أيجاد المسار الحرج في تحليل شبكات الأعمال بأستخدام خوارزمية أمثلية لخلايا النحل

وضاح عبد الاله حسين

قسم الرياضيات - كلية العلوم - جامعة ديالى

الخلاصة

تم في هذا البحث اقتراح ايجاد المسار الحرج في شبكات الاعمال CPM/PERT باستخدام خوارزمية امثلية لخلايا النحل،وهذه الطريقة تستخدم في حل مسائل في مشاريع البناء ،وقد اظهرت الخوارزمية الجديدة كفاءة عالية في ايجاد المسار الحرج لشبكات المشاريع وبوقت قياسي مقارنة مع طرائق الحل الاعتيادية وبأقل عدد من التكرارات.

الكلمات المفتاحية : المشروع ، الشبكة ، النشاط ، المسار ، النشاط الحرج .

Finding The Critical Path In Business Network Analysis Using A Cells Bees Optimization Algorithm

Wadhah Abdulelah Hussein

Department Of Mathematics-Collage of Science-University of Diyala

Received 5 August 2016; Accepted 10 October 2016

Abstract

In this paper to create a critical path in the CPM / PERT networks using cells bees optimization algorithm, this method is used to solve issues in construction projects, and the new algorithm showed high efficiency in finding the critical path networks projects and typical time compared with the normal methods of solution and less a number of iterations.

Key word: Project, Network, Activity, Path, Critical Activity.

المقدمة

تستخدم شبكات الاعمال في برمجة المشاريع الانشائية والصناعية وكذلك في مجال الصيانة وبرمجة المشاريع . من هنا تبرز الحاجة الماسة لاتباع نماذج التحليل الشبكي كما في نموذج (PERT (Progressive Evaluation Review Technique)

(اسلوب تقييم ومراجعة المشاريع) ، وكذلك نموذج المسار الحرج (CPM) وهـو (Critical Path Method) بوصفها أدوات فاعلة تسهم في عملية اتخاذ القرارات مثل عمليات التخطيط والجدولة والرقابة على المشاريع تحت التشييد او السلع تحت الصنع وبخاصة المشاريع الكبيرة.[3] ان دمج خوارزميات الأمثلية المعتمدة على الحدسيات القوية Met heuristic يفتح افاقا جديدة من التطبيقات في الحياة الحقيقية، وقد تم ادخال نظام خلايا النحل في هذا البحث . اذ انه يحاكي أداء النحل الطبيعي في الوقت الذي تبحث فيه عن الغذاء وايجاد أقصر طريق بين خلية النحل ومصدر الغذاء بفضل الاتصال غير المباشر عن طريق الفيرمون الخاص بها. [2] في هذا البحث يتم استخدام نظام خلية النحل لأيجاد المسار الحرج (CPM) في شبكات بيرت وحل مشكلة صنع القرار في ادارة المشاريع بوصفها تقنية ذكائية لأيجاد المسار الحرج الأمثل دون الحاجة الى دراسة طرائق بحوث العمليات، ويكمن تطبيق البرنامج على أي شبكة أعمال مهما كانت درجة تعقيدها من ناحية عدد المسارات وعدد عقدها وعدد مراحلها بسلاسة ومرونة.

1.المفاهيم الاساسية والمصطلحات المستخدمة في نماذج التحليل الشبكي [1]

1.1.المشروع Project :مجموعة من الانشطة والعمليات التي تتميز بان لها نقطة بداية محددة ونقطة نهاية محددة مثل مشروع بناء جسر او بناء عمارات.

2.1. شبكة الاعمال Network :هي عبارة عن تمثيل بياني لمجموعة من الانشطة المترابطة والمتتابعة التي يتكون منها المشروع، اذ يظهر تسلسل الانشطة والاحداث لانجاز المشروع وبحسب تتابعها الفني المنطقي. اذ ان شبكة الاعمال توفر طريقة عملية لرصد التقدم المحرز في انجازه بأقل وقت ممكن ،وكما يمكن استخدامها للمساعدة في تخصيص الموارد وتقليل التكلفة الاجمالية.

3.1.النشاط Activity :وهو جزء من المشروع ويتم التعبير عنه بسهم(→)وهو عبارة عن العمل اللازم لانجاز مهمة معينة والذي يتطلب لتنفيذه موارد بشرية ومادية ويستغرق وقت محدد له بداية وله نهاية مثل صب الاسس للمباني ،اقامة الجدران وغيرها.

4.1.الحدث Event: يتم التعبير عنه بدائرة (O) نقطة انهاء أي نشاط من النشاطات،مع العلم بان نقطة انهاء النشاط تشكل نقطة البداية لنشاط اخر ماعدا النشاط الاخير الذي تشكل لحظة انهاء المشروع.

5.1.المسار Path :هو مجموعة من الانشطة المترابطة والمتتابعة وهو الذي يربط بين حدث البداية وينتهي بحدث النهاية وهي على نوعين احدهما يسمى بالمسار الحرج Critical Pathوالنوع الثاني يسمى المسار غير الحرج Slack Paths.

6.1. النشاط الحرج Critical Activity :هو النشاط او مجموع الانشطةالتي تقع على المسار الحرج والذي يبدأ من الحدث الأول وينتهي بالحدث الاخيروعلية يتوقف حساب وقت الانجاز الكلي للمشروع.

7.1.النشاط الوهمي Dummy Activity: نشاط يستخدم احيانا في الشبكة ليصل بين نشاطين أولهما متطلب سابق الاخر ،ولايحتاج النشاط الوهمي الى الوقت او موارد لتنفيذه،ويرسم السهم الواصل بين النشاط الوهمي والنشاط الذي يليه بشكل خط متقطع.

8.1.الانشطة السابقة Immediate Predecessors: وهي الانشطة التي يجب تنفيذها قبل الشروع بتنفيذ الانشطة اللاحقة لها.

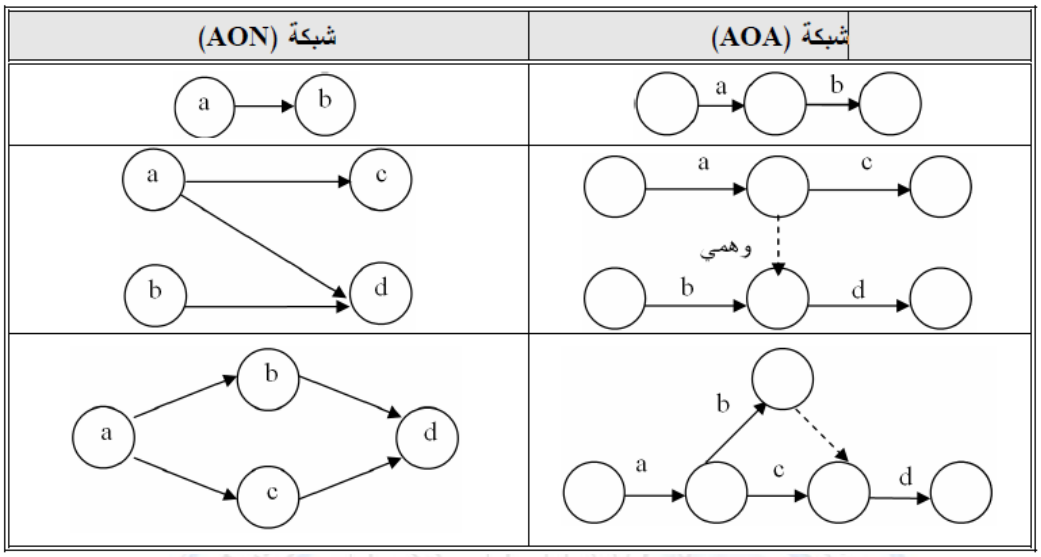
9.1. الشبكة Network :تتمثل بداية الشبكة بالعقدة الأولى ويستمر ترميز العقد تصاعديا وباتجاه اليمين لغاية اخر عقدة بالشبكة.

10.1. بيان الاوقات الاربعة ضرورية لكل نشاط وهي : البداية المبكرة Earliest star،والنهاية المبكرةFinish Earliest،والبداية المتأخرة Latest Start ،والنهاية المتأخرة Latest Finish،وأوقات المرونة Float Time،اذ يساعد تحديد هذه الأوقات في تنفيذ النشاطات بشكل يضمن عدم تأخير انجاز المشروع عن المدة المقررة.

2.طرائق تمثيل المخطط الشبكي [4]

1.2 النشاط على السهم (Activity on Arrow (AOA : يتم أحيانا تمثيل النشاط على السهم الواصل بين عقدة وأخرى في الشبكة. وفي هذه الحالة، تمثل الدائرة حدثا بين لحظة إنهاء تنفيذ النشاط الى يسارها والبدء بتنفيذ النشاط اللاحق الى يمنيها. وقد نستعين بنشاط وهمي أو أكثر في هذا النوع من الشبكات.

2.2. النشاط على العقدة (Activity on Node (AON : يتم تمثيل هذا النشاط في هذه الحالة داخل العقدة،ويمثل السهم أداة تربط بين نشاطين، في هذه الطريقة لا توجد أنشطة وهمية. ويوضح الشكل (1) حالات تمثيل الأنشطة بين صيغتي AON و AOA .



الشكل (1) حالات تمثيل الانشطة في المخطط الشبكي

3. أساليب استخدام المخطط الشبكي وهي على نوعين :

1. أسلوب تقييم ومراجعة المشاريع - Project Evaluation and Review Technique: PERT .

2 . أسلوب المسار الحرج - Critical Path Method: CPM.

1.3. اسلوب PERT [5]

لقد تم التوصل لطريقة PERT في عام 1958من خلال البحوث التي قام فريق العمل لجدولة الفعاليات المختلفة لغرض التوصل الى طريقة تخطيط وتقييم صواريخ بولاريس للقوات البحرية الامريكية.وقد حقق الفريق المذكور نجاحا كبيرا في تطبيق الاسلوب PERT لانجاز الفعاليات الجديدة للبرنامج المذكور وذلك باعطاء تقديرات للوقت المتوقع ولكل فعالية.ولتقدير وقت انجاز كل نشاط من الانشطة التي اشتملت عليها الشبكة وكتابتها على السهم الذي يمثل النشاط،قد يكون هناك وقت انجاز النشاط واحد فقط ،اي وقت تحديدي ،اما اذا كان الوقت المتوقع لانجاز النشاط هو وقت تقديري ،اي ان وقت انجاز كل نشاط هو عبارة عن متغير عشوائي فأن افضل طريقة لتحديد وقت انجاز الانشطة هو التعبير عنها من خلال التوزيع الاحتمالي ،وفي هذا الصدد يعتبر توزيع بيتا Beta Distribution افضل التوزيعات لهذا الغرض .

2.3. أسلوب CPM [6]

يعد أسلوب المسار الحرج CPM من النماذج المفيدة للغاية لأغراض التخطيط، والتحليل،والسيطرة على تقدم وانجاز المشاريع الكبيرة والمعقدة. والغرض من أسلوب المسار الحرج هو تحديد الأنشطة الحرجة على المسار الحرج بحيث يمكن تركيز الموارد على هذه الأنشطة من أجل انجاز المشروع في أقل وقت ،والمسار الحرج Critical Path هو المسار الذي

يكون مجموع الوقت الذي يتطلبة تنفيذ النشاطات الواقعة علية الآطول من بين بقية المسارات في الشبكة، وهو أيضا أقصر مدة زمنية يحتاجها المشروع لكي يكتمل ومن الممكن ان يكون المشروع الواحد أكثر من مسار حرج واحد ولكنها تشترك بالزمن نفسة .الى جانب ذلك ،فقد أثبت اسلوب المسار الحرج قيمة كبيرة للغاية في تقييم أداء المشاريع وتحديد الاختناقات.ومن ثم ،فان CPM هو أداة حيوية للتخطيط والسيطرة على المشاريع المعقدة.وظهر اسلوب المسار الحرج في عام 1957 من قبل المهندس Keely في شركة Emintgon- Rand والمهندس Walkerفي شركة Dupont وذلك لغرض جدولة عمليات التعطل بسبب الصيانة في مصنع المواد الكيميائية، ويفترض أسلوب المسار الحرج أن الوقت المتوقع لأداء العمليات المختلفة لأتمام المشروع معروف ،والعلاقة بين الموارد المستخدمة والوقت المطلوب لأداء العمليات المختلفة معروف أيضا أي انه اسلوب تقديري. ان الفرق بين الاسلوبين هو ان اسلوب المسار الحرج لا يتعامل مع الاوقات الاحتمالية لتنفيذ النشاطات المختلفة أي يقدر زمن وحيد لكل نشاط واحيانا زمنين زمن طبيعي وزمن مضغوط اما في اسلوب بيرت بما انة احتمالي فان زمن انجاز النشاط يتعلق بثلاثة تقديرات مختلفة للزمن وهي:

1.التقدير التفاؤلي (a) Optimistic Estimate : في ظل هذا التقدير يكون زمن الانجاز للنشاط هو الزمن الذي يمكن ان يكون اقصر الازمنة،حيث ان الزمن الفعلي يكون أقل من زمن التفاؤل ب 1% من الوقت.وهذا يعني انة في ظل هذا التقدير يفترض حدوث افضل الظروف التي تسمح بالتنفيذ.

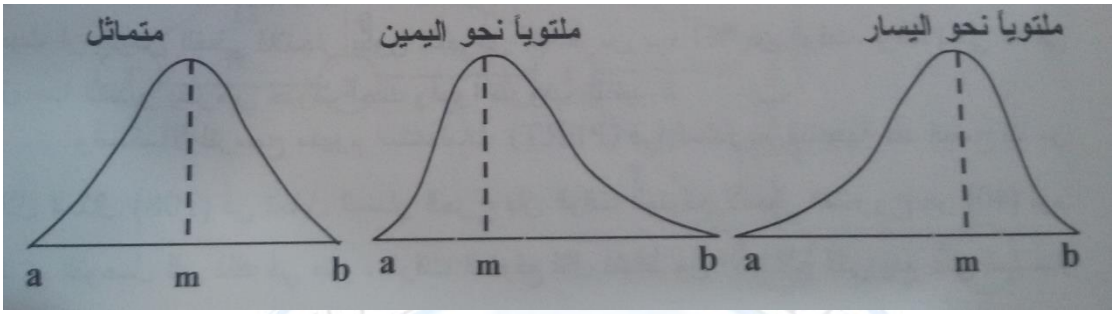
2.التقدير الاكثر احتمالا لزمن الانجاز(m) The most likely estimate:هو الزمن المتوقع ان يستغرقة النشاط وذلك في الظروف العادية ،ةهو الزمن الاكثر واقعية واحتمالا لانجاز النشاط وعادة ما يتم تحديدة فنيا او بالرجوع الى الخبرة في تقدير الاكثراحتمالا في تحقيقها.

3.التقدير التشاؤمي (b) The Pessimistic estimate :هذا التقدير يكون زمن الانجاز للنشاط هو الزمن الذي يمكن ان يكون اطول الازمنة ،بحيث ان الزمن الفعلي للانجازيكون اكبر من هذا الزمن ب 1% من الوقت.وهذا يعني انه في ظل هذا التقدير يفترض حدوث اسوأ ظروف التنفيذ.

يعتبر النموذج الاحتمالي الافضل لتوزيع الوقت في اسلوب بيرت هو Beta ،لان الوقت لايمكن ان يكون سالب او يصل الى مالانهاية،ويمكن ان تستعمل توزيع Uniform وتكون دالة الكثافة الاحتمالية لتوزيع ال Beta كما يلي:

$$k(t) = \frac{\Gamma(m_1+m_2)}{\Gamma m_1 * \Gamma m_2} * \frac{(A-a)^{m_1-1}(b-A)^{m_2-1}}{(b-a)^{m_1+m_2-1}} \quad , \quad m_1, m_2 > 0 \qquad \ldots 1$$

ويبين الشكل (2) منحني توزيع بيتا الأحتمالي.



الشكل (2) يوضح منحني توزيع بيتا الاحتمالي .

وحسب هذ التوزيع فان التوقع الرياضي لزمن انجاز النشاط هو:

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6} \quad \ldots 2$$

والانحراف المعياري لزمن انجاز النشاط هو:

$$\sigma = \frac{b - a}{6} \quad \ldots 3$$

الأكثر احتمالا. الوقت m و المتشائم *الوقت* b و المتفائل هي الوقت a أن

4. أمثلية خلايا النحل **Cells Bees Optimization**

تعد امثلية خلايا النحل CBO من التقنيات الحدسية القوية المستخدمة لحل مسائل الامثلية المركبة ذات الفضاء المتقطع،اذ ان سلوك النحل المثير للاهتمام في البحث عن الطعام وعلى وجه الخصوص كيفية ايجاد اقصر المسارات بين مصادر الغذاء وخلية النحل الخاص بها،فعند البحث عن الطعام يقوم النحل في البداية باستكشاف المنطقة المحيطة بطريقة عشوائية .وحالما يجد النحل مصدر الغذاء ، يقوم بتقييم كمية الغذاء ونوعيتة ويحمل معة بعض الغذاء الى الخلية. ومن ثم بعد العودة يقوم النحل بتوجية بقية النحل الى مصدر الغذاء.لذا فان النحل قادر على التكيف مع متغيرات البيئة مثلا ايجاد

مسار جديد في حالة كون المسار القديم اصبح غير عملي بسبب ظهور عقبة جديدة ، ان انتقال النحل من مصدر الغذاء الى الخلية يقوم بجمع الغذاء في الخلية ونتيجة سلوك هذا المسار بشكل متكررمن قبل النحل في النهاية يصبح هذا المسار هو المسار المستخدم من قبل النحل وعند ظهور عقبة على المسار ينقطع المسار حيث لايستطيع النحل الاستمرار في اتباع الاثر لذلك يجب ان يختار الانتقالالى اليمين او اليسار من العقبة بشكل عشوائي لان النحل لايمتلك اي فكرة عن المسار الافضل .وبعد فترة قصيرة يقوم النحل بانشاء اقصر مسار بين مصدر الغذاء والخلية بحيث يختار المسار الاقصر حول العقبة .وبشكل عام يعتمد اختيار النحلة لنقطة معينة في المسار على المعلومات الحدسية وعادة ماتكون معكوس المسافة اذ ان العقدة الاقرب يكون لها فرصة اكبر في الاختيار . لذلك تتحرك النحلة على مسافة قطر 5كم ثم ترجع النحلة الى الخلية الي تقوم الملكة بافراز مادة للدلالة على خلية النحلة تختلف عن بقية خلايا صناديق النحل ثم تقوم النحلة بحركات داخل الخلية على مسافة 1سم تعني الغذاء موجود على مسافة 1.5 كم،وهكذا لبقية النحل.[7]

1.4. خوارزمية أمثلية لخلايا النحل Cells Bees Optimization Algorithm

تم تطبيق CBO في العديد من مسائل الامثلية المركبة مثل مسألة البائع المتجول Traveling Salesman Problem،ومسائل توجية المركبات Vehicles Routing Problems، ومسألة تلوين الرسم البياني Graph Coloring Problem.

وعلى فرض ان النحلة k عند العقدة i .في الزمن t .وأن احدالمسارات الممكنةللخطوة التالية هو (i,j) بمعنى ربط العقدة i بالعقدة j ، لذا فان احتمالية اختيار النملة k لهذا المسار يكون على النحو الاتي [8]:

$$p(k,i,j) = \begin{cases} \frac{\tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}}{\sum_{r\in\Gamma}\tau(i,j)^{\alpha}\eta(i,j)^{\beta}} & r \in \Gamma \\ 0 & r \notin \Gamma \end{cases} \quad (4)$$

اذ ان $\tau(i,j)$ تمثل حركة النحلة داخل الخلية للمسار الواصل بينi و j ، $\eta(i,j)$ تمثل الدالة الحدسية والتي غالبا ما يتم تحديدها على انها معكوس المسافة من $i \rightarrow j$ وهذا يعني ان[9] :

$$\eta(i,j) = \frac{1}{d(i,j)} \quad (5)$$

اذ ان $d(i,j)$ هي المسافة بينi و j.

Γ : هي القائمة التي تحتوي على جميع المسارات والتي اجتازها النحل بالفعل والتي يجب ان لا يتم اختيارها مرة ثانية وهذا بمثابة ذاكرة للنحل.

كما ان المعلمتين αوβ تستخدمان للسيطرة على الدالة الحدسية وكما يلي:

$$\tau(i,j)(t+1) = v * \tau(i,j)(t) + \delta(k,i,j) \quad (6)$$

اذ ان v معامل التبخر وتكون محصورة ضمن الفترة (0,1) .كما ان الداله اللاحقة تمثل حدس النحلة لمسار الغذاء من النحلة k على المسار $i \to j$ وبالشكل الاتي :

$$\delta(k,i,j) = \begin{cases} 0 & if \ \ ant\ select\ trail\ i \neq j \\ \dfrac{Q}{L} & if\ ant\ select\ trail\ i = j \end{cases} \quad (7)$$

اذ ان Q يمثل ثابتا موجبا، L يمثل مجموع الوقت الكلي للمسال ر ، ويمكن تلخيص خوارزمية CBO بالخطوات التالية[10]:

1.تهيئة جدول المسار .

2.اعطاء كل نحلة عقدة عشوائية.

3.تنتقل كل نحلة للعقدة التالية اعتمادا على التوزيع الاحتمالي حسب المعادلة(4).

4.حساب طول المسار المقطوع لكل نحلة والمعلومات الحدسية للمسار حسب المعادلة(7).

5.تحديث حدس المسار حسب المعادلة (6).

6.اذا تم الحصول على افضل حل في هذا التكرار، عندئذ يتم اجراء تحديث شامل على الحل.

7.اعادة الخطوات من 2- 6 .

5. خوارزمية CBO لايجاد المسار الحرج Proposed CBO Algorithm to Find the Critical Path

1.ادخال بيانات الشبكة على شكل مصفوفة ذات حجم مساو لعدد الفعاليات مضافا اليها عقدة البداية وتهيئة جدول المسار.

2.تخصيص النحل لعقدة البداية.

3.كل نحلة تسير الى عقدة التالية معتمدة على التوزيع الاحتمالي وانتقاء عجلة الروليت لحين الوصول الى العقدة الاخيرة .كما ان الدلاله الحدسية تصبح بالشكل الاتي :

$$\eta(i,j) = \mathrm{d}(i,j) \quad (8)$$

4. حساب طول المسار المقطوع لكل نحلة وتحديد الحركة على كل سهم للفعاليات على هذا المسار ،اعتمادا على الطول الكلي للمسار باستخدام المعادلة :

$$\delta(k,i,j) = \begin{cases} 0 & if \ \ ant\ select\ trail\ i \neq j \\ Q * L & if\ ant\ select\ trail\ i = j \end{cases} \qquad (9)$$

5. تحديث قيم المسارات .

6.اذا تم الحصول على افضل حل في هذا التكرار ،عندئذ يتم اجراء تحديث شامل على الحل ،والا.

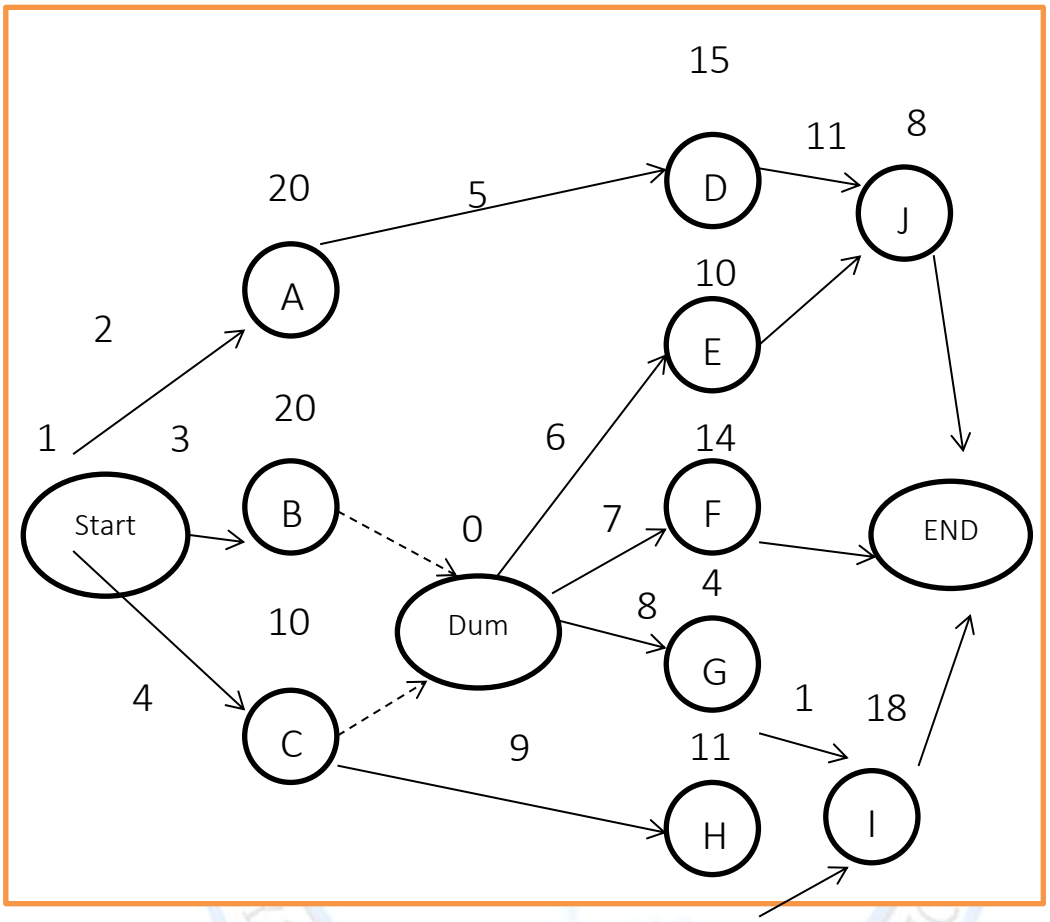
7.اعد الخطوات من2-6 .

النتائج والمناقشة

لغرض اختبار قدرة هذة الخوارزمية علي ايجاد المسار الحرج تم تطبيقها على مشروعين ،اذ يتكون المشروع الاول من 10 فعاليات حقيقية وفعاليتين وهميتين والمطلوب حساب الوقت المتوقع والانحراف المعياري لكل فعالية ورسم الشبكة وايجاد المسار الحرج .ويمثل الجدول (1) المعطيات اللازمة لتخطيط المشروع الأول وايجاد الوقت المتوقع والانحراف المعياري ،كما يوضح الشكل رقم (3) المخطط الشبكي الاول مع الوقت المتوقع للفعاليات.

الجدول (1) يمثل المعطيات اللازمة لتخطيط المشروع وايجاد الوقت المتوقع والانحراف المعياري

الفعالية	الفعاليات السابقة	الوقت التفاؤلي (a)	الوقت الاكثر احتمالا (m)	الوقت التشاؤمي (b)	الوقت المتوقع μ	الانحراف المعياري σ
A	-	10	22	22	20	2
B	-	20	20	20	20	0
C	-	4	10	16	10	2
D	A	2	14	32	15	5
E	B,C	8	8	20	10	2
F	B,C	8	14	20	14	2
G	B,C	4	4	4	4	0
H	C	2	12	16	11	2.33
I	G,H	6	16	38	18	5.33
J	D,E	2	8	14	8	2



الشكل (3) يمثل المخطط الشبكي لجدول (1)

كما ان معلمات الخوارزمية المقترحة هي كالاتي : جدول المسار عبارة عن مصفوفة احادية ،معمل المسار α يساوي 2، معامل الدالة الحدسية β يساوي 2، الثابت الموجب Q يساوي 1 ،عدد النحل n مساوي لضعف حجم المسالة ،وتم ادخال المسالة الى الخوارزمية على شكل مصفوفة بحجم 11 بسبب اضافة عقدة في البداية ، وقد استطاعت الخوارزمية المقترحة ايجاد المسار الامثل وبعدد قليل جدا من التكرارات. والجدول (2) يوضح نتائج تطبيق خوارزمية CBO على حالة الدراسة الاولى ،اذ تم حساب نسبة ظهور المسارات الممكنة التي قام النحل باختيارها ،ويتضح من خلال الجدول ان النحل في التكرار الأول قام باختيار مسارات مختلفة ،وعند تقديم سير الخوارزمية نلاحظ ان نسبة اختيار النحل للمسار الامثل بدأت بالزيادة كما ان نسبة اختيار النحل لبقية المسارات وخاصة المسارات القصيرة بدأت بالتناقص ،اذ يلاحظ ان النتائج في التكرار4 شملت مسارين فقط وهما وبنسبة كبيرة للحل الامثل وفي التكرار 5 شملت على حل امثل واحد فقط.

الجدول (2) نتائج تطبيق خوارزمية CBO على حالة الدراسة الاولى

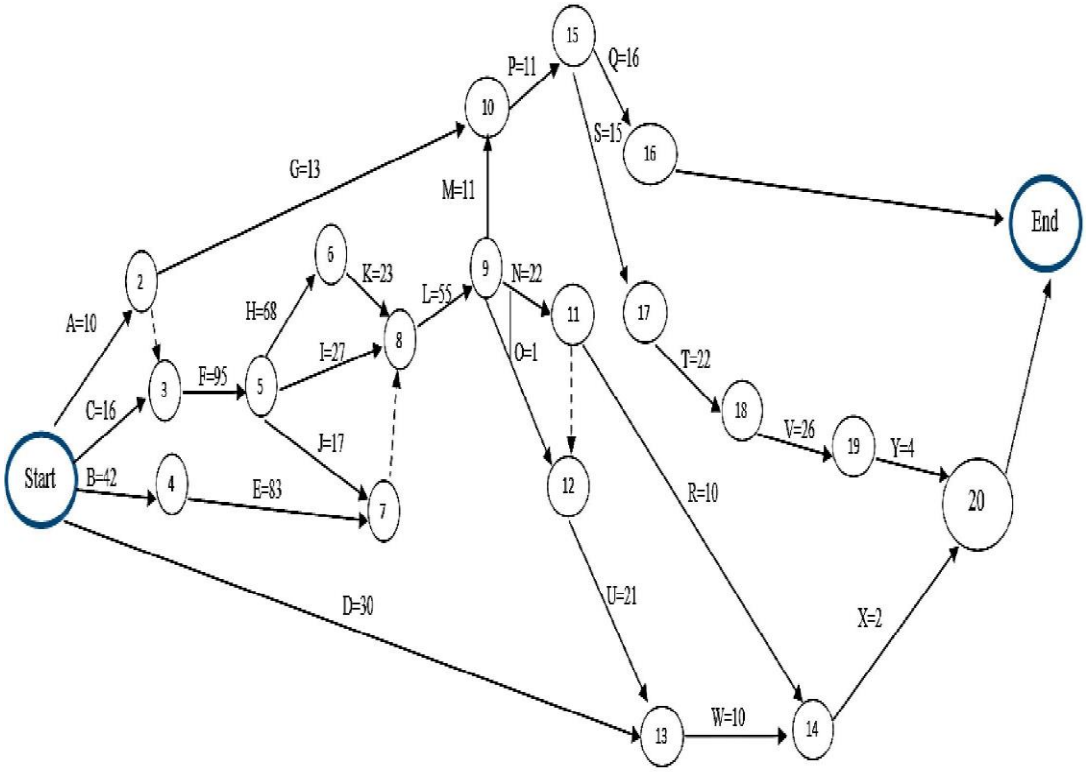
التكرار	المسار	طول المسار	النسبة
l	1-3-7	34	15%
	1-4-7	24	10%
	1-4-9-10	39	15%
	1-4-6-11	28	10%
	1-2-5-11	43	20%
	1-3-8-10	42	20%
	1-3-6-11	38	10%
2	1-3-7	34	15%
	1-2-5-11	43	25%
	1-3-8-10	42	35%
	1-3-6-11	38	25%
3	1-3-7	34	5%
	1-2-5-11	43	45%
	1-3-8-10	42	40%
	1-3-6-11	38	10%
4	1-2-5-11	43	70%
	1-3-10-8	42	30%
5	1-2-5-11	43	100%

اما المشروع الثاني فيتكون من 25 فعالية و 4 فعاليات وهمية لمشروع اعمار جسر الصرافية والجدول (3) يوضح هذة الفعاليات مع الوقت المتوقع لانجاز كل فعالية بينما الشكل رقم (4) لهذا المشروع، ويبين المخطط الشبكي للمثال (2) .

الجدول (3) فعاليات مشروع اعمار جسر الصرافية والوقت المتوقع لانجاز المشروع

	الفعاليات	الفعاليات السابقة	الوقت المتوقع μ	14	الفعاليات	الفعاليات السابقة	الوقت المتوقع μ
1	A		10	14	N	L	22
2	B		42	15	0	L	17
3	C		16	16	P	G,M	11
4	D		30	17	Q	P	16
5	E	B	83	18	R	N	10
6	F	C,A	95	19	S	P	15

22	S,Q	T	20	13	A	G	7
21	0,N	U	21	68	F	H	8
26	T	V	22	27	F	I	9
10	U,D	W	23	17	F	J	10
2	W,R	X	24	23	H	K	11
4	X,V	Y	25	55	E,I,J,K	L	12
				11	L	M	13



الشكل (4) يمثل المخطط الشبكي لجدول (2)

تم ادخال المسألة الى الخوارزمية على شكل مصفوفة مربعة بحجم 26 بسبب اضافة عقدة البداية. وقد استطاعت الخوارزمية المقترحة ايجاد المسار الامثل وبعدد قليل جدا من التكرارات والجدول (4) يوضح نسب ظهور بعض المسارات التي قام النحل باختيارها.

جدول رقم (4)

التكرار	المسار الامثل	طول المسار	النسبة
1	1-5-24-25-26	46	22%
	1-4-7-9-12-13-14-17-18-21-23-26	347	5%
	1-3-6-13-14-17-18-21-23-26	270	10%
	1 -2-7-9-12-13-16-22-24-25-26	305	15%
	1-5-24-25-26	46	20%
5	1-4-7-9-12-13-14-17-18-21-23-26	347	18%
	1-3-6-13-14-17-18-21-23-26	270	17%
	1 -2-7-9-12-13-16-22-24-25-26	305	20%
10	1-5-24-25-26	46	15 %
	1-4-7-9-12-13-14-17-18-21-23-26	347	30%
	1-3-6-13-14-17-18-21-23-26	270	20%
	1 -2-7-9-12-13-16-22-24-25-26	305	25%
15	1-4-7-9-12-13-14-17-18-21-23-26	347	45%
	1-3-6-13-14-17-18-21-23-26	270	15%
	1 -2-7-9-12-13-16-22-24-25-26	305	25%
20	1-4-7-9-12-13-14-17-18-21-23-26	347	70%
	1-3-6-13-14-17-18-21-23-26	270	5%
	1 -2-7-9-12-13-16-22-24-25-26	305	25%

الاستنتاجات

أظهرت الخوارزمية المقترحة نتائج جيدة لمسألتي الاختبار ، ومن خلال النتائج الموضحة في الجدولين (2) و(4) ، يتضح ان نسبة اختيار النحل للمسار الامثل بدأت بالزيادة مع زيادة عدد التكرارات وهذا يدل على كفاءة الخوارزمية وقدرتها على ايجاد المسار الامثل في عدد قليل جدا من التكرارات في المسألتين الاولى والثانية على التوالي.ويوصي الباحث باستخدام خوارزمية خلايا النحل الاصطناعية لحل مسائل شبكات الاعمال .

المصادر

1. حامد سعد نور الشمرتي، (2010)، بحوث عمليات مفهوما وتطبيقا، مؤسسة ديمو برس للنشر والتوزيع، بيروت.
2. زيد محمد محمود الراشدي، (2009)،"اسلوب بيرت بأستخدام توزيع ثنائي القوة في تخطيط ومتابعة المشاريع بالتطبيق على اعمار جسر الصرافية،، رسالة ماجستير (غير منشورة)،كليو الادارة والاقتصاد ،جامعة الموصل.
3. اديبة اسماعيل الصقال، بلال حازم، (2014)،"استخدام خوارزمية امثلية مستعمرة النمل لايجاد المسار الحرج في تحليل شبكات الاعمال"، المجله العراقية للعلوم الاحصائية.
4. Blum, C.,&Dorigo,M.,(2004),The hyper-cube framework for Ant Colony optimization ,Transactions on Systems, Man and Cybernetics-part B:Cybernetics,34(2).
5. Bonabeau, Dorigo, & Theraulaz,(1999),Swarm intelligence from natural to artificial systems, Oxford University Press.
6. Demeulemeester, &Herroelen, (2002),"Project Scheduling A research Handbook", Kluwer Academic Publishers, USA.
7. Dorigo M., Stutzle T., (2004),"Ant Colony Optimization", The MIT press.
8. Eiselt, & Sandblom,(2010),"Operation Research A Model Based Approach", Springer Verlag Berlin Heidelbrg , Germany.
9. Fogel, (1993), applying evolutionary Programming to selected traveling salesman problems, Cybernetics and Systems an International Journal.
10. .Zhao, & Tseng,(2003) ,"A note on activity flouts in activity on arrow networks", Journal of the Operation Research Society,54,P 1296-1299.