Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 298-318
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.15

Journal of Business Economics for Applied Research
مجلة اقتصاديات الاعمال للبحوث التطبيقية
ISSN 2709-6475 - E-ISSN 3079-8167

Integration of ARIMA model and graphical review and evaluation technique- GERT For project management and scheduling*

Amjad Ahmed Mahmoud[(1)], Wakas Saad Khalaf[(2)]
University of Baghdad - College of Administration and Economics[(1)(2)]
(1) alshrqi81@gmail.com (2) dr.wakkas1@coadec.uobaghdad.edu.iq

Key words:
Project scheduling, ARIMA model, GERT technique, moment generating function $M_{ij}(t)$, equivalent transfer function($W_{E_{ij}}$), (Mason's Rule).

ARTICLE INFO
Article history:

Received	15 ***Oct.*** 2025
Accepted	19 ***Nov.*** 2025
Avaliabble online	01 ***Jun.*** 2026

© 2026 THE AUTHOR(S). THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE DISTRIBUTED UNDER THE TERMS OF THE CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION LICENSE (CC BY 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

*Corresponding author:
Amjad Ahmed Mahmoud
University of Baghdad

Abstract:
This study addressed the integration of two methods: the ARIMA model for forecasting future demand and the GERT graphical review and evaluation technique (GRET) to estimate the average order completion time for 400/11kV electricity distribution transformers at the Distribution Transformer Factory of Diyala General Company for Electrical Industries. The research problem lies in the probabilistic nature of some activities and the possibility of their repetition or the need to repair defects discovered in them, which increases the difficulty of estimating time and affects the timely delivery of orders. The study aimed to employ the ARIMA model to forecast future demand from historical data and extrapolate future demand trends. The parameters of the ARIMA model were determined and its suitability was tested using forecast accuracy indicators. The GERT technique was then used to estimate the average order completion time through a schedule that takes into account probabilistic and repeatable activities. The estimation of the average completion time was based on the equivalent transfer function for each main path using Masons rule. The results demonstrated the ability of the ARIMA model to accurately predict demand, while the GERT technology enabled the determination of the average order completion time for 400/11KV transformers and the accurate calculation of the remanufacturing time for non-conforming parts, which contributes to improving scheduling and reducing indirect production costs.

*The research is extracted from a master's thesis of the first researcher.

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 298-318
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.15

تكامل نموذج ARIMA وتقنية المراجعة والتقييم البياني GERT لإدارة وجدولة المشاريع*

امجد احمد محمود
جامعة بغداد – كلية الإدارة والاقتصاد
alshrqi81@gmail.com

ا.د. وقاص سعد خلف
جامعة بغداد – كلية الإدارة والاقتصاد
dr.wakkas1@coadec.uobaghdad.edu.iq

المستخلص

تناول البحث التكامل بين اسلوبين هما نموذج ARIMAللتنبؤ بالطلب المستقبلي وتقنية المراجعة والتقييم البياني GERT لتقدير متوسط وقت إنجاز الطلبية على محولات توزيع الكهرباء (KV11/400) في معمل محولات التوزيع التابع لشركة ديالى العامة للصناعات الكهربائية. تكمن مشكلة البحث في الطبيعة الاحتمالية لبعض الأنشطة وإمكان تكرارها أو الحاجة لإصلاح العيوب المكتشفة فيها، مما يزيد صعوبة تقدير الوقت ويؤثر ذلك على مواعيد تسليم الطلبية في الوقت المحدد، هدف البحث الى توظيف نموذج ARIMA للتنبؤ بالطلب المستقبلي عن طريق البيانات التاريخية واستقراء اتجاهات الطلب المستقبلي حيث حُددت معلمات نموذج ARIMA واختبرت ملاءمته باستخدام مؤشرات دقة التنبؤ ثم تم استعمال تقنية GERT لتقدير متوسط وقت إنجاز الطلبية عن طريق جدول زمني يأخذ في الاعتبار الأنشطة الاحتمالية والانشطة القابلة للتكرار حيث استند تقدير متوسط وقت الإنجاز إلى دالة النقل المكافئة لكل مسار رئيسي باستخدام قاعدة Mason، أظهرت النتائج قدرة نموذج ARIMA على التنبؤ بالطلب بدقة عالية فيما مكّنت تقنية GERT من تحديد متوسط وقت إنجاز الطلب لمحولات(KV11/400) واحتساب وقت إعادة تصنيع القطع غير المطابقة بدقة مما يسهم في تحسين الجدولة وتقليل التكاليف غير المباشرة للإنتاج. توصي الدراسة باعتماد منهجية التكامل بين نموذج ARIMA وتقنية GERT في تقدير الطلب وأزمنة الإنجاز بالاعتماد على الأساليب العلمية الدقيقة وتعزيز الرقابة على الأنشطة التي فيها احتمالات ظهور العيوب بهدف تقليل أزمنة المعالجة والوقت الكلي للإنتاج، توسيع نطاق تطبيق المنهجية على مشاريع متنوعة للتحقق من مرونتها وفاعليتها.

الكلمات المفتاحية: جدولة المشاريع ، نموذج ARIMA ، تقنية GERT ، دالة توليد العزوم $M_{ij}(t)$، دالة النقل المكافئة $(W_{E_{ij}})$ ، (Mason's Rule).

المقدمة:

شهدت بيئات إدارة المشاريع الحالية تحديات متزايدة بسبب عدم اليقين والتقلبات الناتجة عن تغير متطلبات الأطراف المعنية والعوامل الخارجية كالظروف الاقتصادية والتقنية. وتُعد دقة التنبؤ بأوقات إنجاز الأنشطة وتحديد الموارد اللازمة عاملاً حاسماً لنجاح المشاريع، حيث يؤدي أي انحراف عن الجدول الزمني إلى تكاليف إضافية وتأخيرات قد تهدد تحقيق الأهداف الاستراتيجية(Hyndman & Athanasopoulos ,2018:2). تعد نماذج السلاسل الزمنية مثل نموذج ARIMA كأدوات فعالة للتنبؤ بالاتجاهات المستقبلية للبيانات التاريخية، إذ تتعامل مع السلاسل غير الثابتة والموسمية والعشوائية عبر دمج الانحدار الذاتي (AR) والمتوسط المتحرك (MA) (Box et al.,2015:5)، ومن جهة أخرى توفر تقنية GERT إطاراً مرناً

* البحث مستل من رسالة ماجستير للباحث الأول.

لإدارة المشاريع عن طريق تمثيل الأنشطة الاحتمالية، التكرار، والقرارات الشرطية داخل الشبكة مما يمكّن من تحليل التوزيعات الاحتمالية لأوقات إنجاز المشروع (Kuo & Prasad,2001:7).
هدفَ البحث الى توظيف نموذج ARIMA للتنبؤ بالطلب المستقبلي عن طريق البيانات التاريخية واستقراء اتجاهات الطلب المستقبلي حيث حُددت معلمات نموذج ARIMA واختبرت ملاءمته باستخدام مؤشرات دقة التنبؤ ثم تم استعمال تقنية GERT لتقدير متوسط وقت إنجاز الطلبية عن طريق جدول زمني يأخذ في الاعتبار الأنشطة الاحتمالية والانشطة القابلة للتكرار حيث استند تقدير متوسط وقت الإنجاز إلى دالة النقل المكافئة لكل مسار رئيس باستخدام قاعدة Mason . كما يتضمن البحث اختيار معايير النموذج الأمثل (p, d, q) عبر تحليل ACF/PACF واختبارات الثبات، وتصميم نموذج هجين يربط التنبؤات بالشبكة لتحليل الأداء الزمني الكلي باستخدام مقاييس مثل MAEوMSE. ويسعى هذا التكامل إلى تحقيق توازن مثالي بين الدقة التنبؤية ومرونة التخطيط، بما يعزز قدرة المؤسسات على مواجهة اضطرابات بيئات العمل وتحقيق مستويات أعلى من الكفاءة في إدارة المشاريع.

مشكلة البحث:

تواجه المشاريع الصناعية صعوبات جوهرية في تقدير الوقت والكلفة والموارد نتيجة وجود أنشطة ذات طبيعة احتمالية، مثل الاحتمالية في الإنجاز أو عدم الإنجاز، واحتمالية العودة إلى المرحلة السابقة (أنشطة سابقة) بسبب العيوب المكتشفة بعد الفحص والمعالجة. ويزداد الأمر تعقيداً في المشاريع الإنتاجية، مثل إنتاج محولات التوزيع الكهربائية في شركة ديالى العامة، حيث يتطلب العمل توفير المواد الأولية مسبقاً وتقدير حجم الطلب المستقبلي بدقة. يعتمد متخذو القرار حالياً على الخبرة الشخصية وبعض الأساليب الرياضية التقليدية البسيطة ومنها (PERT) او(CPM) والتي لا تعكس الطبيعة الديناميكية للعمليات كإعادة الفحص أو الأعطال أو تغير الأولويات.

من هنا تبرز إشكالية البحث في مدى إمكانية توظيف نموذج ARIMA كأداة إحصائية للتنبؤ بحجم الطلب على محولات التوزيع(400/11 KV) ، واستخدام مخرجاته كمدخلات لتقنية GERTالتي تسمح بتمثيل الأنشطة الاحتمالية والديناميكية كما يسعى البحث إلى الإجابة عما إذا كان اعتماد تقنية (GERT) يمكن أن يحسن من دقة تقدير الوقت اللازم لإنجاز الطلبيات ويسهم في تحسين جدولة المشاريع الإنتاجية داخل معمل محولات التوزيع.

اهمية البحث:

تتمثل أهمية البحث في دمج نموذج (ARIMA) للتنبؤ بحجم الطلب المستقبلي بدقة عبر تحليل السلاسل الزمنية مع تقنية (GERT) والتي تتيح تمثيلاً واقعياً للشبكات الإنتاجية ذات الطابع الاحتمالي، بما في ذلك الأنشطة المتكررة أو غير المنجزة والعيوب المكتشفة بعد الفحص. يسهم هذا الدمج في تحسين التخطيط الإنتاجي وتقليل الاعتماد على التقديرات الحدسية ورفع دقة قرارات الشراء والتخزين. كما يوفر إطاراً متكاملاً لتحليل الأداء المستقبلي في بيئات صناعية غير حتمية ويعزز القيمة العملية من خلال تقديم نموذج تطبيقي في بيئة صناعية عراقية، إضافةً إلى إثراء المكتبات العلمية بدراسة جديدة تدعم متخذي القرار في تحسين التخطيط وتقليل التكاليف وتسريع إنجاز الطلبيات.

اهداف البحث:

يتمثل هدف البحث في بناء نموذج متكامل لإدارة وجدولة المشروع الإنتاجي في معمل محولات التوزيع – شركة ديالى العامة، وذلك عن طريق:

1) استخدام نموذج (ARIMA) للتنبؤ بالطلب المستقبلي على محولة التوزيع (400/11KV)لتقدير الموارد والمواد الأولية اللازمة.
2) توظيف تقنية (GERT) لتمثيل الأنشطة الاحتمالية والمتكررة وبناء جداول زمنية مرنة تعكس التعقيدات الفعلية للتدفق الإنتاجي.
3) دمج مخرجات نموذج (ARIMA) مع تقنية (GERT) لبناء نموذج متكامل يعزز دقة التنبؤ والجدولة في بيئات صناعية غير حتمية.
4) حساب متوسط وقت إنجاز الطلبيات باختلاف أحجامها باستخدام تقنية (GERT) بما يدعم اتخاذ قرارات دقيقة لتجنب التأخير وضمان مواعيد التسليم.

مجتمع البحث وعينته:

يتمثل مجتمع البحث بـ (شركة ديالى للصناعات الكهربائية) والتي يتم فيها انتاج العديد من المنتجات الكهربائية في العديد من المصانع والورش الانتاجية والتي يتم استخدمها من قبل الجهات الحكومية والاهلية وتم اختيار معمل محولات التوزيع الكهربائية التابع لهذه الشركة والذي ينتج انواع من المحولات ذات سعات مختلفة منها محولة التوزيع نوع (400/11KV) كعينة للبحث من مجموعة المصانع و الورش الانتاجية لشركة ديالى العامة للصناعات الكهربائية .

الجانب النظري

جدولة المشروع وتقنية المراجعة والتقييم البياني (GERT):

المشروع هو وحدة عمل مؤقتة تهدف لتحقيق أهداف استراتيجية عبر أنشطة مترابطة بموارد وزمن محددين، ويكتسب أهميته من الحاجة لإدارة متكاملة لدورة حياته بدءًا من التأسيس حتى الإنهاء. وتعد إدارة المشاريع علماً وفناً يطبق المعارف والمهارات لتوجيه المشروع نحو النجاح ضمن معايير الوقت والكلفة والجودة، وتشكل جدولة المشاريع أداة رئيسة لتنظيم الأنشطة وتحديد تسلسلها الزمني بهدف تقليل زمن الإنجاز، تحسين استخدام الموارد، مراقبة التقدم وتقليل المخاطر(Kerzner,2017:12) . وتشمل تقنيات التخطيط والجدولة الأساليب التقليدية والأساليب الشبكية مثل طريقة المسار الحرج(CPM) ، وأسلوب تقييم ومراجعة البرامج(PERT) ، وأسلوب التقييم والمراجعة البيانيGERT) ، حيث يتميز GERT بمرونته في تمثيل المشاريع المعقدة والتعامل مع الأنشطة الاحتمالية والتكرارية عبر شبكة مكونة من العقد والأقواس. (PMI,2017:16)

جدولة المشروع:

الجدولة في إدارة المشاريع تُعدّ أداة محورية لتنظيم الأنشطة وتسلسلها ضمن إطار زمني وموارد محددة بما يضمن إنجاز الأعمال في الوقت المناسب وبكفاءة عالية فهي وسيلة تخطيطية ورقابية تساعد على تصور المشروع زمنياً، وتحديد العلاقات بين الأنشطة والكشف عن الأنشطة الحرجة المؤثرة على موعد التسليم وهو أمر مهم خاصة في المشاريع الكبيرة والمعقدة (Kerzner, 2017:12). وتستند الجدولة إلى تقنيات وأساليب متنوعة لمعالجة كثافة البيانات وتعقيداتها والتعامل مع القيود الزمنية والمالية وتقديم البيانات الفنية للمستفيد النهائي. كما تُعد المرحلة النهائية قبل التنفيذ الفعلي إذ يتم فيها تحديد أوقات استخدام الموارد وتحقيق التوازن بين الأهداف المتعددة عبر تقليل المخزون وأزمنة العمليات والانتظار وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد البشرية والمادية . (Stevenson,2015:12)

- ✓ الجدولة هي عملية تطوير نموذج زمني لمشروع معين يوضح فيها بداية ونهاية كل نشاط في المشروع وروابط العلاقات بين الأنشطة، والموارد المرتبطة بها، بهدف إدارة المشروع ومراقبته(PMI,2021 :17).

- ✓ تُعدّ جدولة المشاريع أداة فعّالة لتخطيط ومراقبة المشروع، وتهدف إلى تنظيم العلاقات المنطقية بين أنشطة المشروع من خلال تمثيلها على شكل شبكة تظهر تسلسل وترابط الأنشطة (هريدي،153:2010).

تقنية المراجعة والتقييم البياني (GERT)

مفهوم وتعريف (GERT):

تُعد الشبكات العشوائية أكثر مرونة وفائدة من الشبكات المحددة، ومن أبرز أمثلتها شبكة GERTالتي تقوم على عقد منطقية وأنشطة ذات طبيعة احتمالية قد تُنفذ أو لا تُنفذ تبعاً لشروط واحتمالات معينة، ما يمنحها قدرة أكبر على تمثيل المواقف المعقدة والطارئة في المشاريع(Todorova,2019:1).

- ✓ تعتبر تقنية GERT من وسائل تحليل الشبكات الاحتمالية المتطورة، وتستخدم لنمذجة العمليات التي تتضمن عدم تأكد في التنفيذ أو ضرورة اتخاذ قرارات مشروطة ضمن مسار العمل(PMI,2021:17)
- ✓ تقنية GERT هي توسيع للنماذج الشبكية التقليدية مثل (CPM وPERT)، وتضيف قدرات التحليل الاحتمالي للمسارات والوقت، مما يجعلها ملائمة للأنظمة التي تتضمن حلقات رجعية ومسارات متعددة بشروط تنفيذ (Moder et al.,1983)

مكونات شبكة (GERT):

تتكون شبكة (GERT) من الانشطة والعقدة والمعلمات التي تصف الانشطة وهي كالتالي(Monjezi,2016:18)**:**

1- **الانشطة (Activities)** : هنالك ثلاثة اصناف من الأنشطة التي تتميز بها شبكة (GERT) وهي تشير إلى المهام أو الإجراءات التي يتم تخصيص موارد المشروع لها، مثل الزمن أو التكلفة والاحتمال، وهذه الأنشطة هي:
a) أنشطة مؤكدة أوحتمية ، b) أنشطة أحتمالية ، c) الانشطة التكرارية او الحلقات
2- **العقد او الاحداث (Nodes or Events)**: تتكون شبكة (GERT) من نوعين من العقد هما :-
a) عقد الادخال ، b) عقد الاخراج
3- **المعلمات Parameters** : لكل نشاط من الأنشطة في شبكة (**GERT**) معلمتان هما :-
t_{ij} :- تمثل الوقت اللازم لإتمام النشاط الذي يبدأ من العقدة (i) وينتهي عند العقدة (j) ، ومن الممكن أن تمثل تكلفة النشاط c_{ij} ، وهي متغير عشوائي (Random Variable).
P_{ij} **:-** هو يمثل احتمالية (Probability) إنجاز النشاط .
4- **رسم شبكة (GERT) وإيجاد معدل الوقت المتوقع لإنجاز للمشروع :** لرسم شبكة (GERT) وإيجاد معدل الوقت المتوقع (Expected Time) لإنجاز المشروع يتم اتباع الخطوات الآتية :- (Mateo, 2016)

الخـطوة الاولى: (توفير بيانات المشروع)، **الخـطوة الثانية**: (رسم الشبكة)، **الخطوة الثالثة**: (تحديد التوزيعات الاحتمالية ودالة توليد العزوم $M_{ij}(t)$ والدالة المكافئة $W_{ij}(t)$ لكل نشاط) وفق المعادلات التالية:

$$M_{ij}(t) = E(e^{tx}) \qquad (1)$$

$M_{ij}(t)$ **:** - دالة توليد العزوم ، $E(e^{tx})$: - القيمة المتوقعة لـ e^{tx} ، x : - متغير عشوائي

$$M_{ij}(t) = \frac{e^{tb} - e^{ta}}{(b-a)t} \qquad (2)$$

الخـطوة الرابعة: (ايجاد دالة النقل المكافئة للشبكة $W_{E_{ij}}$) يتم إيجاد دالة النقل المكافئة (Equivalent Transfer Function) للمسارات الرئيسية في الشبكة ($\boldsymbol{W_{E_{ij}}}$) ، والتي يتم من

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 298-318
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.15

خلالها تقديم معلومات خاصة باحتمالية النجاح والوقت المتوقع لإنجاز المشروع من خلال تطبيق قاعدة (Mason's Rule) يمكن ايجاد قيمة دالة النقل المكافئة ($W_{E_{ij}}$) لشبكة (GERT) وفق المعادلة التالية:

$$W_{E_{ij}}(t) = \frac{1}{\Delta}\sum_{r=1}^{n} \omega_r \Delta_r \qquad (3)$$

حيث ان:

$\boldsymbol{\omega_r}$ **:-** يمثل دالة النقل للمسار الامامي $\boldsymbol{r^{th}}$ من عقدة $\boldsymbol{i}$ الى العقدة $\boldsymbol{j}$

$\boldsymbol{\Delta_r}$ **:-** يمثل دالة النقل للحلقات للمسار الامامي $\boldsymbol{r^{th}}$.

حيث أن $\boldsymbol{n, \dots, 1} =$.

$\boldsymbol{n}$**:** عدد المسارات الامامية ، $\boldsymbol{\Delta}$ **:** محدد الرسم البياني **(**the determinant of the graph**)** للشبكة ككل.

ويمكن ايجاد محدد الرسم من خلال المعادلة التالية:

$$\Delta = 1 - \sum_{a} L_a + \sum_{b,c} L_b\, L_c - \sum_{d,e,f} L_d L_e L_f \qquad (4)$$

الخـطوة الخامسة : (ايجاد احتمال الانجاز $P_{E_{ij}}$ ومتوسط الوقت المتوقع $t_{E_{ij}}$ والتباين Var_{ij}) يتم ايجاد احتمال الانجاز $\boldsymbol{P_{E_{ij}}}$ ومتوسط الوقت المتوقع $\boldsymbol{t_{E_{ij}}}$ والتباين $\boldsymbol{Var_{ij}}$ وفق المعادلات التالية:

احتمالية الانجاز $\boldsymbol{P_{E_{ij}}}$ كما في المعادلة رقم (5) التالية:

$$\mathrm{P_{E_{ij}}(t) = W_{E_{ij}}(t)|_{t=0}} \qquad (\mathbf{5})$$

ومتوسط الوقت المتوقع $t_{E_{ij}}$ وفق المعادلة (6)التالية :-

$$\mathrm{t_{E_{ij}} = E(t) = \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{W_{E_{ij}}(t)}{W_{E_{ij}}(0)}\right]|_{t=0}} \qquad (6)$$

والتباين Var_{ij} وفق المعادلة (7) التالية :-

$$\mathrm{Var_{ij} = \frac{\partial^2}{\partial t^2}\left[\frac{W_{E_{ij}}(t)}{W_{E_{ij}}(0)}\right]|_{t=0} - \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{W_{E_{ij}}(t)}{W_{E_{ij}}(0)}\right]^2|_{t=0}} \qquad (7)$$

الجانب التطبيقي: بيانات عينة البحث

تم جمع البيانات السنوية للفترة (2020-2024) عن محولة التوزيع ذات سعة (400/11) KV حيث تضمنت (60) مشاهدة وهي تمثل حجم الطلب الشهري لهذه المحولة، بالإضافة الى أنشطة عملية تصنيع محولة التوزيع الكهربائية والاوقات الخاصة بهذه الانشطة واحتمالية التنفيذ لكل نشاط (انظر جدول 1)، تم اعداد برنامج بواسطة برمجة (Minitab) وفقًا لنموذج الانحدار التلقائي المتكامل للمتوسطات المتحركة (ARIMA)، على وفق البيانات التي تم كتابتها من قبل الباحث لإيجاد حجم الطلب المتنبئ بهِ، ولبيان كيفية تطبيق هذه البيانات المعتمدة على أنموذج التنبؤ بواسطة (ARIMA) مع تقنية (GERT) بشكل مفصل تم اجراء العمليات الحسابية على وفق المعادلات الرياضية اذ تم ايجاد دالة النقل والدالة المولدة للعزوم لكل نشاط وتم ايجاد متوسط الوقت اللازم لإنجاز حجم الطلب على محولة التوزيع من نوع (400/11 KV).

جدول (1) يمثل حجم الطلب على المحولة

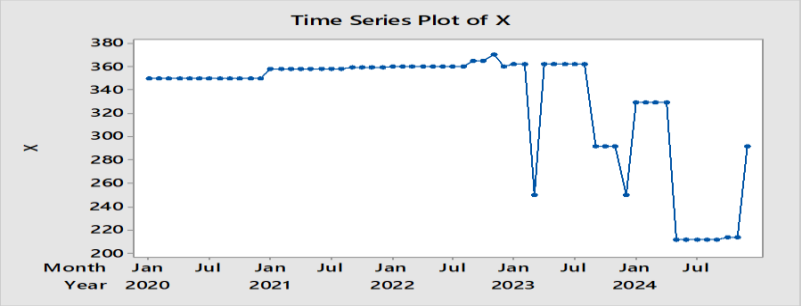
السنة	الشهر		ت	الطلب الشهري
2020	كانون الثاني	Jan	**1**	350
	شباط	feb	**2**	350
	اذار	Mar	**3**	350

350	**4**	Apr	نيسان	
350	**5**	May	أيار	
350	**6**	Jun	حزيران	
350	**7**	Jul	تموز	
350	**8**	Aug	اب	
350	**9**	Sep	أيلول	
350	**10**	Oct	تشرين الأول	
350	**11**	Nov	تشرين الثاني	
350	**12**	Dec	كانون الأول	
358	**13**	Jan	كانون الثاني	**2021**
358	**14**	feb	شباط	
358	**15**	Mar	اذار	
358	**16**	Apr	نيسان	
358	**17**	May	أيار	
358	**18**	Jun	حزيران	
358	**19**	Jul	تموز	
358	**20**	Aug	اب	
359	**21**	Sep	أيلول	
359	**22**	Oct	تشرين الأول	
359	**23**	Nov	تشرين الثاني	
359	**24**	Dec	كانون الأول	
360	**25**	Jan	كانون الثاني	**2022**
360	**26**	feb	شباط	
360	**27**	Mar	اذار	
360	**28**	Apr	نيسان	
360	**29**	May	أيار	
360	**30**	Jun	حزيران	
360	**31**	Jul	تموز	
360	**32**	Aug	اب	
365	**33**	Sep	أيلول	
365	**34**	Oct	تشرين الأول	
370	**35**	Nov	تشرين الثاني	
360	**36**	Dec	كانون الأول	
362	**37**	Jan	كانون الثاني	**2023**
362	**38**	feb	شباط	
250	**39**	Mar	اذار	
362	**40**	Apr	نيسان	
362	**41**	May	أيار	
362	**42**	Jun	حزيران	
362	**43**	Jul	تموز	
362	**44**	Aug	اب	
292	**45**	Sep	أيلول	
292	**46**	Oct	تشرين الأول	
292	**47**	Nov	تشرين الثاني	
250	**48**	Dec	كانون الأول	
329	**49**	Jan	كانون الثاني	**2024**
329	**50**	feb	شباط	
329	**51**	Mar	اذار	

	نيسان	Apr	**52**	329
	أيار	May	**53**	212
	حزيران	Jun	**54**	212
	تموز	Jul	**55**	212
	اب	Aug	**56**	212
	أيلول	Sep	**57**	212
	تشرين الأول	Oct	**58**	214
	تشرين الثاني	Nov	**59**	214
	كانون الأول	Dec	**60**	292
المجموع				**19846**

المصدر : من اعداد الباحث

عن طريق البيانات التاريخية للطلب على محولة التوزيع خلال الـ(60) شهراً كما في الجدول (1) يتم رسم السلسلة الزمنية لها وكما هو في الشكل (1) التالي :



الشكل(1) يمثل رسم السلسلة لنموذج ARIMA

تم الحصول على التنبؤات لسنة مستقبلية أي للعام 2025 كاملاً وقيم حجم الطلب من خلال التنبؤ بنموذج ARIMA هي كما في الجدول(2) التالي:

جدول (2) حجم الطلب المتنبئ به للعام 2025

ت	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الشهر	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	اب	ايلول	تشرين الاول	تشرين الثاني	كانون الاول
حجم الطلب المتنبئ به	298	303	307	310	313	315	317	318	320	321	321	322

المصدر : من اعداد الباحث بالاعتماد على بيانات الشركة.

تطبيق تقنية (GERT) على محولة 400/11 kv

الخـطوة الاولى: بيانات عينة البحث:

تم الحصول على بيانات الانشطة الخاصة بعمليات انتاج محولة التوزيع الكهربائية في شركة ديالى العامة للصناعات الكهربائية، والجدول (3) يوضح الانشطة والعلاقة المنطقية بينها و وقت كل نشاط لكل عملية واحتمالية الانجاز لكل نشاط.

جدول (3) العمليات ووصف العمليات والمسار ووقت كل نشاط واحتمالية تنفيذ كل نشاط

ت	العمليات	وصف العمليات	الأنشطة	المسار	وقت النشاط /س	احتمالية كل نشاط
1	استلام المواد الاولية من المجهز	في هذه المرحلة يتم استلام المواد التي تدخل في عملية تصنيع المحولة من المجهز الى ادارة المخزن	X_1	2-1	2.0 - 1.5	1.00

2	فحص المواد الاولية عند استلامها من المجهز	يتم في هذه الخطوة فحص عينات من المواد من حيث الكفاءة والمواصفات وفترة الصلاحية	X_2	3-2	0.17 – 0.13	1.00
3	اعادة المواد الاولية الى المجهز	يتم في هذه الخطوة اعادة المواد التي فيها تلف او غير مطابقة للمواصفات الى المجهز	X_3	1-3	0.33 - 0.25	0.04
4	ادخال المواد الاولية الى المخزن (خارج المعمل)	يتم في هذه المرحلة ادخال المواد الى المخزن بعد فحصها بالكامل	X_4	4-3	1.0 - 0.67	0.96
5	نقل المواد الاولية من المخزن الخارجي الى المخزن الداخلي (داخل المعمل)	يتم في هذه المرحلة نقل المواد التي تتطلب الحاجة اليها الاقسام التصنيعية من المخزن الخارجي الى مخزن المعمل	X_5	5-4	0.42 - 0.33	1.00
6	نقل المادة الاولية من المخزن الداخلي الى قسم تصنيع الخزان	يتم في هذه المرحلة نقل الرولة الحديدة من مخزن المواد الاولية الى ماكنة تشكيل الزعانف	X_6	6-5	0.07 – 0.05	1.00
7	ماكنة تشكيل الزعانف	وضع الرولة الحديدية على ماكنة تشكيل الزعانف حيث تقوم هذه الماكنة بتقطيع الرولة الحديدية لتشكيل زعانف الخزان حسب القياسات المخصصة للمحولة	X_7	10-6	0.33 – 0.25	1.00
8	نقل الزعانف الى ماكنة التثبيت واللحام	حيث تقوم هذه الماكنة بتثبيت اطراف الزعانف ولحامها مع بعضها	X_8	11-10	0.75 - 0.67	1.00
9	نقل المواد الى ماكنة اللحام الحافات السفلية والعلوية	حيث تقوم هذه الماكنة بلحام الحافات السفلية والعلوي مع الزعانف المشكلة وحسب القياسات المطلوبة	X_9	12-11	0.33 - 0.25	1.00
10	نقل المواد الى ماكنة حني المعادن	حيث تقوم هذه الماكنة بحني جانبي الخزان بزاوية قائمة للحصول على شكل حرف L	X_{10}	13-12	0.22 – 0.17	1.00
11	نقل المواد الى ماكنة قواعد التجميع	يتم من خلال هذه القاعدة تجميع جانبي الخزان وربطهما معاً للحصول على شكل مربع وكذلك يتم لحام القاعدة السفلية للخزان المهيأة سابقاً	X_{11}	14-13	0.4 – 0.33	1.00
12	ماكنة تثقيب الغطاء العلوي للخزان	يتم في هذه الماكنة تثقيب الغطاء العلوي للخزان وحسب الابعاد المطلوبة للتثقيب	X_{12}	15-14	0.17	1.00
13	نقل الخزان الى قسم الفحص	يتم في هذا القسم اجراء عملية فحص للخزان من حيث التسريب في الخزان	X_{13}	16-15	0.55 – 0.5	1.00
14	اعادة الخزان الى ماكنة التجميع	في هذه الخطوة يتم ارجع الخزان الذي يحتوي على عيوب الى ماكنة التجميع ليتم اصلاحه	X_{14}	14-16	0.08 – 0.05	0.01
15	نقل الخزان الى قسم الصباغة	يتم في هذه الخطوة نقل الخزان الى قسم الصباغة بواسطة الرافعة الشوكية	X_{15}	17-16	0.07 – 0.05	0.99
16	مرحلة الغسيل	يتم في هذه المرحلة تنظيف وغسل الخزان بالماء ومواد اضافية اخرى	X_{16}	18-17	0.17 – 0.13	1.00
17	مرحلة التجفيف	يتم في هذه المرحلة تجفيف الخزان بالهواء (بدرجة حرارة الغرفة) بعد اجراء عملية التنظيف والغسل	X_{17}	19-18	0.08	1.00
18	مرحلة صبغ الاساس	يتم في هذه المرحلة صباغة الخزان بمادة مخففه تسمى طلاء اساس	X_{18}	20-19	0.2 – 0.17	1.00
19	مرحلة التجفيف بعد الاساس	يدخل الخزان الى فرن التجفيف وبدرجة حرارة (130) درجة مئوية	X_{19}	21-20	0.25	1.00
20	مرحلة الصبغ النهائي	في هذه المرحلة يتم صبغ الخزان بطبقة صبغ نهائي ذو لزوجة متجانسة	X_{20}	22-21	0.25 – 0.22	1.00
21	مرحلة التجفيف بعد الصبغ النهائي	في هذه المرحلة يدخل الخزان الى فرن التجفيف و بدرجة حرارة (130) درجة مئوية	X_{21}	23-22	0.25	1.00
22	نقل الخزان بعدها الى قسم التجميع النهائي	بعد الانتهاء من عملية الطلاء يتم نقل الخزان الى قسم التجميع النهائي ليتم تركيبة مع بقية الاجزاء الاخرى	X_{22}	24-23	0.07 – 0.05	1.00
23	نقل المواد الاولية من المخزن الداخلي الى قسم تصنيع المعادن (تصنيع غطاء المحولة)	يتم في هذه المرحلة نقل القضبان الحديدية الى قسم تصنيع المعادن ووضعها على ماكنة منشار القطع الشريطي	X_{23}	7-5	0.07 – 0.05	1.00
24	ماكنة منشار القطع الشريطي	وضع القضبان الحديدية على ماكنة منشار القطع الشريطي حيث تقوم هذه الماكنة بتقطيع الصفائح الحديدية والانابيب بقياسات وابعاد مختلفة حسب القياسات المطلوبة للمحولة ومن ثم نقلها الى ماكنة الثقيب	X_{24}	25-7	0.13	1.00
25	ماكنة تثقيب المعدن	يتم في هذه المرحلة تثقيب الصفائح والانابيب الحديدية ويكون التثقيب بواسطة ماكنة التثقيب بالبلازما	X_{25}	26-25	0.17	1.00
26	نقل المعدن الى التنظيف	حيث يتم في هذه العملية تنظيف المعدن من التصدأ والشوائب وغيرها كما ويتم التنعيم السطحي للمعدن	X_{26}	27-26	0.17 – 0.15	1.00
27	نقل المعدن الى ماكنة حني المعادن	حيث تقوم هذه الماكنة بحني اطراف الغطاء ولجميع سعات المحولات من خلال تسليط ضغط عالي وضمن قوالب خاصة تعمل على حني الحافات وحسب القياسات المطلوبة	X_{27}	28-27	0.22 – 0.17	1.00
28	نقل المعدن الى ماكنة اللحام	حيث يتم في هذه العملية لحام جميع الاجزاء لتكوين الشكل النهائي لغطاء المحولة	X_{28}	29-28	0.3 – 0.25	1.00
29	نقل عطاء المحولة الى قسم الفحص	يتم في هذا القسم فحص الغطاء الخارجي للمحولة ، اذا كان هناك أي خلل في الغطاء بعد الفحص يتم اتلافه واستبداله بغطاء اخر	X_{29}	30-29	0.22 – 0.17	1.00
30	نقل غطاء المحولة الى قسم الصباغة	يتم في هذه الخطوة نقل غطاء المحولة الى قسم الصباغة بواسطة الرافعة الشوكية	X_{30}	31-30	0.07 – 0.05	1.00
31	مرحلة الغسيل	يتم في هذه المرحلة تنظيف وغسل غطاء المحولة بالماء ومواد اضافية اخرى	X_{31}	32-31	0.17 – 0.13	1.00
32	مرحلة التجفيف	يتم في هذه المرحلة تجفيف غطاء المحولة بالهواء (بدرجة حرارة الغرفة) بعد اجراء عملية التنظيف والغسل	X_{32}	33-32	0.08	1.00
33	مرحلة صبغ الاساس	يتم في هذه المرحلة صباغة غطاء المحولة بمادة مخففه تسمى طلاء اساس	X_{33}	34-33	0.2 – 0.17	1.00
34	مرحلة التجفيف بعد الاساس	يدخل غطاء المحولة الى فرن التجفيف وبدرجة حرارة (130) درجة مئوية	X_{34}	35-34	0.25	1.00
35	مرحلة الصبغ النهائي	في هذه المرحلة يتم صبغ غطاء المحولة بطبقة صبغ نهائي ذو لزوجة متجانسة	X_{35}	36-35	0.2 – 0.17	1.00
36	مرحلة التجفيف بعد الصبغ النهائي	في هذه المرحلة يدخل غطاء المحولة الى فرن التجفيف و بدرجة حرارة (130) درجة مئوية	X_{36}	37-36	0.25	1.00
37	نقل غطاء المحولة بعدها الى قسم التجميع النهائي	في هذه المرحلة يتم نقل غطاء المحولة الى قسم التجميع النهائي ليتم تركيبه مع بقية الاجزاء الاخرى	X_{37}	24-37	0.07 – 0.05	1.00
38	نقل المواد الاولية من المخزن	يتم في هذه المرحلة نقل مادة الحديد من المخزن الداخلي الى قسم	X_{38}		0.07 – 0.05	

	الداخلي الى قسم القلب الحديدي	القلب الحديدي ووضع الحديد على ماكنة تقطيع ولف القلوب الحديدية		8-5		1.00
39	ماكنة تقطيع ولف القلوب الحديدية	وضع معدن الحديد على ماكنة تقطيع ولف القلوب الحديدية حيث تقوم هذه الماكنة بعملية تقطيع ولف الحديد الكهربائي لإنتاج قلوب حديدية دائرية ملفوفة وحسب المواصفات الفنية المطلوبة	X_{39}	38-8	0.25 – 0.2	1.00
40	نقل القلوب الحديدية الى ماكنة تشكيل القلوب الحديدية	تقوم هذه الماكنة بتشكيل القلوب الحديدية الدائرية وتحويلها الى قلوب حديدية مستطيلة وحسب المواصفات الفنية المطلوبة	X_{40}	39-38	0.2 – 0.17	1.00
41	نقل القلوب الحديدية الى ماكنة كبس وشد القلوب الحديدية	تقوم هذه الماكنة بشد وكبس القلوب الحديدية المستطيلة من خلال تسليط ضغط يعتمد على شكل وابعاد القلوب الحديدية لكل سعة	X_{41}	40-39	0.12 – 0.08	1.00
42	نقل القلوب الحديدية الى فرن التلدين	ادخال القلوب الحديدية مع القوالب الخاصة بتشكيل القلوب الى فرن التلدين حيث يقوم فرن التلدين بازالة الاجهادات الداخلية للحديد الكهربائي نتيجة عملية التقطيع والتشكيل وتحسين الخواص الفيزيائية بما فيها الموصلة الكهربائية للحديد واستعادة الخواص المغناطيسية المفقودة نتيجة العمليات السابقة	X_{42}	41-40	1.0	1.00
43	عملية فك القوالب (فتح القوالب)	يتم فتح القوالب الخاصة بالتشكيل عن القلوب الحديدية الملدنه والتأكد من سلامة القوب الحديدية	X_{43}	42-41	0.3 – 0.25	1.00
44	نقل القلوب الحديدية الى قسم الفحص	يتم في هذا القسم فحص القلوب الحديدية من حيث المواصفات والخواص وقياس ابعاد القلوب ، اذا ظهر أي خلل في القلب الحديدي يتم اتلافه واستبداله بقلب حديدي اخر	X_{44}	43-42	0.25 – 0.22	1.00
45	نقل القلوب الحديدية المطابقة للمواصفات الى قسم التجميع الابتدائي	يتم في هذه الخطوة تجميع القلوب الحديدية مع ملفات المحولة	X_{45}	44-43	0.07 – 0.05	1.00
46	نقل المواد الاولية من المخزن الداخلي للمواد الاولية الى قسم اللف والعزل	يتم في هذه الخطوة نقل المواد الاولية (الاشرطة النحاسية والورق العازل) من المخزن القسم اللف والعزل ووضعها على ماكنة لف ملفات الجهد الواطئ	X_{46}	9-5	0.07 – 0.05	1.00
47	ماكنة لف ملفات الجهد الواطئ	وضع الاشرطة النحاسية والورق العازل على ماكنة لف ملفات الجهد الواطئ حيث تقوم هذه الماكنة بلف ملف الجهد الواطئ لمحولات التوزيع وذلك من خلال لف الاشرطة النحاسية مع طبقتين من الورق العازل وحسب المواصفات المطلوبة	X_{47}	45-9	1.25 – 1.0	1.00
48	نقل الملف من ماكنة لف الجهد الواطئ الى ماكنة لف ملفات الجهد العالي	تقوم هذه الماكنة بعملية لف ملفات الجهد العالي للمحولات بمختلف القياسات وذلك من خلال لف الاسلاك النحاسية مع طبقتين من الورق العازل ضمن المواصفات المطلوبة	X_{48}	46-45	1.5 – 1.0	1.00
49	نقل الملف الى قسم الفحص	يتم في هذه المرحلة فحص الملف وذا ظهر علية أي مؤشر خلل يعود الى الخطوات السابقة	X_{49}	47-46	0.58 – 0.5	1.00
50	اعادة الملف الى ماكنة اللف والعزل الجهد العالي	يتم في هذ الخطوة اعادة الملف الى ماكنة لف الجهد العالي واصلاح الخلل الذي فيه حسب مؤشر نتيجة الفحص	X_{50}	46-47	0.08 – 0.07	0.01
51	اعادة الملف الى ماكنة اللف والعزل الجهد الواطئ	يتم في هذ الخطوة اعادة الملف الى ماكنة لف الجهد الواطئ واصلاح الخلل الذي فيه حسب مؤشر نتيجة الفحص	X_{51}	45-47	0.08 – 0.07	0.01
52	نقل الملف الى ماكنة تشكيل وكبس الملفات	يتم في هذه المرحلة عملية تجميع القوالب مع الملفات وادخالها الى ماكنة التشكيل وتسليط الضغط عليها لحين الحصول على الابعاد المطلوبة	X_{52}	48-47	0.25 – 0.22	0.98
53	نقل الملف الى فرن التجفيف	يتم ادخال الملف في فرن وبدرجة حرارة (130) درجة مئوية	X_{53}	49-48	1.0	1.00
54	نقل الملف الى قسم التجميع الابتدائي	بعد الانتهاء من عملية الفرن ينقل الملف الى قسم التجميع الابتدائي	X_{54}	44-49	0.07 – 0.05	1.00
55	عملية تجميع القلب الحديدي مع الملف	يتم في هذه المرحلة تجميع القلوب الحديدية مع الملفات حيث توضع الملفات على ماكنة التجميع ويتم ادخال القلوب الحديدية الى الملفات وايضا يتم ادخال العوازل بينهما وتسمى هذه العملية بعملية تجميع الجزء الفعال	X_{55}	50-44	0.67 – 0.5	1.00
56	نقل الجزء الفعال الى التوصيلات النحاسية	بعد اكمال عملية تجميع الملف مع القلب الحديدي يتم ربط التوصيلات النحاسية بينها	X_{56}	51-50	0.13 – 0.08	1.00
57	نقل الجزء الفعال الى فرن التجفيف	يتم في هذه المرحلة ادخال الجزء الفعال الى فرن التجفيف وبدرجة حرارة (130) درجة مئوية لكي يتم التخلص من الرطوبة	X_{57}	52-51	1.0	1.00
58	نقل الجزء الفعال من فرن التجفيف الى قسم الفحص	يتم في هذا القسم فحص عازليه الملفات مع الارض وفحص نسبة التحويل ، اذا كان المؤشر سليم يذهب الى قسم التجميع النهائي	X_{58}	53-52	0.25 – 0.17	1.00
59	قسم التجميع النهائي (تجميع الغطاء مع الخزان)	يتم في هذ الخطوة تجميع الخزان للمحولة مع مجموعة الغطاء الذي يحوي العوازل الخزفية للجهد العالي والجهد الواطئ	X_{59}	54-24	0.33 – 0.25	1.0
60	عملية تجميع الخزان والغطاء و الجزء الفعال معاً	يتم في هذه المرحلة تجميع كافة اجزاء المحولة من المواد المصنعة سابقا	X_{60}	54-53	0.2 – 0.17	1.00
61	نقل المحولة بعد التجميع النهائي الى غرفة التزييت	يتم في هذه المرحلة ملأ المحولة بالزيت الخاص فيها	X_{61}	55-54	0.17 – 0.13	1.00
62	نقل المحولة الى قسم الفحص النهائي(السيطرة النوعية)	يتم في هذا القسم فحص عازليه المحولة وكفاءتها وفحص جودتها وجميع خواصها	X_{62}	56-55	0.58 – 0.5	1.00
63	نقل المحولة الى مخزن المحولات الجاهزة	يتم هنا خزن المحولات المجهزة بالكامل وتكون جاهزة للتسويق	X_{63}	56-55	0.07 – 0.05	1.00

المصدر: من اعداد الباحث.

بناء على حجم الطلب المتنبئ به للشهر السادس والبالغ (315 محولة) في جدول رقم (2) والذي تم ايجاده من خلال أنموذج التنبؤ ARIMA تم احتساب وقت الانجاز لكل نشاط بالنسبة لحجم الطلب بالكامل وكما هو موضح في الجدول التالي (4) بالاعتماد على وقت انجاز كل قطعة في الجدول(3).

Journal of Business Economics for Applied Research, Vol. (8), No. (2): 298-318
Doi: https://dx.doi.org/10.37940/BEJAR.2026.8.2.15

جدول (4) اوقات الانشطة للمحولة بالاعتماد على حجم الطلب للشهر السادس سنة 2025

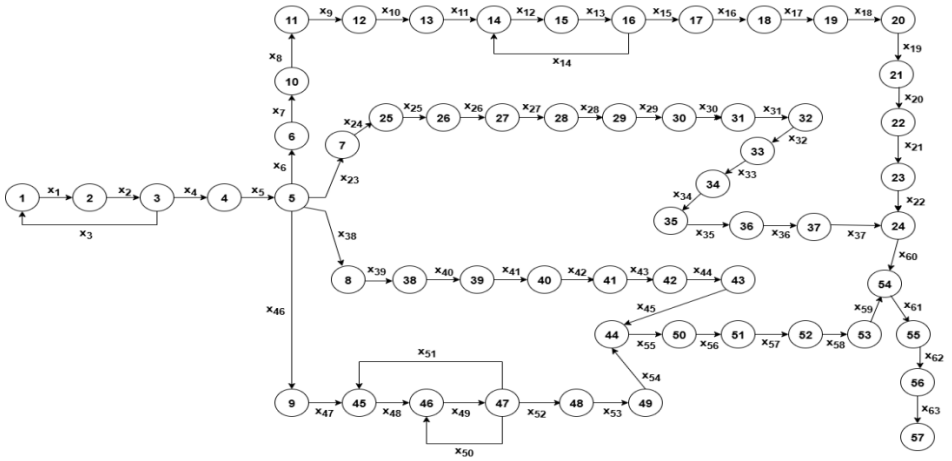
ت	الأنشطة	المسار	وقت النشاط /س	التفاصيل	وقت النشاط بالاعتماد على حجم الطلب
1	X_1	2-1	2.0 - 1.5	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	2.0 – 1.5
2	X_2	3-2	0.17 – 0.13	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.17 - 0.13
3	X_3	1-3	0.33 - 0.25	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.33 - 0.25
4	X_4	4-3	1.0 - 0.67	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	1.0 - 0.67
5	X_5	5-4	0.42 - 0.33	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.42 - 0.33
6	X_6	6-5	0.07 – 0.05	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.07 - 0.05
7	X_7	10-6	0.33 – 0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75 - 103.95
8	X_8	11-10	0.75 - 0.67	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	211.05 - 236.25
9	X_9	12-11	0.33 - 0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75 - 103.95
10	X_{10}	13-12	0.22 – 0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55 - 69.3
11	X_{11}	14-13	0.4 – 0.33	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	103.95 - 126
12	X_{12}	15-14	0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55
13	X_{13}	16-15	0.55 – 0.5	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	157.5 - 173.25
14	X_{14}	14-16	0.08 – 0.05	(الاحتمال0.01 * حجم الطلب) * وقت النشاط	0.1575 - 0.252
15	X_{15}	17-16	0.07 – 0.05	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	15.75 - 22.05
16	X_{16}	18-17	0.17 – 0.13	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	40.95 - 53.55
17	X_{17}	19-18	0.08	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	25.2
18	X_{18}	20-19	0.2 – 0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55 - 63
19	X_{19}	21-20	0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75
20	X_{20}	22-21	0.25 – 0.22	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	69.3 - 78.75
21	X_{21}	23-22	0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75
22	X_{22}	24-23	0.07 – 0.05	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	15.75 - 22.05
23	X_{23}	7-5	0.07 – 0.05	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.05 - 0.07
24	X_{24}	25-7	0.13	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	40.95
25	X_{25}	26-25	0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55
26	X_{26}	27-26	0.17 – 0.15	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	47.25 - 53.55
27	X_{27}	28-27	0.22 – 0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55 - 69.3
28	X_{28}	29-28	0.3 – 0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75 - 94.5
29	X_{29}	30-29	0.22 – 0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55 - 69.3
30	X_{30}	31-30	0.07 – 0.05	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	15.75 - 22.05
31	X_{31}	32-31	0.17 – 0.13	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	40.95 - 53.55
32	X_{32}	33-32	0.08	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	25.2
33	X_{33}	34-33	0.2 – 0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55 - 63
34	X_{34}	35-34	0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75
35	X_{35}	36-35	0.2 – 0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55 - 63
36	X_{36}	37-36	0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75
37	X_{37}	24-37	0.07 – 0.05	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	15.75 - 22.05
38	X_{38}	8-5	0.07 – 0.05	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.05 - 0.07
39	X_{39}	38-8	0.25 – 0.2	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	63 - 78.75
40	X_{40}	39-38	0.2 – 0.17	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	53.55 - 63
41	X_{41}	40-39	0.12 – 0.08	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	25.2 - 37.8
42	X_{42}	41-40	1.0	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	315
43	X_{43}	42-41	0.3 – 0.25	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	78.75 - 94.5
44	X_{44}	43-42	0.25 – 0.22	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	69.3 - 78.75
45	X_{45}	44-43	0.07 – 0.05	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	15.75 - 22.05
46	X_{46}	9-5	0.07 – 0.05	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.05 - 0.07
47	X_{47}	45-9	1.25 – 1.0	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	315 - 393.75
48	X_{48}	46-45	1.5 – 1.0	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	315 - 472.5
49	X_{49}	47-46	0.58 – 0.5	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	157.5 - 182.7
50	X_{50}	46-47	0.08 – 0.07	(الاحتمال0.01 * حجم الطلب) * وقت النشاط	0.2205 - 0.252
51	X_{51}	45-47	0.08 – 0.07	(الاحتمال0.01 * حجم الطلب) * وقت النشاط	0.2205 - 0.252
52	X_{52}	48-47	0.25 – 0.22	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	69.3 - 78.75
53	X_{53}	49-48	1.0	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	315
54	X_{54}	44-49	0.07 – 0.05	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	15.75 - 22.05
55	X_{55}	50-44	0.67 – 0.5	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	157.5 - 211.05
56	X_{56}	51-50	0.13 – 0.08	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	25.2 - 40.95

315	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	1.0	52-51	X_{57}	**57**
53.55 - 78.75	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	0.25 – 0.17	53-52	X_{58}	**58**
78.75 - 103.95	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	0.33 – 0.25	54-24	X_{59}	**59**
53.55 - 63	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	0.2 – 0.17	54-53	X_{60}	**60**
40.95 - 53.55	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	0.17 – 0.13	55-54	X_{61}	**61**
157.5 - 182.7	(حجم الطلب 315* وقت النشاط)	0.58 – 0.5	56-55	X_{62}	**62**
0.05 - 0.07	الوقت ثابت مهما تغير حجم الطلب	0.07 – 0.05	56-55	X_{63}	**63**

المصدر : من اعداد الباحث.

الخـطوة الثانية: رسم الشبكة

تم تمثيل انشطة أنتاج محولة التوزيع الكهربائية في معمل المحولات التوزيع التابع لشركة ديالى العامة للصناعات الكهربائية – محافظة ديالى ، في مخطط شبكي وفق الجدول (3) وكما هو موضح في الشكل (3):



الشكل (3) شبكة GERT

الخطوة الثالثة: تحديد التوزيعات الاحتمالية والدالة المُولدة للعزوم (MGF)$M_{ij}(t)$ ودالة النقل $W_{ij}(t)$

من خلال تطبيق معادلة (1) و(2) يتم الحصول على جدول (5) التوزيعات الاحتمالية للأنشطة ومعلمات كل توزيع ودالة توليد العزوم (MGF) ودالة النقل $W_{ij}(t)$ لكل نشاط

جدول (5) التوزيعات الاحتمالية للأنشطة ومعلمات كل توزيع ودالة توليد العزوم (MGF) ودالة النقل $W_{ij}(t)$ لكل نشاط

الانشطة	احتمالية كل نشاط	وقت النشاط بالاعتماد على حجم الطلب	نوع التوزيع	دالة توليد العزوم $M_{ij}(t)$	دالة النقل $w_{ij}(t)$
X_1	1.00	2.0 – 1.5	Uniform: a=1.5 b=2.0	$\frac{e^{0.005*2.0}-e^{0.005*1.5}}{(2.0-1.5)0.005}$	$\frac{e^{0.005*2.0}-e^{0.005*1.5}}{(2.0-1.5)0.005}*1$
X_2	1.00	- 0.13 0.17	Uniform: a=0.13 b=0.17	$\frac{e^{0.005*0.17}-e^{0.005*0.13}}{(0.17-0.13)0.005}$	$\frac{e^{0.005*0.17}-e^{0.005*0.13}}{(0.17-0.13)0.005}*1$
X_3	0.04	- 0.25 0.33	Uniform: a=0.25 b=0.33	$\frac{e^{0.005*0.33}-e^{0.005*0.25}}{(0.33-0.25)0.005}$	$\frac{e^{0.005*0.33}-e^{0.005*0.25}}{(0.33-0.25)0.005}*0.04$
X_4	0.96	1.0 - 0.67	Uniform: a=0.67 b=1.0	$\frac{e^{0.005*1.0}-e^{0.005*0.67}}{(1.0-0.67)0.005}$	$\frac{e^{0.005*1.0}-e^{0.005*0.67}}{(1.0-0.67)0.005}*0.96$

$\frac{e^{0.005*0.42} - e^{0.005*0.33}}{(0.42-0.33)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*0.42} - e^{0.005*0.33}}{(0.42-0.33)0.005}$	Uniform: a=0.33 b=0.42	- 0.33 0.42	1.00	X_5
$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.005*0.05}}{(0.07-0.05)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.005*0.05}}{(0.07-0.05)0.005}$	Uniform: a=0.05 b=0.07	- 0.05 0.07	1.00	X_6
$\frac{e^{0.005*103.95} - e^{0.005*78.75}}{(103.95-78.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*103.95} - e^{0.005*78.75}}{(103.95-78.75)0.005}$	Uniform: a=78.75 b=103.95	- 78.75 103.95	1.00	X_7
$\frac{e^{0.005*236.25} - e^{0.005*211.05}}{(236.25-211.05)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*236.25} - e^{0.005*211.05}}{(236.25-211.05)0.005}$	Uniform: a=211.05 b=236.25	- 211.05 236.25	1.00	X_8
$\frac{e^{0.005*103.95} - e^{0.005*78.75}}{(103.95-78.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*103.95} - e^{0.005*78.75}}{(103.95-78.75)0.005}$	Uniform: a=78.75 b=103.95	- 78.75 103.95	1.00	X_9
$\frac{e^{0.005*69.3} - e^{0.005*53.55}}{(69.3-53.55)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*69.3} - e^{0.005*53.55}}{(69.3-53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=69.3	- 53.55 69.3	1.00	X_{10}
$\frac{e^{0.005*126} - e^{0.005*103.95}}{(126-103.95)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.050*126} - e^{0.005*103.95}}{(126-103.95)0.005}$	Uniform: a=103.95 b=126	- 103.95 126	1.00	X_{11}
$Exp^{53.55*0.05} * 1$	$\text{Exp.}(53.55 * 0.005)$	Constant $\mu_{x12} = 53.55$	53.55	1.00	X_{12}
$\frac{e^{0.005*173.25} - e^{0.005*157.5}}{(173.25-157.5)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*173.25} - e^{0.005*157.5}}{(173.25-157.5)0.005}$	Uniform: a=157.5 b=173.25	- 157.5 173.25	1.00	X_{13}
$\frac{e^{0.005*0.252} - e^{0.005*0.1575}}{(0.252-0.1575)0.005} * 0.01$	$\frac{e^{0.005*0.252} - e^{0.005*0.1575}}{(0.252-0.1575)0.005}$	Uniform: a=0.1575 b=0.252	- 0.1575 0.252	0.01	X_{14}
$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05-15.75)0.005} * 0.99$	$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05-15.75)0.005}$	Uniform: a=15.75 b=22.05	- 15.75 22.05	0.99	X_{15}
$\frac{e^{0.005*53.55} - e^{0.005*40.95}}{(53.55-40.95)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*53.55} - e^{0.005*40.95}}{(53.55-40.95)0.005}$	Uniform: a=40.95 b=53.55	- 40.95 53.55	1.00	X_{16}
$Exp.(25.2 * 0.05) * 1$	$Exp.(25.2 * 0.005)$	Constant $\mu_{x17} = 25.2$	25.2	1.00	X_{17}
$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63-53.55)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63-53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=63	- 53.55 63	1.00	X_{18}
$Exp.(78.75 * 0.005) * 1$	$Exp.(78.75 * 0.005)$	Constant $\mu_{x19} = 78.75$	78.75	1.00	X_{19}
$\frac{e^{0.005*78.75} - e^{0.005*69.3}}{(78.75-69.3)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*78.75} - e^{0.005*69.3}}{(78.75-69.3)0.005}$	Uniform: a=69.3 b=78.75	- 69.3 78.75	1.00	X_{20}
$Exp.(78.75 * 0.005) * 1$	$Exp.(78.75 * 0.005)$	Constant $\mu_{x21} = 78.75$	78.75	1.00	X_{21}
$\frac{e^{0.005*22.050} - e^{0.005*15.75}}{(22.05-15.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05-15.75)0.005}$	Uniform: a=15.75 b=22.05	- 15.75 22.05	1.00	X_{22}
$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.05*0.005}}{(0.07-0.05)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.005*0.05}}{(0.07-0.05)0.005}$	Uniform: a=0.05 b=0.07	- 0.05 0.07	1.00	X_{23}
$Exp.(40.95 * 0.005) * 1$	$Exp.(40.95 * 0.005)$	Constant $\mu_{x24} = 40.95$	40.95	1.00	X_{24}
$Exp.(53.55 * 0.005) * 1$	$Exp.(53.55 * 0.005)$	Constant $\mu_{x25} = 53.55$	53.55	1.00	X_{25}
$\frac{e^{0.005*53.55} - e^{0.005*47.25}}{(53.55-47.25)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*53.55} - e^{0.005*47.25}}{(53.55-47.25)0.005}$	Uniform: a=47.25 b=53.55	- 47.25 53.55	1.00	X_{26}

$\frac{e^{0.005*69.3} - e^{0.005*53.55}}{(69.3 - 53.55)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*69.3} - e^{0.005*53.55}}{(69.3 - 53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=69.3	- 53.55 69.3	1.00	X_{27}
$\frac{e^{0.005*94.5} - e^{0.005*78.75}}{(94.5 - 78.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*94.5} - e^{0.005*78.75}}{(94.5 - 78.75)0.005}$	Uniform: a=78.75 b=94.5	- 78.75 94.5	1.00	X_{28}
$\frac{e^{0.005*69.3} - e^{0.005*53.55}}{(69.3 - 53.55)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*69.3} - e^{0.005*53.55}}{(69.3 - 53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=69.3	- 53.55 69.3	1.00	X_{29}
$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05 - 15.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.050*15.75}}{(22.05 - 15.75)0.005}$	Uniform: a=15.75 b=22.05	- 15.75 22.05	1.00	X_{30}
$\frac{e^{0.005*53.55} - e^{0.005*40.95}}{(53.55 - 40.95)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*53.55} - e^{0.005*40.95}}{(53.55 - 40.95)0.005}$	Uniform: a=40.95 b=53.55	- 40.95 53.55	1.00	X_{31}
$Exp.(25.2 * 0.005) * 1$	$Exp.(25.2 * 0.005)$	Constant $\mu_{x32} = 25.2$	25.2	1.00	X_{32}
$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63 - 53.55)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63 - 53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=63	- 53.55 63	1.00	X_{33}
$Exp.(78.75 * 0.005) * 1$	$Exp.(78.75 * 0.005)$	Constant $\mu_{x34} = 78.75$	78.75	1.00	X_{34}
$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63 - 53.55)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63 - 53.55)0.0055}$	Uniform: a=53.55 b=63	- 53.55 63	1.00	X_{35}
$Exp.(78.75 * 0.005) * 1$	$Exp.(78.75 * 0.005)$	Constant $\mu_{x36} = 78.75$	78.75	1.00	X_{36}
$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05 - 15.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05 - 15.75)0.005}$	Uniform: a=15.75 b=22.05	- 15.75 22.05	1.00	X_{37}
$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.005*0.05}}{(0.07 - 0.05)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.005*0.05}}{(0.07 - 0.05)0.005}$	Uniform: a=0.05 b=0.07	- 0.05 0.07	1.00	X_{38}
$\frac{e^{0.005*78.75} - e^{0.005*63}}{(78.75 - 63)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*78.75} - e^{0.005*63}}{(78.75 - 63)0.005}$	Uniform: a=63 b=78.75	- 63 78.75	1.00	X_{39}
$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63 - 53.55)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*63} - e^{0.005*53.55}}{(63 - 53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=63	- 53.55 63	1.00	X_{40}
$\frac{e^{0.005*37.8} - e^{0.005*25.2}}{(37.8 - 25.2)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*37.8} - e^{0.005*25.2}}{(37.8 - 25.2)0.005}$	Uniform: a=25.2 b=37.8	- 25.2 37.8	1.00	X_{41}
$Exp.(315 * 0.005) * 1$	$Exp.(315 * 0.005)$	Constant $\mu_{x42} = 315$	315	1.00	X_{42}
$\frac{e^{0.005*94.5} - e^{0.005*78.75}}{(94.5 - 78.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*94.5} - e^{0.005*78.75}}{(94.5 - 78.75)0.005}$	Uniform: a=78.75 b=94.5	- 78.75 94.5	1.00	X_{43}
$\frac{e^{0.005*78.75} - e^{0.005*69.3}}{(78.75 - 69.3)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*78.75} - e^{0.005*69.3}}{(78.75 - 69.3)0.005}$	Uniform: a=69.3 b=78.75	- 69.3 78.75	1.00	X_{44}
$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05 - 15.75)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*22.05} - e^{0.005*15.75}}{(22.05 - 15.75)0.005}$	Uniform: a=15.75 b=22.05	- 15.75 22.05	1.00	X_{45}
$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.005*0.05}}{(0.07 - 0.05)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*0.07} - e^{0.005*0.05}}{(0.07 - 0.05)0.005}$	Uniform: a=0.05 b=0.07	- 0.05 0.07	1.00	X_{46}
$\frac{e^{0.005*393.75} - e^{0.005*315}}{(393.75 - 315)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*393.75} - e^{0.005*315}}{(393.75 - 315)0.005}$	Uniform: a=315 b=393.75	- 315 393.75	1.00	X_{47}
$\frac{e^{0.005*472.5} - e^{0.005*315}}{(472.5 - 315)0.005} * 1$	$\frac{e^{0.005*472.5} - e^{0.005*315}}{(472.5 - 315)0.005}$	Uniform: a=315 b=472.5	- 315 472.5	1.00	X_{48}

$\frac{e^{0.005*182.7}-e^{0.005*157.5}}{(182.7-157.5)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*182.7}-e^{0.005*157.5}}{(182.7-157.5)0.005}$	Uniform: a=157.5 b=182.7	- 157.5 182.7	1.00	X_{49}
$\frac{e^{0.005*0.252}-e^{0.005*0.2205}}{(0.252-0.2205)0.005}*0.01$	$\frac{e^{0.005*0.252}-e^{0.05*0.2205}}{(0.252-0.2205)0.005}$	Uniform: a=0.2205 b=0.252	- 0.2205 0.252	0.01	X_{50}
$\frac{e^{0.005*0.252}-e^{0.005*0.2205}}{(0.252-0.2205)0.005}*0.01$	$\frac{e^{0.005*0.252}-e^{0.005*0.2205}}{(0.252-0.2205)0.005}$	Uniform: a=0.2205 b=0.252	- 0.2205 0.252	0.01	X_{51}
$\frac{e^{0.005*78.75}-e^{0.005*69.3}}{(78.75-69.3)0.005}*0.98$	$\frac{e^{0.005*78.75}-e^{0.005*69.3}}{(78.75-69.3)0.005}$	Uniform: a=69.3 b=78.75	- 69.3 78.75	0.98	X_{52}
$Exp.(315*0.005)*1$	$Exp.(315*0.005)$	Constant $\mu_{x53}=315$	315	1.00	X_{53}
$\frac{e^{0.005*22.05}-e^{0.005*15.75}}{(22.05-15.75)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*22.05}-e^{0.005*15.75}}{(22.05-15.75)0.005}$	Uniform: a=15.75 b=22.05	- 15.75 22.05	1.00	X_{54}
$\frac{e^{0.005*211.05}-e^{0.005*157.5}}{(211.05-157.5)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*211.05}-e^{0.005*157.5}}{(211.05-157.5)0.005}$	Uniform: a=157.5 b=211.05	- 157.5 211.05	1.00	X_{55}
$\frac{e^{0.005*40.95}-e^{0.005*25.2}}{(40.95-25.2)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*40.95}-e^{0.005*25.2}}{(40.95-25.2)0.005}$	Uniform: a=25.2 b=40.95	- 25.2 40.95	1.00	X_{56}
$Exp.(315*0.005)*1$	$Exp.(315*0.005)$	Constant $\mu_{x53}=315$	315	1.00	X_{57}
$\frac{e^{0.005*78.75}-e^{0.005*53.55}}{(78.75-53.55)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*78.75}-e^{0.005*53.55}}{(78.75-53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=78.75	- 53.55 78.75	1.00	X_{58}
$\frac{e^{0.005*103.95}-e^{0.005*78.75}}{(103.95-78.75)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*103.95}-e^{0.005*78.75}}{(103.95-78.75)0.005}$	Uniform: a=78.75 b=103.95	- 78.75 103.95	1.0	X_{59}
$\frac{e^{0.005*63}-e^{0.005*53.55}}{(63-53.55)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*63}-e^{0.005*53.55}}{(63-53.55)0.005}$	Uniform: a=53.55 b=63	- 53.55 63	1.00	X_{60}
$\frac{e^{0.005*53.55}-e^{0.005*40.95}}{(53.55-40.95)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*53.55}-e^{0.005*40.95}}{(53.55-40.95)0.005}$	Uniform: a=40.95 b=53.55	- 40.95 53.55	1.00	X_{61}
$\frac{e^{0.005*182.7}-e^{0.005*157.5}}{(182.7-157.5)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*182.7}-e^{0.005*157.5}}{(182.7-157.5)0.005}$	Uniform: a=157.5 b=182.7	- 157.5 182.7	1.00	X_{62}
$\frac{e^{0.005*0.07}-e^{0.005*0.05}}{(0.07-0.05)0.005}*1$	$\frac{e^{0.005*0.07}-e^{0.005*0.05}}{(0.07-0.05)0.005}$	Uniform: a=0.05 b=0.07	- 0.05 0.07	1.00	X_{63}

المصدر: من اعداد الباحث.

الخطــوة الرابعة: استخدام قاعدة Mason لايجاد دالة النقل المكافئة للشبكة $W_{E_{ij}}(t)$

الحالة الاولى:

نوجد محدد الرسم البياني **Δ** للشبكة ككل من خلال المعادلة رقم (4) والتي عبر عن دالة النقل للأنشطة الموجودة في جميع العقد للشبكة في المسارات الاربعة الرئيسية وكما مبين في الجدول (6):

جدول (6) حلقات شبكة محولة التوزيع الكهربائية ودوال النقل $w_{ij}(t)$ لكل نشاط في كل عقدة

الحلقات loops		الحلقات في الشبكة	دالة النقل $w_{ij}(t)$
	1-2-3-1	L_1	$W_1W_2W_3$ =0.04040751149

$\sum L_X$ (الحلقات الفردية)	14-15-16-14	L_2	$W_{12}W_{13}W_{14}$ =0.02991881823
	45-46-47-45	L_3	$W_{48}W_{49}W_{51}$ =0.17231137395
	46-47-46	L_4	$W_{49}W_{50}$ =0.02344941602
$\sum L_X L_Y$ (الحلقات الثنائية غير المتلامسة)	1-2-3-1 , 14-15-16-14	L_1 , L_2	$W_1W_2W_3.\ W_{12}W_{13}W_{14}$ =0.00121044093
	1-2-3-1 , 45-46-47-45	L_1 , L_3	$W_1W_2W_3\ .\ W_{48}W_{49}W_{51}$ =0.00697128939
	1-2-3-1 , 46-47-46	L_1 , L_4	$W_1W_2W_3\ .\ W_{49}W_{50}$ =0.00094870502
	14-15-16-14 , 45-46-47-45	L_2 , L_3	$W_{12}W_{13}W_{14}\ .\ W_{48}W_{49}W_{51}$ 0.00515535268=
	14-15-16-14 , 46-47-46	L_2 , L_4	$W_{12}W_{13}W_{14}\ .\ W_{49}W_{50}$ =0.00070157880
$\sum L_X L_Y L_Z$ (الحلقات الثلاثية غير المتلامسة)	1-2-3-1 , 14-15-16-14 , 45-46-47-45	L_1,L_2,L_3	$W_1W_2W_3.\ W_{12}W_{13}W_{14}\ .$ $W_{48}W_{49}W_{51}$ =0.00020857274
	1-2-3-1 , 14-15-16-14 , 46-47-46	L_1,L_2,L_4	$W_1W_2W_3.\ W_{12}W_{13}W_{14}\ .\ W_{49}W_{50}$ =0.00002838413

المصدر : من اعداد الباحث.

$$\Delta = 1 - \sum L_X + \sum L_X\, L_Y - \sum L_X\, L_Y L_Z$$

$$\therefore\ \Delta = 0.7486632902$$

الحالة الثانية : تحديد المسارات و وايجاد دالة النقل لكل مسار ω_r والدلتا المقابلة لكل مسار Δ_r:

المسار الاول

$$W_{1\text{-}57}(t) = W_1W_2W_4W_5W_6W_7W_8W_9W_{10}W_{11}W_{12}W_{13}W_{15}W_{16}W_{17}$$

$W_{18}W_{19}W_{20}W_{21}W_{22}W_{60}W_{61}W_{62}W_{63} = 1566.764$ قيمة دالة النقل للمسار الاول

المسار الثاني

$$W_{1\text{-}57}(t) = W_1W_2W_4W_5W_{23}W_{24}W_{25}W_{26}W_{27}W_{28}W_{29}W_{30}W_{31}W_{32}$$

$W_{33}W_{34}W_{35}W_{36}W_{37}W_{60}W_{61}W_{62}W_{63}$= **قيمة دالة النقل للمسار الثاني 155.931**

المسار الثالث

$$W_{1\text{-}57}(t) = W_1W_2W_4W_5W_{38}W_{39}W_{40}W_{41}W_{42}W_{43}W_{44}W_{45}W_{55}W_{56}$$

$W_{57}W_{58}W_{59}W_{61}W_{62}W_{63}$= **2423.045 قيمة دالة النقل للمسار الثالث**

المسار الرابع

$$W_{1\text{-}57}(t) = W_1W_2W_4W_5W_{46}W_{47}W_{48}W_{49}W_{52}W_{53}W_{54}W_{55}W_{56}$$

$W_{57}W_{58}W_{59}W_{61}W_{62}W_{63}$= **11865.0004 قيمة دالة النقل للمسار الرابع**

يتم استخدام دالة النقل (W_r) لكل مسار والدلتا (Δ_r) المقابلة للمسار نفسه في قاعدة ماسون $(Mason's\ Rule)$ في المعادلة (3) لإيجاد دالة النقل المكافئة للمسار $W_{E_{ij}}(t)$ وكما يأتي:

دالة النقل المكافئة للمسار الاول $W_{E_{1\text{-}57}}(t)$:

$$W_{E_{1\text{-}57}}(t) = \frac{1}{\Delta} W_{1\text{-}57}(t).\Delta_{1^{th}} = \frac{1}{0.7486632902}\ 1566.764 \times 1$$
$$= 2092.7485$$

دالة النقل المكافئة للمسار الثاني $W_{E_{1\text{-}57}}(t)$:

$$W_{E_{1\text{-}57}}(t) = \frac{1}{\Delta} W_{1\text{-}57}(t).\Delta_{2th} = \frac{1}{0.7486632902}\ 155.931 \times 1 = 208.2791$$

دالة النقل المكافئة للمسار الثالث $W_{E_{1\text{-}57}}(t)$:

$$\therefore W_{E_{1\text{-}57}}(t) = \frac{1}{\Delta} W_{1\text{-}57}(t).\Delta_{3th} = \frac{1}{0.7486632902}\ 2423.045 \times 1 = 3236.495$$

دالة النقل المكافئة للمسار الرابع $W_{E_{1\text{-}57}}(t)$:

$$\therefore W_{E_{1\text{-}57}}(t) = \frac{1}{\Delta} W_{1\text{-}57}(t).\Delta_{3th} = \frac{1}{0.7486632902}\ 11865.0004 \times 1 = 15848.246$$

الخطــوة الخامسة:

ولإيجاد الاحتمال المكافئ $P_{E_{ij}}(t)$ لإتمام كل مسار يتم التعويض بـ $(t = 0)$ في دالة النقل المكافئة للمسار $W_{E_{ij}}(t)$ وكما في المعادلة رقم (5):

الاحتمال المكافئ لإنجاز المسار الاول $(P_{E_{1\text{-}57}}(t))$:

$$P_{E_{1-57}}(t) = P_1.P_2.P_4.P_5.P_6.P_7.P_8.P_9.P_{10}.P_{11}.P_{12}.P_{13}.P_{15}.P_{16}.P_{17}.P_{18}.P_{19}.P_{20}.P_{21}.P_{22}.P_{60}.P_{61}.P_{62}.P_{63} = \mathbf{0.95}$$

وهي تمثل احتمالية انجاز المسار الاول $P_{E_{1-57}}(t)$ اي ان احتمالية انجاز الطلب على محولة التوزيع الكهربائية من نوع (400/11KV) مقبولة بنسبة 0.95 وهذا يعني ان نسبة الرفض هي 0.05 من الطلب الكلي على محولة التوزيع من نوع (400/11KV) .

الاحتمال المكافئ لإنجاز المسار الثاني $(P_{E_{1\text{-}57}}(t))$:

$$P_{E_{1-57}}(t) = \mathbf{0.96}$$

وهي تمثل احتمالية انجاز المسار الثاني $P_{E_{1-57}}(t)$ اي ان احتمالية انجاز الطلب على محولة التوزيع الكهربائية من نوع (400/11KV) مقبولة بنسبة 0.96 وهذا يعني ان نسبة الرفض هي 0.04 من الطلب الكلي على محولة التوزيع من نوع (400/11KV)

الاحتمال المكافئ لإنجاز المسار الثالث $(P_{E_{1\text{-}57}}(t))$:

$$P_{E_{1-57}}(t) = 0.96$$

وهي تمثل احتمالية انجاز المسار الثالث $P_{E_{1-57}}(t)$ اي ان احتمالية انجاز الطلب على محولة التوزيع الكهربائية من نوع (400/11KV) مقبولة بنسبة 0.96 وهذا يعني ان نسبة الرفض هي 0.04 من الطلب الكلي على محولة التوزيع من نوع (400/11KV)

الاحتمال المكافئ لإنجاز المسار الرابع $(P_{E_{1\text{-}57}}(t))$:

$$P_{E_{1-57}}(t) = \mathbf{0.94}$$

وهي تمثل احتمالية انجاز المسار الرابع $P_{E_{1-57}}(t)$ اي ان احتمالية انجاز الطلب على محولة التوزيع الكهربائية من نوع (400/11KV) مقبولة بنسبة 0.94 وهذا يعني ان نسبة الرفض هي 0.06 من الطلب الكلي على محولة التوزيع من نوع (400/11KV)

الان يتم ايجاد متوسط الوقت $(t_{E_{ij}})$ لانجاز كل مسار من خلال التفاضل الجزئي الاول لدالة المولدة للعزوم وفق المعادلة رقم (6) والتباين وفق المعادلة رقم (7) وكما يأتي:

متوسط الوقت للمسار الاول($t_{E_{1\text{-}57}}$)

$$t_{E_{1-57}} = E(t) = \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{W_{E_{1-57}}(t)}{W_{E_{1-57}}(0)}\right]|_{t=0} = \frac{e^{2092.7485\ t}*0.95}{e^{1566.764\ t}*0.95} = 525.98$$ ساعة

يمثل متوسط الوقت اللازم لانجاز 0.95 من طلبية محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) ، اي ان 0.931392 من حجم الطلب البالغ 315 محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) التي يتم انجازها في وقت قدره **525.9845** ساعة .

التباين Var_{1-57}

$$Var_{1-57} = \frac{\partial^2}{\partial t^2}\left[\frac{W_{E_{1\text{-}57}}(t)}{W_{E_{1\text{-}57}}(0)}\right]|_{t=0} - \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{W_{E_{1\text{-}57}}(t)}{W_{E_{1\text{-}57}}(0)}\right]^2|_{t=0}$$

$$Var_{1-57} = 276659.69424 - (525.98)^2 = 4.73384$$ ساعة

وهو يمثل مدى التباين والاختلاف بين وقت الانتاج الفعلي ومتوسط الوقت المتوقع لانجاز 0.95 من الطلبية على محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) التي يتم انجازها في وقت قدره **525.9845** ساعة .

متوسط الوقت للمسار الثاني($t_{E_{1\text{-}57}}$)

$$t_{E_{1-57}} = E(t) = \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{W_{E_{1-57}}(t)}{W_{E_{1-57}}(0)}\right]|_{t=0} = \frac{e^{208.2791\ t}*0.96}{e^{155.931\ t}*0.96} = 52.3$$ ساعة

يمثل متوسط الوقت اللازم لانجاز0.96 من طلبية محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) ، اي ان 0.96 من حجم الطلب البالغ 315 محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) يتم انجازه في وقت قدره **52.3** ساعة .

التباين Var_{1-57}

$$Var_{1-57} = 2740.3235 - (52.3)^2 = 5.0335$$ ساعة

وهو يمثل مدى التباين والاختلاف بين وقت الانتاج الفعلي ومتوسط الوقت المتوقع لانجاز 0.96 من الطلبية على محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) التي يتم انجازها في وقت قدره **52.3** ساعة .

متوسط الوقت للمسار الثالث($t_{E_{1\text{-}57}}$)

$$t_{E_{1-57}} = E(t) = \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{W_{E_{1-57}}(t)}{W_{E_{1-57}}(0)}\right]|_{t=0} = \frac{e^{3236.495\ t}*0.96}{e^{2423.045\ t}*0.96} = 813.44$$ ساعة

يمثل متوسط الوقت اللازم لانجاز 0.96 من طلبية محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) ، اي ان 0.96 من حجم الطلب البالغ 315 محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) يتم انجازه في وقت قدره **813.44** ساعة .

التباين Var_{1-57}

$$Var_{1-57} = 661700.90249 - (813.44)^2 = 16.26889$$ ساعة

وهو يمثل مدى التباين والاختلاف بين وقت الانتاج الفعلي ومتوسط الوقت المتوقع لانجاز 0.96 من الطلبية على محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) التي يتم انجازها في وقت قدره **813.44** ساعة .

متوسط الوقت للمسار الرابع($t_{E_{1\text{-}57}}$)

$$t_{E_{1-57}} = E(t) = \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{W_{E_{1-57}}(t)}{W_{E_{1-57}}(0)}\right]|_{t=0} = \frac{e^{15848.246\ t}*0.94}{e^{11865.0004\ t}*0.94} = 3983.245$$ ساعة

يمثل متوسط الوقت اللازم لانجاز 0.94 من طلبية محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) ، اي ان 0.94 من حجم الطلب البالغ 315 محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) يتم انجازه في وقت قدره **3983.245**ساعة

التباين Var_{1-57}

$$Var_{1-57} = 1.58662455099 \times 10^7 - (3983.245)^2$$
$$= 4.779875 \text{ ساعة}$$

وهو يمثل مدى التباين والاختلاف بين وقت الانتاج الفعلي ومتوسط الوقت المتوقع لانجاز 0.94 من الطلبية على محولة التوزيع نوع (400/11**KV**) التي يتم انجازها في وقت قدره **3983.245** ساعة.

الاستنتاجات:

في هذه الدراسة وبعد ان تم التنبؤ بحجم الطلب المستقبلي لعينة الدراسة في معمل محولات التوزيع الكهربائية واجراء العمليات الحسابية اللازمة بالطريقة التقليدية وباستعمال مخرجات نموذج ARIMA كمدخلات لتقنية GERT فقد تم التوصل الى مجموعة من الاستنتاجات والتي يمكن تلخصيها كالاتي:

1. اثبت نموذج ARIMA قدرته على التنبؤ بحجم الطلب على محولة توزيع الكهرباء من نوع (400/11KV) لعام 2025 وهذا يعني عدم تأثر الأنموذج بالتغيرات المفاجئة التي يمكن أن تؤثر في عدم استقرار الطلب.
2. ساعد ايجاد التنبؤ بحجم الطلب لعام 2025 المعمل على تجنب التاخير في توفير المواد الاولية وذلك نتيجة استيراد بعض من المواد الاولية من دول اخرى، وبهذا ساهم على توفير الموارد المطلوبة في الوقت المحدد وتهيئتها لبدء الانتاج عند اصدار امر الطلب.
3. أسهم استعمال أسلوب GERT في تقدير متوسط الوقت المطلوب لإنجاز الطلب المتنبأ به ، وذلك من خلال احتساب أزمنة الأنشطة الحتمية والاحتمالية مع مراعاة الأنشطة ذات احتمالية التكرار لأكثر من مرة ضمن شبكة المشروع بما أتاح رؤية أدق لمسار الإنجاز وتحسين ضبط الجداول الزمنية. حيث بلغ متوسط وقت الانجازللمسار الاول 525.98 ساعة وبتباين قدره 4.73384 و بلغ متوسط وقت الانجازللمسارالثاني 52.3 ساعة وبتباين قدره 5.0335 وبلغ متوسط وقت الانجازللمسارالثالث 813.44 ساعة وبتباين قدره 16.26889 وبلغ متوسط وقت الانجازللمسارالرابع 3983.245 ساعة وبتباين قدره 4.779875
4. ساعد اعتماد أسلوب GERT في تحديد نسبة الإنتاج من إجمالي الطلب التي يُحتمل عدم مطابقتها للمواصفات، وذلك من خلال تحليل احتمالية الإنجاز في كل مسار. وقد أتاح ذلك للإدارة اتخاذ الإجراءات المناسبة لتقليل عدد القطع المعيبة وتقليص أزمنة معالجتها، مما أسهم في خفض الزمن الكلي والتكاليف لعملية الإنتاج.
5. أثبت تكامل نموذج ARIMAمع تقنية GERT فاعليته في توفير رؤية كمية دقيقة لإدارة المشاريع حيث يساهم ARIMA في التنبؤ بالمدخلات الكمية (الطلب المتوقع) فيما توفر GERTالمرونة في تمثيل الشبكات ذات الأنشطة الاحتمالية والمتكررة.
6. أظهرت النتائج أن تقنية GERT تساعد على تقليل درجة عدم اليقين في المعطيات التاريخية (كالطلب أو زمن النشاط)، و توفر GERT تمثيلاً احتماليا ديناميكياً لتدفق الأنشطة، وبالتالي يصبح النموذج المدمج أكثر ملاءمة للبيئات المعقدة والمشاريع ذات المخاطر العالية.

التوصيات:

عن طريق النتائج المستخلصة والاستنتاجات التي تم التوصل اليها يمكننا وضع بعض التوصيات المهمة التي من خلال الالتزام بها من قبل ادارة معمل محولات التوزيع يمكن تحقيق افضل استراتيجية للسيطرة على حجم الطلب وتلبية الطلبات في الوقت اللازم ، وهي :

1. نوصي معمل محولات التوزيع بالاعتماد على الطريقة المقترحة من قبل الباحث، والمبنية على دمج نموذج التنبؤ بالسلاسل الزمنية (ARIMA) مع أسلوب المراجعة التقييم البيانية (GERT) بوصفها نهجاً فعالاً لتحديد حجم الطلبوتقدير متوسط الوقت اللازم لإنجاز كل طلبية بدقة أعلى.
2. نوصي معمل محولات التوزيع باتباع الاساليب العلمية والرياضية عند تحديد حجم الطلب او التنبؤ بالطلب وعدم الاكتفاء بالخبره الشخصية اوالاساليب البدائية .
3. التدقيق وزيادة التركيز على الأنشطة التي تُظهر احتمالية مرتفعة لظهور القطع المعيبة أو غير المطابقة للمواصفات، مع تعزيز الرقابة عليها، بما يسهم في تقليص أزمنة المعالجة وبالتالي خفض الوقت الكلي لعملية الإنتاج.
4. توسيع نطاق التطبيق نوصى بتطبيق المنهجية على مشاريع ذات طبيعة مختلفة (بنى تحتية، صناعات استراتيجية) لقياس مدى قوة ومرونة التكامل بين نموذج ARIMA وتقنية GERT
5. اعتماد البرمجيات المتخصصة يُفضل تطوير أو استخدام برمجيات تجمع بين نمذجة السلاسل الزمنية (ARIMA) والتقنات الشبكية (GERT) ، مما يسهل عملية التحليل والتطبيق الصناعي.

المصادر:

1. العامري؛ عامر عبداللطيف، الصباغ؛ عزام عبد الوهاب، (2018) "أثر رأس المال البشري في التنبؤ بالطلب باستخدام أساليب التنبؤ النوعية" دراسة تطبيقية، مجلة كلية بغداد للعلوم الاقتصادية الجامعة، العدد 54.
2. نوري؛ حيدر شاكر نوري،(2018)" استخدام أنموذج التحليل الشبكي للأعمال لتقليل أوقات الإنجاز في المشاريع الإنشائية: بحث تطبيقي لمجسر مدينة بعقوبة في محافظة ديالى"مجلة كلية المأمون، العدد 32.
3. هريدي؛ أحمد، (2010) إدارة المشروعات الهندسية، القاهرة: دار الفكر العربي، صفحة 135
4. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control (5th ed., pp. 1–2). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
5. Hyndman, R. J., and Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and practice (3rd ed.). OTexts.
6. Kerzner,H.(2017).Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (12th ed.).
7. Krajewski, L. J., Malhotra, M. K., and Ritzman, L. P. (2019). Operations Management: Processes and Supply Chains (12th ed.).
8. Kuo, B. C., & Prasad, S. (2001). Graphical Evaluation and Review Technique (GERT) in Project Management. International Journal of Project Management, 19(7), 399–406.

9. Mateo, J. R. S. C. (2016). *Management Science, Operations Research and Project Management: Modelling, Evaluation, Scheduling, Monitoring*. Routledge.

10. Moder, J.J., Phillips, C.R., & Davis, E.W. (1983). Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming. Van Nostrand Reinhold.

11. Monjezi, N., Sheikhdavoodi, M. J., Zakidizaji, H., Marzban, A., and Shomeili, M. (2016). Operations scheduling of sugarcane production using fuzzy (GERT) method (part II: preserve operations, harvesting and ratooning). Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Vol.18,

12. Project Management Institute (PMI). (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition.

13. Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

14. Stevenson, W. J. (2015). Operations Management, 12th ed. McGraw-Hill/ Irwin, New York, New York.

15. Todorova, M. (2019). (GERT) model of a technical station for determining the passenger trainset delay. *Transport Problems*, Vol. 14, No. (1), pp.81-93.