on the population distribution and coordinates of power stations. The proposed models can be adopted by officials and engineers specialized in this field in order to visualize the *IEPG* network performance from a different and modern statistical perspective. Also, each proposed model with its scenarios are visualized and analyzed. After that, these proposed scenarios within each one model are compared to choose the best scenario that might give a radical solution to the electricity problem in Iraq.

After analyzing, the best results have been concluded in the scenarios *A3*, *B3, C3* and Model *D* separately. Whereas, Scenario *A3* reflects the highest values in terms of network metrics. For instance, it includes 320 power stations, 447 transmission lines, average degree distribution is 2.794, clustering coefficient is 0.223, the diameter is 46, the average path length is 18.532 and the density is 0.009. Moreover, Scenario *B3* is the best in terms of its connections and its number of stations. Such as, 350 power stations,

510 transmission lines, average degree distribution is 2.914, clustering coefficient is 0.203, the diameter is 49, the average path length is 18.821 and the density is 0.008. Besides, Scenario *C3* has 310 power stations, 443 transmission lines, average degree distribution is 2.858, clustering coefficient is 0.225, the diameter is 48, the average path length is 18.402 and the density is 0.009. Finally, the properties of Model *D* is 315 power stations, 436 transmission lines, average degree distribution is 2.786, clustering coefficient is 0.202, the diameter is 48, the average path length is 18.557 and the density is 0.009. However, this result of all the scenarios for each model does not diminish the importance of the rest of the scenarios within the same model as achieving them together is very important to obtain the desired results for improving and developing the national *IEPG* network performance.

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الموصل
كلية علوم الحاسوب والرياضيات
قسم علوم الحاسوب

تصميم طوبولوجيا قابلة للتكيف والتوسع لشبكة الطاقة الكهربائية العراقية

رسالة مقدمة
الى مجلس كلية علوم الحاسوب والرياضيات في جامعة الموصل
كجزء من متطلبات نيل شهادة ماجستير علوم في
علوم الحاسوب

من قبل

رشا جمال حسين الجراح

بإشراف
د. منار يونس أحمد كشمولة
أستاذ

١٤٤٣ هـ ٢٠٢٢ م

الخلاصة

على مدى السنوات القليلة الماضية ، واجه العراق حروبا متتالية دمرت الكثير من البنى التحتية الهامة مما أدى إلى تقليل الإنفاق عليها. خاصة البنى التحتية الكهربائية بما في ذلك شبكة الكهرباء العراقية (IEPG) ومكوناتها والتي تعتبر من دوافع هذا العمل. بالاضافة الى أنه لا توجد دراسات تنظر في شبكة IEPG من حيث النمذجة والتحليل. بشكل عام ، تنقسم شبكة IEPG إلى ثلاثة أنواع رئيسية من محطات الطاقة الكهربائية. النوع الاول يعتبر المصدر الرئيسي للطاقة والذي هو محطات توليد الطاقة (GPS) والثاني هو محطات الجهد العالي الفائق-400 (U.H.V.S). والنوع الثالث هي محطات الجهد العالي-132 (H.V.S.S) التي تزود محطات توزيع الطاقة والمستهلكين بالكهرباء مباشرة. إلى جانب ذلك ، هناك خطوط نقل تربط بين محطات الطاقة وتنقسم إلى نوعين حسب الفولتية *kv* 132 و*kv* 400 .

في الآونة الأخيرة ، عانى العراق من نقص حاد في إنتاج الكهرباء وإمداداته للمستهلك. وبنفس الوقت ، زاد الطلب على الكهرباء بسبب النمو السكاني والاقتصادي. حيث أن الطلب المتزايد على الكهرباء ارتفع من *MW* 11000 في عام ٢٠٠٧ إلى *MW* 16000 في عام ٢٠١٣. بينما ارتفع في عام ٢٠١٨ إلى *MW* 24500 ووصل مؤخرًا إلى حوالي *MW* 30000 مع انخفاض في إنتاج الكهرباء في نفس الوقت وهو ما يعتبر من المشاكل الرئيسية في شبكة *IEPG*. وقد أدت هذه المشاكل إلى انقطاعات متكررة في إمدادات الكهرباء وانقطاعات كاملة وجزئية للكهرباء. علاوة على ذلك ، خلال أحداث السنوات القليلة الماضية ، أدى حجم الضرر الذي لحق بالبنية التحتية لشبكة *IEPG* إلى إلقاء الضوء على تحديات توليد الكهرباء ونقلها. لذلك ، تم اقتراح عدة نماذج لتطوير شبكة *IEPG* من أجل رفع مستوى إنتاج الكهرباء لتغطية احتياجات المستهلكين. تعكس هذه النماذج أبرز المشاكل والتحديات التي تواجهها شبكة *IEPG* على أساس دوري أو سنوي ، أو أثناء الأحداث الطارئة التي تحدث فجأة. تم تسليط الضوء على هذه الاقتراحات العديدة لحل المشاكل التي تعاني منها شبكة *IEPG*. على سبيل المثال ، يعكس النموذج *A* مع سيناريوهاته *A1* و *A2* و *A3* إعادة تأهيل محطات الطاقة العاطلة والخارجة عن الخدمة. بينما يشير النموذج *B* مع سيناريوهاته *B1* و *B2* و *B3* إلى توسيع شبكة *IEPG* وتطويرها. في الوقت نفسه ، تم اقتراح النموذج *C* بسيناريوهاته *C1* و *C2* و *C3* لتعزيز خطوط النقل *kv* 400 و*kv* 132 بين المحطات. أخيرًا ، تم اقتراح نموذج *D* لإنشاء عدة محطات طاقة شمسية تعتمد على الإشعاع الشمسي موزعة في غرب وجنوب العراق. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحسين أداء شبكة *IEPG* بطريقة ترقى إلى مستوى طموح الفرد العراقي فيما يتعلق باستهلاك الكهرباء. يتم ذلك من خلال اقتراح تمثيل طوبولوجي نظري لمساعدة المهندسين العاملين في هذا المجال على تحليل ودراسة الأداء الكلي لشبكة *IEPG* من خلال افتراض نماذج واقعية تمثل تحديات لمسؤولي شبكة الطاقة ويتم استخدامها لتقليل المشاكل

التي تواجهها الشبكة. كما ذكرنا ، يمكن أن تدعم هذه النماذج اتخاذ قرارات دقيقة حول الشبكة في كثير من الحالات (على سبيل المثال ، فشل المحطة ، توسيع الشبكة ، استبدال المحطة ، إلخ).

لذلك ، يساهم هذا العمل في نمذجة شبكة *IEPG* الحالية باستخدام مفاهيم الشبكة المعقدة (CN). بالإضافة إلى اقتراح العديد من النماذج التي تم تكييفها مع مشاكل شبكة *IEPG*. بالاضافة الى تقديم توصيات ومقترحات للاستفادة منها للنهوض بالواقع الحالي لشبكة *IEPG* الوطنية. في الآونة الأخيرة ، اتخذ مجال CN اتجاهًا حديثًا وفعالًا مع العديد من التطبيقات في حياتنا. يستخدم CN لتشكيل ظواهر معقدة في النماذج القائمة على الرسم البياني المكونة من العقد والحواف التي تربطها. بالاضافة الى استخدام تحليل الشبكة المعقدة (CNA) باستخدام مقاييس الشبكة مثل درجة العقدة ، معامل التجميع ، طول المسار ، المركزية ، القرب ، البينية ، الكثافة والقطر ، على سبيل المثال لا الحصر. تعد طوبولوجيا الترابطات المعقدة لشبكات الطاقة إحدى التحديات التي يمكن مواجهتها في فهم الشبكة أو تحليلها. لذلك تستخدم بعض البلدان حول العالم مفاهيم CN لنمذجة شبكات الطاقة الكهربائية الخاصة بها وتحليلها. في سياق هذا العمل ، تم تصميم شبكة *IEPG* على شكل عقد وحواف باستخدام برنامج Gephi بناءً على مفاهيم CN. يتم ذلك من خلال تمثيل المحطات الكهربائية كعقد وخطوط النقل التي تربط المحطات على شكل حواف. يبلغ عدد العقد والحواف حوالي ٣١٥ محطة طاقة و ٤٣٢ خط نقل. يوفر هذا العمل تصورًا احترافيًا لشبكة *IEPG* التي تم تصميمها بناءً على توزيع السكان وإحداثيات محطات الطاقة. يمكن اعتماد النماذج المقترحة من قبل المسؤولين والمهندسين المتخصصين في هذا المجال من أجل تصور أداء شبكة *IEPG* من منظور إحصائي مختلف وحديث. أيضًا ، يتم تصور وتحليل كل نموذج مقترح مع سيناريوهاته. بعد ذلك تتم مقارنة هذه السيناريوهات المقترحة ضمن كل نموذج لاختيار أفضل سيناريو قد يعطي حلاً جذرياً لمشكلة الكهرباء في العراق.

بعد التحليل ، تم التوصل إلى أن أفضل النتائج في السيناريوهات *A3* و *B3* و *C3* والنموذج *D* بشكل منفصل. حيث يعكس السيناريو *A3* أعلى القيم من حيث مقاييس الشبكة. على سبيل المثال ، يشمل ٣٢٠ محطة طاقة ، ٤٤٧ خط نقل ، متوسط توزيع الدرجات ٢,٧٩٤ ، معامل التجميع ٠,٢٢٣ ، القطر ٤٦ ، متوسط طول المسار ١٨,٥٣٢ والكثافة ٠,٠٠٩. علاوة على ذلك ، فإن سيناريو *B3* هو الأفضل من حيث اتصالاته وعدد محطاته. تظهر هذه النتيجة من قيمة الدرجة المتوسطة وكذلك معامل التجميع والمقاييس الأخرى. اذ انه يشمل ٣٥٠ محطة طاقة ، ٥١٠ خط نقل ، متوسط توزيع الدرجة ٢,٩١٤ ، معامل التجميع ٠,٢٠٣ ، القطر ٤٩ ، متوسط طول المسار ١٨,٨٢١ والكثافة ٠,٠٠٨. إلى جانب ذلك ، يحتوي السيناريو *C3* على ٣١٠ محطة طاقة ، ٤٤٣ خط نقل ، متوسط توزيع الدرجة ٢,٨٥٨ ، معامل التجميع ٠,٢٢٥ ، القطر ٤٨ ، متوسط طول المسار ١٨,٤٠٢ والكثافة ٠,٠٠٩. أخيرًا ، خصائص النموذج *D* هي ، ٣١٥ محطة طاقة ،

٤٣٦ خط نقل ، متوسط توزيع الدرجات ٢,٧٨٦ ، معامل التجميع ٠,٢٠٢ ، القطر ٤٨ ، متوسط طول المسار ١٨,٥٥٧ والكثافة ٠٠,٠٠٩. ومع ذلك ، فإن هذه النتيجة لجميع السيناريوهات لكل نموذج لا تقلل من أهمية بقية السيناريوهات ضمن نفس النموذج لأن تحقيقها معًا أمر مهم للغاية للحصول على النتائج المرجوة لتحسين وتطوير أداء شبكة *IEPG* الوطنية.