مجلة دراسات الاقتصاد والأعمال
المجلد: 8 العدد: 2 ديسمبر 2021
ISSN: 2521-8352 | e-ISSN: 2521-8360

تأثير استخدام الأنشطة الوهمية على شبكات الأعمال

دراسة نظرية تحليلية لطريقة المسار الحرج (CPM)

عبد الله محمد الشـيخ
كلية الاقتصاد - جامعة مصراتة
a.elshaikh@eps.misuratau.edu.ly

مختار إبراهيم بالنور
الشركة الليبية للحديد والصلب
m.benoor@eps.misuratau.edu.ly

https://doi.org/10.36602/jebs.2021.v08.02.14

تاريخ الاستلام: 2021.11.16 تاريخ القبول: 2021.12.17 تاريخ النشر: 2021.12.31

الملخص

في شبكات الأعمال (CPM or PERT) يصعب ويتعذر أحياناً رسم شبكة المشـروع بدون استخدام الأنشطة الوهمية، وذلك لعدم إمكانية رسم الشبكة وفقاً للشروط المستخدمة في عملية الرسم وبالشكل الذي يحقق الشروط الفنية من حيث تتابع أنشطة المشروع على أرض الواقع وكما تم تحديدها من قبل المختصين، لذلك يتم استخدام نشاط أو مجموعة أنشطة وهمية لرسم الشبكة وفقاً لقواعد الرسم، وبالشكل الذي يحقق الشروط الفنية لعملية تتابع الأنشطة، وهنا يظهر الاختلاف بين القائمين على عملية الرسم من حيث عدد الأنشطة الوهمية المستخدمة في عملية الرسم ومكان وجودها على الرسم (الشبكة)، وهذا يعني إمكانية رسم شبكة المشروع الواحد بأكثر من طريقة مختلفة نتيجة الاختلاف في الأنشطة الوهمية وأماكن وجودها على الرسم. تهدف هذه الورقة لدراسة تأثير الاختلاف في عملية رسم الشبكة على المعلومات التي يتم استنتاجها من رسم الشبكة وفقاً لطريقة المسار الحرج (CPM)، وما مدى تأثير ذلك على عدد مسارات الشبكة، ومدى تغير المسار الحرج على الشبكة، ومدى تأثير التغير في هذه المسارات على الأوقات الخاصة بالبدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة (ES, LS, EF, LF) لأنشطة المشروع، وفي نهاية هذه الدراسة تم تحديد ما مدى تأثير الاختلاف في رسم الشبكات على المسار الحرج والمسارات الأخرى للشبكة، وكافة المعلومات التي تهدف طريقة (CPM) إلى استنتاجها من شبكة المشروع.

الكلمات الدالة: الأنشطة، الوهمية، الشبكة، حدث.

The Effect of Using Dummy Activities on Business networks

Analytical Theory Study on Critical Path Method (CPM)

Abdalla Mohamed Elshaikh
The Libyan Iron and Steel Company

Mukhtar Abraheem Bilnur
Faculty of Economics - Misurata University

Abstract

In business networks (CPM or PERT), it is difficult and sometimes impossible to draw the project network without using dummy activities, that is because the network cannot be drawn according to the conditions used in the drawing process, in the way which achieve the technical conditions, in terms of the sequence of the project activities in reality and as determined by the specialists. Therefore, an activity or group of dummy activities is used to draw the network according to the drawing rules, in the way which achieve the technical conditions of the activities sequence process. Here, the difference between those responsible for the drawing process appears in terms of the number of dummy activities used in the drawing process and their location on the drawing (network), this means that it is possible to draw the network for the same project in more

than one way, due to the difference in the dummy activities and their locations on the drawing. This paper aims to study the effects of the difference in the network drawing process on the information that is extracted from drawing the network, according to the critical path method (CPM), how does this affect the number of network paths, how much the critical path has changed on the network, and the impact of the change in these network paths on special times for early and late starting and finishing (ES, LS, EF, LF) of the project activities. At the end of this study, the effect of the difference in drawing networks was determined on the critical path and the other paths of the network, and all the information that the CPM method aims to conclude from the project network.

Keywords: CPM, activities, dummy, network, event.

1. المقدمة

تدرس هذه الورقة أحد أهم نماذج بحوث العمليات وكيفية تطبيقها بالشكل الذي يخدم الهدف من استخدامها، وهي شبكات الأعمال التي تعتبر من أهم الوسائل في إدارة المشاريع (Project Management) بمختلف أنواعها، بهدف تحقيق رقابة فعالة على عملية تنفيذ هذه المشاريع. ويمكن تصنيف شبكات الأعمال إلى أسلوبين رئيسيين هما أسلوب تقييم ومراجعة المشاريع (or Program Project) Evaluation and Review Technique (PERT) وطريقة المسار الحرج (CPM) Critical Path Method وهي موضوع دراسة هذه الورقة، ويعتمد تطبيق أي من الأسلوبين بناءً على طبيعة المعلومات المتاحة عن المشروع، فيتم تطبيق طريقة (CPM) عندما يكون الوقت اللازم لإنهاء عملية تنفيذ أنشطة المشروع معروفة ومحددة إلا إنها لا تضل لدرجة التحديد المطلق وبناءً على هذه الدرجة تكون نتائج هذه الطريقة، في العديد من الحالات العملية لطريقة (CPM) لا تُعرف أوقات الأنشطة بالضبط، إنما تكون معروفة إحصائيًا ولا يعني ذلك عدم اليقين (Sireesha et al., 2012)، ويتم تطبيق الأسلوب الأخر(PERT) عندما تكون الأوقات اللازمة لتنفيذ أنشطة المشروع غير محدد بالضبط، ويكون هناك ثلاث أزمنة لكل نشاط، وهي الوقت التفاؤلي (Optimistic) ويعني الوقت اللازم لتنفيذ النشاط في أحسن الظروف، والوقت التشاؤمي (Pessimistic) وهو الوقت اللازم لتنفيذ النشاط في أسوء الظروف، الوقت الاعتيادي (Most Likely) وتعني الوقت اللازم لتنفيذ النشاط في الظروف الاعتيادية، ويتم تقدير الوقت المتوقع (Expected Time) لهذه الأزمنة الثلاثة بناءً على معادلة مبنية على أساس التوزيع الطبيعي، وبهذا تتطلب كل طريقة شكلًا مختلفاً من المعلومات فيما يخص مدة تنفيذ النشاط (Arsham, 1993).

وفي كلا الأسلوبين (CPM, PERT)، يتم رسم شبكة للمشروع بناءً على عدد أنشطة المشروع والشروط الفنية التتابعية لهذه الانشطة، لتعكس هذه الشبكة أنشطة المشروع وصيغة هذه الأنشطة مقارنةً ببعضها (أنشطة سابقة، أنشطة لاحقة، أخرى متوازية)، فعملية البدء في تنفيذ نشاط سابق غير مقرونة الانتهاء من نشاط أخر، أما النشاط اللاحق فلا يمكن البدء في عملية تنفيذه إلا بعد الانتهاء من النشاط أو الأنشطة السابقة له، وأما الأنشطة المتوازية فهي الأنشطة التي ليس لها علاقة ببعضها البعض، وإن البدء في عملية تنفيذ أحدها غير مقرون بالأخر، ويتم ترتيب الأنشطة على الشبكة بناء على صيغة النشاط (سابق،

لاحق، موازي) ووضع الأزمنة اللازمة لتنفيذ هذه الأنشطة على الشبكة، ويمكن تمثيل المشروع على شكل مخطط شبكة (Network Diagrams) بطريقتين؛ وهي النشاط على القوس (Activity-on-Arc (AoA)) والنشاط على العقدة (Activity-on-Node (AoN))، وفي هذه الورقة سيتم استخدام الطريقة الأولى (AoA) (Duan, Liao, 2010)، والجدير بالذكر هنا هو إن تأثير أنشطة المشروع على مخاطر إنجازه يختلف من نشاط إلى أخر، بمعنى إن أنشطة المشروع المختلفة لها تأثيرات مختلفة على عملية ناجح للمشروع وانتهائه في وقته المتوقع، وتم اقتراح وطريقة وفهرسة معينة للحد من مخاطر الأنشطة وقد أظهرت الطرق المقترحة نتائج المقارنة أن المؤشر والطريقة المقترحة تفوقان بشدة المؤشرات الأخرى (Madadi, Iranmanesh, 2012). وقد تم أيضاً تطوير نهجًا بسيطًا لتحليل المسار الحرج على الشبكة التي تكون فيها أوقات النشاط مبهمة (غير دقيقة)، وذلك بصياغة البرمجة الخطية (LP) وترتيب الأرقام المبهمة وصياغة مشكلة المسار الحرج كنموذج (LP)، وتم اعتماد طريقة تصنيف Yager لتحويل صيغة LP المبهمة إلى صيغة واضحة يمكن حلها باستخدام طرق الحل التقليدية (Simplex) ويمكن أيضًا تحديد المسار الأكثر أهمية (Chen, Hsueh, 2007). وطور أتلي وكهرمان طريقة (Fuzzy Algebra) والبرمجة الخطية (LP) لتحليل المسار الحرج في الشبكة التي تكون فيها أوقات النشاط عبارة عن أرقام شبه منحرفة (غير دقيقة)، تعتمد الفكرة على صياغة (LP) في ترتيب هذه الأرقام المبهمة بهدف العثور على المسار الأكثر أهمية (Atli, Kahraman, 2011).

2. مشكلة الدراسة

إن شبكات الأعمال تستخدم كوسيلة لإدارة المشاريع بكفاءة وفاعلية، وعن طريقها يمكن القيام بوظيفتي التخطيط والرقابة، فعن طريق وظيفة التخطيط يتم بلورة الهدف في شكل خطة تعكسها شبكة المشروع، ويمكن القيام بوظيفة الرقابة عن طريقة متابعة أنشطة المشروع على أرض الواقع ومقارنته بالمخطط (شبكة المشروع)، ومن تم تحديد الانحرافات إن وجدت وبالتالي العمل على تقييمها، ومن جهة أخرى يمكن أيضاً تحديد متطلبات تنفيذ كل نشاط من مواد وعمال ومعدات، بناءً على الزمن المحدد لتنفيذ النشاط.

إن عملية رسم شبكة المشروع تعتمد بالدرجة الأولى على عدد أنشطة المشروع والشروط الفنية التتابعية لهذه الأنشطة (صيغة هذه الأنشطة بالنسبة لبعضها البعض)، وفيها يتم تمثيل كل نشاط على الرسم بسهم محصور بين دائرتين، وتمثل الدائرة الأولى حدث البداية للنشاط والدائرة الثانية تمثل حدث النهاية للنشاط، وبناء على ذلك وفقاً للشروط الفنية للأنشطة من حيث تتابعها يمكن استنتاج المعلومات التي تخص كل نشاط، وهي تحديد زمن بدايات النشاط (البداية المبكرة والبداية المتأخرة) وزمن نهايات النشاط (النهاية المبكرة والنهاية المتأخرة) وبالتالي تحديد الوقت اللازم لإنهاء المشروع ككل.

والجدير بالذكر هنا هو أنه يصعب أو يستحيل أحياناً رسم شبكة بعض المشاريع وفقاً للشروط التتابعية للأنشطة (Normal Activities) بما يتفق معها على أرض الواقع، ولحل هذه المعضلة يتم إضافة ما

يعرف بالأنشطة الوهمية (Dummy Activity)، بهدف رسم الشبكة وفقاً للشروط التي تحقق العلاقة التتابعية لأنشطة المشروع، (المنصوري،1996). وتكمن مشكلة هذا الدراسة في معرفة ما مدى تأثير الأنشطة الوهمية هذه على شكل الشبكة والنتائج والمعلومات المتحصل عليها من الشبكة عند تطبيق طريقة (CPM)، وعليه يمكن تلخيص مشكلة الدراسة في الإجابة على التساؤلات التالية:

- هل يؤثر الاختلاف في رسم الشبكة نتيجة للاختلاف في عدد الأنشطة الوهمية وفي أماكن استخدامها على عدد المسارات في الشبكة؟
- هل يؤثر الاختلاف في رسم الشبكة على المسار المتحكم (الحرج)؟
- هل يؤثر الاختلاف في رسم الشبكة على طول المسار الحرج في الشبكة؟ بمعنى هل يؤثر هذا الاختلاف على الزمن الكلي اللازم لإنجاز المشروع؟
- هل يؤثر هذا الاختلاف في رسم الشبكة على الأزمنة الخاصة بالأحداث (البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة)؟

3. الهدف من الدراسة

بعد الرجوع إلى أدبيات الموضوع تبين وجود ندرة في المراجع التي تناولت موضوع الأنشطة الوهمية، وبالبحث في كافة المرجع المتاحة لا يوجد مرجع واحد يوضح كيفية استخدام الأنشطة الوهمية في معالجة رسم الشبكات في حالة تعذر رسم شبكة المشروع باستخدام الأنشطة الاعتيادية، وبصفة عامة المعلومات الواردة في أدبيات الموضوع (الأنشطة الوهمية) غير كافية، وتقتصر على أن النشاط الوهمي يستخدم عندما تكون هناك مشكلة في رسم الشبكة، وهي لا تستهلك وقتاً ولا جهداً ولا موارد (وقت تنفيذ وتكلفة النشاط الوهمي مساويا للصفر). ومن هنا برزت أهداف هذه الدراسة وهي تجميع أكبر قدر ممكن من المعلومات المتعلقة بهذا الموضوع كمساهمة في تغطية القصور في أدبيات الموضوع، بالإضافة إلى تحليلات بعض الشبكات التي تعتمد في رسمها على بعض الأنشطة الوهمية، بهدف الإجابة على التساؤلات الخاصة بمشكلة الدراسة، وهو تأثير الاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية على نتائج طريقة (CPM)، وهذا في مجمله سيثري الموضوع من عدة جوانب، ويكون مرجعاً مهماً لهذا الموضوع.

4. أهمية الدراسة

تكمن أهمية الدراسة في تسليط الضوء على طريقة المسار الحرج (CPM)، وبشكل خاص على بعض الحالات الخاصة التي يتعذر فيها رسم الشبكة بدون استخدام أنشطة وهمية، فضلاً على ذلك معرفة ما مدى تأثير استخدام هذه الأنشطة على الشبكة بصفة عامة وعلى الأزمنة الخاصة بالشبكة عند تطبيق طريقة (CPM)، ومعرفة أبعاد هذا التأثير وتفسير ذلك، وهذا طبعاً يعتبر مساهمة علمية في ظل الندرة النسبية للمراجع التي تناولت هذا الموضوع.

5. منهج الدراسة

تدرس هذه الورقة تأثير الاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية في شبكات الأعمال وتأثير ذلك على نتائج طريقة (CPM) على أرض الواقع، وتعتبر هذه الدراسة من البحوث النظرية (الأساسية) التي لا تعتمد على الواقع ولا تستند إليه، بل تعتمد على التأمل النظري وعلى العمل العقلي الصرف وليس على العمل التجريبي، ويهدف إلى تطوير المعارف والمفاهيم البحثية (المعرفة العلمية)، وتكون ذات فائدة للمجتمع ككل، بينما في البحوث التطبيقية يتم تطبيقها على أرض الواقع وتكون ذات فائدة للمنظمة أو الظاهرة المعنية بالدراسة فقط، ولذلك يرتبط مصطلح "الحلول مباشرة" على البحوث التطبيقية ومصطلح "زيادة المعرفة" على البحوث النظرية.

لذلك ووفقاً لطبيعة مشكلة هذه الورقة سيتم اتباع المنهج النظري التحليلي، من أجل الوصول إلى نتائج دقيقة، وذلك عن طريق تحليل مجموعة شبكات لمشروع ما، وبالتالي رسمها بطريقة تختلف فيما بينها من حيث استخدام الأنشطة الوهمية، وتحليل تأثيرات هذا الاختلاف في ظل التساؤلات الواردة في هذه الدراسة، كالتأثير على مسارات الشبكة الاعتيادية والحرجة والفترة اللازمة لإتمام المشروع.

6. الاطـــار النظري للدراسة

1.6 طريقة المسار الحرج Critical Path Method (CPM)

تم اكتشاف هذه الطريقة (CPM) في عام 1956عن طريق شركة DuPont (Jie, Xun, 2010) وهي شركة أمريكية الجنسية وتعتبر حالياً ثاني أكبر شركة كيماويات في العالم، تُعد طريقة المسار الحرج (CPM) من أهم الطرق المستخدمة في إدارة المشاريع الهندسية، وهي وسيلة فعالة لجدولة ومراقبة أنشطة المشاريع. وتحظى شبكات الاعمال سواء كانت (CPM) أو (PERT)، بتطبيقات واسعة في الحياة العملية وتعطي نتائج جيدة على أرض الواقع، فعلى سبيل المثال تم استخدام (CPM & PERT) للتخطيط لمبنى الدراسات العليا (FUTA)، عن طريق البيانات الخاصة بالمشروع (قائمة بأنشطة المشروع والفترة اللازمة الإنهاء كل نشاط) التي تم جمعها من شركة البناء (SAMKAY)، وتم استخدام (CPM) لاحتساب الوقت اللازم الأنهاء المشروع قدره 207 يومًا، وباستخدام (PERT) تم تقدير احتمال إنجاز المشروع بنسبة 68.8٪ (Kikelomo, Olalekan, 2020).

ويتم التخطيط للمشروع (رسم شبكة المشروع) عن طريق رسم مخطط لأنشطة المشروع (Activity Network Diagram) يعكس الشروط التتابعية لهذه الأنشطة، بالإضافة إلى بعض المعلومات الأخرى كالوقت اللازم لتنفيذ الأنشطة وأوقات البدايات المبكرة والمتأخرة والنهايات المبكرة والمتأخرة لكافة الانشطة، وبهذا يمكن إدارة المشروع والسيطرة عليه من خلال مقارنة نسبة الإنجاز لهذه الأنشطة على أرض الواقع ومقارنته بما هو على الشبكة (الرسم)، ويتم التعبير عن هذه الأنشطة في الشبكة على شكل

سهم ويعكس الوقت اللازم لتنفيذ النشاط، والتعبير على وقت (حدث) بداية ونهاية النشاط على شكل دائرة، وبذلك يكون كل سهم محصور بين دائرتين (حدث البداية وحدث النهاية)، وبذلك يكون شكل المخطط للمشروع عبارة عن شبكة تتكون من عدد من الأسهم تمثل أنشطة المشروع وهي غير متقاطعة وفي شكل انسيابي في اتجاه نهاية المشروع، وكل سهم محصور بين دائرتين (حدثين) توضع الأولى في بداية السهم (النشاط) تسمى بحدث بداية للنشاط، وهو الوقت الذي يبدأ (بداية مبكرة أو متأخرة) فيه بتنفيذ النشاط، توضع الثانية في نهاية السهم ويسمى بحدث نهاية (نهاية مبكرة أو متأخرة)، كما تعكس الشبكة النشاط أو الأنشطة التي يمكن البدء فيها مع بداية المشروع وتسلسل والأنشطة اللاحقة لها وفق الشروط التتابعية على ارض الواقع، على أن يتم ذلك (رسم الشبكة) وفقاً للقواعد المحددة لعملية الرسم، فعملية الرسم تتم وفق قواعد معينة، ونظراً لأهمية هذه القواعد بالنسبة لموضوع الدراسة رأينا ضرورة توضيحها وفق التالي:

- كل (شبكة) تبدأ بحدث بداية واحد فقط وتنتهي بحدث نهاية واحد فقط أيضاً.
- يجب ألا يكون هناك تقاطع بين الأسهم (الأنشطة)
- لا يمكن لنشاطين أن يبدأن من حدث بداية واحد وينتهيان في نفس حدث النهاية، إلا أنهما يمكن أن يبدأن من حدث بداية واحد ولا ينتهيان بنفس الحدث، والعكس صحيح أيضاً، أي أنهما يبدأن من حدثان مختلفان وينتهيان في حدث واحد.
- يجب أن تكون الأحداث مرقمة بشكل تسلسلي من البداية إلى النهاية.
- لا يجب أن تكون الأنشطة على شكل دائري، بمعنى أنها انسيابية إلى الأمام ولا ترجع للخلف (Tikoo, 2012).

ووفقاً لقواعد الرسم هذه يمكن رسم شبكة المشروع وبالشكل الذي يحقق الشروط التتابعية له (أنشطة متوازية وأنشطة سابقة وأخرى لاحقة)، وبهذا تظهر شبكة المشروع في شكلها العام وهي عبارة عن عدد من الأسهم (الأنشطة) محصور بعدد من الدوائر (أحداث البداية وأحداث النهاية)، إلا أنها تبدأ بحدث بداية واحد فقط ويسمى بحدث بداية المشروع، وتنتهي بحدث نهاية واحد يسمى حدث نهاية المشروع، وبهذا تشكل هذه الأسهم مع الأحداث عدة مسارات تبدأ من حدث البداية وتنتهي في حدث النهاية، وتختلف أطوال هذه المسارات باختلاف الأنشطة المحددة لها.

الجدير بالذكر هنا هو أنه في ظل قواعد الرسم المذكورة أعلاه يصعب في بعض الحالات رسم الشبكة بالشكل الذي يحقق الشروط التتابعية للأنشطة المشروع، لذلك يتم استخدام (إضافة) أنشطة وهمية لتحقيق الشروط التتابع لهذه الأنشطة ووفقاً لقواعد الرسم، وهذا من الممكن أن يكون له تأثير على بعض المعلومات التي يتم استنتاجها من الشبكة، وهنا تظهر الحاجة لتوضيح بعض المصطلحات التي يمكن أن تتأثر بإضافة هذه الأنشطة الوهمية، والتي سيتم توضيحها في الفقرة التالية:

2.6 مصطلحات طريقة المسار الحرج Terminology used in CPM

وهنا يمكن تصنيف هذه المصطلحات إلى صنفين من المصطلحات، فيعنى الصنف الأول بالأنشطة وطبيعتها والمسارات التي تكونها هذه الأنشطة، أما الصنف الثاني فيعنى بالأحداث والأزمنة (الأوقات) الخاصة بها، بهذا يمكن توضيح هذه المصطلحات كمالي:

أولاً- المصطلحات الخاصة بالأنشطة:

في هذه الفقرة سيتم توضيح المصطلحات الخاصة بالأنشطة المستخدمة في طريقة المسار الحرج هي كالتالي (الحناوي وماضي، 2001):

أ. النشاط غير الحرج (Non-critical activity): هو النشاط الذي يمكن التأخير في تنفيذه خلال فترة معينة، وهي فترة الوقت الفائض للنشاط.

ب. النشاط الحرج (Critical Activity): هو النشاط الذي يجب تنفيذه في الوقت المحدد له، ولا يتحمل أي تأخير، وإن أي تأخير في عملية تنفيذه ستؤدي إلى تأخير المشروع ككل، وإن هذه الأنشطة الحرجة تمثل في مجملها المسار أو المسارات الحرجة.

ج. المسار غير الحرج (Slack Path): وهو ذلك المسار الذي يمكن تأجيل عملية تنفيذ كل أو بعض أنشطته دون التأثير على الوقت اللازم لإنجاز المشروع في وقته المحدد، بحيث يكون التأخير في حدود الوقت الفائض، وأي تأخير بعد ذلك سيؤدي إلى تأخير المشروع ككل.

د. المسار الحرج (Critical Path): وهو أطول مسار على الشبكة ويمثل طوله أقل فترة زمنية لازمة لتنفيذ المشروع، وبذلك يجب أن تنفذ الأنشطة المكونة له في وقتها المحدد، وإلا أدى ذلك إلى تأخير تنفيذ المشروع بأكمله، ويمكن أن يكون للشبكة أكثر من مسار حرج، وتسمى الأنشطة الواقعة على المسار الحرج بأنشطة الاختناقات أو عنق الزجاجة في المشروع.

ه. النشاط الوهمي (Dummy activity): نظراً لأن موضوع هذه الورقة يتركز على الأنشطة الوهمية وأثرها على رسم الشبكة، وبالتالي سيتم توضيح النشاط الوهمي بشيء من التفصيل، من خلال تمثيل النشاط الوهمي على الشبكة على شكل سهم بخط مقطع، ويتم استخدامه في عملية رسم الشبكة في حالة تعذر رسم الشبكة بالأنشطة الاعتيادية (الحقيقية)، وذلك بهدف تحقيق التسلسل والترابط المنطقي (الشروط التتابعية) لأنشطة المشروع، وبهذا لا يستهلك جهداً ولا وقتاً ويكون الوقت المخصص لتنفيذه يساوي صفر.

وهناك من يعرفه على أنه: تلك الفعالية التي تتسم في كونها غير موجودة على أرض الواقع للمشروع ويكون الهدف منها هو لأغراض تنسيقية أو لضرورات تتعلق برسم المخطط الشبكي الخاص بالمشروع. (العبيدي والفضل، 2004)، ويستخدم النشاط الوهمي لبناء علاقة تحقق الشروط التتابعية للأنشطة الحقيقية (الاعتيادية) على شبكة المشروع (السوافيري، 2004).

ثانياً- المصطلحات الخاصة بالأحداث:

في هذه الفقرة سيتم توضيح المصطلحات الخاصة بالأحداث، وهي أوقات البدايات والنهايات الخاصة بأنشطة المشروع، كما أنه سيتم توضيح المعادلات المستخدمة في حساب هذه الأزمنة عند تطبيق طريقة المسار الحرج هي كالتالي:

أ. البداية المبكرة ((Earliest Start Time (ES) البداية المبكرة: هو الوقت الذي يمكن أن يبدأ عنده نشاط ما بصورة مبكرة (الجواد، الفتال، 2008)، وهي تعني أبكر وقت يمكن أن يبدأ فيه تنفيذ النشاط، ولا يمكن البدء في تنفيذ النشاط قبل هذا الوقت بأي حال من الأحوال، ويمكن إيجادها عن طريق المعادلة التالية:

$$ES_j = MAX(ES_i + D_{ij}) \dots\dots\dots (1)$$
$$i = 1, 2, \dots n$$
$$j = 1, 2, \dots n$$

ب. حيث أن (n) هي عدد الاحداث الخاصة بالمشروع، ويشير D_{ij} الفترة الزمنية للنشاط الذي حدث بدايته هو الحدث (i) وحدث نهايته هو الحدث (j)، ويتم حساب البدايات المبكرة ابتداً من حدث البداية للمشروع $(i = 1)$ وصولا لحدث نهاية المشروع، مع العلم أن البداية المبكرة لحدث بداية المشروع تساوي الصفر $(ES_1 = 0)$.

ج. النهاية المتأخرة ((Latest Finish Time (LF) هو أخر وقت يمكن أن ينتهي عنده نشاط ما، دون أن يؤدي ذلك إلى تأخير في وقت إنجاز المشروع (الجواد، الفتال،2008)، وهو أخر وقت ممكن أن ينتهي فيه تنفيذ النشاط دون أن يحدث تأخير في تنفيذ المشروع ككل، ويمكن إيجاده عن طريق المعادلة التالية:

$$LF_i = Min(LF_j - D_{ij}) \dots\dots\dots (2)$$

د. يتم حساب النهاية المتأخرة ابتدأ من حدث نهاية المشروع $(j = n)$ وصولا لحدث بداية المشروع، مع العلم أن النهاية المتأخرة للمشروع تساوي طول المسار الحرج $(LF_n = ES_n)$.

ه. البداية المتأخرة ((Latest Start Time (LS) وهو اقصى وقت يمكن أن يبدأ فيه النشاط، بمعنى انه أخر وقت يجب أن يبدأ فيه النشاط بدون ان يؤثر ذلك على الوقت اللازم لإنهاء المشروع ككل (الموعد النهائي لتسليم المشروع)، ويمكن إيجاد ذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$LS_i = LF_j - D_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

و. النهاية المبكرة ((Earliest Finish Time (EF) وهي أبكر وقت أو لحظة يمكن أن ينتهي فيها النشاط، ولا يمكن بأي حال من الأحوال إنجاز النشاط قبل هذا التوقيت، ويمكن حسابها عن طريق المعادلة التالية:

$$EF_i = ES_i + D_{ij} \dots\dots\dots (4)$$

ز. الوقت الفائض ((Slack Time (ST) ويسمى أيضاً بالوقت الحر (Free Time) وهو الوقت الذي يمكن فيه تأخير النشاط دون التأثير على سير الأنشطة التي تليه، بمعنى أنه الوقت الذي يمكن أن يتأخر

فيه تنفيذ النشاط دون أن يؤثر ذلك على الموعد النهائي لتسليم المشروع، ويمكن إيجاده عن طريق المعادلة التالية:

$$ST_i = LS_i - ES_i \dots\dots\dots (5)$$

بعد هذا التوضيح لهذه المصطلحات سيتم تطبيق طريقة المسار الحرج (CPM)، في حالة تعذر رسم شبكة المشروع باستخدام الأنشطة الاعتيادية، وسنقوم باستخدام أنشطة وهمية لرسم الشبكة، وسيتم رسم شبكة المشروع بأكثر من طريقة مختلفة (أكثر من شكل)، بهدف معرفة تأثير هذا الاختلاف في الأوقات الخاصة بالمشروع ومساراته وبالتالي الإجابة على تساؤلات الدراسة.

3.6 كيفية استخدام الأنشطة الوهمية في رسم شبكة CPM

في طريق (CPM) يتم رسم شبكة المشروع بهدف تحديد الأزمنة اللازمة لتنفيذ أنشطة المشروع وبالتالي والوقت اللازم لتنفيذ المشرع ككل، وتحديد الأزمنة الخاصة بوقوع احداث المشروع، والجدير بالذكر هنا هو أن بعض الأنشطة لها أكثر من وقت يمكن أن تبدأ فيه (بداية مبكرة وبداية متأخرة) وكذلك الأمر في بالنسبة لنهاية النشاط (نهاية مبكرة ونهاية متأخرة)، وكما سبق الذكر فإنه في حالة تعذر رسم شبكة المشروع باستخدام الأنشطة الاعتيادية يمكن رسم أكثر من شبكة للمشروع باستخدام الأنشطة الأهمية، وهذا يمكن أن يكون له تأثير على الأوقات الخاصة بتنفيذ أنشطة المشروع وعدد مسارات الشبكة.

وحتى نتمكن من التحقق من ذلك نفرض مثال لا يمكن رسمه باستخدام الأنشطة الوهمية فقط، وسيتم استخدم الأنشطة الوهمية لرسم شبكة المشروع بأكثر طريقة، أي أنه سيتم رسم شبكة هذا المشروع بخمسة طرق مختلفة (5 أشكال للشبكة)، دون الإخلال بقواعد الرسم الشروط الفنية التتابعية للمشروع، والجدول (1) يوضح الأنشطة (Activities) الخاصة بالمشروع (11 نشاط) والشروط الفنية التتابعية (Previous) والوقت (Time) اللازم لتنفيذ كل نشاط مقدرة بالأسابيع.

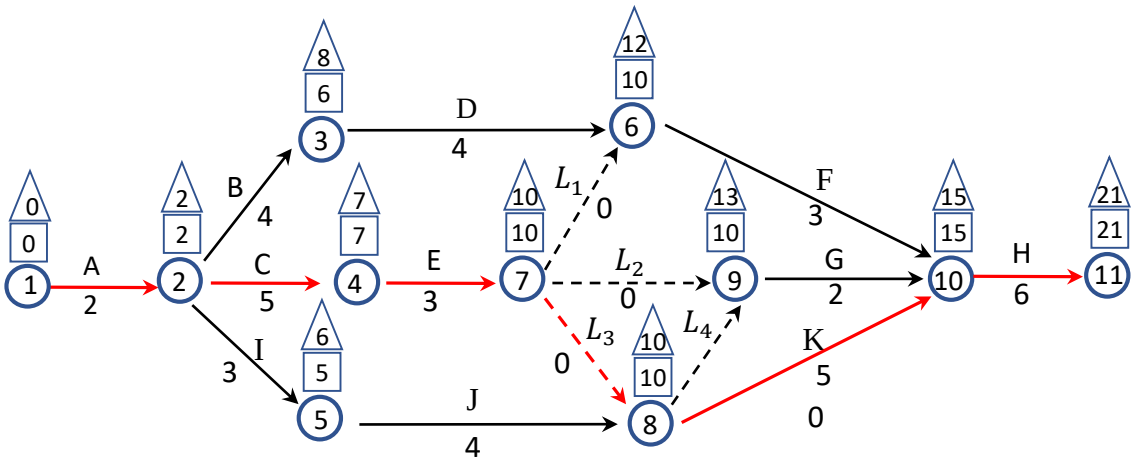
جدول (1) البيانات الخاصة بمشروع يتكون من إحدى عشر نشاط

Activities	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Previous	-	A	A	B	C	D, E	J, E	F, G, K	A	I	E, J
Time	2	4	5	4	3	3	2	6	3	4	5

حتى نتمكن من الوصول إلى أهداف الدراسة وهي تأثير التغير في مواقع الأنشطة الوهمية على الأزمنة الخاصة بكل شبكة عدد المسارات والأحداث بها، سيتم تمثيل الجدول (1) على شكل شبكة بعدة أشكال (خمس شبكات) تختلف فيما بينها باختلاف عدد وأماكن الأنشطة الوهمية، ومن تم إيجاد عدد المسارات والأحداث وأزمنة البدايات والنهايات (المبكرة والمتأخرة)، والمقارنة فيما بينها لمعرفة ما مدى الاختلاف فيما بينها وذلك كما يلي:

أولاً- الطريقة الأولى في رسم الشبكة:

نظراً لتعذر تمثيل البيانات الواردة في الجدول (1) على شكل شبكة وفقاً لقواعد الرسم والشروط التتابعية للأنشطة، تم استخدام أربعة أنشطة وهمية (L_1 , L_2 , L_3 , L_4) كما تظهر في الشكل (1)، ومن خلال هذا الشكل وباستخدام المعادلة رقم (1) تم إيجاد البداية المبكرة (ES) وتم وضع قيمها في شكل مربع على الشبكة، وباستخدام المعادلة (2) تم إيجاد النهاية المتأخرة (LF) وتم وضع قيمها في شكل مثلث على الشبكة، كما هو مبين على شبكة المشروع في الشكل رقم (1)، فقد تم استخدام النشاط الوهمي الأول (L_1) لتحقيق شرط التتابع للنشاط (F) وهو عدم إمكانية البدء في النشاط (F) إلا بعد الانتهاء من النشاط (D) أيضاً، فمن الجدول (1) يتبين أنه لا يمكن البدء في النشاط (F) إلا بعد الانتهاء من كلا النشاطين (D,E)، وتم استخدام النشاط الوهمي الثاني (L_2) لتحقيق شرط التتابع للنشاط (G) وهو أنه لا يتم المباشرة فيه بعد الانتهاء من النشاط (E)، كما أنه تم استخدام النشاط الوهمي الثالث (L_3) لتحقيق شرط التتابع للنشاط (K) وهو أنه لا يمكن البدء فيه إلا بعد الانتهاء من النشاطين (E)، واستخدام النشاط الوهمي الرابع (L_4) لتحقيق شرط الأسبقية للنشاط (G) والذي يجب أن يسبقه النشاطين (E,J).



شكل (1) شبكة المشروع وفقاً للطريقة الأولى للرسم

من شبكة المشروع تم تحديد مساراتها (7 مسارات) وطول كل منها وهي كما في والجدول (2).

جدول (2) المسارات الخاصة بالشبكة وفقاً لطريقة الرسم الأولى

ت	أنشطة المسار (Path Activities)	طول المسار (Path Length)
1	A , B , D, F, H	19
2	A, C, E, L_1, F, H	19
3	A, C, E, L_2, G, H	18
4	A, C, E, L_3, L_4, G, H	18
5	*A, C, E, L_3, K, H*	*21*
6	A, I, J, L4, G, H	17
7	A, I, J, K, H	20

يظهر في الجدول (2) أن عدد مسارات الشبكة (7 مسارات)، والمسار الحرج على الشبكة هو المسار الخامس فهو أطول مسار على الشبكة ويبلغ طوله (21 أسبوع) والذي يعتبر اقل فترة زمنية يمكن إنهاء المشروع خلالها، وتعتبر الأنشطة الواقعة عليه (*A, C, E, L_3, K, H*) هي أنشطة حرجة وأي تأخير فيها سيؤدي إلى تأخير المشروع ككل، ويلاحظ أن النشاط الوهمي الثاني (L_2) هو أحد الأنشطة الحرجة للمشروع، إلا أنه لا يؤثر على طول المسار الحرج لأنه نشاط وهمي وبالتالي الوقت اللازم لتنفيذه دائماً يساوي صفر.

بعد تحديد مسارات الشبكة، يتم إيجاد باقي الأزمنة الخاصة بالمشروع (LS, EF, ST) عن طريق المعادلات (3, 4, 5) على التوالي، ووضع كافة الأزمنة الخاصة بالمشروع في جدول وذلك كما هو مبين في الجدول (3).

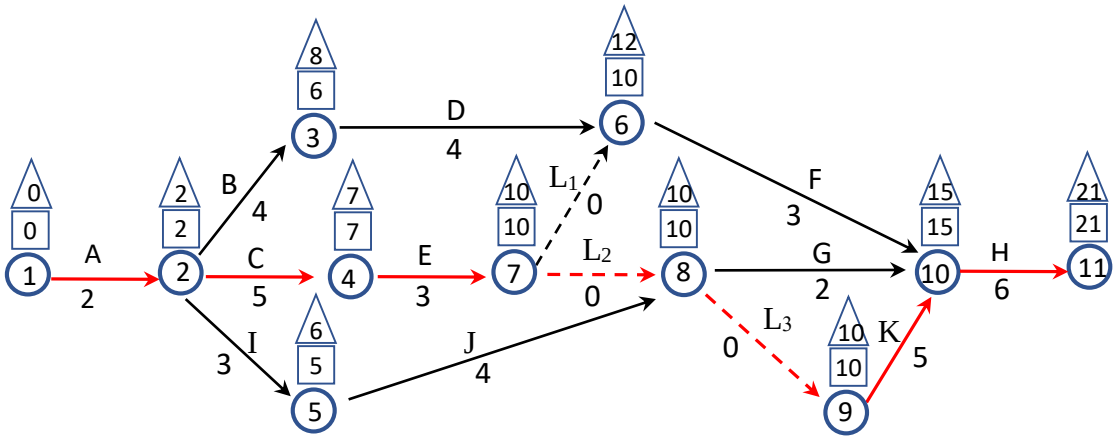
جدول (3) الأزمنة الخاصة بالمشروع وفقاً لطريقة الرسم الأولى

Activity	D_{ij}	ES	LF	LS	EF	ST
A	*2*	*0*	*2*	*0*	*2*	*0*
B	4	2	8	4	6	2
C	*5*	*2*	*7*	*2*	*7*	*0*
D	4	6	12	8	10	2
E	*3*	*7*	*10*	*7*	*10*	*0*
F	3	10	15	12	13	2
G	2	10	15	13	12	3
H	*6*	*15*	*21*	*15*	*21*	*0*
I	3	2	6	3	5	1
J	4	5	10	6	9	1
K	*5*	*10*	*15*	*10*	*15*	*0*
L_1	0	10	12	12	10	2
L_2	0	10	10	10	10	0
L_3	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*0*
L_4	0	10	13	13	10	3

كما سبق الذكر فإن الأنشطة الواقعة على المسار الحرج (الأنشطة الحرجة) لا تتحمل أي تأخير، لذلك يظهر في الجدول (3) أن الوقت الفائض لهذه الأنشطة يساوي الصفر، وهذا على العكس من الأنشطة الأخرى (غير الحرجة) والتي يمكن التأخير في عملية تنفيذها، فعلى سبيل المثال النشاط (B) نشاط غير حرج ويمكن التأخير في عملية تنفيذه أسبوعين، كما يلاحظ أن البدايات المبكرة (ES) للأنشطة الوهمية تكون هي نفس البداية المبكرة (ES) للنشاط الحقيقي التي تليها (اللاحقة لها)، فمثلاً البداية المبكرة للأنشطة الوهمية (L_1 , L_2 , L_3 , L_4) هي (10)، والأنشطة الحقيقية (غير الوهمية) اللاحقة لها هي (F , G , K , G) وأن البدايات المبكرة لهذه الأنشطة (ES) تساوي (10) أيضاً.

ثانياً- الطريقة الثانية في رسم الشبكة:

في هذه الحالة ثم رسم شبكة المشروع بطريقة تختلف عن شكلها في الطريقة الأولى، فقد تم استخدام ثلاثة أنشطة وهمية (L_1 , L_2 , L_3) فقط وذلك كما يظهر في الشكل (2)، فقد تم استخدم النشاط الوهمي (L_1) لتحقيق شرط أن النشاط (E) هو أيضاً نشاط سابق للنشاط (F)، ولتحقيق شرط أن النشاط (E) هو نشاط سابق للنشاط (G) تم استخدام النشاط الوهمي (L_2)، كما تم استخدام النشاط الوهمي (L_3) لتحقيق التتابع شرط أن النشاطين (E, J) هما نشاطين سابقين للنشاط (K).



شكل (2) شبكة المشروع وفقاً للطريقة الثانية للرسم

من الشكل (2) يتضح أنه يوجد للشبكة (6) مسارات، والجدول (5) يبين هذه المسارات وأطوالها.

جدول (4) المسارات الخاصة بالشبكة وفقاً لطريقة الرسم الثانية

ت	أنشطة المسار (Path Activities)	طول المسار (Path Length)
1	A, B, D, F, H	19
2	A, C, E, L1, F, H	19
3	A, C, E, L2, G, H	18
4	*A, C, E, L_2, L_3, K, H*	*21*
5	A, I, J, G, H	17
6	A, I, J, L3, K, H	20

من الجدول السابق يتبن أن المسار الحرج وهو المسار (4) والذي يبلغ طوله (21)، وأن عدد (2) من الأنشطة الوهمية (L_2, L_3) هي من ضمن أنشطة هذا المسار الحرج، وهي سبعة أنشطة (*A, C, E, L_2, L_3, K, H*)، في حين أنه وفقاً لطريقة الرسم الأولى عدد الأنشطة الحرجة ستة أنشطة فقط ومن ضمنها

نشاط وهمي واحد فقط وهو(L_2)، أي أن الأنشطة الحرجة الاعتيادية لا تتأثر بالتغير في شكل الشبكة. الجدول (6) يظهر باقي الأزمنة الخاصة بالشبكة وفقاً للطريقة الثانية.

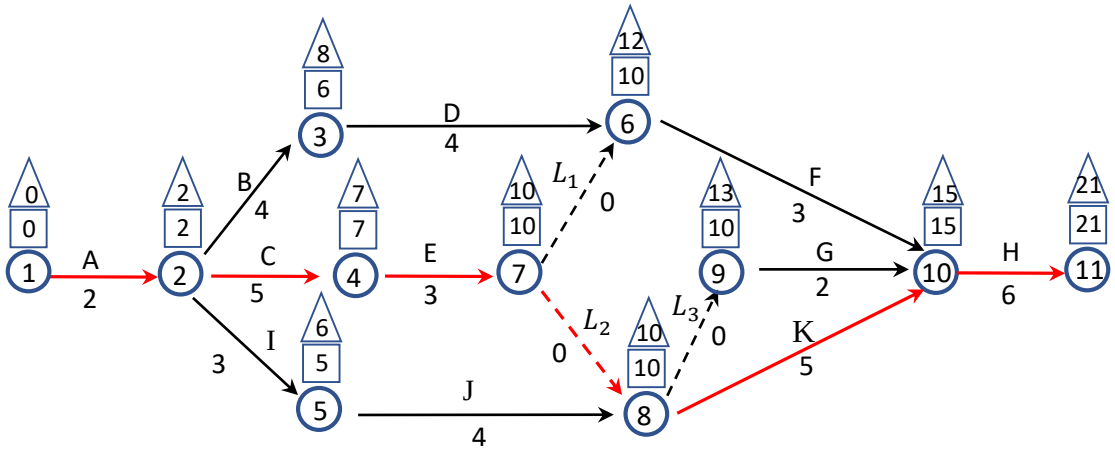
جدول (5) الأزمنة الخاصة بالمشروع وفقاً للطريقة الثاني في الرسم

Activity	D_{ij}	ES	LF	LS	EF	ST
A	*2*	*0*	*2*	*0*	*2*	*0*
B	4	2	8	4	6	2
C	*5*	*2*	*7*	*2*	*7*	*0*
D	4	6	12	8	10	2
E	*3*	*7*	*10*	*7*	*10*	*0*
F	3	10	15	12	13	2
G	2	10	15	13	12	3
H	*6*	*15*	*21*	*15*	*21*	*0*
I	3	2	6	3	5	1
J	4	5	10	6	9	1
K	*5*	*10*	*15*	*10*	*15*	*0*
L_1	0	10	12	12	10	2
L_2	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*0*
L_3	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*0*

يلاحظ هنا أن الوقت الفائض للأنشطة الحرجة حتى الوهمية منها يساوي الصفر وهذا يختلف عما في الطريقة الأولى، أما بالنسبة للبدايات المبكرة للأنشطة الوهمية فهي أيضاً تساوي البدايات المبكرة للأنشطة اللاحقة لها، ويرجع ذلك لأن الفترة الزمنية للنشاط الوهمية تساوي الصفر.

ثالثاً- الطريقة الثالثة في رسم الشبكة:

في هذه الطريقة تم استخدام ثلاثة أنشطة وهمية (, L_1 , L_2 , L_3) لتحقيق الشروط التتابعية في عملية الرسم وبطريقة تختلف عن الطرق السابقة كما يظهر ذلك في الشكل (3).



شكل (3) شبكة المشروع وفقاً للطريقة الثالثة للرسم

يتضح من الشكل (3) أن عدد المسارات في الشبكة هي (6)، وإن طول المسار الحرج فيها لم يتغير عما قبل وهو (21 أسبوع)، والجدول (6) يوضح هذه المسارات وطول كل مسار كالتالي:

جدول (6) المسارات الخاصة بالشبكة وفقاً لطريقة الرسم الثالثة

ت	أنشطـــــــة المســـــــار (Path Activities)	طــول المســـار (Path Length)
1	A, B, D, F, H	19
2	A, C, E, L_1, F, H	19
3	A, C, E, L_2,L_3, G, H	18
4	*A, C, E, L_2, K, H*	*21*
5	A, I, J, L_3 G, H	17
6	A, I, J, K, H	20

من الجدول (6) نلاحظ أن المسار الحرج للشبكة هو المسار الرابع (*A, C, E, L_2, K, H*) وطوله 21 أسبوع، وإن الأنشطة الحقيقة للمسار الحرج لم تتغير عما هو في حالات الرسم السابقة، إلا أن الأنشطة الوهمية الواقعة عليه يمكن أن تختلف، بمعنى أنها يمكن أن تتغير باختلاف استخدام الأنشطة الوهمية، الجدول (7) يبين الأزمنة الخاصة بتنفيذ الأنشطة وفقاً لطريقة الرسم في هذه الحالة.

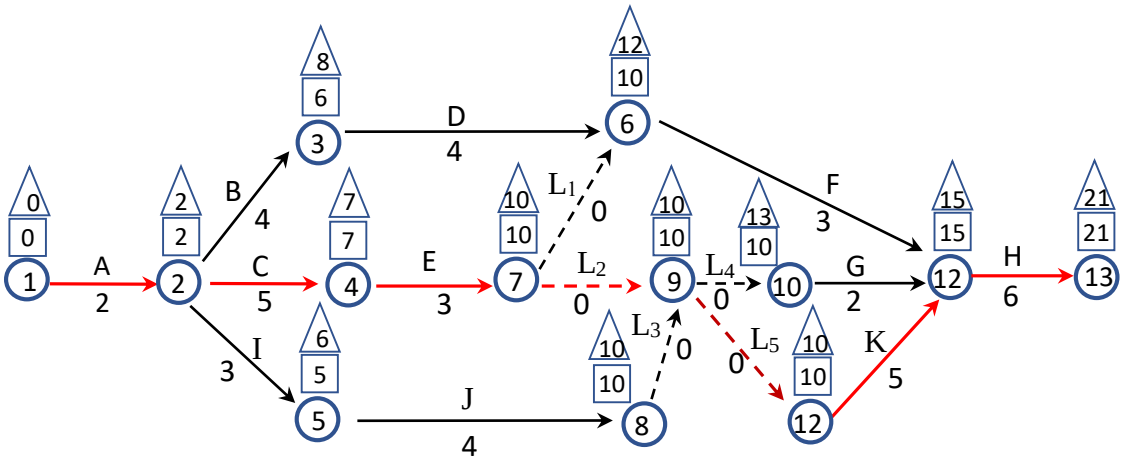
جدول (7) الأزمنة الخاصة بالمشروع وفقاً للطريقة الثالثة في الرسم

Activity	D_{ij}	ES	LF	LS	EF	ST
A	*2*	*0*	*2*	*0*	*2*	*0*
B	4	2	8	4	6	2
C	*5*	*2*	*7*	*2*	*7*	*0*
D	4	6	12	8	10	2
E	*3*	*7*	*10*	*7*	*10*	*0*
F	3	10	15	12	13	2
G	2	10	15	13	12	3
H	*6*	*15*	*21*	*15*	*21*	*0*
I	3	2	6	3	5	1
J	4	5	10	6	9	1
K	*5*	*10*	*15*	*10*	*15*	*0*
L_1	0	10	12	12	10	2
L_2	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*0*
L_3	0	10	13	13	10	3

وبفحص الجدول (7) يتم التأكيد على الاستنتاجات التي تم استنباطها في الحالات السابقة.

رابعاً- الطريقة الرابعة في رسم الشبكة:

وفي هذه الطريقة تم استخدام 5 أنشطة وهمية (L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5) وذلك لتحقيق الشروط التتابعية للأنشطة (F, G, K, H)، وبالرغم من الزيادة في عدد المسارات الوهمية إلا أنها أنتجت (6) مسارات فقط، في حين أنه عند رسم الشبكة وفقاً للطريقة الأولى تم استخدام (4) أنشطة وهمية، إلا أنها انتجت (7) مسارات، وهذا يعني أنه ليس بالضرورة أن الزيادة في عدد الأنشطة الوهمية يعني الزيادة في عدد مسارات الشبكة، والشكل (4) يوضح شبكة المشروع وفقاً للرسم بالطريقة الرابعة.



شكل (4) شبكة المشروع وفقاً للطريقة الرابعة للرسم

الجدول (8) يوضح مسارات الشبكة وطول كل وفقاً للرسم بالطريقة الرابعة، ويعتبر المسار الرابع (*A, C, E, L_2 ,L_5 K, H*) هو المسار الحرج للمشروع، وهو أقل فترة زمنية يمكن خلالها أنجاز المشروع وهي 21 أسبوع.

جدول (8) المسارات الخاصة بالشبكة وفقاً لطريقة الرسم الرابعة

ت	أنشطـــــــة المســـــــار (Path Activities)	طـــول المســـار (Path Length)
1	A, B, D, F, H	19
2	A, C, E, L_1, F, H	19
3	A, C, E, L_2, L_4, G, H	18
4	*A, C, E, L_2 ,L_5 K, H*	21
5	A, I, J, L_3, L_4, G, H	17
6	A, I, J, L_3, L_5, K, H	20

الجدول (9) يبين الأزمنة الخاصة بتنفيذ أنشطة المشروع وفقاً للطريقة الرابعة في عملية الرسم

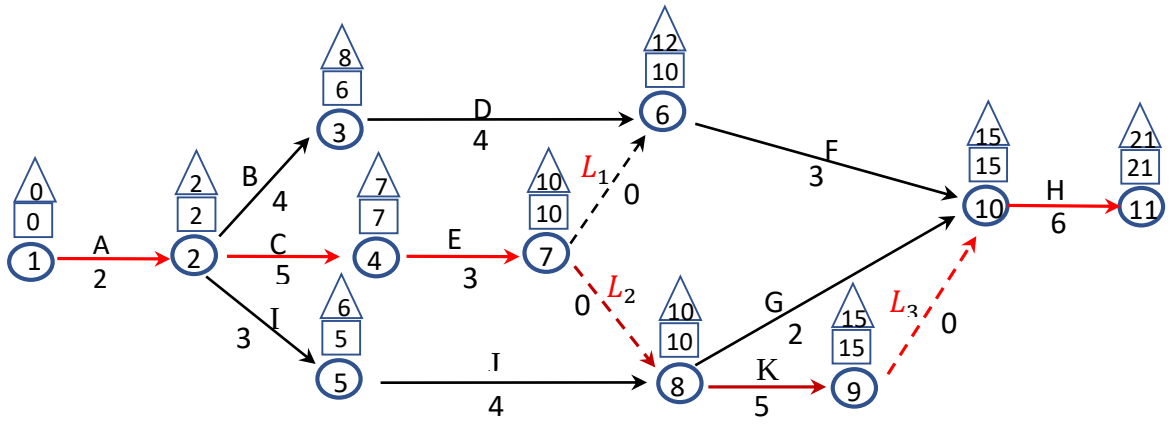
جدول (9) يبين الأزمنة المختلفة للمشروع وفقاً لطريقة الرسم الرابعة

Activity	D_{ij}	ES	LF	LS	EF	ST
A	*2*	*0*	*2*	*0*	*2*	*0*
B	4	2	8	4	6	2
C	*5*	*2*	*7*	*2*	*7*	*0*
D	4	6	12	8	10	2
E	*3*	*7*	*10*	*7*	*10*	*0*
F	3	10	15	12	13	2
G	2	10	15	13	12	3
H	*6*	*15*	*21*	*15*	*21*	*0*
I	3	2	6	3	5	1
J	4	5	10	6	9	1
K	*5*	*10*	*15*	*10*	*15*	*0*
L_1	0	10	12	12	10	2
L_2	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*0*
L_3	0	9	10	10	9	1
L_4	0	10	13	13	10	3
L_5	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*0*

بالتدقيق في الجدول (9) يلاحظ عدم تغير الأنشطة الحرجة (الحقيقة) عما سبق، وتغير في الأنشطة الوهمية، بالإضافة عدم تغير النتائج التي تم الوصول إليها في الحالات السابقة.

خامساً- الطريقة الخامسة في رسم الشبكة:

هنا تم استخدام ثلاثة أنشطة وهمية (L_1, L_2, L_3)، فاستخدام الأول (L_1) لتحقيق شرط تتابع للنشاط (F) بالنسبة للنشاط (E)، استخدام الثاني (L_2) لتحقيق شرط تتابع النشاطين (G, K) بالنسبة للنشاط (E)، واستخدام الثالث (L_3) لتحقيق شرط تتابع بين النشاط (H) والنشاط (K) كما في الشكل (5).



شكل (5) شبكة المشروع وفقاً للطريقة الخامسة للرسم

يتضح من الشكل (5) أن عدد المسارات (6)، ويعتبر المسار الرابع هو المسار الحرج، والجدول (10) يوضح هذه المسارات والأنشطة الواقعة عليها وطول كل مسار.

جدول (10) المسارات الخاصة بالشبكة وفقاً لطريقة الرسم الخامسة

طـول المسـار (Path Length)	أنشطـة المسـار (Path Activities)	
19	A, B, D, F, H	1
19	A, C, E, L_1, F, H	2
18	A, C, E, L_2, G, H	3
21	*A, C, E, L_2 , K, L_3, H*	4
17	A, I, J, G, H	5
20	A, I, J, K, L_3, H	6

وبنفس التسلسل المتبع في الطرق السابقة، سنقوم بتجميع الأزمنة الخاصة بتنفيذ الأنشطة المستخدمة رسم الشبكة، والتي عددها أربعة عشر نشاط (11 نشاط حقيقي و 3 أنشطة وهمية)، وذلك كما هو مبين في والجدول (11).

جدول (11) يبين الأزمنة المختلفة للمشروع وفقاً لطريقة الرسم الخامسة

Activity	D_{ij}	ES	LF	LS	EF	ST
A	*2*	*0*	*2*	*0*	*2*	*0*
B	4	2	8	4	6	2
C	*5*	*2*	*7*	*2*	*7*	*0*
D	4	6	12	8	10	2
E	*3*	*7*	*10*	*7*	*10*	*0*
F	3	10	15	12	13	2
G	2	10	15	13	12	3
H	*6*	*15*	*21*	*15*	*21*	*0*
I	3	2	6	3	5	1
J	4	5	10	6	9	1
K	*5*	*10*	*15*	*10*	*15*	*0*
L1	0	10	12	12	10	2
L2	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*0*
L3	0	15	15	15	15	0

يلاحظ من الجدول (11) ما تم ملاحظته في السابق وهو أن البداية المبكرة للأنشطة الوهمية هي ذاتها البداية المبكرة لأنشطتها اللاحقة، إلا هذا ليس بالضرورة أن ينطبق على النهايات المتأخرة.

4.6 دراسة مقارنة للأزمنة الخاصة بالأنشطة للطرق المختلفة في رسم الشبكة

حتى نتمكن من الوصول لنتائج دقيقة، وتحقيق أهداف هذه الدراسة، نقوم بمقارنة عدد المسارات في كل بالإضافة إلى مقارنة المسارات الحرجة وذلك كما في والجدول (12).

جدول (12) عدد مسارات الشبكة والأنشطة الحرجة وطول المسار الحرج لكافة الطرق

الطريقة	عدد المسارات (Number of Paths)	المسـار الحرج (Critical Path)	طـول المسار الحـرج (Critical Path Length)
الأولي	7	*A, C, E, L_3, K, H*	21
الثانية	6	*A, C, E, L_2, L_3, K, H*	21
الثالثة	6	*A, C, E, L_2, K, H*	21
الرابعة	6	*A, C, E, L_2 ,L_5 K, H*	21
الخامسة	6	*A, C, E, L_2 , K, L_3, H*	21

عند مقارنة البيانات الواردة في الجدول (12) التي تخص الطرق الخمسة المختلفة في رسم شبكة المشروع، نتيجة لاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية من حيث عددها وموضعها على الشبكة نلاحظ أن الاختلاف في رسم الشبكة يمكن أن يؤثر في عدد مسارات، إلا أنه ليس بالضرورة، فمثلاً كان عدد المسارات في شبكة الطريقة الأولى (7) مسارات في حين أن عدد المسارات في الشبكات الأخرى (6) مسارات، كما يلاحظ أن الاختلاف في المسارات الحرجة هو اختلاف سطحي (ليس له تأثير)، بمعنى أنها لا تختلف فيما بينها من حيث الأنشطة الحقيقة، وهي تختلف فيما بينها في المسارات الوهمية الواقعة على المسار الحرج، وهذا طبعاً لن يؤثر على طول المسار الحرج لأن الفترة الزمنية للأنشطة الوهمية دائماً تساوي صفر، ولهذا لم يختلف طول المسار الحرج من شبكة إلى أخرى (21 أسبوع).

وحتى نتمكن من معرفة تأثير الاختلاف في رسم الشبكات على الأزمنة الخاصة بالأنشطة الحرجة وغير الحرجة، سيتم تجميع الأزمنة الخاصة بكل نشاط في المشروع وفقاً للطرق الخمسة المتبعة في رسم الشبكة، والتي تختلف فيما بينها من حيث شكل شبكة المشروع نتيجة للاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية، ويظهر ذلك كما في الجدول (13) وقد تم تمييز المسارات الحرجة في هذا الجـــــدول عن طريق كتـــابة الأوقـــات الخاصـــة بالأنشـــطة الحـــرجة بخـط مـــائل وغامق (Italic & Bold).

جدول (13) الأزمنة الخاصة بأنشطة المشروع لكافة الطرق المستخدمة في رسم الشبكة

Activity	D_{ij}	الطريقة الأولي					الطريقة الثانية					الطريقة الثالثة					الطريقة الرابعة					الطريقة الخامسة				
		ES	LF	LS	EF	ST	ES	LF	LS	EF	ST	ES	LF	LS	EF	ST	ES	LF	LS	EF	ST	ES	LF	LS	EF	ST
A	***2***	***0***	***2***	***0***	***2***	***0***	***0***	***2***	***0***	***2***	***0***	***0***	***2***	***0***	***2***	***0***	***0***	***2***	***0***	***2***	***0***	***0***	***2***	***0***	***2***	***0***
B	4	2	8	4	6	2	2	8	4	6	2	2	8	4	6	2	2	8	4	6	2	2	8	4	6	2
C	***5***	***2***	***7***	***2***	***7***	***0***	***2***	***7***	***2***	***7***	***0***	***2***	***7***	***2***	***7***	***0***	***2***	***7***	***2***	***7***	***0***	***2***	***7***	***2***	***7***	***0***
D	4	6	12	8	10	2	6	12	8	10	2	6	12	8	10	2	6	12	8	10	2	6	12	8	10	2
E	***3***	***7***	***10***	***7***	***10***	***0***	***7***	***10***	***7***	***10***	***0***	***7***	***10***	***7***	***10***	***0***	***7***	***10***	***7***	***10***	***0***	***7***	***10***	***7***	***10***	***0***
F	3	10	15	12	13	2	10	15	12	13	2	10	15	12	13	2	10	15	12	13	2	10	15	12	13	2
G	2	10	15	13	12	3	10	15	13	12	3	10	15	13	12	3	10	15	13	12	3	10	15	13	12	3
H	***6***	***15***	***21***	***15***	***21***	***0***	***15***	***21***	***15***	***21***	***0***	***15***	***21***	***15***	***21***	***0***	***15***	***21***	***15***	***21***	***0***	***15***	***21***	***15***	***21***	***0***
I	3	2	6	3	5	1	2	6	3	5	1	2	6	3	5	1	2	6	3	5	1	2	6	3	5	1
J	4	5	10	6	9	1	5	10	6	9	1	5	10	6	9	1	5	10	6	9	1	5	10	6	9	1
K	***5***	***10***	***15***	***10***	***15***	***0***	***10***	***15***	***10***	***15***	***0***	***10***	***15***	***10***	***15***	***0***	***10***	***15***	***10***	***15***	***0***	***10***	***15***	***10***	***15***	***0***
L_1	0	10	12	12	10	2	10	12	12	10	2	10	12	12	10	2	10	12	12	10	2	10	12	12	10	2
L_2	0	10	10	10	10	0	***10***	***10***	***10***	***10***	***0***	***10***	***10***	***10***	***10***	***0***	***10***	***10***	***10***	***10***	***0***	***10***	***10***	***10***	***10***	***0***
L_3	0	***10***	***10***	***10***	***10***	***0***	***10***	***10***	***10***	***10***	***3***	10	13	13	10	3	9	10	10	9	1	***15***	***15***	***15***	***15***	***0***
L_4	0	10	13	13	10	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	13	13	10	3	-	-	-	-	-
L_5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	***10***	***10***	***10***	***10***	***0***	-	-	-	-	-

من الجدول (13) بالرغم من أن الاختلاف في استخدام الأنشطة أدى إلى الاختلاف في شكل شبكة المشروع، إلا أن ذلك لم يؤثر على الأزمنة الخاصة بتنفيذ المشروع (البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة) للأنشطة الاعتيادية (غير الوهمية)، سواء كان النشاط حرج أو غير حرج، أما بالنسبة للأزمنة الخاصة بالأنشطة الوهمية فهي ليس بالضرورة أن تتأثر بشكل شبكة المشروع، فيلاحظ من الجدول أعلاه أن الأزمنة الخاصة بالنشاط (L1 , L2 , L4) لم تتغير بتغير شكل الشبكة، في حين الأزمنة الخاصة بالنشاط (L3) قد اختلفت في كافة الطرق، وإن الاختلاف في ازمنة الأنشطة الوهمية يعتمد على موقع النشاط الوهمي على الشبكة.

7. الاستنتاجات

إن رسم شبكة المشروع بخمسة طرق مختلفة عن طريق استخدام عدد مختلف من الأنشطة الحرجة في بعض الحالات وعدد متساوي في حالات أخرى في مواقع مختلفة، مكننا من الوصول استنتاجات عامة

وتفسير منطقي لأثر التغير في استخدام الأنشطة الوهمية في رسم شبكات الأعمال وبالشكل الذي يخدم اهداف هذه الدراسة، وذلك عن طريق تجميع ومقارنة نتائج كل طريقة بنتائج الطرق الأخرى وبالشكل الذي يجيب عن تساؤلات هذه الدراسة، ويمكن تلخيص هذه النتائج كما يلي:

- **التساؤل الأول:** هل يؤثر الاختلاف في طريقة رسم شبكة المشروع باستخدام الأنشطة الوهمية على عدد المسارات في الشبكة؟

إن الاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية يمكن أن يؤثر على عدد المسارات في الشبكة إلا أنه ليس بالضرورة أن يؤثر في عدد المسارات، ويمكن ملاحظة ذلك من الجدول (12) فقد تساوت عدد المسارات في الطريقة الثانية والثالثة الرابعة والخامسة وكان عدد المسارات فيها (6 مسارات) بالرغم من الاختلاف في عدد الأنشطة الوهمية المستخدمة في الشبكة في بعض الحالات، ومن جهة أخرى فقد تضمنت الشبكة وفقاً للطريقة الأولى على (7) مسارات، في حين أن شبكات الطرق الأخرى احتوت على (6) مسارات، بالرغم من أنه في الطريقة الأولى تم استخدام (4) أنشطة وهمية وفي الطريقة الرابعة تم استخدام (5) وأنتجت (6) مسارات فقط، وهذا يعني أن عدد المسارات في الشبكة غير مرتبط مباشرةً بعدد الأنشطة الوهمية المستخدمة في عملية الرسم.

- **التساؤل الثاني:** هل يؤثر الاختلاف في رسم الشبكة على المسار الحرج في الشبكة؟

لا يؤثر الاختلاف في رسم شبكة المشروع على المسار الحرج، من الجدول (12) يمكن القول أن كافة الطرق المختلفة في الرسم أنتجت نفس المسار الحرج، وأن الاختلاف الذي لا يذكر وليس له تأثير هو في الأنشطة الوهمية الواقعة على المسار الحرج، بمعنى أخر أن الأنشطة الحقيقية للمسار الحرج (A , C , E , H , K) لا تختلف من طريقة إلى أخرى، فعلى سبيل المثال في الشبكة الأول كان النشاط الوهمي (L_2) هو النشاط الوحيد الواقع على المسار الحرج، في حين المسار الحرج في الشبكة الثانية يحتوي على نشاطين وهميين (L_2 , L_3).

- **التساؤل الثالث:** هل يؤثر الاختلاف في رسم الشبكة على طول المسار الحرج على شبكة المشروع؟ بمعنى هل يؤثر هذا الاختلاف على الزمن الكلي اللازم لإنهاء؟

إن الاختلاف في رسم شبكة المشروع باستخدام الأنشطة الوهمية مع التقيد بالشروط الفنية التتابعية للمشروع لن يؤثر طول المسار الحرج (أقل فترة زمنية لازمة لإنهاء المشروع)، ويتضح ذلك من الجدول (12) حيث يتبين أن أطوال المسارات الحرجة للطرق الخمسة متساوي (21 أسبوع)، وذلك لإن الاختلاف في رسم الشبكة لا يؤثر على المسارات الحرجة للمشروع، وتأثير الاختلاف يكون على الأنشطة الوهمية

الواقعة على المسار الحرج، وبالتالي طول المسار لن يتغير لإن الفترة الزمنية للنشاط الوهمي دئماً تقدر بصفر.

- **التساؤل الرابع:** هل يؤثر هذا الاختلاف في رسم الشبكة على الأزمنة (البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة) الخاصة بالأنشطة؟

نستطيع أن نؤكد بأن الاختلاف في رسم شبكة المشروع الناتج من الاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية لا يؤثر في الأزمنة (ES، LF، LS، EF، ST) الخاصة بالأنشطة الحقيقية، فمن الجدول (13) نلاحظ أن كل هذه الأزمنة متساوية في كل الطرق، إلا أنه يمكن القول هذا ليس بالضرورة أن يتحقق في الأنشطة الوهمية، وهذا يتوقف على عدد الأنشطة الوهمية في الشبكة وموقع كل منها على الشبكة.

إن الجدير بالذكر هنا هو أنه تم ملاحظة أن البدايات المبكرة (ES) للأنشطة الوهمية تكون هي نفسها البداية المبكرة للأنشطة الحقيقية اللاحقة لها، بمعني أن أي نشاط يسبقه نشاط وهمي فإن البداية المبكرة لهذا النشاط تكون هي ذاتها البداية المبكرة للنشاط الوهمي، إلا أن هذا ليس بالضروري أن يتحقق في حالة النهاية المتأخرة (LF)، بمعني النهاية المتأخر للنشاط الحقيقي ليس بالضرورة أن يساوي النهاية المتأخرة للنشاط الوهمي الذي يسبقه.

وبصفة عامة يمكن القول إن استخدام الأنشطة أي الوهمية بأي شكل من الأشكال بهدف تحقيق الشروط التتابعية للأنشطة الحقيقية لن يكون له تأثير عليها أو على طول المسار الحرج أو على الأنشطة الواقعة عليه، وبهذا يمكن استخدام الأنشطة الوهمية في رسم الشبكة لتحقيق الشروط التتابعية، واستبعاد الأنشطة الوهمية من الجدول الخاص بأزمنته، فهذا لن يكون له تأثير على الأزمنة الخاصة بالأنشطة الحقيقية.

8. التوصيات

بناءً على ما تم استنتاجه من هذه الدراسة، يمكن تلخيص التوصيات في نقطتين رئيستين هما:

- في حالة تعذر رسم شبكة المشروع بدون استخدام الأنشطة الوهمية، يمكن استخدام أي عدد من الأنشطة الوهمية لتحقيق الشروط التتابعية للأنشطة الحقيقية، ولا داعي لإهدار الوقت في تقليل عدد الأنشطة الوهمية على الشبكة، فبالرغم من أن الاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية قد يؤثر في عدد مسارات الشبكة، إلا أن هذا لا يؤثر على الأزمنة الخاصة بالأنشطة الحقيقية وليس له تأثير على طول المسار الحرج، ويمكن استخدام هذه الأنشطة على الرسم واستبعادها من الجدول الخاص بإيجاد الأزمنة الخاصة بالأنشطة، بمعنى استبعادها من الحسابات الخاصة بإيجاد الأزمنة.
- إجراء نفس الدراسة على أسلوب تقييم ومراجعة المشاريع (PERT)، لقياس مدى تأثير استخدام الأنشطة الوهمية على نتائج هذه الطريقة.

9. الخـلاصـة

يعتبــر علم إدارة المشاريع من العلوم الحديثة نسبياً، وتوجد ثلاثة طرق استخدمت لتحليل شبكات الأعمال في منتصف القرن الماضي تقريباً، وهي طريقة جانت (Gantt) وطريقة المسار الحرج (CPM) وأسلوب (PERT)، وإن الأسلوبين الأخرين (PERT & CPM) يحققان أكثر استفادة لمدير المشروع، فهما يعتمدان على رسم شبكة تجسد المشروع وفقاً للشروط التتابعية لأنشطته ومن تم تحليل الأزمنة الخاصة ببدايات ونهايات أنشطته المشروع بهدف إحكام السيطرة على إدارته، إلا أنه لا يمكن دائماً رسم شبكة المشروع بالأنشطة الاعتيادية (الحقيقية) فقط ووفقاً لشروطها التتابعية، لذلك يتم استخدم الأنشطة الوهمية لحل هذه المعضلة، ونظراً لندرة المراجع التي تناولت موضوع الأنشطة الوهمية، وعدم توفر مراجع تدرس تأثير الأنشطة الوهمية على نتائج طريقة (CPM)، تم دراسة هذا الموضوع في هذه الورقة وبشكل مفصل مع فرض مثال لمشروع معين وتم رسم شبكته باستخدام عدة أنشطة وهمية بخمسة طرق مختلفة، وذلك بهدف الوقوف مدى تأثير الاختلاف في استخدام الأنشطة الوهمية على الأزمنة الخاصة بتنفيذ الأنشطة والمسار الحرج للشبكة والانشطة الحرجة الواقعة عليه.

وقد أظهر هذا البحث انه يمكن رسم شبكات المشروع بأكثر من طريقة باستخدام الأنشطة الوهمية، وإن الاختلاف في عدد الانشطة الوهمية المستخدمة هذا في عملية رسم الشبكة وكيفية استخدامها قد يؤثر عدد المسارات في الشبكة، إلا أنها لا تؤثر على المسار الحرج ولا على الأزمنة الخاصة بتنفيذ الأنشطة الحقيقية، وبالتالي ليس من الضروري التركيز على عملية تخفيض الأنشطة الوهمية في عملية رسم الشبكة، بالقدر الذي يجب التركيز على عملية تحقيق الشروط التتابعية للمشروع، لإن عدد الأنشطة الوهمية والطريقة التي استخدمت بها ليس له تأثير نشط على الأنشطة الاعتيادية (غير الوهمية)، وبالتالي يجب استخدام الأنشطة الوهمية في رسم الشبكة لتحقيق الشروط التتابعية للأنشطة الحقيقية واستبعادها عند إعداد الجدول الخاص بحساب أزمنة أنشطة المشروع الحقيقية.

المراجع

الجواد، دلال صادق مصطفى والفتال، حميد ناصر حميد. (2008)، "بحوث العمليات"، ط2، دار اليازوري، الأردن.

حمدان، فتحي ومرعي، رشيق، (2008)، "مقدمة في بحوث العمليات"، ط5، دار وائل، عمان.

الحناوي، محمد وماضي، محمد، (2001)، بحوث العمليات في تخطيط ومراقبة الإنتاج، ط1، الدار الجامعية، القاهرة.

السوافيري، فتحي رزق. (2004)،"مدخل معاصر في بحوث العمليات تطبيقات باستخدام الحاسب"ط1، الدار الجامعي، الإسكندرية.

الشيخ، أبو القاسم مسعود. (2009)، "بحوث العمليات"، ط1 المجموعة العربية للتدريب والنشر، القاهرة.

الشيخ، أبو القاسم. (1997)، "بحوث العمليات"، منشورات جامعة التحدي.

صبري، عزام، (2003)،"أساسيات في بحوث العمليات"، ط1، عالم الكتب الحديث، الأردن.

طعمة، حسن ياسين والنسور، مروان محمد وحنوش، إيمان حسين، (2009)، "بحوث العمليات" نماذج وتطبيقات، ط1، دار الصفاء، عمان.

العبيدي، محمود والفضل، مؤيد عبد المحسن، (2004)"بحوث العمليات وتطبيقاتها في إدارة الأعمال"، ط1، مؤسسة الوراق، عمان.

العتوم، شفيق. (2015)، "بحوث العمليات"، ط1، دار المناهج، عمان.

كعبور، محمد محمد، (1992)، "أساسيات بحوث العمليات نماذج وتطبيقات"، ط1، كلية المحاسبة، غريان.

مرجان، سليمان محمد. (2002)، "بحوث العمليات Operations Research"، ط1، دار الكتب الوطنية، بنغازي.

المنصوري، محمود محمد، (1986). أساليب بحوث العمليات واستخداماتها، منشورات مركز بحوث العلوم الاقتصادية.

الهيتي، خالد (2000)، "الأساليب الكمية مدخل اتخاذ القرارات الإدارية"، ط1، دار الحامد، عمان.

Tikoo, Neha. (2012),"Operations Researchs", Excel Boks Private Limited A-45, New Delhi.

Taha, Hamdy. (2007), " Operations Research An Introduction", New Jersey.

Madadi,m and Iranmanesh ،h.(2012),"A Madadi,m and Iranmanesh ،h.(2012)" management oriented approach to reduce a project duration and its risk (variability) ",Elsevier , https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.01.006.

Sireesha, V al,(2012)," Critical path analysis in the network with fuzzy interval numbers as activity times ", ISSN : 0975-5462, Vol. 4.

Arsham, Hossein. (1993)" Managing project activity-duration uncertainties", Elsevier, https://econpapers.repec.org/article/eeejomega/.

Duan , Q and Warren Liao, T.(2010)," Improved ant colony optimization algorithms for determining project critical paths", Elsevier, https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction.

Jun-jie, Ma and Jian-xun, Qi. (2010)," Sensitivity Analysis on Single Activity to Quantity of Other Activities in Engineering Project", DOI: 10.1109/ISISE18841.2010.

Bodunwa, Oluwatoyin Kikelomo and Makinde, Jamiu Olalekan." Application of Critical Path Method (CPM) and Project Evaluation Review Techniques (PERT) in Project Planning and Scheduling ", (ISSN 2411-2518), Vol.6.

Omer Atli1, And Cengiz Kahraman, (2011)," Fuzzy Critical Path Analysis ", Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Accepted/Kabul: 11/2011.

Shih-Pin Chen a, and Yi-Ju Hsueh. (2007),"A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks", Applied Mathematical Modelling 32 (2008) 1289–1297, doi: 10.1016/j.apm.2007.04.009.

المعلومات البيوغرافية للباحث الأول:
الاسم: د. عبد الله محمد الشيخ
الدرجة العلمية: أستاذ مساعد
التخصص: إدارة أعمال
الاهتمامات: استخدام الأساليب الكمية (بحوث العمليات)
البريد الإلكتروني: a.elshaikh@eps.misuratau.edu.ly

المعلومات البيوغرافية للباحث الثاني:
الاسم: مختار إبراهيم بالنور
التخصص: إدارة أعمال
الاهتمامات: استخدام الأساليب الكمية (بحوث العمليات)
البريد الإلكتروني: m.benoor@eps.misuratau.edu.ly