استعمال الخوارزمية الجينية (GA) لإيجاد الامثلية في انجاز المشاريع

Using the Genetic algorithm (GA) to find optimization in project completion

الاستاذ المساعد الدكتور عبد المنعم كاظم حمادي

Asst. Prof. Dr. Abud Almunam Kidam Hemidi

علي حسين عبد علي

Ali Hussen Abd Ali

مستخلص البحث

ان تحليل المبادلة بين الوقت والكلفة (Time-Cost Trade-off) (TCT) تعتبر واحدة من اهم جوانب التخطيط والسيطرة في مشاريع البناء ونتيجة لهذا فقد ظهرت تقنية (TCT) المهمة والضرورية لانجاز المشاريع و يتلخص عمل هذه التقنية بتوظيف اقل تكلفة موارد لازمة وممكنة لانجاز انشطة المشروع وبأقصر وقت عن طريق اجراء عمليات التخطيط والجدولة والرقابة بواسطة استعمال برمجيات ادارة المشاريع كاستعمال برنامج (MS Project) وبتطبيق هذا الاسلوب فأن التكلفة الاجمالية للمشروع يمكن ان تنخفض من خلال استخدام موارد اقل تكلفة للأنشطة غير الحرجة دون التأثير على مدة انجاز المشروع ، ان الاساليب القائمة في تحليل تقنية (TCT) تركز اساساً على استخدام الاستدلال او البرمجة الرياضية وهذه الطرق مع ذلك ليست فعالة بما فيه الكفاية لحل ومعالجة مشاكل شبكات (CPM) واسعة النطاق ذات الانشطة الكثيرة والمتعددة لذا فأن الانتقاء الطبيعي المتماثل وعلم الوراثة في الاستنساخ قد اعتمد في الخوارزميات الجينية (Gas) بنجاح في حل العديد من مشاكل العلوم والهندسة وأثبتت انها وسيلة فعالة للبحث عن الحلول المثلى في مجال المشاكل الكبيرة والمعقدة ، يقدم هذا البحث خوارزمية تقوم على مبدأ الخوارزميات الجينية (Gas) لإيجاد الامثلية في انجاز المشاريع باستعمال برنامج (MS Project) .

مفاتيح الكلمات : المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) ، برنامج ادارة المشاريع (MS Project) ، الخوارزمية الجينية (GA) ، الامثلية ، تطبيقات الحاسوب .

Abstract

Time-Cost Trade-off (TCT) analysis is one of the most important aspects of planning and control in construction projects. As a result, TCT technology has emerged and is essential for the completion of projects. The work of this technique is to employ the lowest cost resources necessary and possible. In order to accomplish project activities in the shortest time through planning, scheduling and monitoring by using project management software using MS Project, the total cost of the project can be reduced by using less expensive resources for non-critical activities without affecting the project completion time (TCT) focuses mainly on the use of inference or mathematical programming. These methods, however, are not yet effective enough to solve and address large-scale network problems (CPM) with multiple and multiple activities. Therefore, transgenic natural selection and genetics in cloning may It has been successfully used to solve many problems of science and engineering and has proven to be an effective way to search for optimal solutions in the field of large and complex problems. This research provides an algorithm based on the principle of (Gas) algorithms to find optimization Projects using the program (MS Project).

Keywords: Time and Cost Comparison (TCT) , Project Management Software (MS Project) , Genetic Algorithm (GA) , Optimization , Computer Applications.

الفصل الاول– المقدمة ، هدف البحث ، مشكلة البحث ، الاستعراض المرجعي

1–1 : المقدمة (Introduction)

يواجه مخططي عمليات البناء قرارات اختيار المصادر المناسبة بما في ذلك احجام الطاقم والمعدات والأساليب والتقنيات لأداء انشطة المشروع وهذه القرارات تقرر في نهاية المطاف مدة وكلفة انجاز المشروع على سبيل المثال استخدام معدات اكثر انتاجية او توظيف المزيد من العاملين توفيراً للوقت لكن التكلفة الاجمالية للمشروع يمكن ان تزداد وتسمى هذه العملية بالمبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) اي ايجاد الطريقة الاكثر فاعلية من حيث التكلفة لانجاز المشروع في غضون فترة زمنية مرغوب فيها من قبل المخططين للمشروع وبسبب علاقة الوقت والتكلفة بأنشطة المشروع فأن هذه العملية عادةً ما تستغرق عدد كبير من التكرارات لتحديد الطرق والمعدات وإحجام الطاقم المناسب للحصول على مدة اجمالية مقبولة للمشروع في حدود المهلة الزمنية التعاقدية ولكون معظم الانشطة هي انشطة ليست فعالة (انشطة خاملة) فيمكن لهذه الانشطة التأخر في الانجاز دون ان يؤدي هذا التأخر في التأثير على المدة الاجمالية للمشروع حيث يمكن لمخططي المشروع القيام بما يسمى تحليل المبادلة بين الوقت والتكلفة لخفض التكاليف دون التأثير على مدة المشروع ، ان التقنيات التقليدية الموجودة لمعالجة مشكلة المبادلة بين الوقت والكلفة (TCTP) تقسم الى صنفين وهما :

1–الطرق الارشادية : تعتمد الاساليب الارشادية على قواعد معينة تفتقر عموماً الى الدقة الرياضية ولا تضمن المثالية في معالجة المشاكل .

2–نماذج البرمجة الرياضية : نماذج البرمجة الرياضية تحول (TCTP) الى نماذج رياضية وتستخدم البرمجة الخطية والبرمجة الصحيحة او البرمجة الديناميكية لحلها .

ان الاساليب الارشادية ونماذج البرمجة الرياضية تظهر كلاً من نقاط القوة الضعف في حل (TCTP) حيث يمكن للنهج الارشادي اختار الانشطة بناءاً على معايير معينة في الاختيار ولكنها لا تضمن الحلول المثلى ومن ناحية اخرى فالنماذج الرياضية تتطلب جهود حسابية كبيرة وبعض النماذج لا تقدم الحل الامثل على حد سواء بالإضافة الى ذلك الشبكات الواسعة النطاق المتكونة من عدد كبير من الانشطة مع علاقات الوقت والتكلفة المتقطعة هو امر شاسع بالنسبة لمعظم مشاريع البناء لهذا فأن الوسائل الارشادية ونماذج البرمجة الرياضية لا يمكنها الحصول على الحلول المثلى بكفاءة لهذا السبب ظهرت الحاجة من اجل تطوير طرق اكثر كفاءة للحصول على حلول مثلى لمشاريع البناء مع علاقات الوقت بالتكلفة ، يقدم هذا البحث خوارزمية جديدة تقوم على مبدأ الخوارزميات الجينية لحل مشكلة المبادلة بين الوقت والكلفة (TCTP) باستعمال برنامج (MS Project) .

2–1 : مشكلة البحث (Research problem)

ان الكثير من المشاريع في الواقع تعاني من مشاكل معينة في الانجاز وبخاصة مشاريع الابنية وتتمثل هذه المشاكل في عدم الالتزام بالمواعيد والفترات الزمنية المقررة ضمن خطة التنفيذ واحدى هذه المشاريع المتلكئة هو مشروع بناء ملحق قسم هندسة الانتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية حيث يتطلب انجاز هذا المشروع ضمن المده الزمنية المرغوب فيها تخصيص المزيد من الموارد على حساب تكلفة مباشرة اعلى للأنشطة وتسمى هذه العملية بالمبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) اي تحديد مدة كل نشاط من اجل تحقيق الحد الادنى للتكاليف الاجمالية وبالتالي تقليص مدة انجاز المشروع .

1-3 / هدف البحث (Search goal)

يهدف هذا البحث الى وضع نهج اكثر واقعية لإيجاد الامثلية لوقت وكلفة انجاز احدى المشاريع المتلكئة في الجامعة التكنولوجية والمتمثل بمشروع بناء ملحق قسم هندسة الانتاج والمعادن عن طريق تطبيق تقنية المبادلة الحديثة بين الوقت والكلفة (TCT) (Time-Cost Trade-off) لتقليص وقت تنفيذ المشروع وبأقل زيادة ممكنة في التكاليف باستعمال برمجيات ادارة المشاريع كاستعمال برنامج (MS Project) ثم إيجاد الحل الامثل لنتائج عملية المبادلة بمعنى ايجاد الوقت الامثل والكلفة المثلى لانجاز المشروع باستعمال خوارزميات الذكاء الاصطناعي كاستعمال الخوارزمية الجينية (GA) للحصول على مشروع متكامل وناجح ضمن الفترات الزمنية والتكاليف المخطط لها وضمن الموارد المتاحة للجهة المنفذة للمشروع .

1-4 / الاستعراض المرجعي (Literature review)

وضع الباحث (Hegazy ، 1999 ، 685-694) انموذج عملي لخوارزمية جينية (GA) من خلال تنفيذ بروتوكولات للخوارزمية الجينية مع (MS Project) وقد اثبت هذا الانموذج تحسناً بالمقارنة مع نماذج (GA) السابقة ، تم تنفيذ الانموذج ضمن برنامج ادارة مشروع تجاري وذلك باستعمال لغة برمجة (Macro) حيث يوفر البرنامج المطور اداة جيدة يمكن استعمالها في الممارسات العملية و اثبت تطبيق (GA) في عمليات البناء كفاءة كبيرة لعدم تأثرها بالقيود المفروضة على البرمجة الرياضية .

قام الباحثون (Azaron., Perkgoz. & Sakawa ، 2005 ،1317-1338) بتطوير انموذج احتمالي باستعمال (GA) لحل (TCTP) في شبكة اعمال (PERT) ، تم صياغة انموذج تحقيق الاهداف للحصول على الموارد المثلى المخصصة للأنشطة وتمثلت هذه الاهداف في تقليل التكلفة المباشرة وتقليل متوسط وقت الانجاز وتقليل التباين وتعظيم احتمال عدم تجاوز الوقت اللازم لانجاز المشروع حد معين وبعد صياغة الانموذج تم تطبيق الـ (GA) لمعالجة مشكلة الصعوبة في السيطرة على كمية الموارد المخصصة لكل نشاط في المشروع .

وضع الباحثون (Lakshminarayanan, Gaurav & Arun ، 2010 ، 22-38) نهج ارشادي متعدد وهو خوارزمية مستعمرة النمل متعددة الاهداف لتعظيم الاستفادة من ثلاثة اهداف وهي الوقت والكلفة والمخاطرة في مشاريع البناء والتشييد ، تم التحقق من كفاءة الخوارزمية المقترحة وتوظيف الانموذج المقترح لتحسين عملية (TCT) حيث استطاع هذا الانموذج التنبؤ بتكلفة ووقت المشروع بشكل اكثر دقة بالمقارنة مع التقنيات التقليدية السابقة .

اقترح الباحثان.(Goncharov & Leonov ، 2017 ،1101-1114) خوارزمية جينية لمعالجة مشكلة جدولة مشروع ذا موارد مقيدة (RCPSP) بالاعتماد على معيار الحد الادنى ، قام الباحثان بتطبيق (GA) مع اثنين من عمليات الانتقال استناداً الى فكرة الاستخدام الامثل للموارد المقيدة من خلال تطبيق خوارزمية تستخدم الدمج المتناوب وقاعدة استدلالية تجريبية لاختبارها تأخذ بعين الاعتبار درجة الاهمية للموارد وقد تمت مقارنة نتائج الخوارزمية المقترحة مع نتائج خوارزميات اخرى حيث اثبتت الخوارزمية المقترحة تفوقاً كبيراً على مثيلاتها في اعطاء نتائج اكثر دقة وواقعية .

الفصل الثاني / الجانب التطبيقي

المبحث الاول / المبادلة بين الوقت و الكلفة (TCT)

2-1-1 اسلوب المسار الحرج (CPM) (Critical Path Method)

يعرف المسار الحرج (Critical Path) بأنة اطول مسار في شبكة اعمال المشروع ويمثل الزمن الكلي لتنفيذ المشروع ويطلق على الانشطة المكونة لهذا المسار بالأنشطة او الفعاليات الحرجة (Critical Activities) والتي تربط نقطة البداية مع نقطة النهاية في المخطط الشبكي ، سميت بالأنشطة الحرجة وذلك لان أي تأخر في تنفيذ احد او جميع هذه الانشطة يؤدي الى تأخر انجاز المشروع بأكمله لكون الوقت الفائض لتنفيذها يساوي صفر (باشيوة ، 2011 ، 330)

2-1-1-1 الحسابات المتقدمة او الامامية (Farward pass Calculations) (الشمرتي،2010،331-333)

تعتمد هذه الطريقة على حساب الاوقات المبكرة (ET) للحدث الاول ، تبدأ هذه الحسابات من اول حدث وتتسلسل بشكل منطقي الى الحدث الاخير ، تبدأ هذه الحسابات بحسب الصيغة الرياضية التالية

$ET_i = LT_i = 0$

تتقسم الصيغ الخاصة بالحسابات الامامية الى عدة انواع وكما يلي :

أ- لأي مخطط شبكي فأن الحدث الاول (i) يكون بحسب الصيغة الرياضية التالية :

$ET_1 = LT_1$ ..... $(1-2)$

ب- اذا ارتبط الحدث (j) في المخطط الشبكي بنشاط واحد فقط فأن الصيغة الرياضية له تكون

$ET_j = ET_i + D_{ij}$ .....$(2-2)$

ت- اذا ارتبط الحدث (j) بأكثر من نشاط واحد في المخطط الشبكي فأن الصيغة الرياضية له

$ET_j = Max \{ ET_i + D_{ij} \}$ ..... .$(3-2)$

ث- العلاقات المتقدمة للأنشطة وتتمثل في حساب فترات التقديم والتأخير وكما مبين في ادناه :

$ET_j = ET_i + e + D_{ij}$ .....$(4-2)$

$ET_j = ET_i - e' + D_{ij}$ .....$(5-2)$

2-1-1-2 الحسابات الخلفية او المتأخرة (Backward pass Calculations) (حسن،2013 ،214)

تعتمد هذه الطريقة على حساب الاوقات المتأخرة (LT) ، تبدأ هذه الحسابات من حيث انتهت الحسابات الامامية بمعنى اخر هذه الحسابات تبدأ من الحدث الاخير (j) في المخطط الشبكي وتتسلسل بشكل تراجعي وصولا الى الحدث الاول (i) ، تبدأ هذه الحسابات حسب الصيغة الرياضية التالية :

$ET_j = LT_j$

تتقسم الصيغ الخاصة بالحسابات الخلفية الى عدة انواع وكما مبين في ادناه :

أ- لأي مخطط شبكي فأن الحدث الاخير (j) يكون بحسب الصيغة الرياضية التالية :

$LT_{j(Finish)} = ET_{j(Finish)}$ ..... (6 - 2)

ب-اذا ارتبط الحدث (i) في المخطط الشبكي بنشاط واحد فقط فأن الصيغة الرياضية له تكون

$LT_i = LT_j - D_{ij}$ ..... (7- 2)

ت- اذا ارتبط الحدث (i) بأكثر من نشاط واحد فأن الصيغة الرياضية له تكون بالشكل التالي :

$$LT_i = Min \{ LT_j - D_{ij} \} \quad ..... (8 - 2)$$

ت- العلاقات المتقدمة للأنشطة وتتمثل في حساب فترات التقديم والتأخير وكما مبين في ادناه :

$$LT_i = LT_j + e' - D_{ij} \quad ..... (9 - 2)$$

$$LT_i = LT_j - e - D_{ij} \quad ..... (10 - 2)$$

وعلى هذا الاساس يكون النشاط (i,j) حرجاً اذا حقق الشروط الثلاثة التالية (Taha،2011،288)

1- $ET_i = LT_i$

2- $ET_j = LT_j$

3- $D_{ij} = ET_j - ET_i = LT_j - LT_i$

2-1-3 اوقات المرونة او الاوقات الفائضة (Float Times) (باشيوة، 2011،335)

تسمى اوقات المرونة ايضاً بالاحتياط الزمني وتحسب بالساعة او اليوم او الاسبوع ... الخ ، ان لهذه الاوقات دور كبير ومهم في حل المشاكل والحالات التي تؤثر في انجاز المشروع وذلك لأنها تساهم في ايجاد مساحة للتحرك في حال حدوث تأخر او تلكؤ في الفترات الزمنية وتكون هذه الفترات الخاصة بالأنشطة الحرجة ذات قيم صفرية ، ان اوقات المرونة تتيح لمتخذ القرار امكانية تقليص مدة انجاز المشروع عن طريق استثمار علاقات الانشطة فيما بينها وأوقات المرونة تكون على نوعين وهي :

أ- الوقت المرن الكلي (Total Float Time) (العبيدي و الفضل ، 2010 ، 206)

هو اطول فترة زمنية يمكن خلالها تأجيل تنفيذ فعالية معينة من دون ان يؤثر هذا التأجيل على الوقت الاجمالي لانجاز المشروع ويعبر عنه بـ (TF_{ij}) ويمكن ايجاده من خلال الصيغة الرياضية التالية :

$$TF_{ij} = LT_j - ET_i - D_{ij} \quad .....(11 - 2)$$

بالإمكان تحديد المسار الحرج عن طريق الوقت المرن الكلي وذلك لان الانشطة التي لها وقت مرن كلي مقداره صفر تعتبر انشطة حرجة .

ب- الوقت المرن الحر (Free Float Time) (Gupta، 2008،1174)

هو اطول فترة زمنية يمكن خلالها تأجيل تنفيذ فعالية معينة في حال بدأت جميع الفعاليات الاخرى ضمن الفترات الزمنية المبكرة لها ويعبر عنه بـ (FF_{ij}) ويمكن ايجاده من خلال الصيغة الرياضية التالية

$$FF_{ij} = ET_j - ET_i - D_{ij} \quad .....(12 - 2)$$

هذا يعني انه في الحوادث غير الحرجة يكون $FF_{ij} \leq TF_{ij}$

2-1-2 مفهوم عملية المبادلة بين الوقت و الكلفة

The Concept of Time–Cost Trade off (TCT)

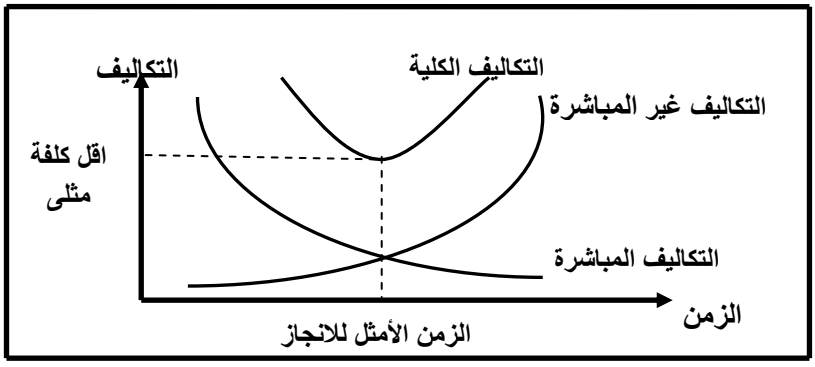
يمثل تحليل المخططات الشبكية وسيلة مهمة في عملية الرقابة تأتي هذه الاهمية من خلال تحديد الزمن الامثل والكلفة المثلى لانجاز المشاريع لهذا ظهر اسلوب (PERT Cost) عام (1963م) بديلاً عن اسلوب (PERT Time) حيث استعمل هذا الاسلوب لأول مره في وزارة الدفاع الامريكية ووكالة (NASA) لأبحاث الفضاء كطريقة فاعلة لإيجاد الوقت الامثل لانجاز المشاريع مع اعتبارات الكلفة عن طريق تطبيق تقنية المبادلة (الموائمة) بين الوقت و الكلفة (TCT) والتي تعني امكانية الموازنة بين وقت وكلفة تنفيذ المشاريع (العبيدي و الفضل ، 2010،230) ، تعتمد الـ (TCT) على تقنية تخفيض التكاليف الى اقل مستوى مسموح به بعد اخضاع المشروع الى تقليص المدة الزمنية للتنفيذ بواسطة تحليل التكاليف الاجمالية حيث يتم تجزئة المشروع الى عدة اجزاء خاضعة للتحليل والمراقبة لمعرفة أي الانشطة يجب الانتهاء منها ضمن الفترة الزمنية المطلوبة والمرغوب فيها ويتحقق هذا عن طريق اضافة مزيد من الموارد مثل زيادة عدد العاملين او زيادة ساعات العمل او استعمال آلات أكثر انتاجية وغيرها من الموارد ، بعد ذلك تأتي مرحلة التحليل لهذه العمليات لمعرفة تأثيرها في تقليل مدة انجاز المشروع (باشيوة،2011،350)

هناك سببين رئيسيين لتطبيق تقنية (TCT) في مشاريع البناء السبب الاول هو ان اسلوب (PERT Time) لا يركز على اخذ التكاليف الخاصة بالمشروع بنظر الاعتبار على الرغم من انها تمثل عنصر مهم في تقويم اداء مدراء المشاريع وإنما يركز على تقدير الفترات الزمنية للأنشطة فقط والسبب الثاني هو ان اسلوب (PERT Time) لا يحقق تكامل مراحل عمليات التخطيط والرقابة على المشروع مع التخطيط المالي والموازنة للجهة المنفذة (نجم،2013،439) ان التكلفة الاجمالية لتنفيذ أي مشروع تتكون من تكلفة مباشرة وتكلفة غير مباشرة :

1- **التكاليف المباشرة (Direct Costs)** هي التكاليف التي تؤثر بصورة مباشرة في تنفيذ المشروع مثل المواد الاولية ، اجور العاملين ، كلف ساعات العمل الاضافية ، زيادة اعداد المعدات والآلات ، الطاقة وغيرها (الشمرتي،2010،361)

2- التكاليف غير المباشرة (Indirect Costs)

هي التكاليف التي لا تؤثر في عمليات تنفيذ المشروع بصورة مباشره مثل الرسوم ، الضرائب ، الاشراف ، الاستهلاك ، العقوبة التعاقدية ، فوائد راس المال ، الاندثار (العبيدي والفضل،2010،232)



شكل (2-1) يمثل مخطط زمن الانجاز الامثل في ظل التكاليف المباشرة وغير المباشرة والكلية

من الشكل (2-1) يلاحظ بأن التكاليف المباشرة والتكاليف غير المباشرة ترتبطان ارتباطاً وثيقاً بالزمن ، تتناسب التكاليف المباشرة تناسباً عكسياً مع الزمن حيث تنخفض هذه التكاليف مع زيادة فترة الانجاز للمشروع اما التكاليف غير المباشرة فأنها تتناسب تناسباً طردياً مع الزمن فتزداد هذه التكاليف مع زيادة الفترة الزمنية اللازمة لانجاز المشروع (العبيدي والفضل ،2010،233-234)

تنقسم التكاليف المباشرة الى قسمين(نجم،2013،440)

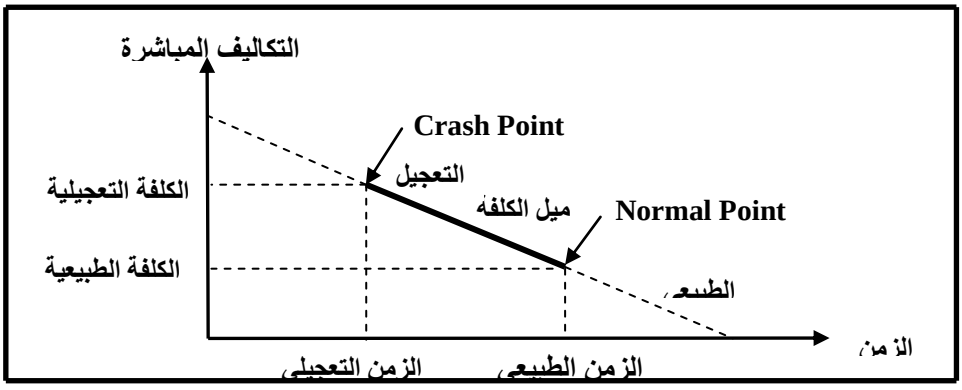
1- التكلفة الطبيعية او الاعتيادية (Normal Cost)

2- التكلفة التعجيلية او المضغوطة (Crash Cost)

أن زمن انجاز المشروع هو الاخر ينقسم الى قسمين نسبةً الى التكلفة الطبيعية والتكلفة التعجيلية وهما

1- الزمن الطبيعي او الاعتيادي (Normal Time)

2- الزمن التعجيلي او المضغوط (Crash Time)



شكل (2-2) يمثل منحنى التكاليف المباشرة وعلاقتها بالزمن

يعرف ميل الكلفة (Cost Slope) بأنه يمثل التغير في الكلفة لكل نشاط (Δ Cost) الناتج عن الفرق بين الكلفة التعجيلية والكلفة الطبيعية الى التغير في الوقت لكل نشاط (Δ Time) الناتج عن الفرق بين الوقت الطبيعي والوقت التعجيلي (الشمرتي،2010،362) ويمكن توضيح ذلك من خلال المعادلة التالية :

$$\text{Cost Slope } (CS_{ij}) = \frac{\Delta \text{ Cost}}{\Delta \text{ Time}} = \frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Time} - \text{Crash Time}}$$

$$\text{Cost Slope } (CS_{ij}) = \frac{C_{ij}^{c} - C_{ij}^{n}}{T_{ij}^{n} - T_{ij}^{c}} \qquad \text{.....(13 - 2)}$$

2-1-3 برنامج (Microsoft Project) (MS Project)

برنامج (MS Project) هو برنامج اصدرته شركة (Microsoft) عام (1987م) للتخطيط والجدولة والرقابة على المشاريع الكبيرة حيث يتميز هذا البرنامج بمجموعة من الاوامر تستعمل لإجراء العديد من المهام والعمليات في ادارة

المشاريع و من هذه الاوامر التي يقوم البرنامج بتنفيذها (تهيئة موازنة للمشروع ضمن مرحلة التخطيط ، مراقبة خطة عمل المشروع ، ادارة المخاطر ، ادارة الوقت بواسطة اجراء عملية جدولة للمشروع ، تقييم تحقق اهداف المشروع من خلال مراقبة أدائه ، ادارة عمليات التغيير في المشروع ، اعطاء تقارير عن سير عمل المشروع ، القدرة في العمل مع اكثر من مشروع في ان واحد ، متابعة ومراقبة المشروع من قبل الجهات ذات العلاقة عن طريق ربطة بشبكة الانترنيت)(نجم ،2013،474-475)

2-1-4 خطوات تقليص وقت انجاز المشروع باستعمال تقنية المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) بواسطة تطبيق برنامج (MS Project) (خوارزمية التقليص)(حسن،2013،225)

سيتم في هذه الفقرة عرض خطوات تقليص وقت انجاز المشروع باستعمال تقنية المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) في اطار خوارزمية تهدف الى وضع جدولة زمنية للمشروع بالاعتماد على ايجاد المسار الحرج بواسطة تطبيق برنامج (MS Project) وتتلخص خطوات الخوارزمية بالاتي :

الخطوه الاولى : تحديد وتعريف جميع انشطة المشروع وبيان التتابع المنطقي وعلاقات الاسبقية للأنشطة بالإضافة الى تحديد الفترات الزمنية والتكاليف لكل نشاط ضمن الوضع الطبيعي والتعجيلي حيث تمثل هذه البيانات والمعلومات المدخلات (Input) لبرنامج (MS Project) .

الخطوة الثانية : بناء وتصميم المخطط الشبكي (رسم شبكة اعمال المشروع) لبيان علاقات التتابع والتسلسل المنطقي للأنشطة ضمن الفترات الطبيعية الاعتيادية (Normal Time) .

الخطوة الثالثة : القيام بأجراء عملية حساب وتحديد المسار الحرج عن طريق حساب وتحديد الانشطة الحرجة باستعمال الفترات الطبيعية الاعتيادية (Normal Time) وتحديد الاوقات الفائضة ولكافة انشطة المشروع وفق المعادلات (2-1)،(2-2)،(2-3)،(2-4)،(2-5)،(2-6)،(2-7)،(2-8)،(2-9)،(2-10)،(2-11)،(2-12) باستعمال برنامج (MS project) .

الخطوة الرابعة : ايجاد ميل الكلفة (Cost Slop) للمسار او المسارات الحرجة الخاصة بالمشروع عن طريق حساب ميل الكلفة لكافة الأنشطة الحرجة في المشروع وفق المعادلة (2-13)

الخطوة الخامسة : اجراء عملية تقليص مدة انجاز المشروع بدايتاً بتقليص مدد الانشطة الواقعة على المسار الحرج (الانشطة الحرجة) عن طريق تخفيض النشاط الحرج الذي يمتلك اقل ميل كلفة من ميل كلف الانشطة الحرجة الاخرى لهذا المسار بوحدة زمنية واحدة او اكثر ثم اضافة ميل كلفة هذا النشاط الى كلفته الطبيعية مع الاستمرار بعملية التقليص حتى يتم الوصول الى مدة التقليص المحددة او لحين تغير المسار الحرج ، اما في حال ظهور اكثر من مسار حرج واحد (مسارات حرجة متعددة) يتم تحديد واختيار المسار الحرج الاطول من بين المسارات الحرجة الاخرى في شبكة اعمال المشروع ثم القيام بنفس اجراءات التقليص السابقة .

الخطوة السادسة : الاستمرار بعملية التقليص حتى تصل الاوقات الطبيعية الخاصة بالأنشطة الحرجة الى اوقاتها المضغوطة او الوصول الى نقطة الحد الحرج (Crash Limit) وهي النقطة التي ترتفع عندها التكاليف مع بقاء وقت المشروع ثابتاً بدون تغيير عند الاستمرار بعملية التخفيض .

المبحث الثاني : الخوارزمية الجينية (Genetic Algorithm) (GA)

2-2-1 مفهوم الخوارزمية الجينية The concept of genetic algorithm

الخوارزميات الجينية (Genetic algorithms) (GAs) هي اسلوب من اساليب البحث والتمثيل ونهج ارشادي يعتمد استعمال اساليب الخوارزميات التطويرية (Evolutionary Algorithms) على اساس محاكاة عمل الطبيعة من مفهوم العالم (Darwin) البقاء للأصلح او البقاء للأقوى في النظام الاصطناعي والتي تستند على اليات الانتقاء الطبيعي (الاختيار) وعلم الوراثة الطبيعية للبحث عن فضاء القرار لحلول مثلى صممها (Holland John) عام (1975م) وقام بتطويرها (David E. Goldberg) نهاية الثمانينات وتحديداً عام(1989م) (Goldberg،1989،1) ، يتم تطبيق الـ (GA) كأسلوب بحث عشوائي الهدف منه هو العثور وإيجاد حلول مثالية او حلول قريبة من المثالية واستعمال مفاهيم طبيعية مبنية على النظريات الاحيائية مثل الطفرة الوراثية والتزاوج والوراثة وتمثل هذه الخوارزمية واحده من الاساليب المهمة والحديثة في البحث عن الحل الامثل ضمن تشكيله معينة من الحلول الموجودة عن طريق تتابع وتسلسل الخواص الجيدة والمقبولة لعمليات التوالد المتكررة والمتسلسلة وتكوين اجيال تتصف بالامثلية ثم تكرار هذه العمليات من اجل تطوير ذريات الاجيال المتعاقبة بأشكال وأنواع مختلفة (Feng, Liu & Burns ،1997،2-3)

2-2-2 الية عمل الخوارزميه الجينية

عادةً ما تبدأ عملية البحث في (GA) لإيجاد الحل الامثل او الحل القريب للأمثل بالعمل على مجموعة فرعية من الحلول الكلية لحالة معينة يطلق على هذه المجموعة الكلية بفضاء البحث عن طريق خلق حلول عشوائية للمجتمع والذي يسمى بالمجتمع الاولي او الابتدائي (Old/Initial Population) ويتم تمثيل كل حل فرعي من الحلول الفرعية بواسطة سلسلة واحدة تسمى كروموسوم (Chromosome) والتي تضم عدداً من الجينات مرتبطة بطريقة خطية و تمثل رمز القيم لصفات معينة من الحل ومجموعة الكروموسومات (Chromosomes) هذه يطلق عليها بالمجتمع (Population) (Melanie ،1996،6-7) ، ان كل كروموسوم يحقق قيمة معينة يطلق عليها قيمة اللياقة (Fitness value) يتم حساب هذه القيمة باستعمال دالة تطبق على كافة الكروموسومات المولدة للمجتمع تسمى هذه الدالة بدالة اللياقة (Fitness Function) ويتم اختيار الكروموسومات بناءاً لهذه الدالة واعتبارها كآباء (Parents) ثم يتم تطبيق المشغلات الجينية (Genetic Operator) عليها كمشغل التزاوج (Crossover Operator) ومشغل الطفرة (Mutation Operator) لتوليد الاجيال اللاحقة (Peter., Hartmut. & Carlos،2004،2-18)

2-2-3 مراحل عمل الخوارزمية الجينية (The stages of the GA)

ان الية عمل (GA) تتكون من مجموعة مراحل متسلسلة ومتصلة و كما مبين في ادناه (Goldberg،1989،60-88)

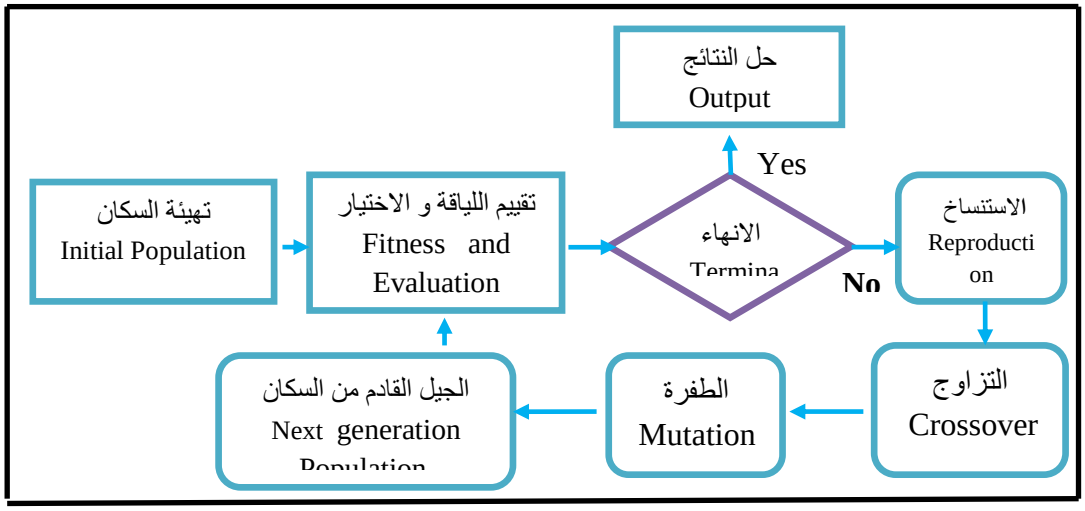
1- التهيئه (Initialization)
2- التشفير او الترميز (Encoding)
3- الاختيار (Selection)

4-الاستنساخ (Reproduction)

5-التهجين او التزاوج (Crossover)

6-الطفرة الوراثية (Mutation)

7-مرحلة التوقف والانتهاء (Termination Conditions)



شكل (2-3) المخطط العام لمراحل عمل (GA)

2-2-4 صياغة الانموذج الرياضي لايجاد الامثلية في انجاز المشاريع باستعمال الخوارزمية الجينية (GA)

(Kushwah & Tiwari ،2013 878)

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n} Ci \quad \dots(14-2)$$ دالة الهدف لتقليل التكاليف الكلية للمشروع

$$S.to$$

$$\sum_{j=1}^{i} Cij\ Xij = Ci \quad (15-2)$$ قيد مجموع الكلفة لكل مسار (لكل كروموسوم) في المشروع

$$Min\ G = \sum_{i=1}^{n} Di \quad \dots\dots..(16-2)$$ دالة الهدف لتقليل المدة الكلية للمشروع

$$S.to$$

$$\sum_{j=1}^{i} Dij\ Xij = Di \quad (17-2)$$ قيد مجموع المدة لكل مسار (لكل كروموسوم) في المشروع

$$\sum_{j=1}^{i} Xij = 1 \quad .(18-2)$$ قيد مجموع احتمالات الظهور لمتغير القرار للمشروع

$$Xij\ \epsilon\ [0,1]$$ شرط الاحتمال لمتغير القرار في المشروع

2-2-5 خطوات ايجاد الامثلية باستعمال الخوارزمية الجينية (GA) في برمجة لغة (MATLAB) (خوارزمية ايجاد الحل الامثل) (Melanie، 1996،8-9)

سيتم في هذه الفقرة عرض وتوضيح لخطوات ايجاد الامثلية في انجاز المشاريع بواسطة استعمال خوارزمية جينية (GA) تعتمد على تقنية الدمج بين الوقت والكلفة تسمى بخوارزمية الفرز غير المهيمن (NSGA) حيث يعتبر هذا الاسلوب نهج جديد وفعال في ايجاد الوقت الامثل والكلفة المثلى لانجاز المشاريع باستعمال برمجة لغة (MATLAB) وتتلخص خطوات الخوارزمية بالاتي :

الخطوة الاولى : توليد المجتمع الابتدائي او المجتمع الاولي (Generating Initial Population) بمعنى القيام بعملية توليد حلول عشوائية اولية للمشكلة ، هذه العملية تحدث في مرحلة التهيئة وتكون هذه الحلول بهيئة كروموسومات تختلف فيما بينها بالاعتماد على نوع وطبيعة المشكلة المراد معالجتها وعادةً ما يتولد لدينا عدة مات او ألاف من الحلول الممكنة بشكل (n) من الكروموسومات ثم القيام بعملية تشفير لهذه الكروموسومات .

الخطوة الثانية : ايجاد قيمة اللياقة (fitness value) لكل كروموسوم (حل ابتدائي او اولي) عن طريق تطبيق دالة اللياقة (Fitness Function) ، يتم الاعتماد على قيمة دالة المفاضلة في مرحلة الاختيار لانتقاء واختيار عدد من الكروموسومات على اساس نسبة معينة لتوليد جيل جديد ويتم تطبيق هذه العملية على كافة الاجيال المتعاقبة كما مبين في ادناه :

$$Ci = \sum_{j=1}^{i} Cij \ \dots\dots\dots (19-2)$$ دالة اللياقة لكلفة الكروموسوم

$$Di = \sum_{j=1}^{i} Dij \dots\dots\dots (20-2)$$ دالة اللياقة لمدة الكروموسوم

الخطوة الثالثة : اختيار الكروموسومات الاباء (Parents) التي تقابل اعلى قيمة لياقة او مفاضلة fitness (value) من الحلول الابتدائية او الاولية بواسطة اجراء عملية تقييم لهذه الحلول على اساس قيمة المفاضلة ولكل كروموسوم عن طريق تطبيق طريقة اختيار عجلة الروليت وكما مبين في ادناه :

$$PCi = \frac{Ci}{max\ Ci} \ \dots\dots\dots (21-2)$$

$$PDi = \frac{Di}{max\ Di} \ \dots\dots\dots (22-2)$$

$$Pi = \frac{PCi + PDi}{2} \ \dots\dots\dots (23-2)$$

الخطوة الرابعة : : اجراء عملية تزاوج (Crossover) او ما يسمى تطبيق عامل التزاوج او العبور (Crossover Operator) تتم عملية التزاوج او العبور في هذه الخطوه بين الكروموسومات باختيار اكبر احتمال ظهور لها ثم اجراء عملية تزاوج مع باقي الكروموسومات الاخرى بالاعتماد على الخطوه الثالثة عن طريق ايجاد كافة القيم الاحتمالية لظهور الكروموسومات في المجتمع .

الخطوة الخامسة : تطبيق عامل او مشغل الطفرة (Mutation Operator) للكروموسومات الاباء (Parents) التي تم الحصول عليها في الخطوة الرابعة لتوليد وإنتاج الجيل الجديد الابناء (Children) ، تتم عملية اجراء الطفرة في الخوارزمية عن طريق اختيار جين معين ضمن كروموسوم معين ثم تحريكها بشكل عشوائي بحسب الجين المتاح .

الخطوة السادسة : حساب الوقت الامثل والكلفة المثلى للمشروع بواسطة تطبيق اجراءات خوارزمية (NSGA) باستعمال برمجة لغة (MATLAB) بالاعتماد على الانموذج الرياضي لإيجاد الامثلية في انجاز المشروع وفق المعادلات (2-14)،(2-15)،(2-16)،(2-17)،(2-18) ثم اعادة وتكرار تنفيذ الخطوات السابقة من الثانية ولغاية السادسة لحين تحقق شرط التوقف او الانتهاء للخوارزمية .

الفصل الثالث : الجانب العملي

3-1 مقدمة

سيتم في هذا الفصل تطبيق اسلوب ونهج جديد في المبادلة بين الوقت والكلفة لأحد مشاريع الابنية في الجامعة التكنولوجية باستعمال برامجيات ادارة المشاريع لتحديد اقصر وقت لانجاز المشروع وبأقل زيادة ممكنة في التكاليف بواسطة تطبيق برنامج (MS Project) والذي يعتبر احد البرامج المهمة في مجال الهندسة المدنية لكفاءته الكبيرة في عمليات التخطيط والجدولة الزمنية والرقابة على المشاريع الكبيرة والتي تمتاز بتعدد انشطتها والعلاقات فيما بينها بالإضافة الى قدرته الكبيرة في حساب التداخلات والعلاقات المتقدمة لأنشطة المشروع وبعد تحديد اقصر وقت لانجاز المشروع وبأقل زيادة ممكنة في التكاليف يتم ايجاد الحل الامثل (ايجاد الامثلية) او الحل القريب للحل الامثل (تحسين الحل) لنتائج عملية التقليص أي ايجاد الوقت الامثل والكلفة المثلى في انجاز المشروع عن طريق التخلص من القيم الشاذة والمتطرفة للبيانات بواسطة استعمال خوارزميات الذكاء الاصطناعي كاستعمال الخوارزمية الجينية (GA) ضمن برمجة لغة (MATLAB) .

3-2 جمع البيانات

بعد مراجعة دائرة قسم الشؤون الهندسية في الجامعة التكنولوجية للتقصي عن المشاكل التي تمر بها مشاريع الابنية داخل الجامعة وجدنا ان هناك تلكأ كبير في انجاز العديد من المشاريع ومنها مشروع بناء ملحق قسم هندسة الانتاج والمعادن هذه المشكلة ناتجة عن عدم الالتزام بمواعيد الانجاز المخططة والمقررة ضمن خطة التنفيذ للمشروع وابلغونا فيما اذا كانت هناك طريقة علمية وواقعية لمعالجة هذه المشكلة للخروج بنتائج ايجابيه تفيد الدائرة الهندسية للمشاريع الحاليه والمستقبلية وقد ابدت الدائرة مشكورة تعاونها الكامل وتهيئته المعلومات والبيانات المطلوبة للباحث ، يبين الجدول (3-1) عدد الانشطة الخاصة بالمشروع وتفاصيلها والرموز التي تم استعمالها للتعبير عنها وكما مبين في ادناه :

جدول (3-1) يمثل عدد انشطة المشروع وتفاصيلها والرموز التى تم استعمالها للتعبير عنها

ت	تفاصيل النشاط	رمز النشاط
1	هدم البناية القديمة ورفع الانقاض وتسوية الموقع	A
2	تخطيط الموقع وأعمال الحفريات الترابية للأسس و فرش سبيس تحت الاسس مع الحدل	B
3	صب خرسانة التعمية تحت الاسس مع القير و صب الاساس الحصيري	C
4	صب خرسانة مسلحة لأعمدة البناية وجدران المصعد ولجميع الطوابق	D
5	البناء تحت مستوى مانع الرطوبة مع صب البادلو والدفن بالتراب والسبيس	E
6	الاعمال الصحية	F
7	الاعمال الكهربائية	G
8	البناء فوق مستوى مانع الرطوبة للطابق الارضي ولكافة الطوابق ولسكة المماشي	H
9	صب خرسانة مسلحة للسقوف والأعتاب والسلالم ولجميع الطوابق	I
10	اعمال صب خرسانة غير مسلحة تحت الكاشي للطابق الارضي	J
11	تجهيز وتثبيت الابواب الحديدية والخشبية والألمنيوم والشبابيك والكتائب والزجاج	K
12	التطبيق بالكاشي والسيراميك لجدران المجاميع الصحية والكافتريا والمطبخ مع الازارة المزججة	L
13	اعمال تغليف جميع جدران البناية بارتفاع 120سم بالمرمر الطبيعي والكرانيت مع الكوبلن	M
14	اعمال لبخ ونثر مناور الخدمة والستائر من الخارج وسقف الجسر الرابط	N
15	تسطيح بالشتايكر مع طبقات العزل المائي	O
16	اعمال البياض للجدران والسقوف والأعمدة	P
17	اعمال التغليف للجدران الخارجية بالحجر	Q
18	تطبيق للأرضيات والمماشي بالكرانيت والازارة بالمرمر	R
19	اعمال سلم الطوارئ والسلم الخدمي	S
20	اعمال نصب المصاعد الكهربائية	T
21	اعمال نصب اجهزة التكييف	U
22	اعمال نصب وتثبيت السقوف الثانوية	V
23	تغليف السلالم والمدخل بالبايات مع المرايا وتركيب المحجرات	W
24	اعمال الصبغ البلاستيكي	X
25	اعمال منظومة الحريق	Y
26	اعمال تجهيز ونصب المولدات المحمولة مع اعمال الاثاث	Z

3-3 خطوات تقليص وقت انجاز المشروع باستعمال تقنية المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) بواسطة تطبيق برنامج (MS Project) (خوارزمية التقليص)

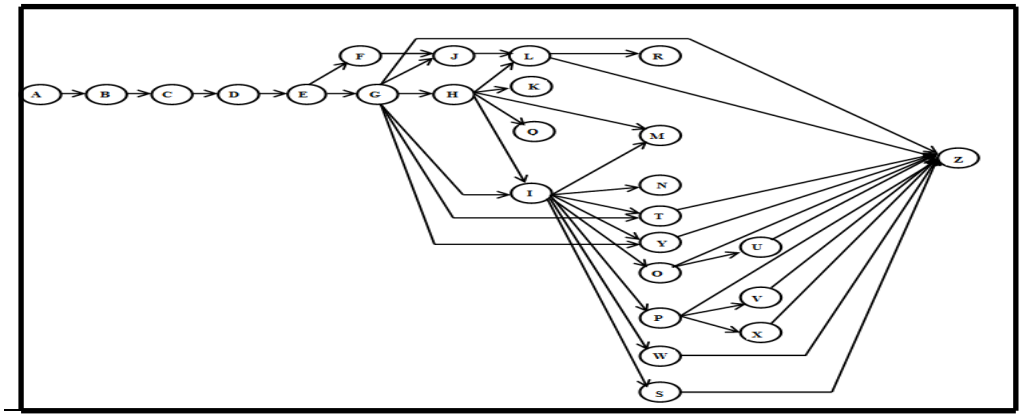
يتم تطبيق تقنية المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) لتقليص وقت تنفيذ المشروع وبأقل زيادة ممكنة في التكاليف باستعمال برنامج (MS Project) حيث يعتبر هذا الاسلوب نهج جديد وفعال في تطبيق تقنية (TCT) وبخاصة للمشاريع الكبيرة التي تمتاز بتعدد انشطتها والعلاقات فيما بينها ، تتم عملية تقليص وقت انجاز المشروع عن طريق تطبيق مجموعة خطوات متسلسلة وكما يلي :

الخطوه الاولى: تحديد وتعريف الانشطة السابقة واللاحقة أي تحديد علاقات الاسبقية والتتابع المنطقي والفني لأنشطة المشروع بالإضافة الى تحديد الفترات الزمنية والتكاليف لكل نشاط ضمن الوضع الطبيعي و التعجيلي وكما مبين في الجدول (3-2) ، تمثل هذه البيانات والمعلومات المدخلات (Input) لبرنامج (MS Project) مع ملاحظة عدم ضغط او تعجيل اعمال الصب وذلك لأنها انشطة غير خاضعة لسيطرة ادارة المشروع متمثلة بالأنشطة (C , D , I) .

جدول (3-2) يمثل الانشطة السابقة واللاحقة للمشروع والفترات الزمنية والتكاليف لكل نشاط بالوضع الطبيعي و التعجيلي

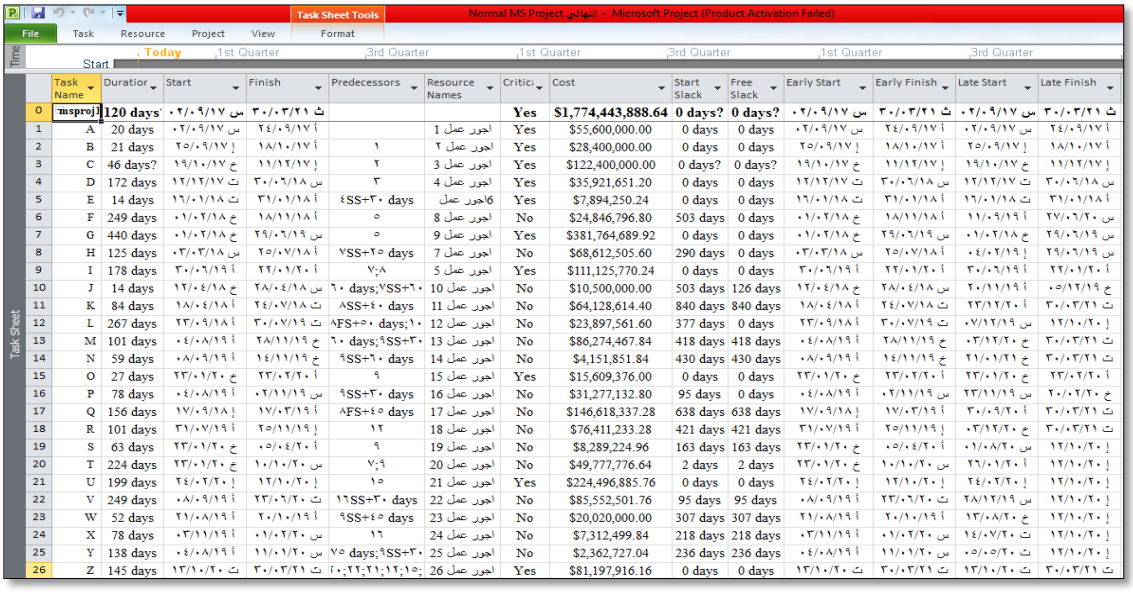
ت	النشاط	النشاط السابق	الوقت الطبيعي (يوم) Normal Time	الكلفة الطبيعية (دينار) Normal Cost	الوقت التعجيلي (يوم) Crash Time	الكلفة التعجيلية (دينار) Crash Cost
1	A	——	20	55,600,000	15	61,111,115
2	B	A	21	28,400,000	18	34,495,837
3	C	B	46	122,400,000	46	122,400,000
4	D	C	172	35,921,651	172	35,921,651
5	E	D	14	7,894,250	11	9,022,000
6	F	E	249	24,846,795	218	32,230,880
7	G	E	440	381,764,706	375	477,205,851
8	H	G	125	68,612,500	94	76,297,100
9	I	G,H	178	111,125,771	178	111,125,771
10	J	F,G	14	10,500,000	11	12,000,000
11	K	H	84	64,128,615	65	72,526,419
12	L	H,J	267	23,897,560	245	32,221,439
13	M	H,I	101	86,274,469	85	105,728,500
14	N	I	59	4,151,852	48	4,961,086
15	O	I	27	15,609,375	26	16,187,500
16	P	I	78	31,277,133	65	38,093,954
17	Q	H	156	146,618,333	125	173,874,285
18	R	L	101	76,411,234	85	94,568,374
19	S	I	63	8,289,225	55	10,526,000
20	T	G,I	224	49,777,778	200	65,555,492
21	U	O	199	224,496,875	182	304,029,688
22	V	P	249	85,552,500	222	109,546,000
23	W	I	52	20,020,000	42	23,485,000
24	X	P	78	7,312,500	65	8,906,250
25	Y	G,I	138	2,362,727	125	3,167,386
26	Z	G,L,O, P,S,T,U V,W,X	145	81,197,917	135	100,909,511

الخطوة الثانية : بعد ادخال البيانات والمعلومات الخاصة بالمشروع وفق الخطوه الاولى في واجهة المستخدم الرئيسة لبرنامج (MS Project) يتم الان بناء المخطط الشبكي (رسم شبكة اعمال المشروع) يدوياً لبيان علاقات التتابع والتسلسل المنطقي لأنشطة المشروع وكما مبين في الشكل (3-1)



شكل (3-1) يمثل المخطط الشبكي (Network Diagram) شبكة اعمال المشروع (المخطط من اعداد الباحث)

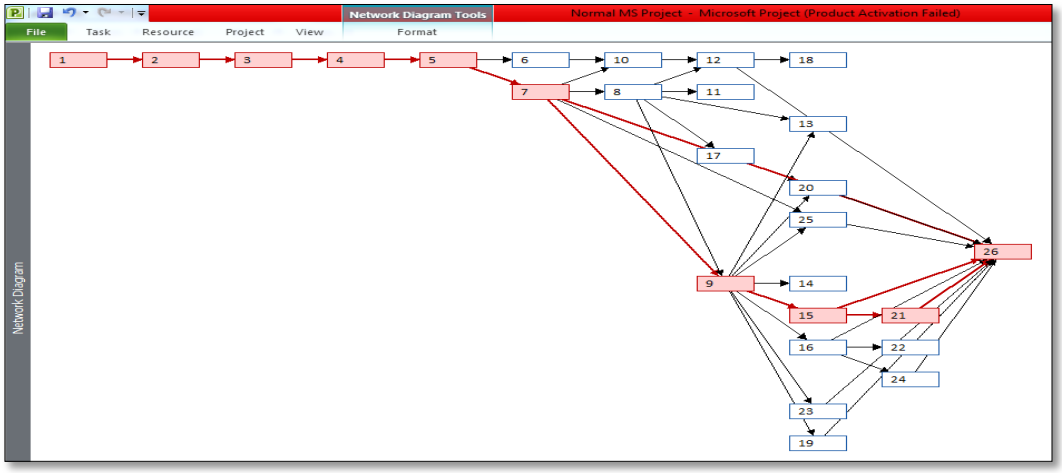
الخطوة الثالثة : تحديد المسار او المسارات الحرجة الخاصة بالمشروع عن طريق حساب وتحديد الانشطة الحرجة ضمن الفترات الطبيعية الاعتيادية (Normal Time) وكذلك تحديد الجدولة الزمنية والأوقات الفائضة لكافة انشطة المشروع وفق المعادلات (2-1)،(2-2)،(2-3)،(2-4)،(2-5)،(2-6)،(2-7)،(2-8)،(2-9)،(2-10)،(2-11)، (2-12) باستخدام برنامج (MS Project) عن طريق تفعيل مخطط جانت (Gantt Chart) من قائمة (Task) ، مخطط جانت في برنامج (MS Project) هو مخطط شريطي يستعمل للتخطيط والجدولة الزمنية للمشاريع الكبيرة والرقابة على مراحل الانجاز فيها وبما ان الهدف الرئيس لبرنامج (MS Project) هو التخطيط ووضع جدولة زمنية لانجاز المشاريع والرقابة على مراحل الانجاز فيها لذا فقد تم تحديد زمن بدء المشروع بالاعتماد على رأي الخبراء في دائرة قسم الشؤون الهندسية في الجامعة في (2017/9/2) وباستعمال برنامج (MS Project) تم تحليل بيانات المشروع ضمن الوضع الطبيعي وتم الحصول على نتائج المشروع وكما مبين في الشكل (3-2)



	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names	Critical	Cost	Start Slack	Free Slack	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish
0	mspro	120 days	٠٢/٠٩/١٧ س	٣٠/٠٣/٢١ ث			Yes	$1,774,443,888.64	0 days?	0 days?	٠٢/٠٩/١٧ س	٣٠/٠٣/٢١ ث	٠٢/٠٩/١٧ س	٣٠/٠٣/٢١ ث
1	A	20 days	٠٢/٠٩/١٧ س	٢٤/٠٩/١٧ أ		اجور عمل 1	Yes	$55,600,000.00	0 days	0 days	٠٢/٠٩/١٧ س	٢٤/٠٩/١٧ أ	٠٢/٠٩/١٧ س	٢٤/٠٩/١٧ أ
2	B	21 days	٢٥/٠٩/١٧ إ	١٨/١٠/١٧ أ	١	اجور عمل ٢	Yes	$28,400,000.00	0 days	0 days	٢٥/٠٩/١٧ إ	١٨/١٠/١٧ أ	٢٥/٠٩/١٧ إ	١٨/١٠/١٧ أ
3	C	46 days?	١٩/١٠/١٧ خ	١١/١٢/١٧ إ	٢	اجور عمل 3	Yes	$122,400,000.00	0 days?	0 days?	١٩/١٠/١٧ خ	١١/١٢/١٧ إ	١٩/١٠/١٧ خ	١١/١٢/١٧ إ
4	D	172 days	١٢/١٢/١٧ ث	٣٠/٠٦/١٨ س	٣	اجور عمل 4	Yes	$35,921,651.20	0 days	0 days	١٢/١٢/١٧ ث	٣٠/٠٦/١٨ س	١٢/١٢/١٧ ث	٣٠/٠٦/١٨ س
5	E	14 days	١٦/٠١/١٨ ث	٣١/٠١/١٨ أ	٤SS+٣٠ days	اجور عمل 6	Yes	$7,894,250.24	0 days	0 days	١٦/٠١/١٨ ث	٣١/٠١/١٨ أ	١٦/٠١/١٨ ث	٣١/٠١/١٨ أ
6	F	249 days	٠١/٠٢/١٨ خ	١٨/١١/١٨ أ	٥	اجور عمل 8	No	$24,846,796.80	503 days	0 days	٠١/٠٢/١٨ خ	١٨/١١/١٨ أ	١١/٠٩/١٩ أ	٢٧/٠٦/٢٠ س
7	G	440 days	٠١/٠٢/١٨ خ	٢٩/٠٦/١٩ س	٥	اجور عمل 9	Yes	$381,764,689.92	0 days	0 days	٠١/٠٢/١٨ خ	٢٩/٠٦/١٩ س	٠١/٠٢/١٨ خ	٢٩/٠٦/١٩ س
8	H	125 days	٠٣/٠٣/١٨ س	٢٥/٠٧/١٨ أ	٧SS+٢٥ days	اجور عمل 7	No	$68,612,505.60	290 days	0 days	٠٣/٠٣/١٨ س	٢٥/٠٧/١٨ أ	٠٤/٠٢/١٩ إ	٢٩/٠٦/١٩ س
9	I	178 days	٣٠/٠٦/١٩ أ	٢٢/٠١/٢٠ أ	٧;٨	اجور عمل 5	Yes	$111,125,770.24	0 days	0 days	٣٠/٠٦/١٩ أ	٢٢/٠١/٢٠ أ	٣٠/٠٦/١٩ أ	٢٢/٠١/٢٠ أ
10	J	14 days	١٢/٠٤/١٨ خ	٢٨/٠٤/١٨ س	٦٠ days;٧SS+٦٠	اجور عمل 10	No	$10,500,000.00	503 days	126 days	١٢/٠٤/١٨ خ	٢٨/٠٤/١٨ س	٢٠/١١/١٩ أ	٠٥/١٢/١٩ خ
11	K	84 days	١٨/٠٤/١٨ أ	٢٤/٠٧/١٨ ث	٨SS+٤٠ days	اجور عمل 11	No	$64,128,614.40	840 days	840 days	١٨/٠٤/١٨ أ	٢٤/٠٧/١٨ ث	٢٣/١٢/٢٠ أ	٣٠/٠٣/٢١ ث
12	L	267 days	٢٣/٠٩/١٨ أ	٣٠/٠٧/١٩ ث	٨FS+٥٠ days;١٠	اجور عمل 12	No	$23,897,561.60	377 days	0 days	٢٣/٠٩/١٨ أ	٣٠/٠٧/١٩ ث	٠٧/١٢/١٩ س	١٢/١٠/٢٠ إ
13	M	101 days	٠٤/٠٨/١٩ أ	٢٨/١١/١٩ خ	٦٠ days;٩SS+٣٠	اجور عمل 13	No	$86,274,467.84	418 days	418 days	٠٤/٠٨/١٩ أ	٢٨/١١/١٩ خ	٠٣/١٢/٢٠ خ	٣٠/٠٣/٢١ ث
14	N	59 days	٠٨/٠٩/١٩ أ	١٤/١١/١٩ خ	٩SS+٦٠ days	اجور عمل 14	No	$4,151,851.84	430 days	430 days	٠٨/٠٩/١٩ أ	١٤/١١/١٩ خ	١٤/١٠/٢١ خ	٣٠/٠٣/٢١ ث
15	O	27 days	٢٣/٠١/٢٠ خ	٢٣/٠٢/٢٠ أ	٩	اجور عمل 15	Yes	$15,609,376.00	0 days	0 days	٢٣/٠١/٢٠ خ	٢٣/٠٢/٢٠ أ	٢٣/٠١/٢٠ خ	٢٣/٠٢/٢٠ أ
16	P	78 days	٠٤/٠٨/١٩ أ	٠٢/١١/١٩ س	٩SS+٣٠ days	اجور عمل 16	No	$31,277,132.80	95 days	0 days	٠٤/٠٨/١٩ أ	٠٢/١١/١٩ س	٢٣/١١/١٩ س	٢٠/٠٢/٢٠ خ
17	Q	156 days	١٧/٠٩/١٨ إ	١٧/٠٣/١٩ أ	٨FS+٤٥ days	اجور عمل 17	No	$146,618,337.28	638 days	638 days	١٧/٠٩/١٨ إ	١٧/٠٣/١٩ أ	٣٠/٠٩/٢٠ أ	٣٠/٠٣/٢١ ث
18	R	101 days	٣١/٠٧/١٩ أ	٢٥/١١/١٩ إ	١٢	اجور عمل 18	No	$76,411,233.28	421 days	421 days	٣١/٠٧/١٩ أ	٢٥/١١/١٩ إ	٠٣/١٢/٢٠ خ	٣٠/٠٣/٢١ ث
19	S	63 days	٢٣/٠١/٢٠ خ	٠٥/٠٤/٢٠ أ	٩	اجور عمل 19	No	$8,289,224.96	163 days	163 days	٢٣/٠١/٢٠ خ	٠٥/٠٤/٢٠ أ	٠١/٠٨/٢٠ س	١٢/١٠/٢٠ إ
20	T	224 days	٢٣/٠١/٢٠ خ	١٠/١٠/٢٠ س	٧;٩	اجور عمل 20	No	$49,777,776.64	2 days	2 days	٢٣/٠١/٢٠ خ	١٠/١٠/٢٠ س	٢٦/٠١/٢٠ أ	١٢/١٠/٢٠ إ
21	U	199 days	٢٤/٠٢/٢٠ إ	١٢/١٠/٢٠ إ	١٥	اجور عمل 21	Yes	$224,496,885.76	0 days	0 days	٢٤/٠٢/٢٠ إ	١٢/١٠/٢٠ إ	٢٤/٠٢/٢٠ إ	١٢/١٠/٢٠ إ
22	V	249 days	٠٨/٠٩/١٩ أ	٢٣/٠٦/٢٠ ث	١٦SS+٣٠ days	اجور عمل 22	No	$85,552,501.76	95 days	95 days	٠٨/٠٩/١٩ أ	٢٣/٠٦/٢٠ ث	٢٨/١٢/١٩ س	١٢/١٠/٢٠ إ
23	W	52 days	٢١/٠٨/١٩ أ	٢٠/١٠/١٩ أ	٩SS+٤٥ days	اجور عمل 23	No	$20,020,000.00	307 days	307 days	٢١/٠٨/١٩ أ	٢٠/١٠/١٩ أ	١٣/٠٨/٢٠ خ	١٢/١٠/٢٠ إ
24	X	78 days	٠١/٠٢/٢٠ س	١٦		اجور عمل 24	No	$7,312,499.84	218 days	218 days	٠١/٠٢/٢٠ س	٠٣/١١/١٩ أ	١٤/٠٧/٢٠ ث	١٢/١٠/٢٠ إ
25	Y	138 days	٠٤/٠٨/١٩ أ	١١/٠٧/٢٠ س	٧٥ days;٩SS+٣٠	اجور عمل 25	No	$2,362,727.04	236 days	236 days	٠٤/٠٨/١٩ أ	١١/٠١/٢٠ س	٠٥/٠٥/٢٠ ث	١٢/١٠/٢٠ إ
26	Z	145 days	١٣/١٠/٢٠ ث	٣٠/٠٣/٢١ ث	٢٠;٢٢;٢١;١٢;١٥;	اجور عمل 26	Yes	$81,197,916.16	0 days	0 days	١٣/١٠/٢٠ ث	٣٠/٠٣/٢١ ث	١٣/١٠/٢٠ ث	٣٠/٠٣/٢١ ث

شكل (3-2) يمثل نتائج تحليل بيانات المشروع باستعمال برنامج (MS Project) ضمن الوضع الطبيعي

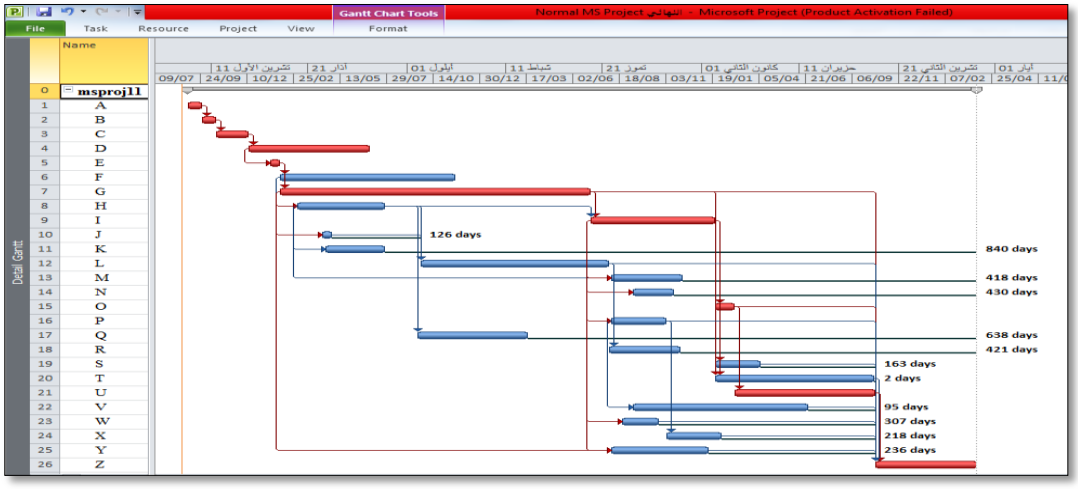
بالإمكان ايضاً تحديد المسار او المسارات الحرجة الخاصة بالمشروع ضمن الأوقات الطبيعية الاعتيادية (Normal Time) عن طريق تفعيل المخطط الشبكي (Network Diagram) من قائمة (Task) شكل (3-3) حيث يلاحظ ظهور ثلاث مسارات حرجة للمشروع وكما مبين في ادناه :



شكل (3-3) يمثل المخطط الشبكي للمشروع بالوضع الطبيعي والأنشطة الحرجة والمسارات الخاصة بها باستعمال (MS Project)

C.P1 = (1=A)→(2=B)→(3=C)→(4=D)→(5=E)→(7=G)→(9=I)→(15=O)→(21=U)→(26=Z)
C.P2 = (1=A)→(2=B)→(3=C)→(4=D)→(5=E)→(7=G)→(9=I)→(15=O)→(26=Z)
C.P3 = (1=A)→(2=B)→(3=C)→(4=D)→(5=E)→(7=G)→(26=Z)

وللتعرف على المخطط الخاص بالجدولة الزمنية الطبيعية لأنشطة المشروع وعلاقات التداخل فيما بينه والعلاقات المتقدمة والأنشطة الحرجة لها يتم تفعيل الامر (Detail Gantt) من قائمة (Task) وكما مبين في الشكل (3-4)



شكل (3-4) يمثل المخطط الخاص بالجدولة الزمنية الطبيعية لأنشطة المشروع والعلاقات المتقدمة لها والأنشطة الحرجة الخاصة بها

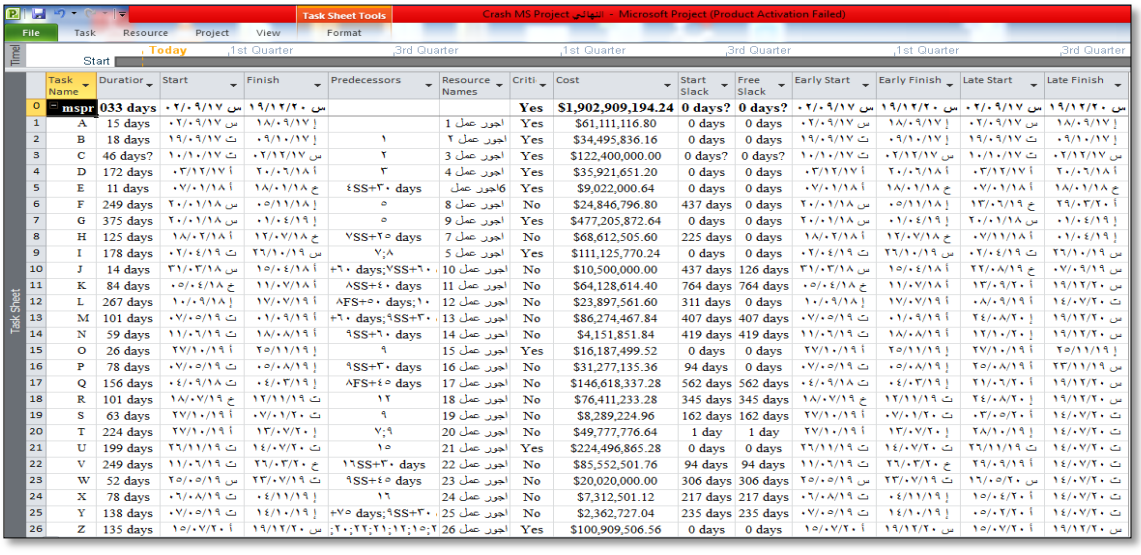
الخطوة ألرابعة حساب ميل الكلفة (Cost Slop) للمسار او المسارات الحرجة في المشروع عن طريق حساب ميل الكلفة لكافة الأنشطة الحرجة للمشروع وفق المعادلة (2 – 13) كما مبين في الجدول (3–3)

جدول (3-3) يمثل ميل الكلفة (Cost Slop) للأنشطة الحرجة الخاصة بالمشروع

النشاط	الوقت الطبيعي (يوم) Normal Time	الكلفة الطبيعية (دينار) Normal Cost	الوقت التعجيلي (يوم) Crash Time	الكلفة التعجيلية (دينار) Crash Cost	ميل الكلفة Cost Slop
A	20	55,600,000	15	61,111,115	1,102,223
B	21	28,400,000	18	34,495,837	2,031,946
C	46	122,400,000	46	122,400,000	0
D	172	35,921,651	172	35,921,651	0
E	14	7,894,250	11	9,022,000	375,917
G	440	381,764,706	375	477,205,851	1,468,325
I	178	111,125,771	178	111,125,771	0
O	27	15,609,375	26	16,187,500	578,125
U	199	224,496,875	182	304,029,688	4,678,401
Z	145	81,197,917	135	100,909,511	1,971,159

الخطوه الخامسة : بعد حساب ميل الكلفة للأنشطة الحرجة يتم اختيار المسار الحرج الاطول من بين المسارات الحرجة الثلاثة التي تم تحديدها في الخطوة الثالثة والذي سيتم الاعتماد عليه في عملية تقليص مدة تنفيذ المشروع وبالإمكان ملاحظة ان اطول مسار حرج ضمن المخطط الشبكي للمشروع هو المسار الحرج الاول (C.P1) .

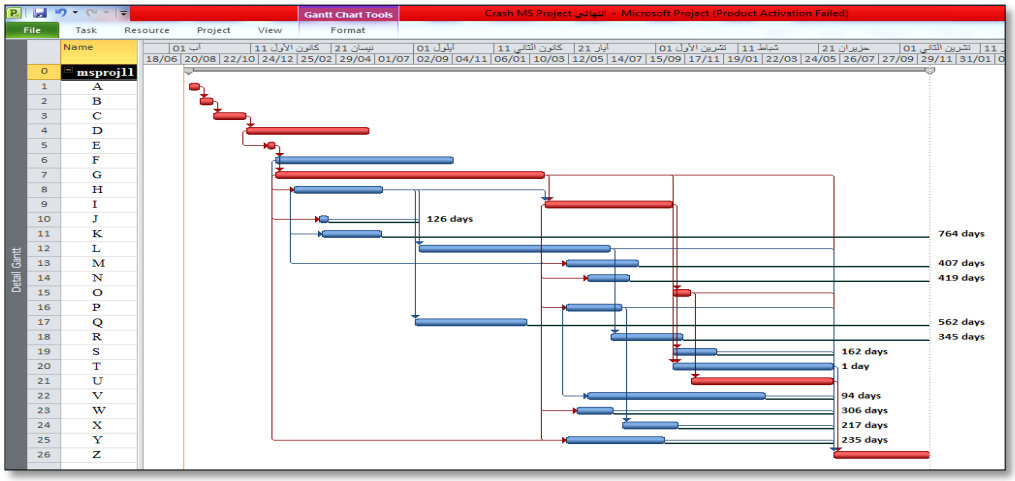
الخطوة السادسة : القيام بأجراء عملية تقليص مدة انجاز المشروع بدايتاً بالنشاط الحرج الذي يمتلك اقل ميل كلفة من ميل كلف الانشطة الحرجة الاخرى ضمن المسار الحرج الاول (C.P1) مع الاستمرار بعملية التقليص بوحدة زمنية واحدة او اكثر لكل نشاط وصولاً الى النشاط الحرج الذي يمتلك اكبر ميل كلفة لنفس المسار ومن خلال الجدول (3–3) نستنتج بأن اقل ميل كلفة للأنشطة الحرجة الخاصة بالمسار الحرج الاول (C.P1) هو للنشاط (E) واكبر ميل كلفة هو للنشاط (U) ولإيجاد الزيادة في التكاليف لكل نشاط يتم ضرب ميل الكلفة في كمية الوقت المخفض وإضافة الناتج الى الكلفة الطبيعية للنشاط وباستعمال (MS Project) تم الحصول على نتائج عملية التقليص كما مبين في الشكل (3–5)



	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names	Criti	Cost	Start Slack	Free Slack	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish
0	mspr	033 days	س ١٩/١٢/٢٠	٠٢/٠٩/١٧ س			Yes	$1,902,909,194.24	0 days?	0 days?	٠٢/٠٩/١٧ س	١٩/١٢/٢٠ س	٠٢/٠٩/١٧ س	١٩/١٢/٢٠ س
1	A	15 days	٠٢/٠٩/١٧ س	١٨/٠٩/١٧ أ		اجور عمل 1	Yes	$61,111,116.80	0 days	0 days	٠٢/٠٩/١٧ س	١٨/٠٩/١٧ أ	٠٢/٠٩/١٧ س	١٨/٠٩/١٧ أ
2	B	18 days	١٩/٠٩/١٧ ث	٠٩/١٠/١٧ أ	١	اجور عمل ٢	Yes	$34,495,836.16	0 days	0 days	١٩/٠٩/١٧ ث	٠٩/١٠/١٧ أ	١٩/٠٩/١٧ ث	٠٩/١٠/١٧ أ
3	C	46 days?	٠٢/١٢/١٧ س	١٠/١٠/١٧ ث	٢	اجور عمل 3	Yes	$122,400,000.00	0 days?	0 days?	٠٢/١٢/١٧ س	١٠/١٠/١٧ ث	٠٢/١٢/١٧ س	١٠/١٠/١٧ ث
4	D	172 days	٠٣/١٢/١٧ أ	٢٠/٠٦/١٨ أ	٣	اجور عمل 4	Yes	$35,921,651.20	0 days	0 days	٠٣/١٢/١٧ أ	٢٠/٠٦/١٨ أ	٠٣/١٢/١٧ أ	٢٠/٠٦/١٨ أ
5	E	11 days	٠٧/٠١/١٨ أ	١٨/٠١/١٨ ج	٤SS+٣٠ days	6اجور عمل	Yes	$9,022,000.64	0 days	0 days	٠٧/٠١/١٨ أ	١٨/٠١/١٨ ج	٠٧/٠١/١٨ أ	١٨/٠١/١٨ ج
6	F	249 days	٢٠/٠١/١٨ س	٠٥/١١/١٨ أ	٥	اجور عمل 8	No	$24,846,796.80	437 days	0 days	٢٠/٠١/١٨ س	٠٥/١١/١٨ أ	١٣/٠٦/١٩ ج	٢٩/٠٣/٢٠ أ
7	G	375 days	٢٠/٠١/١٨ س	٠١/٠٤/١٩ أ	٥	اجور عمل 9	Yes	$477,205,872.64	0 days	0 days	٢٠/٠١/١٨ س	٠١/٠٤/١٩ أ	٢٠/٠١/١٨ س	٠١/٠٤/١٩ أ
8	H	125 days	١٨/٠٢/١٨ أ	١٢/٠٧/١٨ ج	٧SS+٢٥ days	اجور عمل 7	No	$68,612,505.60	225 days	0 days	١٨/٠٢/١٨ أ	١٢/٠٧/١٨ ج	٠٧/١١/١٨ أ	٠١/٠٤/١٩ أ
9	I	178 days	٢٦/١٠/١٩ س	٧;٨		اجور عمل 5	Yes	$111,125,770.24	0 days	0 days	٠٢/٠٤/١٩ ت	٢٦/١٠/١٩ س	٠٢/٠٤/١٩ ت	٢٦/١٠/١٩ س
10	J	14 days	٣١/٠٣/١٨ س	١٥/٠٤/١٨ أ	٦٠+ days;٧SS	اجور عمل 10	No	$10,500,000.00	437 days	126 days	١٥/٠٤/١٨ أ	٣١/٠٣/١٨ س	١٥/٠٤/١٨ أ	٢٢/٠٨/١٩ خ
11	K	84 days	٠٥/٠٤/١٨ خ	١١/٠٧/١٨ أ	٨SS+٤٠ days	اجور عمل 11	No	$64,128,614.40	764 days	764 days	٠٥/٠٤/١٨ خ	١١/٠٧/١٨ أ	١٣/٠٩/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س
12	L	267 days	١٠/٠٩/١٨ أ	١٧/٠٧/١٩ أ	AFS+٥٠ days;١٠	اجور عمل 12	No	$23,897,561.60	311 days	0 days	١٠/٠٩/١٨ أ	١٧/٠٧/١٩ أ	٠٨/٠٩/١٩ أ	١٤/٠٧/٢٠ ت
13	M	101 days	٠٧/٠٥/١٩ ث	٠١/٠٩/١٩ أ	٦٠+ days;٩SS+٣٠	اجور عمل 13	No	$86,274,467.84	407 days	407 days	٠٧/٠٥/١٩ ث	٠١/٠٩/١٩ أ	٢٤/٠٨/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س
14	N	59 days	١١/٠٦/١٩ ث	١٨/٠٨/١٩ أ	٩SS+١٠ days	اجور عمل 14	No	$4,151,851.84	419 days	419 days	١١/٠٦/١٩ ث	١٨/٠٨/١٩ أ	١٢/١٠/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س
15	O	26 days	٢٧/١٠/١٩ أ	٢٥/١١/١٩ أ	٩	اجور عمل 15	Yes	$16,187,499.52	0 days	0 days	٢٧/١٠/١٩ أ	٢٥/١١/١٩ أ	٢٧/١٠/١٩ أ	٢٥/١١/١٩ أ
16	P	78 days	٠٧/٠٥/١٩ ث	٠٥/٠٨/١٩ أ	٩SS+٣٠ days	اجور عمل 16	No	$31,277,135.36	94 days	0 days	٠٧/٠٥/١٩ ث	٠٥/٠٨/١٩ أ	٢٥/٠٨/١٩ أ	٢٣/١١/١٩ س
17	Q	156 days	٠٤/٠٩/١٨ ث	٠٤/٠٣/١٩ أ	AFS+٤٥ days	اجور عمل 17	No	$146,618,337.28	562 days	562 days	٠٤/٠٩/١٨ ث	٠٤/٠٣/١٩ أ	٢١/٠٦/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س
18	R	101 days	١٨/٠٧/١٩ خ	١٢/١١/١٩ ث	١٢	اجور عمل 18	No	$76,411,233.28	345 days	345 days	١٨/٠٧/١٩ خ	١٢/١١/١٩ ث	٢٤/٠٨/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س
19	S	63 days	٢٧/١٠/١٩ أ	٠٧/٠١/٢٠ ث	٩	اجور عمل 19	No	$8,289,224.96	162 days	162 days	٢٧/١٠/١٩ أ	٠٧/٠١/٢٠ ث	٠٣/٠٥/٢٠ أ	١٤/٠٧/٢٠ ت
20	T	224 days	٢٧/١٠/١٩ أ	١٣/٠٧/٢٠ أ	٧;٩	اجور عمل 20	No	$49,777,776.64	1 day	1 day	٢٧/١٠/١٩ أ	١٣/٠٧/٢٠ أ	٢٨/١٠/١٩ أ	١٤/٠٧/٢٠ ت
21	U	199 days	٢٦/١١/١٩ ث	١٤/٠٧/٢٠ ث	١٥	اجور عمل 21	Yes	$224,496,865.28	0 days	0 days	٢٦/١١/١٩ ث	١٤/٠٧/٢٠ ث	٢٦/١١/١٩ ث	١٤/٠٧/٢٠ ت
22	V	249 days	١١/٠٦/١٩ ث	٢٦/٠٣/٢٠ خ	١٦SS+٣٠ days	اجور عمل 22	No	$85,552,501.76	94 days	94 days	١١/٠٦/١٩ ث	٢٦/٠٣/٢٠ خ	٢٩/٠٩/١٩ أ	١٤/٠٧/٢٠ ت
23	W	52 days	٢٥/٠٥/١٩ س	٢٣/٠٧/١٩ ث	٩SS+٤٥ days	اجور عمل 23	No	$20,020,000.00	306 days	306 days	٢٥/٠٥/١٩ س	٢٣/٠٧/١٩ ث	١٦/٠٥/٢٠ س	١٤/٠٧/٢٠ ت
24	X	78 days	٠٦/٠٨/١٩ ث	٠٤/١١/١٩ أ	١٦	اجور عمل 24	No	$7,312,501.12	217 days	217 days	٠٦/٠٨/١٩ ث	٠٤/١١/١٩ أ	١٥/٠٤/٢٠ أ	١٤/٠٧/٢٠ ت
25	Y	138 days	٠٧/٠٥/١٩ ث	١٤/١٠/١٩ أ	٧٥+ days;٩SS+٣٠	اجور عمل 25	No	$2,362,727.04	235 days	235 days	٠٧/٠٥/١٩ ث	١٤/١٠/١٩ أ	٠٥/٠٢/٢٠ أ	١٤/٠٧/٢٠ ت
26	Z	135 days	١٥/٠٧/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س	;٢٠;٢٢;٢١;١٢;١٥;٢	اجور عمل 26	Yes	$100,909,506.56	0 days	0 days	١٥/٠٧/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س	١٥/٠٧/٢٠ أ	١٩/١٢/٢٠ س

شكل (3-5) يمثل نتائج تحليل بيانات المشروع باستعمال برنامج (MS Project) ضمن الوضع التعجيلي

للتعرف على المخطط الخاص بالجدولة الزمنية التعجيلية لأنشطة المشروع وعلاقات التداخل فيما بينها والعلاقات المتقدمة لها والأنشطة الحرجة يتم تفعيل الامر (Detail Gantt) من قائمة (Task) والمعروف ايضاً بمخطط جانت التعجيلي وكما مبين في الشكل (3-6)



شكل (3-6) يمثل المخطط الخاص بالجدولة الزمنية التعجيلية لأنشطة المشروع والعلاقات المتقدمة لها والأنشطة الحرجة الخاصة بها

3-4 خطوات ايجاد الامثلية في انجاز المشروع باستعمال الخوارزمية الجينية (GA) في برمجة لغة (MATLAB)

بعد حساب وتحديد اقصر وقت لانجاز المشروع وبأقل زيادة ممكنة في التكاليف باستعمال تقنية المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) بواسطة تطبيق برنامج (MS Project) يتم الان ايجاد الوقت الامثل والكلفة المثلى للانجاز عن طريقة كتابة خوارزمية تسمى بخوارزمية جينية الفرز غير المهيمن (NSGA)

(Non Dominetd Sortig Genetic Algorithm) والتي تعتمد على تقنية الدمج بين الوقت والكلفة حيث تمثل هذه الخوارزمية طريقة جديدة وكفوه لإيجاد الامثلية في انجاز المشروع باستعمال برمجة لغة (MATLAB) ويتلخص عملها بإتباع مجموعة خطوات متسلسلة وكما مبين في ادناه :

ملاحظة/ يتم كتابة البرنامج لإيجاد الوقت الامثل والكلفة المثلى للانجاز وذلك لكون بيانات المشروع من النوع المتقطع .

<u>الخطوه الاولى :</u> توليد المجتمع الابتدائي او الاولي (Generating Initial Population) يتم توليد المجتمع الابتدائي او المجتمع الاولي للمسألة بدايتاً بتحديد عدد العقد في شبكة اعمال المشروع والتي تبدأ من النشاط (A) وصولاً الى النشاط (Z) ثم تحديد نقاط الانتقال الممكنة لكل عقدة في الشبكة وتحديد عدد العقد في كل طبقة (في كل مسار) داخل هذه الشبكة وكما مبين في الجدول (3-4) حيث يتم توليد عدد من المسارات (توليد مجتمع) بالاعتماد على هذه الشبكة فمثلاً يتم توليد المسار الاول (الكروموسوم الاول) والذي يتكون من عدد من العقد (الجينات) من الشبكة وهذه المسارات (الكروموسومات) المختلفة تكون المجتمع حيث يتم التعبير عن هذه الكروموسومات بواسطة التشفير بالإعداد الصحيحة على سبيل المثال بالإمكان التعبير عن المسار الاول (الكروموسوم الاول) كما يلي :

المسار الاول (الكروموسوم الاول)

1	2	3	4	5	6	10	12	26

ملاحظة / تمثل العقد في شبكة اعمال المشروع الجينات المكونة للكروموسوم اما الطبقات او المسارات لهذه الشبكة فتمثل الكروموسومات ومجموع هذه المسارات (مجموع الكروموسومات) في شبكة اعمال المشروع تمثل المجتمع .

جدول (3-4) يمثل تسلسل العقد ونقاط الانتقال لكل عقدة داخل الشبكة وعدد العقد وتسلسلها في كل طبقة ضمن الشبكة (المجتمع)

التسلسل الممتابع للعقد في كل طبقة (تسلسل العقد في كل مسار) (في كل كروموسوم ضمن المجتمع)	عدد العقد في كل طبقة (في كل كروموسوم ضمن المجتمع)	تسلسل المسار (تسلسل الكروموسوم في المجتمع)	نقاط الانتقال بين العقد (بين الجينات في المجتمع)	تسلسل العقد (تسلسل الجينات في المجتمع)
1-2-3-4-5-6-10-12-26	9	1	نقطة انتقال واحدة (1)	1
1-2-3-4-5-7-26	7	2	نقطة انتقال واحدة (1)	2
1-2-3-4-5-7-10-12-26	9	3	نقطة انتقال واحدة (1)	3
1-2-3-4-5-7-25-26	8	4	نقطة انتقال واحدة (1)	4
1-2-3-4-5-7-20-26	8	5	نقطتي انتقال (2)	5
1-2-3-4-5-7-9-20-26	9	6	نقطة انتقال واحدة (1)	6
1-2-3-4-5-7-9-25-26	9	7	ستة نقاط انتقال (6)	7
1-2-3-4-5-7-9-15-26	9	8	خمسة نقاط انتقال (5)	8
1-2-3-4-5-7-9-15-21-26	10	9	ثمان نقاط انتقال (8)	9
1-2-3-4-5-7-9-16-20	9	10	نقطة انتقال واحدة (1)	10
1-2-3-4-5-7-9-16-22-26	10	11	لا توجد نقطة انتقال	11
1-2-3-4-5-7-9-16-24-26	10	12	نقطتي انتقال (2)	12
1-2-3-4-5-7-9-23-26	9	13	لا توجد نقطة انتقال (0)	13
1-2-3-4-5-7-9-19-26	9	14	لا توجد نقطة انتقال (0)	14
1-2-3-4-5-7-8-12-26	9	15	نقطتي انتقال (2)	15
1-2-3-4-5-7-8-9-20-26	10	16	ثلاث نقاط انتقال (3)	16
1-2-3-4-5-7-8-9-25-26	10	17	لا توجد نقطة انتقال (0)	17
1-2-3-4-5-7-8-9-15-26	10	18	لا توجد نقطة انتقال (0)	18
1-2-3-4-5-7-8-9-15-21-26	11	19	نقطة انتقال واحدة (1)	19
1-2-3-4-5-7-8-916-26	10	20	نقطة انتقال واحدة (1)	20
1-2-3-4-5-7-8-9-16-22-26	11	21	نقطة انتقال واحدة (1)	21
1-2-3-4-57-8-9-16-24-26	11	22	نقطة انتقال واحدة (1)	22
1-2-3-4-5-7-8-9-23-26	10	23	نقطة انتقال واحدة (1)	23
1-2-3-4-5-7-8-9-19-26	10	24	نقطة انتقال واحدة (1)	24
————	———	———	نقطة انتقال واحدة (1)	25
————	———	———	لا توجد نقطة انتقال	26

الخطوه الثانية : ايجاد قيمة اللياقة (fitness value) لكل كروموسوم (حل ابتدائي او اولي) بواسطة تطبيق دالة اللياقة (Fitness Function) وفق المعادلة (2−19)،(2−20) وذلك عن طريق حساب المجموع الكلي للوقت والكلفة ولكل مسار (لكل كروموسوم) في شبكة اعمال المشروع بالوضع الطبيعي والتعجيلي ومن ملاحظة الجدول

(3−4) نستنتج بأن عدد المسارات الكلية لشبكة اعمال المشروع هي (24) مسار (24 كروموسوم) حيث تمثل هذه المسارات المجتمع الابتدائي او الاولي للمسألة ، يوضح الجدول (3−5) المجموع الكلي للوقت والكلفة ولكل مسار (لكل كروموسوم) في شبكة اعمال المشروع .

الجدول (3-5) يمثل المجموع الكلي للوقت والكلفة لكل مسار (لكل كروموسوم) من مسارات شبكة اعمال المشروع

تسلسل المسار (تسلسل الكروموسوم)	المجموع الكلي للوقت الطبيعي للمسار (للكروموسوم) (بالايام) Di	المجموع الكلي للكلفة الطبيعية للمسار (للكروموسوم) (بالدينار) Ci	المجموع الكلي للوقت التعجيلي للمسار (للكروموسوم) (بالايام) Di	المجموع الكلي للكلفة التعجيلية للمسار (للكروموسوم) (بالدينار) Ci
1	948	390,658,174	927	423,104,466
2	858	640,178,506	772	841,065,981
3	1139	747,576,067	1053	875,463,542
4	858	715,541,233	910	843,428,708
5	1082	762,956,282	996	882,723,757
6	1260	874,082,052	1174	1,001,969,527
7	1174	826,667,003	1088	954,554,478
8	1063	839,913,652	976	968,379,250
9	1262	1,064,410,537	1175	1,192,876,115
10	1114	855,581,408	1028	983,468,886
11	1363	941,133,909	1277	1,069,021,387
12	1192	862,893,907	1106	990,781,387
13	1088	844,324,276	1002	972,211,751
14	1099	832,593,500	1013	960,480,975
15	1250	805,688,572	1164	933,576,047
16	1385	942,694,557	1299	1,070,582,032
17	1299	895,279,508	1213	1,023,166,983
18	1188	908,526,157	1101	1,036,991,755
19	1387	1,133,023,042	1300	1,261,488,620
20	1239	924,193,913	1153	1,052,081,391
21	1488	1,009,746,414	1402	1,137,633,892
22	1317	931,506,412	1231	1,059,393,892
23	1213	912,936,781	1127	1,040,824,256
24	1224	901,206,005	1138	1,029,093,480

الخطوه الثالثة : اختيار الكروموسومات الاباء (Parents) التي تقابل اعلى قيمة لياقة او مفاضلة fitness (value) بالاعتماد على الخطوه الثانية بواسطة استعمال طريقة اختيار عجلة الروليت حيث يتم ايجاد قيمة احتمالية لكل حل (لكل كروموسوم) عن طريق قسمة قيمة اللياقة لوقت وكلفة كل مسار (كل كروموسوم) من مسارات الشبكة (المجتمع) على اكبر قيمة لياقة لوقت وكلفة كافة المسارات (كافة الكروموسومات) الاخرى ضمن الشبكة (ضمن المجتمع) بالوضع الطبيعي والتعجيلي ثم اختيار اعلى قيمة احتمال ظهور لهذه الكروموسومات وعلى اساس هذا الاحتمال نقوم باختيار الاباء من المجتمع لإجراء عملية التزاوج او عملية الدمج حيث نستنتج بأن

اكبر قيمة لياقة للوقت بالوضع الطبيعي هي للمسار (الكروموسوم) (21) بقيمة تبلغ (1488/يوم) واكبر قيمة لياقة للكلفة هي للمسار (الكروموسوم) (19) بقيمة تبلغ (1,133,023,042/دينار) اما اكبر قيمة لياقة للوقت بالوضع التعجيلي فهي للمسار (الكروموسوم) (21) وقيمتها (1402/يوم) واكبر قيمة لياقة للكلفة هي للمسار(الكروموسوم) (19) وقيمتها (1,261,488,620/دينار) حيث يتم تطبيق المعادلات (2-21)،(2-22)،(2-23) لإيجاد احتمالية الظهور للكروموسومات ضمن المجتمع بالوضع الطبيعي والتعجيلي وكما مبين في الجدول(3-6)

دول (3-6) يمثل القيم الاحتمالية او احتمالات الظهور لكافة المسارات في المشروع (كافة الكروموسومات في المجتمع)

الجدول (3-6) يمثل القيم الاحتمالية او احتمالات الظهور لكافة المسارات في المشروع (كافة الكروموسومات في المجتمع)

تسلسل المسار (تسلسل الكروموسوم)	القيم الاحتمالية للوقت الطبيعي (PDi)	القيم الاحتمالية للكلفة الطبيعية (PCi)	القيم الاحتمالية للمسارات (للكروموسومات) بالوضع الطبيعي (Pi)	القيم الاحتمالية للوقت التعجيلي (PDi)	القيم الاحتمالية للكلفة التعجيلية (PCi)	القيم الاحتمالية للمسارات (للكروموسومات) بالوضع التعجيلي (Pi)
1	0.637	0.344	0.490	0.661	0.335	0.498
2	0.576	0.565	0.570	0.550	0.666	0.608
3	0.765	0.659	0.712	0.751	0.693	0.722
4	0.576	0.631	0.603	0.649	0.668	0.658
5	0.727	0.673	0.7	0.710	0.699	0.704
6	0.846	0.771	0.808	0.837	0.794	0.815
7	0.788	0.729	0.758	0.776	0.756	0.766
8	0.714	0.741	0.727	0.696	0.767	0.731
9	0.848	0.939	0.893	0.838	0.945	0.891
10	0.748	0.755	0.751	0.733	0.779	0.756
11	0.915	0.830	0.872	0.910	0.847	0.878
12	0.801	0.761	0.781	0.788	0.785	0.786
13	0.731	0.745	0.738	0.714	0.770	0.742
14	0.738	0.734	0.736	0.722	0.761	0.741
15	0.840	0.711	0.775	0.830	0.740	0.785
16	0.930	0.832	0.881	0.926	0.848	0.887
17	0.872	0.790	0.831	0.865	0.811	0.838
18	0.798	0.801	0.799	0.785	0.822	0.803
19	0.932	1	0.966	0.927	1	0.963
20	0.832	0.815	0.823	0.822	0.833	0.827
21	1	0.891	0.945	1	0.901	0.950
22	0.885	0.822	0.853	0.878	0.839	0.858
23	0.815	0.805	0.81	0.803	0.825	0.814
24	0.822	0.795	0.808	0.811	0.815	0.813

الخطوه الرابعة : اجراء عملية تزاوج (Crossover) او ما يسمى تطبيق عامل التزاوج او العبور (Crossover Operator) ، تتم عملية التزاوج او العبور في هذه الخطوه بين الكروموسومات باختيار وتحديد اكبر احتمال ظهور لها بالاعتماد على الخطوه الثالثة عن طريق ايجاد القيم الاحتمالية لظهور الكروموسومات في المجتمع حيث نستنتج بأن اكبر احتمال لظهور للكروموسومات في المجتمع ضمن الوضع الطبيعي هو للمسار (الكروموسوم) (19) بقيمة

احتمالية تبلغ (0.966) واكبر احتمال ظهور للكروموسومات في المجتمع ضمن الوضع التعجيلي هو للمسار (الكروموسوم) (19) ايضاً بقيمة احتمالية تبلغ (0.963) ، تتم عملية التزاوج او الدمج بين الكروموسومات في المجتمع بالاعتماد على اجراء التزاوج او الدمج للمسار (الكروموسوم) (19) مع باقي المسارات الاخرى في المجتمع ومن خلال الجدول (3-4) بالإمكان ملاحظة أن جميع المسارات (الكروموسومات) في شبكة اعمال المشروع تشترك بالأنشطة (1-2-3-4-5) مما يتيح لنا اجراء عملية الدمج (القطع) من الجين السابع الى اخر جين في الكروموسوم فمثلاً تتم عملية الدمج بين الكروموسوم (19) مع الكروموسوم (21) باستعمال طريقة التهجين بنقطة دمج او تزاوج واحدة وكما مبين في ادناه :

الكروموسوم (19) الاب الاول	1	2	3	4	5	7	8	9	15	21	26
الكروموسوم (21) الاب الثاني	1	2	3	4	5	7	8	9	16	22	26
الكروموسوم الجديد الاول	1	2	3	4	5	7	8	9	16	21	26
الكروموسوم الجديد الثاني	1	2	3	4	5	7	8	9	15	22	26

الخطوه الخامسة : تطبيق عامل او مشغل الطفرة (Mutation Operator) ، تتم عملية اجراء الطفرة في الخوارزمية عن طريق اختيار عقدة معينة (جين معين) ضمن مسار معين (كروموسوم معين) ثم تحريكها بشكل عشوائي بحسب العقدة المتاحة فمثلا لنأخذ المسار الاول (الكروموسوم الاول) على سبيل المثال فأن الجينات المكونة لهذا الكروموسوم والتي تشمل (1-2-3-4-5) تمثل مسار غير عشوائي (مسار غير متفرع) محدد ولكن عند وصول هذا المسار الى العقدة (الجين) السادس يتحول هذا المسار الى مسار عشوائي (مسار متفرع) غير محدد ولتوضيح ذلك تتم عملية الطفرة للمسار الاول (الكروموسوم الاول) مثلاً بتغيير مفاجئ يحدث في احدى جينات هذا الكروموسوم ونتيجة لهذا التغير في الجين يتولد مسار جديد ويكون هذا المسار على سبيل المثال متمثل بالكروموسوم الثالث وكما مبين في ادناه :

الكروموسوم الاول قبل اجراء الطفرة	1	2	3	4	5	6	10	12	26
الكروموسوم الثالث بعد اجراء الطفره	1	2	3	4	5	7	10	12	26

الخطوه السادسة : حساب الوقت الامثل والكلفة المثلى للمشروع بواسطة تطبيق اجراءات خوارزمية (NSGA) المقترحة باستعمال برمجة لغة (MATLAB) بالاعتماد على الانموذج الرياضي لإيجاد الامثلية في انجاز المشروع وفق المعادلات (2-14)،(2-15)،(2-16)،(2-17)،(2-18) ثم اعادة وتكرار تنفيذ الخطوات السابقة من الثانية ولغاية السادسة لحين الوصول الى افضل عدد من نقاط (Pareto) او بانتهاء عدد التكرارات الكلية وبالتالي تحقق احدى حالات او شروط توقف الخوارزمية الجينية (GA) ، ادناه تمثل نتائج اجراءات عمل خوارزمية (NSGA) باستعمال برمجة لغة (MATLAB) بإصدار (2013) لمائة جيل وبوقت تنفيذ للخوارزمية يقدر بـ (36.99/ثانية)

5-3 نتائج اجراءات عمل خوارزمية (NSGA) في برمجة لغة (MATLAB)

```
######################before    crushing##############
duration of finsh the project  1049: Cost = 467069409.28
CPM  1   2   3   4   5   6  10  12  18  26
#########################################################
#########################################################
#########################################################
#########################################################
######################after    crushing##############
duration of finsh the project  1028: Cost = 499515703.04
CPM  1   2   3   4   5   6  10  12  18  26
<<
```

تفسير نتائج الجانب العملي : ان استعمال برنامج (Ms Project) في المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) يمثل نهج جديد وفعال في عملية تقليص وقت انجاز المشروع حيث استطاع النهج المقترح باستعمال برنامج (Ms Project) تحقيق نتائج جيدة تمثلت في تقليص وقت انجاز المشروع بحوالي (87/ يوم) أي بتقليص للوقت الاجمالي الطبيعي للمشروع من (1120/يوم) الى (1033/يوم) مع اقل زيادة في التكلفة الاجمالية للمشروع تقدر بحوالي (128,465,306/دينار) أي بزيادة في التكلفة الاجمالية الطبيعية للمشروع من (1,774,443,888/ دينار) الى (1,902,909,194/ دينار) وذلك لان تقليص وقت الانجاز يتطلب توظيف مزيداً من الموارد على حساب تكلفة مباشره اعلى للنشاط نستنتج من هذه النتائج بأن تطبيق برمجيات ادارة المشاريع كتطبيق برنامج (Ms Project) يوفر طريقة كفوئة وعملية في انجاح مشاريع البناء وذلك لقدرة البرنامج في اجراء عمليات التخطيط والجدولة والرقابة على المشاريع وبخاصة المشاريع الكبيرة التي تمتاز بتعدد انشطتها و العلاقات فيما بينها حيث تكون نسبة احتمال ظهور الاخطاء عند اجراء العمليات الرياضية التقليدية كبيرة اضافة الى انها تتطلب فترة زمنية طويلة لحسابها وصعوبة في اجراءها بالإضافة الى قدرة البرنامج في حساب العلاقات المتقدمة لأنشطة المشروع وهذا ما تعجز عنه البرامج الاخرى الخاصة بإدارة المشاريع إلا ان الميزة الاساسية والمهمة لبرنامج (Ms Project) تتمثل في وضع جدولة زمنية تفصيلية لمراحل انجاز انشطة المشروع ضمن مرحلة التخطيط ، يلاحظ من خلال عرض نتائج خوارزمية (NSGA) باستعمال برمجة لغة (MATLAB) بأن الوقت الاجمالي الامثل لانجاز المشروع ضمن الوضع الطبيعي بلغ (1049/يوم) وبكلفة اجمالية طبيعية مثلى للانجاز تقدر بـ (467,069,409.28/دينار) اما الوقت الاجمالي الامثل لانجاز المشروع ضمن الوضع التعجيلي فقد بلغ (1028/يوم) وبكلفة اجمالية تعجيلية مثلى للانجاز تقدر بـ (499,515,703.04/دينار) نستنتج من هذه النتائج بأن خوارزمية (NSGA) ساهمت بشكل كبير وفعال في ايجاد الوقت الامثل والكلفة المثلى للانجاز عن طريق التخلص من القيم الشاذة والمتطرفة لبيانات المشروع والتي تم الحصول عليها بعملية المبادلة أي ان الخوارزمية المقترحة اثبتت كفاءة وقدره كبيرة في ايجاد الامثلية لانجاز المشروع وذلك بسبب اعتمادها على اخذ جميع المسارات الممكنة في شبكة اعمال المشروع بنظر الاعتبار وليس اعتمادها على مسار حرج واحد فقط وهذا ما

يفسر لنا ظهور مسار حرج جديد من الانشطة (CPM 1 2 3 4 5 6 10 12 18 26) بالإضافة الى اعتماد الخوارزمية في عملها على تقنية جديدة وهي تقنية الدمج بين الوقت والكلفة وتتلخص الفكرة الاساسية لعمل هذه التقنية في ايجاد القيم الاحتمالية لظهور الكروموسومات باستعمال طريقة اختيار عجلة الروليت ثم الجمع بين القيم الاحتمالية التي تم الحصول عليها للوقت والكلفة لإيجاد نسبة احتمالية لظهور كل كروموسوم في المجتمع ضمن الوضع الطبيعي والتعجيلي بعد ذلك يتم تحديد اكبر قيمة احتمالية لظهور الكروموسوم في هذا المجتمع لإنتاج الاباء ثم اجراء عملية التزاوج او العبور وإجراء عملية الطفرة الوراثية لإنتاج الابناء او الجيل الجديد وهكذا تتكرر العملية لحين الحصول على افضل حل او تحقق احدى شروط توقف الخوارزمية الجينية .

الفصل الرابع – الاستنتاجات والتوصيات

اولاً / الاستنتاجات

1- ساهمت التقنية الجديدة في المبادلة بين الوقت والكلفة (TCT) في تمييز النشاطات الحرجة التي تعمل على تسريع وقت انجاز المشروع بالمقارنة مع وقته الطبيعي مع الحد الادنى للزيادة في التكاليف الكلية للمشروع ، إذ تتزايد الحاجة الى استخدام الخوارزمية الجينية مع تعدد بدائل تنفيذ النشاطات المختلفة بهدف التقرب اكثر من حالة الامثلية المطلوبة لإغراض تحسين ادارة المشروع .

2- تتزايد الحاجة الى تبني أكثر من معيار واحد في تحسين عملية ادارة المشروع ، إذ ان اعتماد الكلفة وحدها او الوقت بمفرده دون دراسة المبادلة المطلوبة بينهما ، قد ينعكس على عدم توليد الحلول والبدائل الممكنة لمشكلة تخصيص الموارد النادرة كوقت انجاز المشروع بأقل كلف ممكنة .

3- يقود تعدد طرائق تنفيذ انشطة المشروع الى هدر الجهود اللازمة للتركيز على استخدام الموارد استخداما يتصف بالثبات النسبي والاستمرارية بما ينعكس بالإيجاب على الاقتراب من الامثلية في ادارة المشروع بعد محاولة تقليص تلك الطرائق و اعادة تنظيم آليات تنفيذ النشاطات الفرعية على مستوى النشاط الرئيسي الواحد وبما يؤدي الى التخصيص الكفوء والرشيد للموارد المتاحة على اساس الانشطة الحرجة في الاعتبار الاول والاستخدام المنتج لها ومن ثم تخفيض الكلف المرافقة لذلك .

4- ان استعمال الخوارزمية الجينية (GA) في ايجاد الامثلية لانجاز المشاريع كان له دور كبير وفعال في ايجاد الوقت الامثل والكلفة المثلى للانجاز عن طريق التخلص من القيم الشاذة والمتطرفة لبيانات عملية المبادلة من خلال اتباع نهج جديد لإيجاد الامثلية يتمثل بتقنية الدمج بين الوقت والكلفة بواسطة استعمال خوارزمية الفرز غير المهيمن (NSGA) حيث استطاع هذا الاسلوب تقليص وقت وكلفة انجاز المشروع بنسبة كبيره وذلك لكون الخوارزمية المقترحة تأخذ جميع المسارات (الكروموسومات) الممكنة في الشبكة بنظر الاعتبار وليس اعتمادها على ايجاد مسار حرج واحد فقط .

ثانياً / التوصيات

1- تطبيق تقنية المبادلة الجديدة بين الوقت والكلفة باستعمال برمجيات ادارة المشاريع كاستعمال برنامج (MS Project) يحقق نتائج اكثر دقة وواقعية خاصة للمشاريع الكبيرة والمعقدة وذلك بسبب قدرة البرنامج في اخذ جميع علاقات وتداخلات الفترات الزمنية لأنشطة المشروع مع بعضها بعين الاعتبار بالإضافة الى تحديد الموارد التي يحتاجها كل نشاط وبالتالي تحديد تكلفة كل نشاط وكذلك قدرة البرنامج في التعامل مع عدد كبير من الانشطة وإجراء حسابات التخفيض بأقل خطأ واقصر وقت واقل جهد .

2- اعتماد الخوارزمية الجينية وخوارزميات الذكاء الصناعي الاخرى ومحاكاة الحاسوب في حل مسائل ايجاد الامثلية لانجاز المشاريع كاستعمال (خوارزمية مستعمرة النمل وخوارزمية اسراب الطيور وخوارزمية التلدين) وغيرها تمثل وسيلة وأداة مهمة في ايجاد الحل الامثل او الحل القريب للحل الامثل ليس لمشاريع البناء فحسب انما لكافة المشاريع المتلكئة او المتوقفة في العراق .

المصادر :

اولاً / المصادر العربية :

1- ألشمرتي ، حامد سعد نور (2010 م) " بحوث العمليات مفهوما وتطبيقا " ، الطبعة الأولى ، بغداد ، مكتبة الذاكرة للنشر والتوزيع .

2- ألفضل ، مؤيد عبد الحسين و العبيدي ، محمود (2010 م) " ادارة المشاريع منهج كمي " ، الطبعة الثانية ، عمان – الاردن ، مؤسسة الوراق للنشر والتوزيع

3- باشيوة ، لحسن عبد الله (2011 م) " بحوث العمليات " ، الطبعة العربية ، عمان – الاردن ، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع .

4- حسن ، ضوية سلمان و جابر ، عدنان شمخي و الشمري ، نذير عباس ابراهيم (2013م) "بحوث العمليات " ، الطبعة الاولى ، العراق – بغداد ، مكتبة الجزيرة للطباعة والنشر

5- نجم ، نجم عبود (2013 م) "مدخل الى ادارة المشروعات " ، الطبعة الاولى ، عمان - الاردن ، مؤسسة الوراق للنشر والتوزيع .

ثانياً / المصادر الاجنبية :

6- Azaron, A., Perkgoz, C. & Sakawa, M. ,(2005) "A genetic algorithm Approach for the time-cost trade-off in PERT Networks" , Applied Mathematics and Computation , Elsevier Inc .

7- Feng, C., Liu, L., & Burns, S., (1997) " Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time-Cost Trade-off Problems ". ASCE Journal of Computing in Civil Engineering .

8-Goldberg, D. E. ,(1989) "Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning", USA - New York , Addison-Wesley Publishing Company .

9-Gupta, P. K. & Hira, D. S. ,(2008) "Operations Research" , New Delhi- India , Chand, S. & Company Limited , Scientific Research Publishing Inc.

10-Hegazy, T., (1999) "Optimization of Construction time-cost trade-off Analysis Using Genetic Algorithms", Canadian , Journal of Civil Engineering.

11-Lakshminarayanan, S., Gaurav, A., & Arun, C., (2010) " Multi-objective optimization of time cost-risk using Ant Colony optimization" , Kerala-India, Journal of Construction in Developing Countries .

12-Leonov, V. V. & Goncharov, E. N. , (2017) " Genetic Algorithm for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem" Avtomatika- Russia , Pleiades Publishing , Ltd .

13-Melanie. M., (1996) "An Introduction To Genetic Algorithms", London - England, Massachusetts Institute of Technology .

14-Peter, F., Hartmut P. & Carlos, F., (2004) "Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox For Use with MATLAB User's Guide", Version 1, USA , Math Works , Inc .

15- Taha, H. A. ,(2011) " Operations Research An Introduction " , Ninth Edition , New Jersey - USA , prentice hall .

16- Kushwah, K.S. & Tiwari,S. ,(2013) "All Path Algorithm for CPM Networks " , International Journal of Science and Research (IJSR) , ISSN.

17- Holland, J. H. ,(1975) "Adaptation in Natural and Artificial Systems An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence ", Michigan - USA , Bradford Book .

ت	الرمز	المصطلح باللغة الاجنبية	المصطلح باللغة العربية
1	TCT	Time-Cost Trade-off	المبادلة بين الوقت والكلفة
2	TCTP	Time-Cost Trade-off Problem	مشكلة المبادلة بين الوقت والكلفة
3	GA	Genetic Algorithm	الخوارزمية الجينية
4	CPM	Critical Path Method	اسلوب المسار الحرج
5	NSGA	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm	الفرز غير المهيمن للخوارزمية الجينية
6	I	Start of activity	حدث البداية للنشاط
7	J	End of activity	حدث النهاية للنشاط
8	ET_i	The early time to implement the start event of the activity	الزمن المبكر لتنفيذ حدث البداية (i) للنشاط
9	ET_j	The early time to implement the end event of the activity (j)	الزمن المبكر لتنفيذ حدث النهاية (j) للنشاط
10	LT_i	(i)The delayed time to execute the start event of the activity	الزمن المتأخر لتنفيذ حدث البداية (i) للنشاط
11	LT_j	The delayed time to perform the end event of the activity (j)	الزمن المتأخر لتنفيذ حدث النهاية (j) للنشاط
12	e	The amount of increase in the early time of the end of the previous activity in case of delay	مقدار الزيادة في الزمن المبكر لنهاية النشاط السابق في حالة التأخير
13	e'	The amount of decrease in the early period of the end of the activity in the case of submission	مقدار النقصان في الزمن المبكر لنهاية النشاط في حالة التقديم
14	D_{ij}	The activity time between the start event (i) and the end event (j)	زمن النشاط الواقع بين حدث البداية (i) وحدث النهاية (j)
15	T_{ij}^{n}	The normal time of activity between the start event (i) and the end event (j)	الوقت الطبيعي للنشاط الواقع بين حدث البداية (i) وحدث النهاية (j)
16	T_{ij}^{c}	The experimental time of the activity between the start event (i) and the end event (j)	الوقت التعجيلي للنشاط الواقع بين حدث البداية (i) وحدث النهاية (j)
17	C_{ij}^{n}	The normal cost of the activity between the start event (i) and the end event (j).	الكلفة الطبيعية للنشاط الواقع بين حدث البداية (i) وحدث النهاية (j)
18	C_{ij}^{c}	The exorbitant cost of the activity between the start event (i) and the end event (j)	الكلفة التعجيلية للنشاط الواقع بين حدث البداية (i) وحدث النهاية (j)
19	CS_{ij}	The cost slop of the activity between the start event (i) and the end event (j)	ميل الكلفة للنشاط الواقع بين حدث البداية (i) وحدث النهاية (j)
20	Pi	The probability value of the emergence of the path (i) (chromosome i) within the community	القيمة الاحتمالية لظهور المسار(i) (الكروموسوم i) ضمن المجتمع
21	PCi	The potential value of the pathway (i) (chromosome i) within the community	القيمة الاحتمالية لتكلفة المسار (i) (الكروموسوم i) ضمن المجتمع
22	PDi	The probability value of the path (i) (chromosome i) within the community	القيمة الاحتمالية لمدة المسار (i) (الكروموسوم i) ضمن المجتمع
23	Ci	Total cost of the path (i) (total cost of chromosome i) within the community	الكلفة الكلية للمسار (i) (الكلفة الكلية للكروموسوم i) ضمن المجتمع
24	Di	Total duration of course (i) (total duration of chromosome i) within the community	المدة الكلية للمسار (i) (المدة الكلية للكروموسوم i) ضمن المجتمع
25	$C\,max$	The largest cost of the path (the largest cost of the chromosome) within the community	اكبر كلفة للمسار (اكبر كلفة للكروموسوم) ضمن المجتمع
26	$D\,max$	The largest duration of the path (the largest duration of the chromosome) within the community	اكبر مدة للمسار (اكبر مده للكروموسوم) ضمن المجتمع
27	Cij	The cost of the node (j) (gene cost) of the path (i) (chromosome i)	كلفة العقدة (j) (كلفة الجين j) التابعة للمسار (i) (الكروموسوم i)
28	Dij	Duration of the node (j) (duration of gene j) of the path (i) (chromosome i)	مدة العقدة (j) (مدة الجين j) التابعة للمسار (i) (الكروموسوم i)
29	Xij	Variable resolution of node (j) (gene j) of the path (i) (chromosome i)	متغير القرار للعقدة (j) (الجين j) التابعة للمسار(i) (الكروموسوم i)