الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

تصميم خوارزمية جينية لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكة أعمال المشاريع (GAOCPN)

سماء طليع عزيز **نعم عبد المنعم عبد المجيد** **لمياء جاسم محمد**

كلية علوم الحاسوب والرياضيات

جامعة الموصل

تاريخ استلام البحث: ٢٠١١/٠٦/٣٠ **تاريخ قبول البحث**: ٢٠١١/١١/٠٢

ABSTRACT

The present study deals with using up-to-date intelligent techniques. We try to utilize the genetic algorithm efficiently and integrate it with the problem of study by designing and applying a genetic algorithm to find the optimal critical path of networks GAOCPN achieving many results, e.g., real time. Accuracy in representing the steps of project execution as a net of nodes and paths has a great role in the accuracy of program results GAOCPN written in C++ version 5.0 under Window. The program was applied on many networks, such as Al-Sarafiya Bridge networks, and the execution time and results were checked and compared with the execution time and results of traditional methods (dynamic programming) and Win_QSB program. The GAOCPN showed accuracy of results in a standard time. Sometimes, it showed optimal results better than those of the traditional methods and it showed results identical to Win_QSB but in standard time.

الملخص

تركز الاهتمام في هذا البحث على استخدام التقنيات الذكائية المعاصرة إذ نحاول توظيف الخوارزمية الجينية بشكل كفوء وسلس ومتكامل مع طبيعة مشكلة البحث وذلك بتصميم وتطبيق خوارزمية جينية لإيجاد المسار الحرج الأمثل لشبكات الأعمال GAOCPN محاولين بذلك تحقيق عدة مسائل منها مسألة الوقت الحقيقي. إن الدقة في تمثيل خطوات انجاز المشروع بوصفه شبكة من العقد والمسارات له الدور البارز والحازم في دقة نتائج البرنامج GAOCPN الذي كتب بلغة C++ الإصدار الخامس ببيئة Window. طبق البرنامج على عدة شبكات أعمال ومنها شبكة أعمال جسر الصرافية وتم التأكد من نتائج ووقت التنفيذ ومقارنتهما مع نتائج ووقت التنفيذ لكل من الطرائق التقليدية (البرمجة الديناميكية) والبرنامج الجاهز Win_QSB. وأثبت GAOCPN دقة النتائج وبوقت قياسي، وفي بعض الأحيان أعطى نتائج مثلى أفضل من الطرائق التقليدية ونتائج مطابقة لـ WinQSB لكن بوقت قياسي.

1- المقدمة

إن البرمجة الديناميكية المتمثلة بالطريقة الحسابية المباشرة وطريقة البرمجة الخطية بخوارزميتيها الأمامية والعكسية تعد من الطرائق التقليدية في بحوث العمليات والتي استخدمت لإيجاد المسار الحرج الأمثل لانجاز المشروع. أن جدولة المشاريع تكون حساسة لاضطرابات وأحداث غير مخطط لها، فعدم استقرارية ظروف المشروع (اللاتأكدية) التي تحدث فجأة في بيئة المشروع تتطلب إعادة صياغة الشبكة (استحداث/حذف/تغيير قيمة نشاط أو تباطؤ تنفيذ نشاط) ويطلق عليها التوسع التقدمي الذي يتسبب في بذل وقت

وجهد أضافي لإعادة تلك الحسابات المعقدة. وبالتالي فان أحداث الوقت الحقيقي سيؤثر على هيكل الشبكة وعلى كلفة ووقت أنجاز المشروع، وعليه ستكون النتائج قريبة من الحل الأمثل بسبب البيئة الديناميكية للمشروع وهكذا فان نجاح المشروع يعتمد على تنفيذ شبكة أعمال واقعية تتجاوب آنياً مع التغيرات التصادفية في بيئة المشروع Stochastic Variation [17]،[35]. تم تصميم GAOCPN بوصفه تقنية ذكائية لإيجاد المسار الحرج الأمثل بدون الحاجة إلى دراسة طرائق بحوث العمليات. وبالإمكان تطبيق البرنامج على أي شبكة أعمال مهما كانت درجة تعقيدها من ناحية عدد مساراتها وعدد عقدها وعدد مراحلها بسلاسة ومرونة [4]،[24].

2- المفاهيم الأساسية لتمثيل نماذج مخطط شبكة المشروع

كل مشروع يتكون من عدة أنشطة وتنجز الأنشطة تباعا حسب تسلسلها الذي يؤخذ من أدارة الموارد. فالمخطط الشبكي يبين المراحل والتتابع لمتغيرات القرار. يمكن تمثيل المخطط الشبكي لخطة تنفيذ المشروع بمخطط بياني يوضح تتابع تلك النشاطات والمدة الزمنية اللازمة لإنجاز كل نشاط.وكما في الشكل (1) الذي يوضح مراحل شبكة جسر الصرافية والمتمثلة بـ 13 مرحلة و25 نشاطاً حقيقياً و4 أنشطة وهمية و20 عقدة. ويتميز المخطط الشبكي بالاتي [6]،[13]:

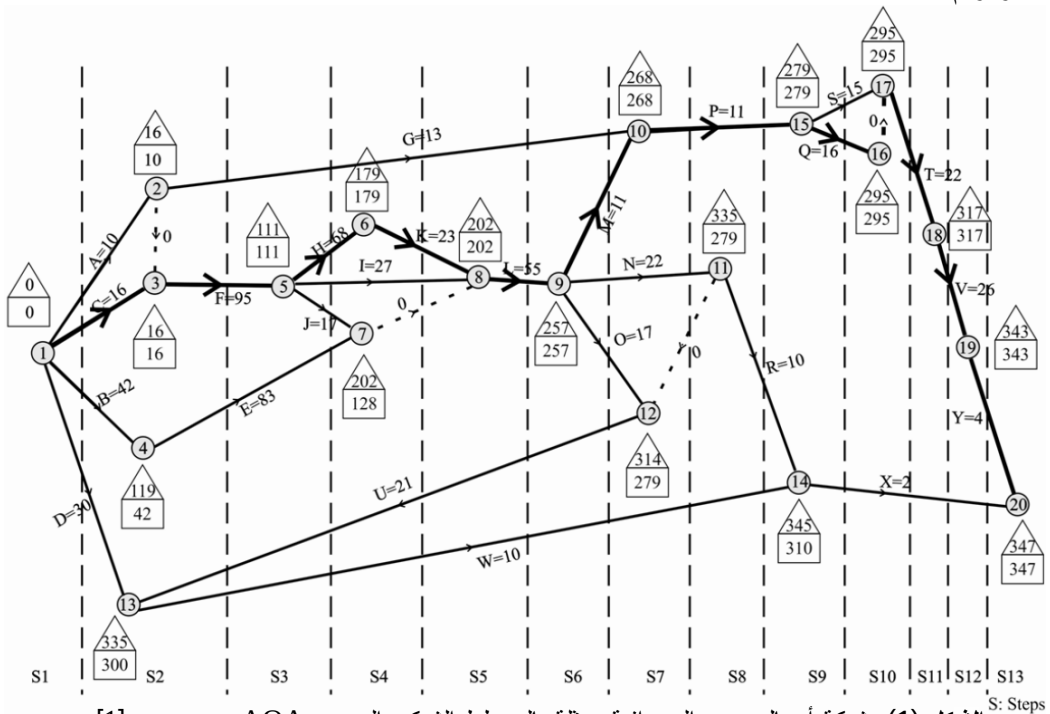
أ. النشاط Activity: يعبر عنه بسهم يربط بين عقدتين، حيث يتطلب تنفيذ النشاط موارد بشرية ومادية ووقت، لاحظ الجدول (1).

ب. الحدث Event: يعبر عنه بعقدة وتظهر عند بداية ونهاية كل نشاط، وهو لحظة من الزمن لا يتطلب موارد ووقتاً.

ج. النشاط الوهمي Dummy Activity: يعبر عنه بسهم متقطع وزمن تنفيذها صفراً ولا تستنفذ أي موارد، ويضاف إلى المخطط الشبكي لضمان صحة التسلسل والترابط المنطقي.

د. لا يجوز تكرار العقدة نفسها بالشبكة وبالتالي فان المسارات الحرجة لا تتكرر فيها أي عقدة.

هـ. تتمثل بداية الشبكة بعقدة رقم 1 ويستمر ترميز العقد تصاعديا وباتجاه اليمين لغاية آخر عقدة بالشبكة التي لها اكبر رقم.



الشكل (1). شبكة أعمال جسر الصرافية ممثلة بالمخطط الشبكي السهمي AOA من مصدر [1]

---- (S1, S2, … , S13) تقسيم الشبكة إلى مراحل صممت من قبل الباحثين.

□، △ الأوقات المبكرة والمتأخرة حسبت من قبل الباحثين.

➡ المسار الحرج الأمثل.

الجدول (1). تعاقب أنشطة شبكة أعمال جسر الصرافية والأوقات المتوقعة لها من مصدر [1]

ت	رمز النشاط	النشاط السابق	وصف النشاط	b	m	a	Et
1	A	_	أعمال التسوية والدفن بالتراب	15	10	7	10
2	B	_	توفير وشراء المواد الأولية	60	40	30	42
3	C	_	تهيئة ونصب البانتونات	25	15	10	16
4	D	_	نصب الجسر العائم	40	30	20	30
5	E	B	تصنيع الهيكل الحديدي	120	80	60	83
6	F	C, A	تفكيك ورفع الغوارق	135	90	75	95
7	G	A	قلع المتبقي من التبليط السابق	20	12	10	13
8	H	F	معالجة الدعامات المتضررة	125	60	40	68
9	I	F	دق الركائز الأنبوبية	40	25	20	27
10	J	F	تثبيت وسادة حديدية بين الدعامات	30	15	10	17
11	K	H	تجهيز وتثبيت مساند الارتكاز	40	20	15	23
12	L	E, I, J, K	نصب الهيكل الحديدي	90	50	40	55
13	M	L	تثبيت مفاصل التمدد	20	10	7	11
14	N	L	قلع وإعادة تركيب أنابيب المياه	40	20	10	22
15	O	L	رفع الركائز الأنبوبية	30	15	10	17
16	P	G, M	صب سطح الجسر الخرساني	20	10	7	11
17	Q	P	إجراء عملية العصف والصبغ الأولي	25	15	10	16
18	R	N	صيانة الأرصفة ومقتربات الجسر	15	10	7	10
19	S	P	تبليط الجسر بالإسفلت ولعموم الجسر	25	14	7	15
20	T	S, Q	صبغ الجسر بألايبوكسي	35	20	15	22
21	U	O, N	رفع البانتونات	30	20	15	21
22	V	T	الأعمال الكهربائية والخدمات	40	25	15	26
23	W	U, D	رفع اللسان الترابي	14	9	7	10
24	X	W, R	صبغ الشارع وتخطيط المرور	3	2	1	2
25	Y	X, V	تنظيف المكان وتسليم المشروع	6	4	3	4

إذ أن الأوقات a و b و m يتم تخمينها من قبل الخبراء.

إذ أن a: الوقت التفاؤلي، b: الوقت التشاؤمي، m: الوقت الطبيعي وأن: $Et = \frac{a + 4m + b}{6}$

ويمكن تمثيل المخطط الشبكي بصيغتين هما [6]، [36] :

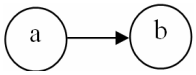
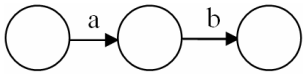
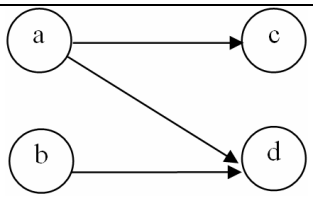
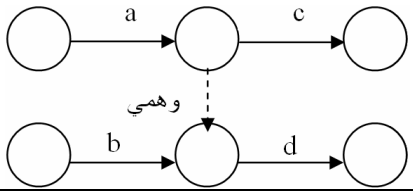
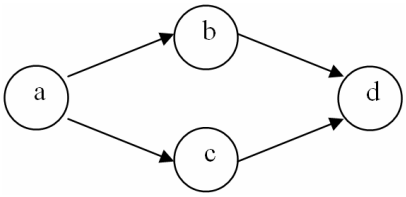
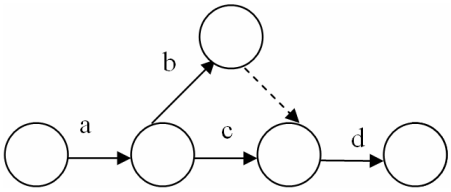
1- المخطط الشبكي السهمي Activity on Arrow (AOA)

يعد أكثر شيوعاً، إذ يوضع احد المعايير الوقت، الكلفة، الربح على النشاط. وقد نستعين بنشاط وهمي أو أكثر في هذا النوع من الشبكات.

2- المخطط الشبكي العقدي Activity on Node (AON)

يوضع معيار الوقت،الكلفة،الربح في العقدة. في هذه الطريقة لا توجد أنشطة وهمية، ولتوضيح حالات تمثيل الأنشطة بين صيغتي AON وAOA لاحظ الشكل (2).

الشكل (2). الفرق بين صيغتي AOA وAON

شبكة (AON)	شبكة (AOA)
	
	
	

3- تصنيف مسائل الأمثلية

إن جذور الأمثلية المعاصرة يعود إلى الحرب العالمية الثانية وهو مولد بحوث العمليات بتطبيق الطرائق الرياضية والعلمية في العمليات العسكرية. مسائل الأمثلية تعطى مجموعة قيود (constraints) ودالة هدف (objective function) مجموعة الحلول التي تحقق القيود تسمى حلولا ممكنة (feasible solution) والحل الممكن الذي يعطي أفضل دالة هدف يسمى الحل الأمثل optimal solution فالأمثلية هي عملية تحقيق أفضل حل أو نتائج للأهداف المحددة من بين مجموعة من الحلول البديلة بدون الاضطرار إلى تجريب كل البدائل المحتملة مع الأخذ بالقيود والمحددات. وتصنف مسائل الأمثلية كالآتي [2]،[15]:

1- بواسطة الأنموذج By model: يمثل إما بمتغير أو عدة متغيرات، بقيود أو عدمها، كالمسائل الخطية والمسائل اللاخطية.

2- بواسطة طريقة الحل By Solution Method: كالبرمجة الديناميكية،البرمجة التربيعية التتابعية، البرمجة الصحيحة، البحث الذهبي، البرمجة الهندسية.

3- بواسطة الاشتقاق By Derivation: كالخوارزمية الجينية ،طريقة قاعدة التدرج،طريقة قاعدة عدم التدرج(العشوائي والبسيط).

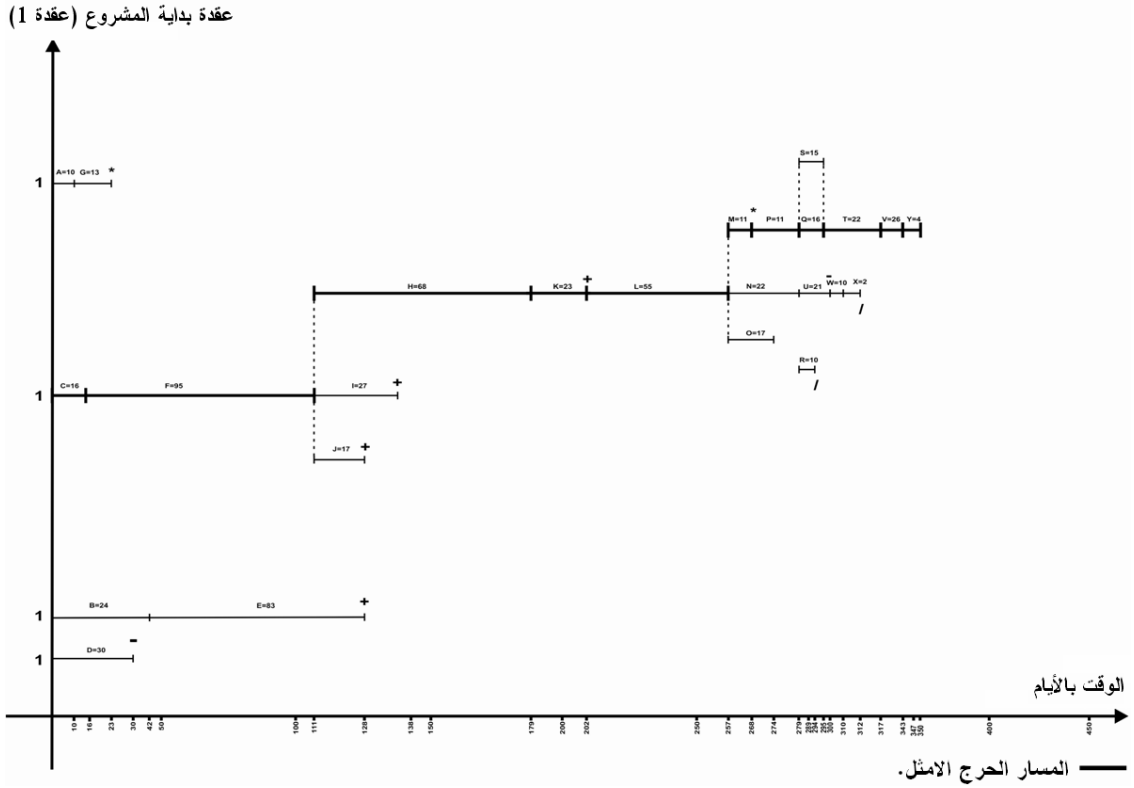
4- حسب طبيعة المعلومات By Nature of Information: النماذج الاحتمالية والمحددة.

1-3 مراحل تطور أساليب الأمثلية التقليدية في المخططات الشبكية للمشاريع: نظرياً وعملياً

تطورت أساليب تنفيذ المشاريع ونتيجة لذلك تعددت القواعد الاستكشافية للجدولة سواء التقليدية (بحوث العمليات) والذكائية (الخوارزمية الجينية) وكما يلي:

1-1-3 مخطط Gantt

خريطة الجدول الزمني منسوبة إلى Henery Gantt والذي ابتدعها في عام 1917 ومازالت مستخدمة حتى الآن بل هي أشهر وسيلة مستخدمة في عرض الجداول الزمنية. وهي عبارة عن رَسم بياني يوضح الجدول الزمني للمشروع. هذه الخريطة تَستخدم الخطوط العرضية Bars لتُوضح الزمن الذي يستغرقه كل نشاط من أنشطة المشروع ومتى تبدأ ومتى تنتهي. وبالتالي تساعدنا على نقل هذا التخطيط لكل من له علاقة بالمشروع [6]، [25]. ولإعداد هذا المخطط يمكن استخدام Excel، Microsoft Project وغيرها. وتمتاز بسهولة الرسم والفهم وسهولة تعقب تقدم المشروع، أما عيوبها فإنها لا تحدد المسار الحرج بشكل واضح وكذلك عدم ملائمتها للمشاريع الكبيرة بسبب وجود أنشطة تتكرر في عدة مسارات حرجة مما تسبب صعوبة تمثيلها بمخطط Gantt [23]. الشكل (3) يوضح مخطط Gantt لمشروع جسر الصرافية حسب اقتراح الباحثين.



الشكل (3). مخطط Gantt لشبكة أعمال جسر الصرافية

2-1-3 المخططات الشبكية

تتضمن المخططات الشبكية الآتي:

1- أسلوب PERT في مراجعة وتقييم المشاريع

Project Evaluation And Review Technique (PERT)

هو أول نظام شبكي استخدم بشكل جماعي، تم تقديم هذا الأسلوب ما بين 1950-1958 من قبل شركة Hamilton. Booz-Allen وبالتعاون مع مكتب U.S. Navy الخاص بالقوة البحرية الأميركية وقسم الصواريخ بشركة Lockheed، بهدف تصميم طريقة يتم بها تخطيط ومتابعة صناعة وتطوير الصواريخ

الباليستية بولاريس Polaris Missile إذ وفرت وقتاً يقدر بعامين. ويتم تمثيل الفعاليات بصناديق تظهر اسم المهمة، ورقمها، ومدتها الزمنية، وتاريخي البدء والانتهاء. يوصف هذا الأسلوب بتحديد الوقت اللازم لإتمام كل نشاط بشكل احتمالي. وينقسم هذا الأسلوب إلى طريقة بيرت الزمنية PERT/Time لمعالجة مشكلة الوقت، وطريقة بيرت الكلفوية PERT/Cost لمعالجة التكاليف وطريقة بيرت لخط الموازنة PERT/(LOB) وتستخدم في تخطيط الإنتاج لحساب الموارد المطلوبة في كل مرحلة من مراحل الإنتاج. ومن مزايا هذا الأسلوب أنها تبين علاقة المهمة الاتكالية وسهولة تعقب المشروع وسهولة تحديد المسارات الحرجة. أما عيوبه فإنها لا تستخدم عمليا وذلك للاحتياج إلى مخطط بيرت ضخم جدا لمشروع كبير لذا فغالباً ما يتم تجزئة المشروع إلى أجزاء أصغر وهذه مسالة يصعب تعقبها وإدارتها وبالتالي صعوبة حساب الأزمنة المتقدمة والمتأخرة [37]. والشكل (1) يوضح الوقت اللازم لانجاز مشروع جسر الصرافية حسب أسلوب بيرت الزمني وهو 347 يوماً [7].

2- المسار الحرج Critical Path Method (CPM)

وهو أطول مسار خلال الشبكة. أو أنه المسار الذي يستغرق أقصى وقت لانجاز المشروع من حدث البداية إلى حدث النهاية. ظهر هذا الأسلوب في عام 1957 من قبل المهندس J.E. Keely في شركة emington–Rand والمهندس M.R. Walker في شركة Dupont وذلك لغرض جدولة عمليات التعطل بسبب الصيانة في مصنع المواد الكيميائية. وبدأ استخدام الأسلوبين بيرت والمسار الحرج من قبل شركة فورد للسيارات وجنرال موتورز وبل للتلفونات، كما استخدم أسلوب المسار الحرج عام 1973 من قبل القوات المسلحة المصرية في عبور قناة السويس واستخدم لأول مرة في العراق عام 1975 في بناء سد حمرين. إن الغرض الرئيسي من هذا الأسلوب التأكد التام من وقت الإنجاز أي انه أسلوب تقديري Deterministic بعكس أسلوب PERT. إذ يفترض أسلوب المسار الحرج أن الوقت المتوقع لأداء العمليات المختلفة لإتمام المشروع معروف والعلاقة بين الموارد المستخدمة والوقت المطلوب لأداء العمليات المختلفة معروفة أيضا [7]،[26]. والموضح بالشكل (1).

3-1-3 البرمجة الديناميكية Dynamic Programming

مصطلح الديناميكية تعني عدم الاستقرار على مر الزمن. إذ ارتبط ظهور أسلوب البرمجة الديناميكية في عام (1957) باسم العالم ريتشارد بلمان. والبرمجة الديناميكية هي تقنية حسابية استخدمت لإيجاد الحل الأمثل للمسائل التي تتميز كل منها بتعدد المراحل التي تتطلب متتالية من القرارات المترابطة إذ يحول كل قرار من القرارات إلى عدة مسائل جزئية تمثل كل منها احد المراحل وبالمتغيرات التي تحويها ثم يتم التقدم بالحل من مرحلة إلى أخرى بحيث يكون القرار الذي بالإمكان اتخاذه في أية مرحلة لاحقة هو القرار الأمثل بغض النظر عن نوعية القرار الذي أتخذ في المراحل السابقة. ومن الضروري تقسيم دورة حياة المشروع إلى مراحل لتحديد المسارات اللازمة لإنجاز المشروع. وتعتمد تقسيمات المراحل وتتابع البدائل (متغيرات القرار) على المخطط الشبكي للمشروع. يمكن إيجاد الحد الأعلى الأمثل للوقت الخاص بانجاز المشروع بطريقتين[18], [30],[20] :

1- الطريقة الحسابية (المباشرة): وتستخدم لإيجاد المسار الحرج الأمثل والمتمثل بالحد الأعلى للوقت الخاص بانجاز المشروع.

2- طريقة البرمجة الخطية: وتستخدم ضمن هذه الطريقة خوارزميتين هما الحل الأمامي والحل العكسي. وبما أن الهدف هو إيجاد الحد الأعلى الأمثل بالوقت الخاص بانجاز مشروع جسر الصرافية فقد تم إتباع الخوارزميتين الأمامية والعكسية في حالة التعظيم وكالاتي لاحظ الجدول (2):

S : المراحل، لمشروع جسر الصرافية $s = 1 \ldots 13$

$T^*_s(X)$: الوقت في العقدة X للخطوة s. وان وقت أول حدث هو $T^*_1(1) = 0$. ووقت أخر حدث هو $T_{13}^*(20) = 0$.

$T(N,X)$: وقت الانتقال من المرحلة N إلى العقدة X.

$T(X,N)$: وقت الانتقال من الحدث (العقدة) X إلى المرحلة N.

X : متغير الحالة (State Variable) من مرحلة إلى أخرى.

أ- الخوارزمية الأمامية Forward Algorithm

إذ يتدرج الحل ابتداءً من يسار الشبكة إلى اليمين إذ أن قيمة الوقت في الخطوة s تعتمد على جميع الخطوات السابقة لها. إذ أن الحد الأعلى الأمثل للوقت الخاص بانجاز مشروع جسر الصرافية يستغرق 274 يوما لاحظ الجدول (2-أ).

$$T^*_s(X) = Max[T(N,X) + T^*_{s-1}(N)] \quad for\ s = 1,2,..,13$$

$$T^*_1(1) = 0$$

$$T^*_2(2) = Max[T(1,2) + T^*_1(1)] = Max[10+0] = 10$$

$$T^*_2(3) = Max[T(1,3) + T^*_1(1)] = Max[16+0] = 16$$

$$T^*_2(4) = Max[T(1,4) + T^*_1(1)] = Max[42+0] = 42$$

$$T^*_2(13) = Max[T(1,13) + T^*_1(1)] = Max[30+0] = 30$$

$$T^*_6(9) = Max[T(8,9) + T^*_5(8)] = Max[55+202] = 257$$

$$T^*_7(12) = Max[T(9,12) + T^*_6(9), T(11,12) + T^*_6(11)] = Max[17+257, 0+0] = 274$$

$$\vdots$$

$$T^*13(20) = 52$$

ب- الخوارزمية العكسية Backward Algorithm

إذ يتدرج الحل من اليمين إلى اليسار إذ أن قيمة الوقت في الخطوة s تعتمد على جميع الخطوات اللاحقة لها. إذ أن الحد الأعلى الأمثل للوقت الخاص بانجاز المشروع يستغرق 295 يوماً لاحظ الجدول (2-ب).

$$T^*_s(X) = Max[T(X,N) + T^*_{s+1}(N)]$$

$$T^*_{13}(20) = 0$$

$$\vdots$$

$$T^*_1(1) = Max[T(1,2) + T^*_2(2), T(1,3) + T^*_2(3), T(1,4) + T^*_2(4), T(1,13) + T^*_2(13)]$$

$$= Max[10+13, 16+279, 30+10] = Max[23,295,125,40] = 295$$

الجدول (2). الحل اليدوي لطريقة البرمجة الديناميكية

الجدول (2-أ): الخوارزمية الأمامية

(X) / T_s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	10	16	42	*	*	*	*	*	*	*	*	30	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	111	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	179	128	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	202	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	257	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	268	*	274	*	*	*	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	22	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	32	11	*	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	27	27	*	*	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	22	*	*
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	48	*
13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	52

الجدول(2-ب). الخوارزمية العكسية

(X) / T_s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	295	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	13	279	83	*	*	*	*	*	*	*	*	10	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	184	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	116	93	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	93	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	38	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	11	*	21	*	*	*	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	12	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2	67	*	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0	52	*	*	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	30	*	*
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*
13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2

*** : not connected**

4-1-3 تطبيق البرنامج الجاهز WinQSB:

طبق البرنامج على مشروع جسر الصرافية، إذ حولت الشبكة يدوياً من قبل الباحثين إلى دالة هدف Minimize و29 قيد (C1-C29)، واحتاج الباحثون إلى يومين للتحويل ويشترط أن يكون التحويل دقيقاً لتلافي الخطأ وعدم الدقة بالنتائج، لاحظ الجدول (3-أ). أما السطر 16 و17 في الجدول (3-ب) فيوضح النتيجة النهائية للخوارزمية العكسية والسطر 20 يوضح النتيجة النهائية للطريقة المباشرة. أما الجدول (3-ج) يوضح الطرف الأيسر للقيود والممثل بالعمود left Hand Side والعمود Right Hand Side يمثل الموارد المتاحة أما All.min RHS وAll.max RHS فيمثلان الحد الأدنى والأعلى للقيود والجدول (3-د) يمثل تقريراً عن نوع المسألة التي تم حلها إضافة إلى عدد المحاولات والوقت المستغرق للحل.

الجدول (3). تطبيق برنامج WinQSB لحل مسألة شبكة أعمال جسر الصرافية

الجدول (3-أ). الواجهة (1) إدخال دالة الهدف والقيود لمسألة شبكة أعمال جسر الصرافية يدوياً

	OBJ/Constraint/Bound
Minimize	x20-x1
C1	x2-x1>=10
C2	x3-x1>=16
C3	x3-x2>=0
C4	x4-x1>=42
C5	x13-x1>=30
C6	x5-x3>=95
C7	x6-x5>=68
C8	x7-x5>=17
C9	x8-x5>=27
C10	x8-x6>=23
C11	x8-x7>=0
C12	x7-x4>=83
C13	x9-x8>=55
C14	x10-x2>=13
C15	x10-x9>=11
C16	x11-x9>=22
C17	x12-x9>=17
C18	x12-x11>=0
C19	x15-x10>=11
C20	x13-x12>=21
C21	x14-x13>=10
C22	x14-x11>=10
C23	x17-x15>=15
C24	x16-x15>=16
C25	x17-x16>=0
C26	x18-x17>=22
C27	x19-x18>=26
C28	x20-x19>=4
C29	x20-x14>=2
Integer:	
Binary:	

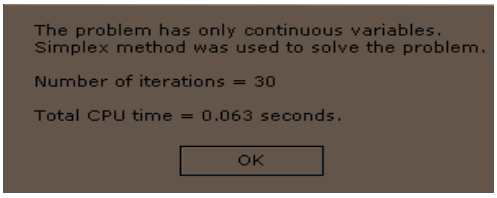
الجدول (3-ب). الواجهة (2) النتيجة النهائية للطريقة المباشرة وللخوارزمية العكسية

	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	0	-1.0000	0	0	at bound	-1.0000	M
2	16.0000	0	0	0	basic	0	0
3	16.0000	0	0	0	basic	0	M
4	119.0000	0	0	0	basic	0	0
5	111.0000	0	0	0	basic	0	M
6	179.0000	0	0	0	basic	0	M
7	202.0000	0	0	0	basic	0	0
8	202.0000	0	0	0	basic	0	M
9	257.0000	0	0	0	basic	0	M
10	268.0000	0	0	0	basic	0	M
11	314.0000	0	0	0	basic	0	0
12	314.0000	0	0	0	basic	0	0
13	335.0000	0	0	0	basic	0	0
14	345.0000	0	0	0	basic	0	0
15	279.0000	0	0	0	basic	0	M
16	295.0000	0	0	0	basic	0	M
17	295.0000	0	0	0	basic	0	M
18	317.0000	0	0	0	basic	0	M
19	343.0000	0	0	0	basic	0	M
20	347.0000	1.0000	347.0000	0	basic	1.0000	M
	Function	(Min.) =	347.0000	(Note:	Alternate	Solution	Exists!!)

الجدول (3-ج). الواجهة (3) الحد الأدنى والأعلى للقيود المتاحة

	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	16.0000	>=	10.0000	6.0000	0	-M	16.0000
2	16.0000	>=	16.0000	0	1.0000	10.0000	M
3	0	>=	0	0	0	-239.0000	6.0000
4	119.0000	>=	42.0000	77.0000	0	-M	119.0000
5	335.0000	>=	30.0000	305.0000	0	-M	335.0000
6	95.0000	>=	95.0000	0	1.0000	18.0000	M
7	68.0000	>=	68.0000	0	1.0000	4.0000	M
8	91.0000	>=	17.0000	74.0000	0	-M	91.0000
9	91.0000	>=	27.0000	64.0000	0	-M	91.0000
10	23.0000	>=	23.0000	0	1.0000	-41.0000	M
11	0	>=	0	0	0	-M	74.0000
12	83.0000	>=	83.0000	0	0	-M	160.0000
13	55.0000	>=	55.0000	0	1.0000	-184.0000	M
14	252.0000	>=	13.0000	239.0000	0	-M	252.0000
15	11.0000	>=	11.0000	0	1.0000	-24.0000	M
16	57.0000	>=	22.0000	35.0000	0	-M	57.0000
17	57.0000	>=	17.0000	40.0000	0	-M	57.0000
18	0	>=	0	0	0	-21.0000	35.0000
19	11.0000	>=	11.0000	0	1.0000	-24.0000	M
20	21.0000	>=	21.0000	0	0	0	56.0000
21	10.0000	>=	10.0000	0	0	-11.0000	45.0000
22	31.0000	>=	10.0000	21.0000	0	-M	31.0000
23	16.0000	>=	15.0000	1.0000	0	-M	16.0000
24	16.0000	>=	16.0000	0	1.0000	15.0000	M
25	0	>=	0	0	1.0000	-1.0000	M
26	22.0000	>=	22.0000	0	1.0000	-13.0000	M
27	26.0000	>=	26.0000	0	1.0000	-9.0000	M
28	4.0000	>=	4.0000	0	1.0000	-31.0000	M
29	2.0000	>=	2.0000	0	0	-M	37.0000

الجدول (3-د). الواجهة (4) تقرير عن نوع المسألة وعدد المحاولات والوقت المستغرق



2-3 أسباب اختيار الخوارزمية الجينية وملائمتها لحل مسألة جدولة المشاريع

هناك عدة تقنيات ذكائية لحل مسألة الجدولة [9]،[35]. ومنها الخوارزمية الجينية التي ابتكرت من قبل العالم John Holland عام 1975. والسببين الرئيسيين لاختيار الخوارزمية الجينية:

1- تمتاز الخوارزمية الجينية بالاتي [29]،[31]:

أ- الرصانة Robustness: يجب أن تكون معتمدة reliable وقادرة على الاقتراب من الحل ابتداءً من أي نقطة معطاة (كأن يكون الحل الأمثل يعد نقطة بداية لتحسين الحل).

ب- العمومية Generality: لا يتفرض الحد من قيود النموذج ودالة الهدف.

ج- الدقة Accuracy: المهارة والقدرة على الاقتراب من حل امثل ودقيق وهذا لا يتطلب خبرة في الأمثلية وبحوث العمليات.

د- سهولة التطبيق والاستخدام: سواء من قبل الخبير أو الأقل خبرة.

هـ- الكفاءة Efficiently: سرعة الاقتراب من الحل بأقل تكرار وبأقل عدد من الحسابات بالتكرار الواحد.

2- تكون الخوارزمية الجينية فعالة لحل المسائل التي تحقق واحدة أو أكثر من الحالات التي على أساسها يتم اختيار الخوارزمية الجينية بشكل قطعي لحلها والموضحة بالجدول (4) إذ أن مسألة شبكة الأعمال تحقق ثلاث حالات وهذا سبب كافٍ لاختيار الخوارزمية الجينية لحل هذا النوع من المسائل [28]،[33] .

الجدول (4). ملائمة حل مسألة شبكة الأعمال باستخدام الخوارزمية الجينية

الخوارزمية الجينية	فضاء البحث هائل	المعلومات والمعرفة في المجال المدروس نادرة	صعوبة ترميز خبرة الخبير في المجال المدروس بهدف تضييق فضاء البحث	عدم وجود طرائق تحليل رياضي معروفة لحل المسألة	فشل طرائق البحث التقليدية لحل المسألة
شبكة الأعمال	✓		✓		✓

4- مشكلة البحث

من المعوقات التي واجهت الباحثين في تصميم الخوارزمية الجينية لحل مسائل الأمثلية المتعلقة بشبكات الأعمال. وعلى اعتبار أن كل كروموسوم يمثل مساراً حرجاً واحداً فستؤدي عملية التزاوج أو الطفرة إلى تحطيم الكرموسومات (المسارات) الصحيحة وإنتاج كروموسومات (مسارات) غير صحيحة. خاصة أن هذه الشبكات تختلف من ناحية عدد المراحل وعدد العقد في كل مرحلة. تكمن المشاكل بما يلي [5]،[29]:

1- من سمات الخوارزمية الجينية أن طول الكروموسوم يكون متساوياً في الجيل الواحد ولجميع الأجيال وبالمقابل فالمسارات الحرجة تكون مختلفة الأطوال (كل مسار يحوي على عدد مختلف من العقد) وبالتالي صعوبة تمثيل المسارات الحرجة المختلفة الأطوال ككروموسومات متساوية الأطوال (لاحظ المسارات في الشبكة).

(يمثل كروموسوم بطول 4 جينات) 1-13-14-20

(يمثل كروموسوم بطول 7 جينات) 1-2-10-9-11-14-20

وهكذا نلاحظ أن هناك عدة مسارات ذات أطوال مختلفة في شبكة الأعمال.

2- الخوارزمية الجينية تعتمد على توليد سلسلة عشوائية من العقد كجيل أولي وأن عملية أنشاء هذا الجيل بشكل عشوائي ستولد كروموسومات لمسارات لا تطابق أي مسار من مسارات الشبكة.

3- إن عملية التداخل الإبدالي Crossover بجميع أنواعها ستنتج مساراً ليس ضمن المسارات الحرجة للشبكة. الجدول (5) يوضح عملية تداخل كروموسومين لمسارين حقيقيين وإنتاج نسل يمثل مساراً غير واقعي. وقد ينتج نسل تتكرر قيم جيناته فيمثل مساراً يحوي على عقدة (أو عقد) تتكرر لأكثر من مرة وهذا يخالف احد شروط تمثيل المخطط الشبكي للمشروع:

الجدول (5). عملية التداخل الإبدالي باستخدام نقطتين

الكروموسوم الأول	20	14	11	9	8	6	5	3	1
الكروموسوم الثاني	20	14	13	12	9	8	5	3	1
النسل الناتج	20	14	11	12	9	8	5	3	1

4- إن عملية أجراء الطفرة بجميع أنواعها ستنتج كروموسوماً غير مطابق لأي مسار من مسارات شبكة المشروع، لاحظ الجدول (6).

الجدول (6). عملية الطفرة بتبديل جينين

النسل قبل الطفرة	20	14	11	12	9	8	5	3	1
النسل بعد الطفرة	20	8	11	12	9	14	5	3	1

5- هدف البحث

1- استخدام التقنيات الذكائية لصنع القرار عوضا عن التقنيات التقليدية لحل مسائل بحوث العمليات وخاصة فيما يتعلق بحل مشاكل جدولة المشاريع من خلال البحث الذكي المعاصر لتحديد أفضل وانسب تصميم وإدارة وتشغيل النظام تحت شروط تتطلب توزيع الموارد النادرة.

2- اقتراح وتصميم خوارزمية ذكية كفوءة لجدولة المشاريع GAOCPN كتطوير للخوارزمية الجينية التقليدية لتخطي مشكلة المسارات المختلفة مع ثبوت طول الكروموسوم وتجاوز مشكلة توليد سلسلة من الأنشطة الغير واقعية وبالتالي تجاوز جميع المشاكل المبينة في مشكلة البحث.

3- تطبيق GAOCPN على كافة أنواع شبكات الأعمال مهما يكن عدد مراحلها وعدد العقد في كل مرحلة ومهما يكن عدد وأطوال مساراتها.

4- قياس جودة GAOCPN بتحقيق وتطبيق مقاييس الجودة النوعية للخوارزمية الجينية، الرصانة Robustness، الوثوقية Reliability، المصداقية Validation، العمومية Generality، الدقة Accuracy، الكفاءة Efficiently وسهولة الاستخدام Friendly.

5- تقديم أنموذج تخميني ذكي ومعاصر للبرمجة الديناميكية والممثل بالصندوق الأسود GAOCPN.EXE بوصفه أداة كفوءة وسهلة الاستخدام تساعد المدراء على اتخاذ القرارات الصائبة بخصوص جدولة وإدارة مشاريع الأعمال وانجازها بطرائق تعتمد على تكنولوجيا العصر والتقنيات الذكائية.

6- تطوير مجال بحوث العمليات باعتماده على التقنيات الذكائية بدلا من التقليدية.

6- فرضية البحث

بما أن شبكة الأعمال تحوي n من العقد وكل عقدة لها عدة تفرعات فقد تم اعتماد عدة فرضيات لإنجاز البحث منها:

1- بعض البحوث استخدم المصفوفة لإنشاء الشبكة ومعاييرها (كلفة، وقت، ربح) وكالآتي [32]:

(في حالة مسار وهمي يربط بين العقدتين i و j) $net(i,j) = 0$

(في حالة العقدة i مرتبطة بالعقدة j) $net(i,j) > 0$

(في حالة العقدة i غير مرتبطة بالعقدة j) $net(i,j) = -1$

إن هيكل البيانات net_{n*n} تحتاج إلى مساحة خزنية في الذاكرة تتناسب طرديا مع حجم شبكة الأعمال، أما في هذا البحث فتم اقتراح هيكل بيانات لمجموعة الجدولة وهو ملف بيانات شبكة الأعمال grid.dat لتمثيل الشبكة بأقل مساحة خزنية ممكنة، وذلك باعتماد الحالة الأولى والثانية فقط لاحظ الجدول (7). وتمتاز فرضية البحث بما يخص هيكل البيانات المقترح للشبكة مقارنة مع غيرها لتمثيل شبكة الأعمال بالحاسوب بأقل سعة خزنية.

الجدول (7). هيكل بيانات الملف grid.dat لمجموعة جدولة شبكة أعمال جسر الصرافية

العقدة i	عدد العقد المرتبطة بها	العقدة التالية للعقدة i
		قيمة النشاط
1	4	2 3 4 13
		10 16 42 30
2	2	3 10
		0 13

3	1	5
		95
4	1	7
		83
5	3	6 7 8
		68 17 27
6	1	8
		23
7	1	8
		0
8	1	9
		55
9	3	10 11 12
		11 22 17
10	1	15
		11
11	2	12 14
		0 10
12	1	13
		21
13	1	14
		10
14	1	20
		2
15	2	16 17
		16 15
16	1	17
		0
17	1	18
		22
18	1	19
		26
19	1	20
		4
20	0	

2- بما أن مسارات الشبكة مختلفة الأطوال وللحصول على كروموسومات تمثل مسارات الشبكة بشكل صحيح فتم اعتماد فكرة ترميز الجينات عشوائيا على أساس الأولوية Priorty based Encoding أي وضع وزن فريد (وحيد) لكل جين في الكروموسوم الواحد وتتغير هذه الأوزان من كروموسوم لآخر ومن جيل لآخر [22].

3- نفترض أن موقع الجين في الكروموسوم يمثل رقم العقدة في الشبكة فالجين الأول هو العقدة الأولى في الشبكة وهكذا. أما قيمة الجين فتمثل وزناً يتخذ كأولوية للعقدة لإنشاء مسار تبعا لأوزان جينات الكروموسوم.

4- تقسم النشاطات إلى مجموعتين، مجموعة الجدولة والمتمثلة بالملف grid.dat والذي يمثل تسلسل أعمال شبكة المشروع. ومجموعة القرار وهي الكروموسومات التي تمثل قائمة الأولويات لكل النشاطات المطلوب جدولتها، فالنشاط ذو أعلى رتبة (أولوية) سيتم اتخاذه لإكمال أنشاء مسار حرج لكل كروموسوم.

7- مميزات وخصائص GAOCPN

تمتاز خوارزمية GAOCPN بكونها كفوءة ودقيقة مقارنة مع الحلول التقليدية لبحوث العمليات (البرمجة الديناميكية) ومع الخوارزمية الجينية للبائع المتجول GATSP ولعدة أسباب موضحة أدناه:

7-1 مقارنة GAOCPN مع البرمجة الديناميكية

1- إن GAOCPN ليست مقيدة بنوع معين من شبكات الأعمال كما هو الحال في طريقة البرمجة الخطية فالطريقة المباشرة يمكن استخدامها في المشاريع الصغيرة لأنها تبحث في جميع مسارات شبكة المشروع

(Search Space) ولا ينجح تطبيقها في المشاريع الضخمة لأنها تستغرق وقتاً وجهداً كبيراً ولهذا يلجأ خبير بحوث العمليات إلى استخدام إحدى طرائق البرمجة الخطية لأنها لا تبحث في جميع المسارات وإنما تبحث في المسارات التي تحقق أفضل دالة هدف فقط وبالتالي فان طرائق البرمجة الديناميكية لا تلائم جدولة جميع أنواع الشبكات، غير أن GAOCPN يمكن تطبيقها على جميع أنواع الشبكات ومنها الشبكات التي لا تقدر على حلها البرمجة الخطية.

2- إن تطبيق GAOCPN لا تتطلب استشارة خبير بحوث العمليات كما هو الحال في التقنيات التقليدية التي تتطلب استشارة الخبير في كل مرة يتم فيها تعديل الشبكة (إضافة أو حذف نشاط) من قبل مدير المشروع إذ يتطلب ذلك جهداً حسابياً ووقتاً إضافياً للاتصال بالخبير المختص لإعادة تصميم الأنموذج وإيجاد امثل مسار حرج بعد تعديل الشبكة [16]. لاحظ الشكل (1) والجدولين (1 و3-أ).

3- أن GAOCPN لا تتطلب تمثيل شبكة المشروع بوصفها أنموذج برمجة خطية (دالة هدف وقيود) لحله بينما البرامج الجاهزة مثل MATLAB و Win QSB وLindo وغيرها تتطلب تمثيل الشبكة على هيئة قيود ودالة هدف لحلها وعملية التحويل هذه تحتاج إلى خبير يستوعب الشبكة بكفاءة ليمثلها بشكل دقيق وصحيح بوصفها أنموذج برمجة خطية وهذا الجهد والوقت المستغرق من قبل الخبير المختص لتصميم النموذج ودالة الهدف وجميع قيود النموذج، كل هذا يزداد طرديا مع درجة تعقيد الشبكة وكذلك يزداد طردياً مع المشاريع ذات التوسع التقدمي، وهذه من المساوئ [3]،[8]،[16]. لاحظ الجدول (3-أ).

4- في GAOCPN أي تعديل على الشبكة سيتم إدخاله في grid.dat وتنفيذ GAOCPN.EXE لإيجاد المسار الحرج بينما في Win QSB وغيره يجب إعادة تصميم دالة الهدف والقيود ثم أيجاد المسار الحرج.

5- نظرا للنقطتين (3) و(4) فان GAOCPN يحقق مسألة الوقت الحقيقي Real Time بينما البرامج الجاهزة تحتاج إلى تصميم أنموذج خاص بكل مسألة وهذا يستغرق وقتاً لتمثيل الشبكة على هيئة نموذج بشكل صحيح ودقيق وهذا لا يحقق مسألة الوقت الحقيقي. كذلك فان تعديل الشبكة يتطلب أعادة صياغة أنموذج الشبكة وتعديل دالة هدفه وقيوده.

6- هناك عدة نماذج رياضية طورت لجدولة المشاريع في الثلاثين سنة الأخيرة واستخدمت هذه النماذج (البرمجة الخطية والديناميكية) للوصول للحل الأمثل غير أن كل مسألة يصمم لها أنموذج رياضي خاص بها لحلها، أما إمكانيات GA فهي خوارزمية عامة لجميع المسائل.

7- نماذج المحاكاة كالـ GA فهي خوارزمية عامة لكل مسائل الأمثلية وتعطي زاوية جديدة للرؤيا مخالف لحقل بحوث العمليات إذ كل مسألة لها خوارزمية خاصة لحلها [10].

2-7 مقارنة GAOCPN مع الخوارزمية الجينية للبائع المتجول GATSP

ترميز كروموسومات GAOCPN أكثر تعقيدا مقارنة بالبائع المتجول للأسباب التالية:

1- في GAOCPN فان جينات الكروموسوم تمثل نشاط بينما في (GATSP) فان كل جين يمثل مدينة.

2- في GAOCPN كل كروموسوم يعد رمزاً لأحد المسارات الحرجة للشبكة وعادة المسارات تكون مختلفة الأطوال لأن عدد العقد في كل مسار ليس ثابتا، بينما في (GATSP) فان الكروموسومات جميعها ثابتة الطول لأن البائع المتجول يزور جميع المدن دون استثناء ويختلف كروموسوم عن آخر باختلاف ترتيب المدن التي سيزورها البائع.

3- في شبكة المشاريع لا يشترط ربط النشاط بجميع الأنشطة بينما شبكة البائع المتجول فكل مدينة مرتبطة بجميع المدن في الشبكة وبالتالي فان عمليات GA (الاختيار، التداخل، الطفرة) تم تكييفها في GAOCPN للتعامل مع مسارات حقيقية فقط بينما عمليات GA في (GATSP) ستولد دائما مسارات مطابقة لشبكة (TSP).

4- كروموسومات GAOCPN لا تمثل المسار بشكل مباشر بل نستخدم الترميز لإنشاء مسار إذ يتم ترميز الجينات على أساس الأولوية والتي تهتم بوزن للجينات (العقد) أما كروموسومات (GATSP) فإنها تمثل المسار نفسه.

5- توزيع العقد بشكل عشوائي بالنسبة للـGAOCPN سوف لا يطابق أي مسار. بينما (GATSP) سيطابق المسألة.

6- هناك دليلان لكون GAOCPN نوع (NP Hard Problem) أولهما أن نتائج البحوث لحساب أفضل مسار حرج باستخدام (GA) نادرة مقارنة مع (TSP) بسبب أن ترميز مسارات الشبكة أصعب من (TSP) إذ أن (GATSP) تعد (NP Hard Problem) [21]. وكذلك GAOCPN لحل مسألة جدولة المشاريع حسب أولوية (أسبقية) قيودها ومواردها المتاحة تعتبر (NP Hard Problem). ذلك أن مسألة الجدولة تعد NP-hard والتي تعني أن الطرائق المعروفة للحل تستهلك وقتاً هائلاً إضافة إلى كونها غير كفوءة لحل المسائل المعقدة للتطبيقات الواقعية المعاصرة [27]،[34].

8- وصف وتصميم خوارزمية GAOCPN

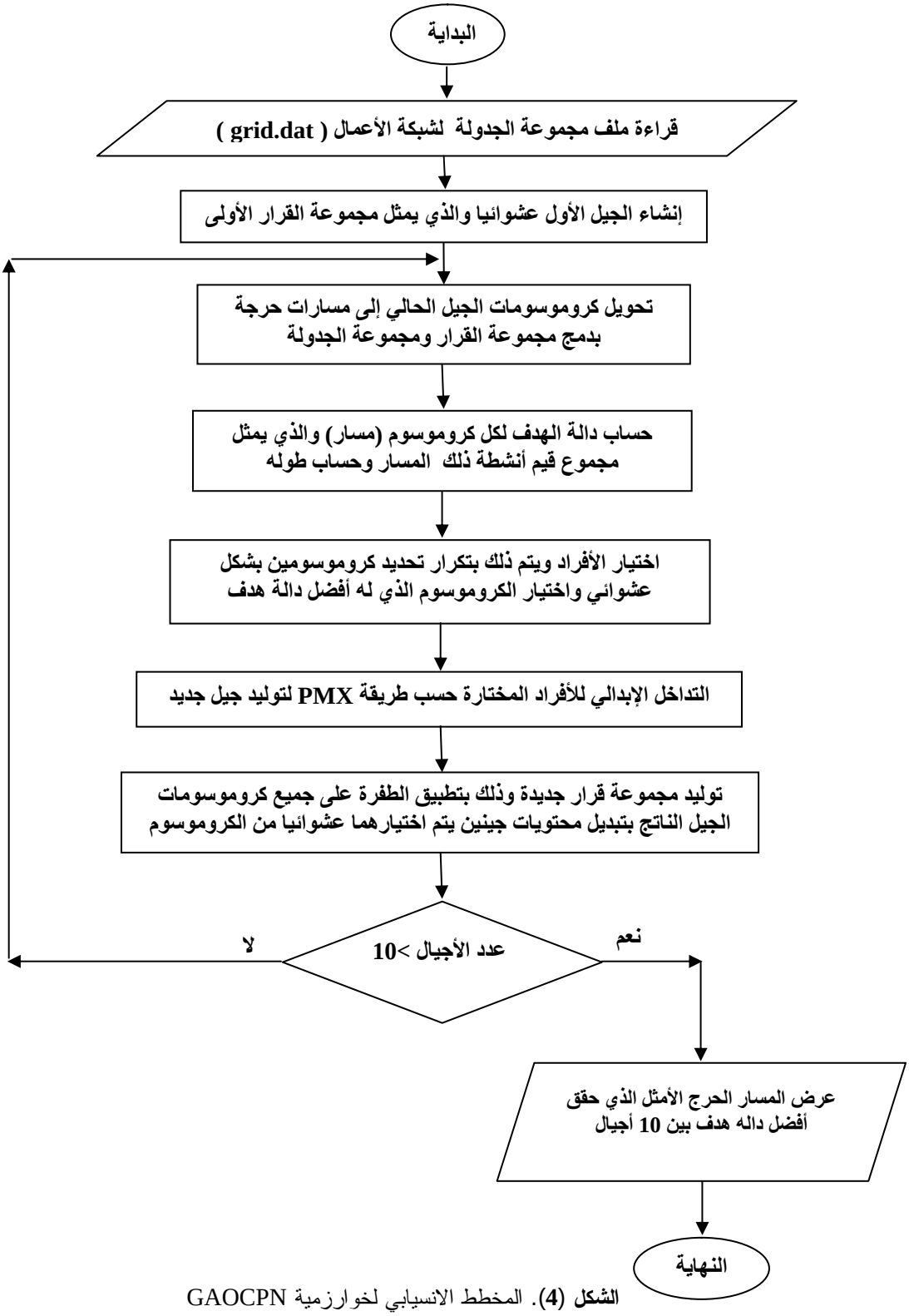
أساس عمل الخوارزمية هو إعطاء قيم أولية وتعد قيماً أولوية لاختيار العقدة مما سيسمح للخوارزمية بتوليد مسار حقيقي قد يرشح لاحقاً ليكون هو المسار الحرج الأمثل [12]،24]. الشكل (4) يوضح المخطط الانسيابي للخوارزمية المقترحة **GAOCPN**.

8-1 وصف هيكل بيانات الكروموسوم (مجموعة القرار)

أن الكروموسوم يمثل أحد الحلول الموجودة ضمن مجال البحث وبالتالي فهو أساس مجموعة القرار لكونه يمثل قائمة الأولويات لكل النشاطات المطلوب جدولتها . طول الكروموسوم مساويا لعدد العقد في الشبكة ولضمان عدم تكرار النشاط في الكروموسوم فالجين الأول يمثل العقدة رقم (1) وهكذا. أما قيم جينات الكروموسوم الواحد فيتم ترميزه باعتماد أوزان مختلفة Priority-Based Encoding محصورة بين (1) و(n) ويتغير وزن الجين من كروموسوم لآخر وذلك لغرض تنوع قائمة أولويات النشاطات (تنوع في مجموعة القرار) وهذا الوزن يعد أولوية لتحديد المسار الحرج. كما معلوم أن الجيل الأول يتم أنشاؤه عشوائيا أي يتم أعطاء أوزان عشوائية لجميع كروموسومات الجيل الأول.

8-2 وصف هيكل بيانات شبكة المشروع (مجموعة الجدولة)

وذلك بمسح الشبكة من اليسار وابتداءً بعقدة البداية (1) إذ يتم خزن العقدة والعقد المرتبطة بها في صف وخزن قيمها في الصف التالي وتستمر عملية الخزن تباعا وحسب تسلسل عقد الشبكة وباتجاه اليمين انتهاءً بعقدة النهاية (n). لاحظ الجدول (7)، إذ تعد العقدة 20 نشاطاً أخيراً لجدولة المشروع لكونها غير مرتبطة بأخرى.



الشكل (4). المخطط الانسيابي لخوارزمية GAOCPN

3-8 دمج مجموعة القرار ومجموعة الجدولة لتحويل الكروموسوم إلى مسار حرج حقيقي

كل كروموسوم يمثل مساراً حرجاً واقعياً ولاستنباط المسار منه نتبع الخطوات التالية [11]:

1- لجميع الشبكات أن أول نشاط فيها هو العقدة (1) أي أن جميع المسارات الحرجة تبدأ بالجين الأول فيكون:

Current_node = 1 , Path = 1 , Path_length = 1

2- تطبيق احد الحالات الثلاثة التالية:

الحالة الأولى: في حالة كون العقدة الحالية Current_node مرتبطة بعقدة واحدة (أي لها تفرع واحد) ولتكن العقدة i فنضع العقدة i في المسار.

الحالة الثانية: في حالة كون العقدة الحالية Current_node مرتبطة بعدة عقد فيتم اختيار العقدة التي لها أعلى وزن حسب مجموعة قرار الكروموسوم ولنفترض هي العقدة i ووضعها ضمن المسار.

في حالة تحقق الحالة الأولى أو الثانية نفذ التالي:

Current_node= i, Path=Path→i, Path_length= Path_length+1, Goto step 2

الحالة الثالثة : أما في حالة عدم تحقق الحالتين الأولى والثانية فهذا يعني أن العقدة الحالية Current_node غير مرتبطة بأي عقدة أي أنها آخر عقدة بالشبكة، عندها تم إيجاد المسار الحرج كاملا (Path) حسب قانون القرار وحساب عدد عقد ذلك المسار Path_length ثم حساب الهدف للمسار Path.

3- حساب دالة الهدف للمسار Path : $Fit = \sum_{i=1}^{Path-Length} value(i)$

i : رقم عقدة المسار. value : معيار الكلفة/الوقت/الربح للنشاط i.

4- تكرر الخطوات (3-1) لجميع الكروموسومات ولكل الأجيال والاحتفاظ بالمسار الذي له أفضل دالة هدف (Fit) وعدد عقده وطوله Path_length ليكون هو الحل الأمثل. ولتطبيق الخطوات الموضحة بالفقرة (8-2). الجدول (8) يمثل أحد الكروموسومات.

الجدول (8). كروموسوم يمثل مجموعة القرار لمسار حقيقي في شبكة جسر الصرافية

رقم العقدة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
الوزن	5	7	1	10	3	18	8	11	2	20	4	13	15	9	12	16	6	17	19	14

ولتحديد المسار الحرج لمجموعة القرار للكروموسوم أعلاه، وحسب الخطوة 1 نبدأ من الجين الأول لكونه يمثل أول نشاط في الشبكة فيكون Path=1 ولبناء جدولة حقيقية مع بداية ونهاية كل نشاط فيجب البحث عن النشاط التالي الذي ممكن تأديته بدون انتهاك لقيود الشبكة وبالرجوع إلى الملف (grid.dat) الذي يمثل مجموعة الجدولة نلاحظ أن العقدة الأولى مرتبطة بالعقد 2,3,4,13 وحسب الحالة الثانية فهنا يجب اختيار أحد هذه العقد التي لها اكبر وزن (أولوية) لوضعها ضمن المسار (Path) وتنجز هذه المهمة بالرجوع إلى الكروموسوم أعلاه لاختيار العقدة التي لها أكبر وزن فنلاحظ أن العقد 2,3,4,13 أوزانها 7,1,10,15 على التوالي فنختار العقدة 13 التي لها اكبر وزن ونضعها بنهاية المسار Path =1 → 13 ونستمر بهذه العملية لحين الوصول لآخر عقدة أي لعقدة خالية من التفرعات. وبالرجوع للملف (grid.dat) نلاحظ أن العقدة (13) مرتبطة بعقدة واحدة وهي العقدة (14) (وحسب الحالة الأولى) فنضع العقدة (14) في نهاية المسار أي أن Path =1 → 13 → 14، ونلاحظ أيضا أن العقدة (14) مرتبطة بعقدة واحدة وهي (20)، أيضا تضاف مباشرة لنهاية المسار فيكون المسار: Path =1→ 13 → 14 → 20 وبما أن العقدة (20) ليس لها أي تفرع (وحسب الحالة الثالثة) فعندها تمت عملية أيجاد مسار واقعي ذي طول 4 عقد (3 خطوات) والذي قيمة دالة الهدف له هو 42 يوماً. إذ أن مجموع قيم أنشطة المسار هو Fit = D+W+X أي أن Fit=30+10+2 = 42.

9- وصف برنامج GAOCPN

أن GAOCPN.EXE هو صندوق اسود لجدولة المشاريع أو تحسين الحلول السابقة للجدولة باختيار أمثلها حسب معيار الوقت،الكلفة أو الربح مع التقيد بهيكل وقيود الشبكة إذ يتم خزن الشبكة بملف مجموعة الجدولة (grid.dat). وللتأكد من صحة ومصداقية أداء البرنامج فقد تم اختباره على عدة شبكات وكلها أعطت نتائج دقيقة. ومراحل تنفيذ النظام كالآتي:

1- مرحلة تهيئة عوامل الخوارزمية الجينية المقترحة: والمتمثلة بالجدول (9).

الجدول (9). عوامل الخوارزمية الجينية GAOCPN

Population Size (pop_size)	10
No Of Generations	10
Selection Method	Binary select method
Crossover Method	Partially Mapped Crossover PMX
Mutation Method	simple swapping
Chromosome Size	No. of nodes in project network = N

2- مرحلة الإدخال: على المستخدم (مدير المشروع) تزويد النظام بملف (grid.dat) الذي يحوي مجموعة الجدولة (الأنشطة وقيمها) ثم يختار دالة الهدف (أقل كلفة أو وقت، أعلى ربح) وذلك بإدخال الرقم المقابل لدالة الهدف والبرنامج بمثابة صندوق اسود لكونه حلقة وصل لقراءة البيانات المدخلة ويقيم المسارات حسب الدالة المختارة.

3- مرحلة عرض النتائج: سيتم أظهار أفضل مسار تم إيجاده وطوله في كل جيل.

4- مرحلة الاستمرار: بعد الانتهاء من توليد 10 أجيال سيعرض المسار الحرج الأمثل وقيمة دالة الهدف له وطوله وعدد عقده ثم تظهر عبارة ?continue(Y/N) فإذا رغب المستخدم بالاستمرار بتوليد (10) أجيال أخرى كتوقع منه بوجود حل أمثل من الحل الحالي فعليه إدخال Y وباستمرار اختيار Y سيؤدي لاحقاً إلى استقرار الحل ولا يعطي التنفيذ أي تحسن للحل فهنا ليس هناك جدوى من الاستمرار في التنفيذ وعندها ننصح المستخدم بإدخال N لإيقاف التنفيذ واعتماد المسار الذي يظهره البرنامج بكونه أمثل مسار حرج للشبكة.

ففي الشبكة الموضحة بالشكل (1) تحوي على 13 مرحلة و29 نشاط و20 عقدة تم الوصول إلى الحل الأمثل عند الجيل الثالث والمسار 20 19 18 17 16 15 10 9 8 6 5 3 1 طوله 12 ودالة الهدف 347 يوماً. وخوارزميات البرامج الفرعية لبرنامج GAOCPN.CPP موضحة كالآتي:

أ) **<u>إنشاء الجيل الابتدائي (الأول) بتوليد كروموسومات عشوائيا بعدد (Pop-Size) و(N) طول الكروموسوم:</u>**

1) لجميع قيم i حيث i =1,2,…,pop-size نفذ الخطوات الآتية
2) لجميع قيم j=1,2,…,N نفذ الخطوات الآتية
3) توليد رقم عشوائي k بحيث أن $N \geq k \geq 1$
4) في حالة تكرار الجين k في الكروموسوم i أذهب إلى الخطوة (3) وإلا ضع الجين k في الموقع j من الكروموسوم i

5) أذهب إلى الخطوة (2)
6) في حالة تكرار الكروموسوم i في الجيل الأول أذهب إلى الخطوة (2)
7) أذهب إلى الخطوة (1)

ب) أيجاد المسار المطابق للكروموسوم وحساب دالة الهدف:

1) لجميع قيم i حيث i=1,2,…,pop-size نفذ الخطوات الآتية
2) تهيئة طول المسار PL=0 ، العقدة الحالية cn=1 ، المسار P=1
3) نفذ الخطوات الآتية في حالة cn ≠ N
4) PL=PL+1
5) اختيار العقدة التالية للعقدة cn التي لها أعلى وزن chn
6) P=P→ cn و cn=chn
7) أذهب إلى الخطوة (3)
8) حساب دالة الهدف للمسار P
9) أذهب إلى الخطوة (1)

ج) انتقاء الآباء:

1) توليد رقم عشوائي k بحيث أن Pop_Size ≥ k ≥ 1
2) توليد رقم عشوائي ℓ بحيث أن Pop_Size ≥ ℓ ≥ 1
3) أذا كانت k = ℓ أذهب إلى الخطوة (2)
4) اختيار أحد الكروموسومين k أو ℓ استنادا إلى أفضل دالة هدف

د) التداخل الإبدالي لتوليد الأبناء:

1) توليد رقم عشوائي j بحيث أن N ≥ j ≥ 1
2) توليد رقم عشوائي k بحيث أن N ≥ k ≥ 1
3) أذا كانت j = k أذهب إلى الخطوة (2)
4) إجراء عملية التداخل الإبدالي للجينات الواقعة بين j و k لكل كروموسومين متتاليين من الآباء

هـ) الطفرة:

1) توليد رقم عشوائي a بحيث أن N ≥ a ≥ 1
2) توليد رقم عشوائي b بحيث أن N ≥ b ≥ 1
3) أذا كانت a = b اذهب إلى الخطوة (2)
4) أجراء عملية الطفرة بالمبادلة بين الجين a و b لكروموسومات الأبناء

5- آلية عمل GAOCPN: بالنسبة لآلية التنفيذ فان نتيجة ووقت التنفيذ لأول خمسة أجيال كانت كالآتي:

حيث أن صيغة الوقت Hour: Minute: Second. Hundredths of seconds

The current time is: 10:26:35.50

……. GENETIC ALG. FOR PATH SCHEDULING …….

The Fitness Function according to :

1- MAXIMIZATION (Profit or days).
2- MINIMIZATION (Cost or Time).
Select (1 or 2): **1**

تسلسل الجيل	تسلسل الكروموسوم	أفضل كروموسوم بالجيل الذي يحقق أفضل مسار أفضل مسار بالجيل	قيمة دالة الهدف	طول المسار
1	1	8 13 20 10 1 4 2 5 6 17 16 9 14 11 12 19 7 18 15 3 1 3 5 8 9 10 15 16 17 18 19 20	283	11
2	6	16 13 20 10 19 17 2 5 6 4 12 9 1 7 11 14 18 3 8 15 1 3 5 6 8 9 11 12 13 14 20	312	10
3	9	4 14 16 5 10 15 11 6 13 17 8 9 2 20 12 19 7 18 1 3 1 3 5 6 8 9 10 15 16 17 18 19 20	347	12
4	10	10 14 12 8 18 13 1 6 7 5 20 11 3 17 16 2 9 4 15 19 1 2 3 5 6 8 9 11 14 20	285	9
5	7	2 9 16 15 13 10 7 5 11 19 3 12 14 20 1 8 17 6 18 4 1 3 5 6 8 9 10 15 17 18 19 20	346	11

THE OPTIMAL Path ACCORDING TO Max. (Profit/days) is: 1 3 5 6 8 9 10 15 16 1 7 18 19 20
Fitness = 347 Days.
No. of Steps = 12
The current time is: 10:26:35.52
Continue (y/n) ? : **n**
..... PRESS ANY KEY TO EXIT .....

6- تقييم تصميم وأداء GAOCPN:

1- إن الملف المقترح من قبل الباحثين لهيكل بيانات مجموعة الجدولة، الذي يخص جسر الصرافية الممثلة بعشرين عقدة ذي حجم 277 بايت وبالمقابل فان تمثيلها كمصفوفة لكانت أبعادها 20*20*4 (حجم العدد) أي 1600 بايت وبهذا يتضح أن صيغة هيكل ملف مجموعة الجدولة أكفأ من المصفوفة.

2- يتميز تصميم GAOCPN.CPP بجعل برنامج فرعي خاص بكل خطوة من خطوات الخوارزمية الجينية وبالتالي سهولة تطويره واستحداثه من قبل المبرمج مستقبلاً.

3- يتبين من خلال وقت التنفيذ الذي استغرق 2 من مئة جزء من الثانية والذي تم خلاله قراءة ملف مجموعة الجدولة وتوليد خمسة أجيال لكل جيل عشرة حلول أي لخمسين احتمال من الحلول مع طباعتها وان تعامل وحدة المعالجة المركزية CPU مع أجهزة الإدخال والإخراج استغرق الوقت الأكبر من وقت التنفيذ.

4- في حالة عدم طباعة الحلول الوسطية والممثلة بالمسار الأمثل لكل جيل والاكتفاء بطباعة المسار الحرج الأمثل لعشرة أجيال أي لمئة احتمال نلاحظ أن الوقت هو نفسه قبل وبعد التنفيذ أي انه استغرق اقل من واحد من مئة جزء من الثانية.

5- خطوات التنفيذ تحقق ميزات الخوارزمية الجينية من ناحية الرصانة Robustness كأن يكون الحل الأمثل يعتبر كنقطة بداية لتحسين الحل ويتضح ذلك بظهور عبارة : Continue (y/n) ? . وتحقق ميزة العمومية Generality لأنها تلائم كل أنواع الشبكات ومهما كانت درجة تعقيدها من ناحية عدد عقدها ومساراتها. وكذلك الدقة Accuracy والقدرة على إيجاد حل امثل ودقيق وهذا لا يتطلب خبرة في الأمثلية وبحوث العمليات، وأخيرا يمتاز GAOCPN بسهولة تنفيذه ولا يتطلب أي مهارة أو خبرة لتنفيذه.

10- الاستنتاجات

1- أظهرت النتائج أن GAOCPN أكثر ملائمة لمسائل الجدولة المعاصرة لكونه مرناً تماما بما يخص التعديل على هيكل الشبكة ودقيق وكفوء لحل أحد المسائل التي تخص جدولة المشاريع فهي أداة مهمة وذات قيمة عظيمة لمدراء المشاريع لإدارة مشاريعهم حاسوبيا.

2- يمتاز GAOCPN بكونه سهل الاستخدام Friendly وبالمصداقية Validation واكتساب القناعة بان النموذج يعمل واقعياً وبنجاح.

3- GAOCPN أعطت فرصة أكبر لاستخدام مسائل الأمثلية كمرشد (دليل) لمدير المشروع لاتخاذ القرار الصائب الذي يمثل أعلى ملائمة في مجال البحث.

4- إن أسلوب دمج مجموعة القرار ومجموعة الجدولة سرع عملية الاقتراب من الحل والوصول للحل لأنها تغطي كل المسارات الحرجة (فضاء البحث) ومن ضمنها المسار الحرج الأمثل.

5- استخدام تقنيات البحث الذكية GA لحل مسائل بحوث العمليات وبالأخص ومنها (البرمجة الخطية).

6- بالنسبة لطريقة البرمجة الديناميكية كان الحد الأعلى لانجاز مشروع جسر الصرافية حسب الطريقة المباشرة هو 347 يوما. و274 يوم حسب الطريقة الأمامية. و295 يوم حسب الطريقة العكسية. وهذا التفاوت بالنتائج تربك متخذ القرار، بينما GAOCPN فهو نظام يعزز من اتخاذ القرار الصائب. ونلاحظ أن الطريقة المباشرة أعطت النتيجة الأصح والمماثلة لنتيجة GAOCPN لكونها تبحث في جميع الاحتمالات (فضاء البحث)، غير أن GAOCPN فهو بحث تخميني ذكي.

7- تفوق الخوارزمية الجينية المقترحة على بحوث العمليات فالخوارزمية الجينية لا تعتمد على معرفتنا بطرق الأمثلية التي تبنتها بحوث العمليات لإيجاد المسار الحرج (كالطريقة المباشرة، الأمامية والعكسية). فأسلوب الخوارزمية الجينية مستقل ومختلف تماما وكليا عن هذه الطرق التقليدية بوصفه احد التقنيات الذكائية.

11- التوصيات

1- نؤكد ونوصي باستخدام التقنيات الذكائية كالخوارزمية الجينية (GA) والمنطق المضبب (Fuzzy Logic) والشبكات العصبية (Neural Networks) بوصفها أساليب حديثة تضاف لمجال بحوث العمليات ومقارنة نتائجها مع نتائج الطرق التقليدية لحل مسائل بحوث العمليات ودراستها وتحليلها علميا واستنباط الأكفأ منها لاعتمادها عمليا في مجال بحوث العمليات.

2- أن أي تغيير في خطة المشروع يتطلب تعديل شبكة المشروع وذلك بتعديل ملف (grid.dat) ثم أعادة تنفيذ (GAOCPN.EXE) للحصول على نتائج أدق بكونها تحقق مسألة الوقت الحقيقي (Real Time).

3- أدارة المشاريع ومهارات الجدولة يصبح تنظيمها حرجا جدا في الظروف البيئية الديناميكية إذ أن (90%) من المشاريع تعد بيئة مشاريع متعددة (multi projects) وتنفذ بشكل عدة مشاريع فرعية وهذا النوع من المشاريع شائع جدا [14]،[19]، ولهذا فمن الضروري جدولتها بالطرائق الذكية لتحسين أدارة هذا النوع من المشاريع الضخمة وذلك بتصميم مشاريع موزعة يسيطر عليها من قبل عدة GAOCPN تعمل بشكل متوازٍ (Parallel GAOCPN). حيث أن GAOCPN في هذا البحث خاصة ببيئة مشروع واحد ويمكن اتخاذها لحل بيئة المشاريع مثل المشاريع النووية، صناعة الصواريخ العابرة للقارات، مكوك الفضاء، صناعة الطائرات.

المصادر

[1] الراشدي، زيد محمد محمود(2009). " أسلوب بيرت باستخدام توزيع ثنائي القوة في تخطيط ومتابعة المشاريع: بالتطبيق على إعمار جسر الصرافية، رسالة ماجستير(غير منشورة)، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة الموصل.

[2] Abraham A., Jain, L. and Goldberg R., (2005). "Evolutionary multiobjective optimization: Theoretical Advances and Applications", Spring-Verlang, USA.

[3] Ackley, A., Baker, J., and Lowe, S. (2007). "Top ten CPM scheduling mistakes."Rail Conference 2007 Proceedings, June, 2007, Toronto, On.

[4] Alba, E. and Chicano, J.F., (2007), "Software project management with GAs", Information sciences, Vol.177, Issue 11, pp.2380-2401.

[5] Deiranlou, M; Jolai, F. (2009), "A New Efficient Genetic Algorithm for project scheduling under resource constraints", World Applied Sciences Journal 7(8), pp.987-997.

[6] Demeulemeester, E.L. and Herroelen, W.S., (2002), "Project Scheduling: A Research Handbook", Kluwer Academic Publishers, USA.

[7] Eiselt, H.A. and Sandblom, C.L. (2010), " Operations Reseearch A Model-Based Approach", Springer –Verlag Berlin Heidelbrg, Germany.

[8] Elbeltagi, E.; Elkassas, E.; Abdel Rasheed, I. and AL-Tawil, S., (2007), " Scheduling and cost optimization of repetitive projects using genetic algorithms", ICCTA, pp.319-327.

[9] Eshtehardian, E., Afshr, A., and Abbasnia, R. (2008). "Time–cost optimization: using GA and fuzzy sets theory for uncertainties in cost." *Construction Management and Economics*, 26, 679-691.

[10] Gonçalves, J. F. (2002), "Mendes, J.J.M., Resende, M. G. C.: A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problem", AT&T Labs Research Technical Report TD-5EAL6J, AT&T Labs Research.

[11] Hartmann, S., (1997), "A Competitive Genetic Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling", No.451,Manuskipte aus den instituten fur Betriebswiertsch- aftslehre der universitat Kiel.

[12] Hartmann,S.(2002), "A Self-Adapting Genetic Algorithm for Project Scheduling under Resource Constraints", Naval Research Logistics,49,pp.433-448.

[13] Hutchings, J.E., (2004), "Project Scheduling Handbook", Marcel Dekker, Inc.. USA.

[14] J.F. Gonçalves, J.J. de Magalhaes Mendes, M.G.C. Resende, A Genetic Algorithm for the Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem, AT&T Labs Technical Report TD-668LM4, (2004).

[15] Justesen,P.D.(2009),"Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithm", University of Aarhus, Denmark.

[16] Kam, C.(2005)," Dynamic Decision Breakdown Structure Ontology, Methodology, and Framework for Information Management in Support of

Decision-Enabling Tasks in the Building Industry", Civil and Environmental Engineering of Stanford University (2005).

[17] Karova, M.; Petkova, J. and Smarkov, V., (2008), "A Genetic Algorithm for Project Planning Problem", International Scientific Conference Computer Science, pp.647-651.

[18] Khalaf, W.S.; June, L.W., (2009), "A linear programming approach for the project controlling", Research Journal of Applied Sciences, 4(5), pp.202-212.

[19] Kilic, M., (2003), "Multiobjective Genetic Algorithm Approaches to Project Scheduling Under Risk", MS.C Thesis, Graduate School of Engineeing and Natural Sciences, Sabanic University .

[20] Lew, A. and Mauch, H., (2007), "Dynamic Programming A Computational Tool",Springer _ Verlag Berlin Heidelberg. New York ,USA .

[21] Li, Y.; He, R.and Guo, Y. (2006), "Faster Genetic Algorithm for Network Paths", The Sixth International Symposium on Operations Research and its Applictions (ISORA), china PP.380 -389.

[22] Lin, L., and Gen, M., (2009), "Priority –Based Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem in OSPF", Intelligent and Evolutinary Systems, SCI 187-, PP.91 -103 .

[23] Menesi, W., (2010), "Construction Scheduling Using Critical Path Analysis with Separate Time Segments, "Ph.D Thesis, University of Waterloo, Waterloo, Canada.

[24] Mitsuo Gen and Lin Lin, (2005), "Multi-objective hybrid genetic algorithm for bicriteria network design problem", Graduate School of Information, Production & Systems, Waseda University, Wakamatsu-ku, Complexity International Vol.11, Kitakyushu 808-0135, JAPAN,pp.73-83.

[25] Raviravindran, A., (2009), "Operations Research Applictions", CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, USA .

[26] Roy, G.L AND Stelth, P., (2009), "Projeots` Analysis Through CPM (Critical Path Method)", School of Doctoral Studies (European Union) Journal, No.1, PP.10-51.

[27] R. Kolisch, R. Padman, An integrated survey of project deterministic scheduling, International Journal of Management Science 29(3) (2001) 249–272.

[28] Shouman, M.A., Ibrahim, M.S; Khater, and Forgani, A.A., (2006), "Genetic Algorithm Constraint Project Scheduling", Alexandria Engineering Journal, V.45, No.3, PP.289-298.

[29] Sivanandam, S.N. and Deepa, S.N., (2008),"Introduction to Genetic Algorithms", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, USA.

[30] Sniedovich, M., (2011), "Dynamic Programming Foundation and Principles", Second Edition, CRC Pres, Taylor and Francis Group, LLC, USA .

[31] Srivastava, P.R. and Kim, T-H, (2009), "Application of Genetic Algorithm in Software Testing", International Journal of Software Engineering and its Applications, Vol. 3, No.4, PP.87-95.

[32] T.R. Browning, (2001), "Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions", IEEE Transactions on Engineering Management, 48(3), 292-306.

[33] Valls, V., Ballestín, F., Quintanilla, S., (2007), "A Hybrid Genetic Algorithm for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem, European Journal of Operational Research.

[34] Woolf, M. (2008). "When is the critical path not the most critical path?" AACE International Transactions, PS.07.1-PS.07.9.

[35] Zahraie, B. and Tavakolan, M. (2009). "Stochastic time-cost-resource utilization optimization using nondominated sorting genetic algorithm and discrete fuzzy sets." *Journal of Construction Engineering and Management, ASCE*, 135(11), 1162–1171.

[36] Zhao, T.and Tseng, C-L, (2003), "A note on activity flouts in activity–on–arrow networks", Journal of the Operationl Reseach Society, 54, PP.1296 -1299.

[37] Zhegazy T., and Menesi W., (2010), "Critical Path Segments (CPS) scheduling technique", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 136(10).