إستعمال إسلوب ألمخططات ألشبكية لمخطط مشروع مد سكة حديد بصرة – فاو لتقليل زمن إنجاز ألمشروع

أ.م.د خالد ضاري عباس ألطائي مجدي صالح شعيب

جامعة بغداد – كلية الادارة و الاقتصاد – قسم لاحصاء

المستخلص :

الامثلية هي هدف كل باحث في كافة المجالات وبالخصوص في مجال بحوث العمليات وان تطبيق الاسلوب العلمي مثل اسلوب المسار الحرج (Critical Path Method) يعني انك حصلت على افضل النتائج الممكنة. هدف البحث هو تطبيق مثالي لموضوع التحليل الشبكي وتحديدا طريقة (CPM) على احد المشاريع المستقبلية للشركة العامة للسكك الحديد العراقية وهو مشروع مد سكة حديد (بصرة – فاو)، حيث قامت الشركة التي تروم تنفيذ المشروع وهي شركة (Doorsh) ألالمانية الى تقسيم المشروع الى ثلاث قطاعات وهذه القطاعات متفرعة الى ثمانية مشاريع فرعية ، حيث يتم دراسة تلك المشاريع واعداد المخططات الشبكية الخاصة بكل مشروع والعمل على تقليل أوقاتها ، وفيما يخص الكلفة فلقد تم ألإستفادة من تقليل الوقت والتوفير بالكلف غير المباشرة (كلف زمنية) بمعنى آخر فإن أي تقليل في الوقت سيكون له بالمقابل تغيير على الكلفة فأما الكلف غير المباشرة فسوف تتناسب طرديا مع الزمن واما الكلف المباشرة (وخصوصا أجور العمال والمعدات) فستتناسب عكسيا مع الزمن ، الجديد في البحث لم يتم الحصول على كلفة (الاجور التسريعية) بشكل مباشر والتي هي (كلفة انهاء ألأنشطة بأقل من وقتها ألإعتيادي) من المهندسين المختصين بشكل مباشر و انما حصل على نسبة متوسطة لأجور العمل والمعدات والتي هي (25% من الكلفة المباشرة ألإعتيادية) ومن هذه النسبة تم صياغة معادلة لحساب الكلفة المباشرة التسريعية لكل نشاط وهذه المعادلة قادتنا الى صيغة جديدة لحساب الميل (كلفة الإجور ألإضافية في وحدة زمنية معينة) وبالتالي تم الحصول على اوقات جديدة اقل من الاوقات الاعتيادية لكل نشاط وباقل (زيادة) ممكنه على الكلف.

ABSTRACT

The optimizations it coal any research in all field particularly in operation research and has application scientific manner as (critical path method) (CPM) so you has got on the possible results the goal for research it perfect application to network analysis subject and limitation (CPM) on the futuristic project for Iraqi rail ways general company, the project it is extend rail way (Bassra_Faw) the project branch out to sections branch out to eight project so to completed has study all the network plans for decrease time it and relating to cost so any lessen in time will be in return for cost but the time agree with (indirect cost) direct but the time its agree with (direct cost) conversely , the new in the search hasn't completed get on (crash cost) from the specialist engineer but has get on mean ratio for crash cost in comparison with cost normal which it 25% , from this ratio completed formatting equation to calculate crash direct cost for all active and this equation are lead our for new form to calculate slop , final completed has get on new times less than normal time for less (increasing) possible on the cost .

مشكلة البحث

في الشركة العامة للسكك الحديد العراقية التابعة الى وزارة النقل يوجد هناك (مخطط مشروع) مد سكة حديد بين البصرة (محطة المعقل) والفاو وقدمت دراسة من قبل شركة المانية لتنفيذ هذا المشروع وهذه الدراسة لم تخضع لعملية مراجعة او بحث فكان من الضروري إخضاع هذه الدراسة للبحث وألتدقيق وملاحظة هل تم إستخدام ألأساليب العلمية ألتي تساهم في إستغلال الوقت وألموارد بافضل ما يمكن . وخصوصا أن ألمشروع كبير جدا.

هدف البحث

يهدف البحث لتقليل زمن انجاز مشروع (مد سكة حديد بصرة- فاو) والتابع إلى إلى وزارة ألنقل – الشركة العامة للسكك الحديد العراقية و بإستخدام إسلوب ألتحليل ألشبكي وبيان إمكانية تقليل زمن انجاز المشروع بحدود كلفة ممكنة .

الجانب النظري

المقدمة

في اغلب الاحيان تتصف المشاريع بالضخامة من حيث توسعها و تعقيداتها و تفرعاتها و هذا يحتم علينا اتباع العديد من الخطوات و العمليات اللازمة لتحقيق الاهداف الموسومة من هنا تبرز الحاجة الماسة باتباع نماذج التحليل الشبكي مثل اسلوب (PERT) و اسلوب (CPM) بوصفها ادوات فاعلة في عملية اتخاذ القرار و من اهم المزايا التي يتصف بها هذا الموضوع :

1- تحديد الزمن المتوقع و الموارد اللازمة لانجاز المشروع .
2- تحديد زمن بداية و نهاية كل نشاط و تحديد الانشطة الحرجة .
3- امكانية تحويل الموارد من الانشطة غير الحرجة الى الانشطة الحرجة .
4- توفير امكانية اعداد خطط دقيقة تستطيع استيعاب مختلف المراحل التي يمر بها تنفيذ المشروع .

و من المجالات المهمة التي يدخل فيها موضوع التحليل الشبكي :

1- بحوث و تطوير المنتجات الجديدة .
2- الانشاءات الهندسية بشكل عام .
3- صيانة المعدات الضخمة و المعقدة .
4- تخطيط حركة المواصلات لتخفيف الاختناقات .
5- تصميم انظمة الحاسوب و الانظمة المحاسبية و تنفيذها .

تعاريف ومفاهيم في ألمخططات الشبكي[2,3,4,5,6, 9] :

المشروع (project) : مجموعة من ألأنشطة وألعمليات ألتي تتميز بأن لها نقطة بداية محددة ونقطة نهاية محددة مثل بناء بيت ، ترصيف طريق ،بناء جسر ..الخ. وفي هذا الباب نبحث عن كيفية إستخدام أساليب ادارة ألمشروع في ألإجابة على ألأسئلة التالية :

1- في أي تاريخ محدد تصبح ألأموال التي تم إنفاقها على المشروع مساوية أو أقل من أو أكثر من ألمبالغ ألمقررة في ميزانية ألمشروع .
2- في أي تاريخ يصبح العمل بالمشروع مطابقا للجدول ألمقرر أو إنه متخلف أو سابق عنه .
3- هل توجد موارد كافية ومتاحة للأنتهاء من ألمشروع في ألوقت ألمحدد له .
4- إذا كان ألمفروض أن ينتهي ألعمل بألمشروع في وقت أقصر، فما هي أحسن طريقة لتحقيق ذلك بأقل تكلفة .

شبكة ألأعمال (net work) : عبارة عن تمثيل بياني لمجموعة من ألأنشطة المرتبطة وألمتتابعة ألتي يتكون منها مشروع معين . إذ يظهر تسلسل ألأنشطة وألأحداث لأنجاز ألمشروع وبحسب تتابعها ألفني وألمنطقي .

النشا ط (Activity) : وهو جزء من ألمشروع يتم ألتعبير عنه بسهم (←) وهويمثل ألعمل اللازم لإنجاز مهمة معينة وألذي يتطلب لتنفيذه موارد بشرية ومادية ويستغرق وقتا محددا .

الحدث (Event) : وهو لحظة من ألزمن ويتم ألتعبيرعنه بشكل حلقة (◯) وهو لايتطلب وقتا أو موارد ويظهر عند بداية ونهاية كل نشاط .

المسار (path) : بعد ألإنتهاء من شبكة ألأعمال تتكون لدينا ألعديد من ألمسارات وألمسار هو مجموعة من ألأنشطة ألمترابطة وألمتتابعة وهو ألذي يربط بين حدث ألبداية وينتهي بحدث ألنهاية .

ألمسار ألحرج (critical path) : يعرف المسار ألحرج بأنه سلسلة من ألأنشطة ألحرجة ألتي تربط نقطة ألبداية وألنهاية في ألمخطط ألشبكي وسميت هذه ألأنشطة بألأنشطة الحرجة لأن ألوقت ألفائض في تنفيذها يساوي صفر لذلك فإن أي تأخير فيها يؤدي إلى تأخير تنفيذ ألمشروع ألكلي .

ألنشاط ألحرج (Critical Activity) : هو ألنشاط ألذي يكون وقته مؤثر في وقت إنجاز ألمشروع ألكلي .

أنشطة متزامنة : ألأنشطة ألتي يتم تنفيذها في نفس ألوقت بحيث يتم تنفيذ نشاطين أو أكثر في وقت واحد .

أنشطة متعاقبة : وهي ألأنشطة ألتي تحدث في ترتيب متعاقب .

ألوقت ألفائض (Floats Time) : أطول وقت يمكن تأجيل ألمباشرة في تنفيذ فعالية معينة دون أن يؤثر ذلك على وقت إكمال ألمشروع ألكلي ويرمز له بألرمز (TFij) .

ألوقت ألفائض ألحر (Free Floats Time) : أطول وقت يمكن خلاله تأجيل ألمباشرة بتنفيذ فعالية ما ، إذا ما إبتدأت كافة ألفعاليات ألباقية في ألأوقات ألمبكرة لها ويرمز له بألرمز(FFij) .

ألنشاط ألوهمي : (Dummy Activity) : يمثل هذا ألنشاط على ألمخطط ألشبكي بشكل سهم متقطع يربط بين فعالية وأخرى ويوضع هذا النشاط لغرض تطبيق التسلسل وألترابط المنطقي على ألمخطط ألشبكي وهو لايحتاج الى وقت أو مواد بل تكون هذه ألقيمة تساوي صفر .

قواعد بناء ألمخططات ألشبكية[6،7]:

1. معرفة بداية ألشبكة أي ألحدث ألأول في ألشبكة .
2. قبل بدء أي نشاط يجب ان تكون جميع الانشطة السابقة قد إستكملت .
3. من غير الممكن وضع أكثر من نشاط بين حدثين متتاليين لذلك يجب إستخدام نشاط وهمي لتفادي هذه الحالة.
4. ألأسهم ألتي تمثل ألأنشطة يجب ان تاخذ شكل التقدم ولا يجوز أن تأخذ شكل ألدوران أو ألعودة للوراء .
5. محاولة تجنب تقاطع الأنشطة .
6. محولة المحافظة على إستقامة ألخطوط للأسهم .

7. ممكن استخدام الأنشطة الوهمية بكثرة ومن الممكن حذف الأنشطة الوهميةغير الضرورية .

فوائد إسلوب التحليل الشبكي[20] :

1. مساعدة الإدارة في تغيير الخطة كلما تطلب ذلك بالإضافة إلى دراسة البدائل.
2. السماح بتخطيط مسبق جزئي لمجموعة من الفعاليات لغرض تعجيل عملية التخطيط النهائي الكامل
3. المساعدة في إختيار افضل الطرق لإنجاز الأعمال .
4. المساعدة في وضع خطة عمل للمشروع في مرحلة الإعداد والتنفيذ .
5. المساعدة على تحقيق أهداف المشروع بأقل كلفة ممكنة .
6. تعتبر وسيلة لتدريب العاملين بمستوى معين من الكفاءة والمهارة لإنجاز الإعمال بالمستوى المطلوب وفي المواعيد المحددة.
7. السيطرة على الخزين من خلال السيطرة على خزين المواد ومساحة المخازن المطلوبة وأماكن تواجدها .
8. تحديد اوقات الإبتداء والإنتهاء المبكر والمتأخر لكل نشاط ، ثم تحديد أنشطة المسار الحرج .
9. وسيلة للرقابة وتقديم تقارير متابعة وبالتالي توفير نظام للمعلومات يؤدي إلى إكتشاف نقاط الإرباك في العمل ووضع الحلول المناسبة.

تعريف المسار الحرج وطرق تحديده[7] :

ظهرة طريقة المسار الحرج إلى الوجود عند محاولة فرقين مستقلين لبحث طرق أكثر موضوعية للسيطرة على تخطيط المشاريع ورقابتها في وقت واحد ففي عام 1956 وعندما كان الفريق الأول الصناعي للسيطرة الهندسية لمصنع الإنتاج الكيمياوي الأمريكي بقيادة (E.I.du pont de Nemours and company) يبحث في طرق جدولة المشاريع ، وقد إستطاع (Walker) و (Kelly)من الفريق نفسه من إستخدام طريقة المسار الحرج سنة 1957 ، إذ تمت مقارنة جدولة وتقليص الوقت اللازم لشاطات المصنع الكيمياوي مع القديمة المأخوذة إنذاك .

وباستمرار الجهود آنفة الذكر وبجهود علمية متقدمة تم تطوير طريقة المسار الحرج بواسطة (Mauschly Associates) ، وفي السنة نفسها كانت محاولات فريق العمل البريطاني (الفريق الثاني) مجدية لتقليص الوقت اللازم وجدولة الطاقة الكهربائية ولقد عرف المسار الحرج بأنه سلسلة من النشاطات الحرجة وتكون متصلة من أول حدث first event إلى آخر حدث last event في المخطط الشبكي، والمسار الحرج هو الذي يحدد زمن الإنجاز الكلي للمشروع وهو اطول مسارات الشبكة من حيث الوقت ،كما إن الأنشطة الحرجة الواقعة عليه هي التي يجب أن يوجه إليها إهتمام الإدارة (كي تنجز في مواعيدها المحددة)لأنها تؤثر بشكل مباشر على زمن الإنجاز الكلي للمشروع إذا تغيرت

مواعيد إنجازها ، وعند تحديد المسار الحرج يحدد زمن الإنجاز الكلي للمشروع وغير ذلك من المعلومات اللازمة ومن خلال إتباع الخطوات التالية

1. تحديد المشروع وأهدافه .
2. تحديد النشطة التي يتكون منها المشروع بصورة دقيقة مع تحديد النشاط أو الأنشطة. اللازمة لبداية المشروع وتحديد الأنشطة التي تليها وحسب التتابع المنطقي .
3. رسم الشبكة في ضوء الأنشطة المحددة في الخطوة السابقة ، وترقيم نقاط الأحداث وربطها بالأنشطة المعبرة عنها بالأسهم التي تمثل الأنشطة كافة على وفق ترتيبها المنطقي الفني السليم ، مع إضافة الأنشطة الوهمية إلى الشبكة كلما تطلب ذلك .
4. تحديد وقت إنجاز كل نشاط من الأنشطة التي إشتملت عليها الشبكة وكتابته على السهم الذي يمثل النشاط ،(ويمكن أن يكون تقديري في موضوع BERT)

والخطوة التالية هي تحديد المسار الحرج ويتم ذلك بطريقتين :

اولا : الطريقة البيانية (المسارات) .

ثانيا : الطريقة الرياضية (طريقة الوقت الفائض Float time).

أولا : الطريقة البيانية (المسارات) :

في هذه الطريقة يتم إيجاد كل المسارات الممكنة لشبكة الأعمال ومن حدث البداية إلى حدث النهاية، كذلك يتم حساب الوقت اللازم لكل مسار (بجمع أوقات الأنشطة الموجودة في ذلك المسار) . ويعد المسار الأطول من حيث الزمن ،والذي يهيأ الإنتهاء من إنجاز الأنشطة كافة ، بمثابة المسار الحرج ، وزمن هذا المسار يعد بمثابة(أدنى زمن متوقع)لإنهاء المشروع .وتتميز هذه الطريقة بسهولتها وتطبق عادة في شبكات الأعمال البسيطة وذات الأنشطة القليلة . اما في الشبكات الكبيرة فقد يكون من الصعب ايجاد كل المسارات الممكنة للشبكة لذلك يتم اللجوء الى الطريقة الثانية (الرياضية) .

ثانيا : الطريقة الرياضية (طريقة الوقت الفائض) :

لتحديد المسار الحرج وفقا لهذه الطريقة يتعين علينا حساب الزمن المبكر الممكن لبداية النشاط (Earliest start time) والزمن المتأخر المسموح به لإنجاز كل نشاط (Latest completion time) في المشروع (ويقصد بالزمن المبكر لبداية النشاط هو الزمن الذي لايمكن لنشاط ان يبدأ قبله) اما الزمن المتأخر لإنهاء النشاط فهو الذي لايمكن تأخير زمن انتهاء النشاط بعده (وذلك عن طريق تاخير زمن البدء) وفيما يلي طريقة حساب الزمن المبكر والمتأخر لكل نشاط كذلك تحديد الفائض من كل وقت (Float) :

1. الوقت المبكر لوقوع الحدث (i) [Esi] Earliesst start time .الوقت المبكر لوقوع حدث معين هو اجمالي الوقت اللازم لإنجاز ألأنشطة السابقة كافة لذلك ألحدث ، معنى هذا ان الوقت المبكر لوقوع الحدث رقم (1) في اي شبكة اعمال (مخطط شبكي) يساوي صفرا ، وذلك لغياب اي نشاط سابق له وتكون الصيغة الرياضية لحسابه كما يلي وجرت العادة وضعه داخل مربع □ .

$$Es_j = Max_i. \{ Es_j + D_{ij} \} \quad .... (1)$$

D_{ij} : الوقت اللازم لإنجاز النشاط (i,j) .

Es_i : الوقت المبكر لحدث بداية النشاط.

Es_j : الوقت المبكر للحدث اللاحق اي لحدث نهاية النشاط

وعلى إفتراض ان $Es_o = 0$ اي ان الوقت المبكر لحدث البداية هو صفر ، كما تم ذكره ونبتدىء بحسابه من الحدث ألأول وألإنتهاء بألحدث الأخير للمخطط الشبكي كما يطلق على هذه العملية من حساب ألأوقات المبكرة (Forward pass) .

وبحسب الصيغة (1) السابقة ، اي نبدأ بحساب الأوقات المبكرة من الحدث ألأول للمخطط الشبكي وانتهاء بآخر حدث .

2. الوقت المتأخر لإنهاء النشاط [Lc_i](Lasted completion time) يعرف الوقت المتأخر ،بأنه آخر وقت زمني يمكن لنا فيه ألإنتهاء من انجاز ألعمل المؤدي الى الحدث وذلك من دون ألإخلال بالوقت العام للمسار الحرج، كما تكون الصيغة الرياضية لحسابه كألتالي ، وجرت ألعادة وضعه في داخل مثلث △ .

$$Lc_i = Min_j. \{ Lc_j - D_{ij} \} \quad ...(2)$$

وهنا نبدأ بحساب الوقت المتأخر ابتدءا من الحدث ألأخير وحتى حدث البداية من المخطط الشبكي ، كما يطلق يطلق على عملية حساب الوقت المتأخر (Back word). وعلى افتراض

Lc_i : الوقت المتأخر لحدث بداية النشاط

Lc_j : الوقت المتخر لحدث نهاية النشاط

(وبما ان عملية حساب الوقت المتأخر تبدأ من النهاية باتجاه البداية فيكون Lc_j هو المعلوم ألأول لإستخراج Lc_i).ولحدث النهاية فقط في أي مخطط شبكي يكون الوقت المبكر يساوي الوقت المتأخر أي $Lc_n = Es_n$ وعلى فرض ان (n) هو الترتيب ألأخير للأحداث .

وعند استخراج الوقت ألمبكر للأحداث في عملية (Forward pass)والوقت المتأخر (Backword pass) بألإمكان تعيين المسار الحرج من خلال تحقيق الحالات الثلاث الآتية:

1. تساوي الوقت المبكر مع الوقت المتأخر لكل حدث يمر به المسار الحرج اي

$$ES_j = LC_j \text{ and } ES_i = LC_i \quad ...(3)$$

2. حاصل الطرح بين الوقت المبكر لحدث نهاية النشاط من الوقت المبكر لحدث بداية النشاط يساوي حاصل طرح الوقت المتأخر لحدث نهاية النشاط من الوقت المتأخر لحدث بداية النشاط وحاصل الطرح في كلتا الحالتين يساوي الوقت اللازم لإنجاز النشاط ولكل ألأنشطة (D_{ij}) .

$$ES_j - ES_i = LC_j - LC_i = D_{ij} \quad ...(4)$$

3. ألفائض من الوقت Floats of the time يكون مساوي للصفر ويحسب حسب الصيغة الآتية :

$$TF_{ij} = Lc_j - [\, Es_i + D_{ij} \,] \quad ...(5)$$

$$= Lc_j - Es_i - D_{ij} \quad ...(6)$$

ويكون هناك نوع آخر للفائض من الوقت هو(الفائض من الوقت الحر) ويستخرج حسب الصيغة التالية مع العلم ان ألأوقات تمثل على النشاط كما في شكل رقم (1):

$$FF_{ij} = Es_j - Es_i - D_{ij} \quad ...(7)$$

حيث إن

شكل رقم (1) تمثيل ألأوقات على ألنشاط [6]

D_{ij} : ألوقت ألللازم لإنجاز النشاط (i , j) .

ES_i : الوقت المبكر لبداية النشاط .

ES_j : الوقت المبكر لنهاية النشاط .

LC_i : الوقت المتأخر لبداية النشاط .

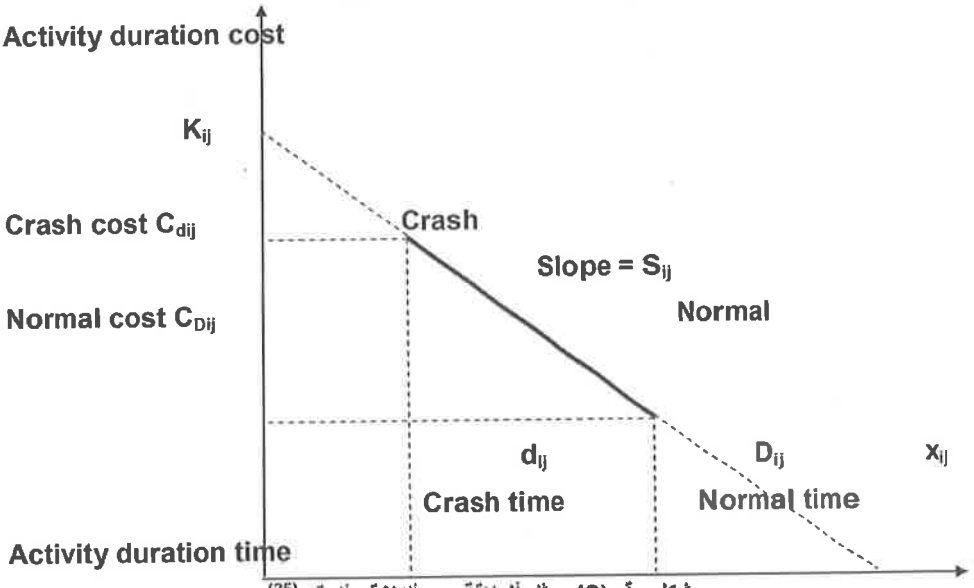
LC_j : الوقت المتأخر لنهاية النشاط .

TF_{ij} : الوقت الفائض .

المبادلة بين الكلفة والزمن وإمكانية تخفيض فترة تنفيذ المشروع وفقا لمبدأ عمل المسار الحرج :

إن كلفة إنجاز كل مشروع تتكون من كلفة مباشرة وهي المصاحبة للأنشطة المختلفة لأعمال المشروع مثل كلفة المواد الأولية والتصاميم وأسعار النقل وإجور العمل والمعدات وغيرها . والنوع الثاني هي الكلفة غير المباشرة ونستطيع تعريفها بأنها كلفة مرتبطة مع الزمن .

بالنسبة للكلفة غير المباشرة نفترض إزديادها طرديا مع زمن إنجاز المشروع بينما بالنسبة للكلفة المباشرة نفترض إزديادها عكسيا مع زمن إنجاز المشروع كذلك نفترض إدارة المشروع تتمتع بقدر من التحكم في زمن الإنجاز بين حد أقصى يسمى زمن الإنجاز العادي (normal time) وحد أدنى يسمى بزمن الإنجاز المنضغط (Crash time) وتحكم بين الزمنين الظروف التكلونوجية لتنفيذ الأنشطة كذلك يقدر زمن تنفيذ المشروع عادة زمن المسار الحرج للمخطط الشبكي وقد تظهر الحاجة الملحة في كثير الأحيان إلى تقليص فترة زمن إنجاز المشروع لأهداف ستراتيجية سياسية كانت أم عسكرية أو تقليص بعض الفترات المرحلية بهدف تسريع وتيرة الإنتاج فعندما نحتاج إلى هذه الأساليب والتي تدعى عملية المبادلة بين التكلفة والزمن والتي تعني إمكانية التبادل بين التكلفة والزمن من اجل كل مرحلة أو من أجل المشرع كله بقي علينا أن نؤكد بأن زمن الإنجاز العادي (normal time) تقابله كلفة إعتيادية (normal cost) كذلك فإن الزمن المنضغط (crash time) تقابله كلفة عالية تسمى بالكلفة المسرعة أو (كلفة التسريع) (crash cost) . والشكل الآتي يمثل العلاقة بين الكلفة والزمن



شكل رقم (2) يمثل العلاقة بين الكلفة والوقت[25]

حيث ان

D_{ij} : زمن الإنجاز العادي

CD_{ij} : كلفة زمن الإنجازالعادي

dij : زمن الإنجاز المنضغط

C_{dij} : كلفة زمن الإنجاز المنضغط.

ولا بد من ملاحظة ان تقليص فترات الأنشطة ولا سيما تلك الواقعة عى المسار الحرج أن يتبعه دراسة جديدة لمراحل المسارات الأخرى خشية ظهور مسارات حرجة جديدة ولذك لابد من دراسة واعية و منطقية للمسارات عند استخدامها بمعنى اخر يجب رسم شبكة جديدة و تحديد المسار الحرج لها وعمل إجراءات لحساب الوقت الفائض(FFi) و الوقت الفائض الحر (TFij) من جهة و من جهة اخرى يلزم لاظهار دراسة مبادلة التكلفة و الزمن إيجاد الميل (slope) و الذي

يمثل الكلفة الاضافية المباشرة لكل وحدة من الزمن المنظغط و يتم استخراجه بواسطة الصيغة التالية :

$$Slope = \frac{Cc-Cn}{Tn-Tc} \quad \dots (8)$$

حيث إن

C_c: الكلفة التسريعية

C_n : الكلفة الإعتيادية

T_n : الزمن الإعتيادي

T_c : الزمن التسريعي

هذا في حال توفرت تقديرات الاوقات و الكلف المنظغطة بشكل مباشر من قبل المختصين و ثبتت لدينا في جدول لكن ممكن ايجاد الميل بصيغة اخرى اذا توفرت لدينا نسبة متوسطة تقديرية لكلف الازمنة المظغوطة (csach time) والبالغة 25% وإذا ادخلنا هذه النسبة في معادلة*

*المعادلة من تصميم الباحث

تقوم بحساب الكلفة التسريعية لكل نشاط و كالاتي:

$$F.COST = NDC + [\frac{RDC*NDC}{Tn}] (T_n - T_C) \quad ...(9)$$

إن

F_{cost} : ألكلفة ألتسريعية المباشرة.

NDC : ألكلفة ألإعتيادية ألمباشرة.

RDC : نسبة إجور ألعمل وألمعدات بالنسبة من الكلفة المباشرة ألإعتيادية.

T_n: ألوقت ألإعتيادي لإنجاز ألنشاط.

T_C: ألوقت ألمنضغط لإنجاز ألنشاط

وعلى سبيل المثال اذا توفرت لدينا الكلفة ألإعتيادية للنشاط (A) في مشروع (1-1) والبالغة (52,777.50) $، والوقت ألإعتيادي والبالغ (12) اسبوع، والوقت المنضغط والبالغ (9.6) اسبوع ، ستكون الكلفة التسريعية كلآتي

$$F_{cost} = 52,777.50 + [\frac{0.25*52,777.50}{12}] (12-9.6)$$

$$= 55,416.375 \$$$

فإذا كان معلوم لدينا في معادلة (8)

$$Slope = \frac{Cc-Cn}{Tn-Tc}$$

.

C_c : الكلفة المضغوطة (F_{cost})

C_n : الكلفة الإعتيادية (NDC)

نعوض معادلة (9) في (8)

$$Slope = \frac{\left\{NDC+\left[\frac{(RDC*NDC)}{Tn}\right](Tn-Tc)\right\}- NDC}{Tn-Tc} \quad ...(10)$$

وبعد ألتبسيط نحصل على ألصيغة ألجديدة للميل

$$Slope = \frac{RDC*NDC}{Tn} \quad ...(11)$$

ومن هذه الصيغة نستطيع أن نعرف ألميل على إنه (كلفة أجور ألعمل وألمعدات في وحدة زمنية واحدة) وتكمن أهمية إيجاد ألميل في مسائل التحليل ألشبكي بألآتي :

أولا : ألأسبقية بضغط ألأنشطة تكون للنشاط ذي أقل ميل .

ثانيا : من خلاله يتم حساب كلفة ألأسابيع ألمضغوطة(DCD) كما في معادلة رقم (13) وحساب التوفير بالتكاليف الناجم عن التسريع (EC) كما في معادلة رقم (14) والتي تدخل في حساب الكلفة الجديدة ، ومعادلة حساب ألكلفة ألجديدة هي

$$NEW.C = (TC + DCD) - (EC) \quad \dots (12)$$

بعد حساب كل من

$$DCD = PW * MS \quad \dots(13)$$

$$EC = PW * (IC) \quad \dots (14)$$

$$IC = TOTAL.IC / TW \quad \dots(15)$$

NEW.C : الكلفة الكلية الجديدة .

TC : الكلفة الكلية .

DCD : كلف الأسابيع المضغوطة ($) .

EC : التوفير في التكاليف غير المباشرة الناجم عن التسريع ($) .

PW : عدد وحدات الزمن المضغوطة (أسبوع) .

MS : اقل ميل من انشطة المسار الحرج ($ / اسبوع)

IC : الكلفة غير المباشرة ($ / اسبوع)

TOTAL.IC : الكلفة غير المباشرة الكلية .

TW : عدد وحدات الزمن الكلية للمشروع (اسبوع)

الخوارزمية التي اتبعها الباحث لإيجاد الحل لكل مشروع:

الخطوة الإولى : تهيئة بيانات الأنشطة (أوقات وكلف إعتيادية وتسريعية) .

الخطوة الثانية : رسم الشبكة .

الخطوة الثالثة : حساب الوقت الفائض (TF_{ij}) و الوقت الفائض الحر (FF_{ij}) حيث ان

($TF_{ij} = Lc_j - [Es_i + D_{ij}]$) و ($FF_{ij} = Es_j - Es_i - D_{ij}$)

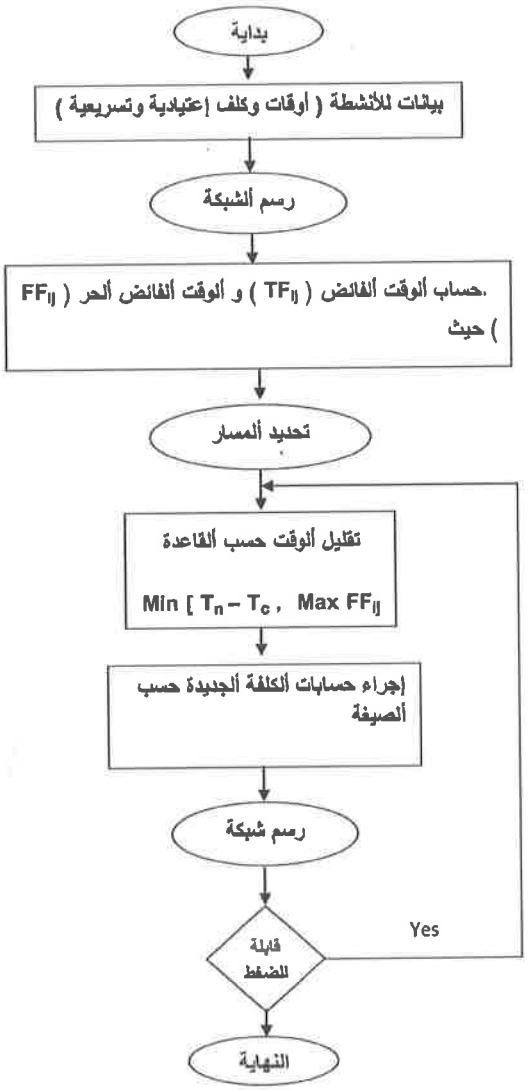
الخطوة الرابعة : تحديد المسار الحرج ، الخطوة الخامسة : تقليل الوقت حسب القاعدة ، وهي إختيار الوقت الأصغر بين فرق الوقت الإعتيادي والتسريعي (T) لنشاط المراد تقليله من جهة، وأكبر وقت فائض حر للأنشطة غير الحرجة من جهة أخرى .

$$Min \{ T_n - T_c , MAX\ FF_{ij} \}$$

الخطوة السادسة : إجراء الحسابات للكلفة الجديدة

الخطوة السابعة : NEW.C = (TC + DCD) – (EC)

رسم شبكة جديدة وفقا للوقت الجديد اذا غير قابلة للضغط (توقف) ماعدا ذلك تعود للخطوة (3) ، وفيما يأتي شكل رقم (3) والذي يمثل المخطط الإنسيابي للخوارزمية :



شكل رقم (3)

خوارزمية خطوات الحل

ألفصل ألثالث

ألجانب ألتطبيقي

مشروع مد سكة حديد (بصرة - فاو) :

لقد تمت الإشارة في ألفصل الثاني الى ألمشاريع ألمستقبلية للشركة ألعامة للسكك ألحديد ألعراقية وكان من ضمن تلك المشاريع هو مشروع مد سكة حديد (بصرة – فاو) و تبلغ (الكلفة الاجمالية) لهذا المشروع 1,409,063,500 $ من ضمنها كلفة (الاشارات و الاتصالات) و البالغة 108,834,500 $ و تكمن اهمية المشروع في :

1- جزء من القناة الجافة التي تربط اوربا بالشرق الاوسط عن طريق (تركيا – زاخو – دهوك – موصل – اربيل – كركوك – بعقوبة – بغداد – كوت – عمارة – بصرة – فاو)

2- ربط ميناء الفاو بميناء ابو فلوس.

ان الشركة التي ستقوم بتنفيذ هذا المشروع هي شركة (doorsh) الالمانية حيث قامت هذة الشركة بتقسيم المشروع الى ثلاث قطاعات و كل قطاع يتفرع الى مشاريع صغيرة و بالتالي سنحصل على ثمان مشاريع فرعية تتوزع على ثلاث قطاعات و الجدول الاتي رقم(1) يمثل القطاعات و المشاريع المتفرعة منها .

جدول رقم (1)

القطاع		المشروع	الكلفة / $	الوقت / اسبوع	طول القطاع / كم
1	1-	اعمال انشاء النفق	618,430,000	224	10
	2-	اعمال أرضية ومد سكة حديد	29,442,000	66	
2	1-	أعمال أرضية لخط ألسكة	130,480,000	68	45
	2-	أعمال ألرضية وبناء مجمعات سكنية	71,674,000	176	
	3-	مد خط سكة حديد	88,671,000	60	
3	1-	أعمال أرضية لخط ألسكة	133,437,000	68	40
	2-	أعمال أرضية وبناء مجمعات سكنية	111,912,000	350	
	3-	مد خط سكة حديد	116,183,000	66	

ألمصدر ألشركة ألعامة للسكك ألحديد ألعراقية

ومايأتي بيانات الشركة لمشروع (1-1)* من اوقات وكلف وكما مبين في الجدول ألآتي فبعد الحصول على البيانات سنبدأ بعملية الضغط للأنشطة واتباع خطوات الخوارزمية والمخطط الإنسيابي فبتكرار العملية سنصل الى اقل وقت لإنجاز المشروع ممكن و بأقل (زيادة) ممكنة على الكلفة .

جدول رقم (2)

بيانات الشركة العامة للسكك الحديد العراقية مشروع (1-1)

ت	(1-1) النشاط	الرمز	النشاط السابق	الكلفه المباشرة $ اعتيادية	الكلفه المباشرة $ سريعة	الوقت/ اسبوع اعتيادي	الوقت/ اسبوع سريعي	PW	العمل	DCD	EC
1	تهديم الهياكل الكونكريته	A		52,777.50	55,416.38	12	9.6	2.4	1,099.5	2,638.88	463,823
2	استخراج الهياكل الكونكريتية المدفونه	B		13168800	13,827,240.00	12	9.6	2.4	274,350.0	658,440.00	463,823
3	تجهيز وصب وفك الركائز الكونكريتية	C	A	39,612,370.00	41,802,988.50	16	12.8	3.2	622,068.3	1,990,618.50	618,430
4	اعمال التخلص من المياه الجوفية	D	B	2737548	2,874,425.40	16	12.8	3.2	42,774.2	136,877.40	618,430
5	اعمال كونكريت ابتدائي	E	C,D	2,577,960.00	2,706,858.00	8	6.4	1.6	80,561.3	128,898.00	309,215
6	مانع رطوبة	F	C,D	3,398,220.00	3,568,131.00	24	19.2	4.8	35,398.1	169,911.00	927,645
7	اعمال ترابية	G	C,D	35,487,358.50	37,261,726.43	24	19.2	4.8	369,660.0	1,774,367.93	927,645
8	الاعمال الكونكريتية لبناء النفق	H	C,D	434020351.5	455,721,369.08	192	153.6	38.4	565,130.7	21,701,017.58	7,421,160
9	جدران ستنادا	I	G	2,479,054.50	2,603,007.23	8	6.4	1.6	77,470.5	123,952.73	309,215
10	مضخات ماء الفعالات الطارئة	J	I,F	11,048,400.00	11,600,820.00	12	9.6	2.4	230,175.0	552,420.00	463,823
11	نصب مفرغات هواء (مضخات)	K	I,F	2,762,100.00	2,900,205.00	8	6.4	1.6	86,315.6	138,105.00	309,215
12	الطرق الجنبية	L	K	3,348,000.00	3,515,400.00	16	12.8	3.2	52,312.5	167,400.00	618,430
13	جسر طسي	M	K	18,600,000.00	19,530,000.00	8	6.4	1.6	581,250.0	930,000.00	309,215
14	الاصل الكهربائية	N	M	5,580,000.00	5,859,000.00	8	6.4	1.6	174,375.0	279,000.00	309,215
15	اختبار الركائز	O	N,H,E,J,L	66960	70,308.00	4	3.2	0.8	4,185.0	3,348.00	154,608
الكلف $			TOTAL	575,139,900.00	603,896,895.00					28,756,995	14,223,890
مباشرة	575,139,900										
غير مباشرة	43,290,100										
الكلية	618,430,000										

المصدر : الشركة العامة للسكك الحديد العراقية / قسم المشاريع / تصاميم الخطوط . (بعد حسابات اضافية من قبل الباحث)

*يمثل الزوج المرتب (1-1) الآتي (مشروع ـــــ قطاع) وللإختصار تم نشر مشروع (1-1) فقط ، فبقية المشاريع تأخذ نفس الخطوات.

جدول بينات الشركة العامة للسكك الحديد العراقية لمشروع (1-1) :

يمثل جدول رقم(2) جدول بيانات الشركة العامة للسكك الحديد العراقية كل المعلومات التي تم الحصول عليها من الشركة العامة للسكك الحديد العراقية / قسم المشاريع / وحدة تصاميم الخطوط ، بالإضافة إلى بعض الحسابات التي أجراها الباحث وإدخلت إلى الجدول {حساب الكلفة التسريعية، الوقت المضغوط(PW)، الميل ،كلفة الوقت المضغوط (DCD)، التوفير بالتكاليف الناجم عن التسريع (EC) } وكالآتي :

العمود الأول : يمثل التسلسل .

العمود الثاني : يمثل كافة أنشطة المشروع.

العمود الثالث : رمز الأنشطة .

العمود الرابع : النشاط السابق .

العمود الخامس : الكلفة المباشرة الأعتيادية للنشاط مثل كلفة الأيدي العاملة والمواد الأولية وإجور الآليات.

العمود السادس : الكلفة المباشرة التسريعية للنشاط أي الكلفة بأقل وقت من الإعتيادي بالتالي ستكون كلفة أكبر أما باستعمال عدد أكبر من الآليات والعمال أو بزيادة ساعات العمل اليومية

العمود السابع : الوقت الإعتيادي لتنفيذ النشاط ويقاس هنا بالإسبوع .

العمود الثامن : الوقت التسريعي لتنفيذ المشروع .

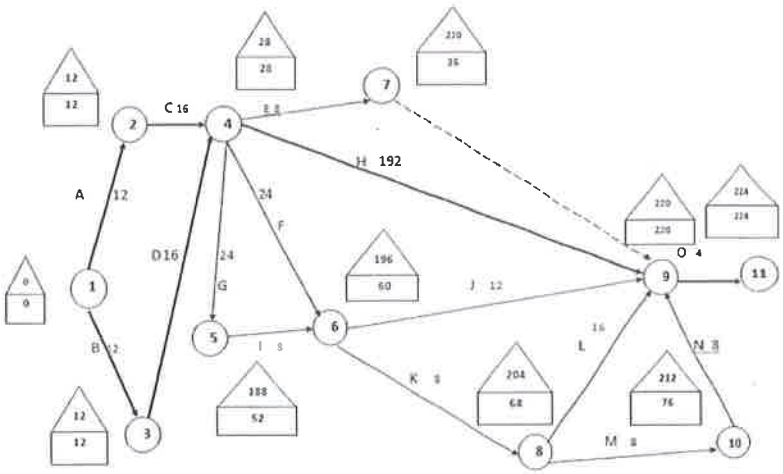
العمود التاسع : عدد الأسابيع التي ضغطت من زمن انجاز النشاط (PW) .

العمود العاشر: يمثل الميل (كلفة الإجور الإضافية في وحدة زمنية معينة).

العمود الحادي عشر : كلفة أجورالأسابيع المضغوطة من زمن انجاز المشروع (DCD) .

العمود الثاني عشر : يمثل التوفير بالتكاليف الناجم عن التسريع بالزمن (EC) .

ونلاحظ في الجانب الأيسر السفلي للجدول قد وضعت الكلفة المباشرة والغير مباشرة والتان تمثلان الكلفة الكلية لمشروع (1-1) والبالغة 618,430,000 $(حسب الشركة) .



شكل رقم(4)

شبكة اعمال مشرع (1-1) بدون ضغط اي نشاط

جدول رقم (3)

جدول يتبين فيه الوقت الفائض والوقت الفائض الحر لمشروع (1-1) بدون ضغط أي نشاط

الوقت الفائض الحر	الوقت الفائض	وقت نهاية النشاط		وقت بداية النشاط		الوقت/اسبوع	(1-1)	
Ffij = Esj-Esi-Dij	Tfij= LCj - [Esi + Dij]	متأخر- LCj	مبكر- Esj	متأخر- Lci	مبكر- Esi	Dij	النشاط	ت
0	0	12	12	0	0	12	A	1
0	0	12	12	0	0	12	B	2
0	0	28	28	12	12	16	C	3
0	0	28	28	12	12	16	D	4
0	184	220	36	28	28	8	E	5
8	144	196	60	28	28	24	F	6
0	136	188	52	28	28	24	G	7
0	0	220	220	28	28	192	H	8
0	136	196	60	188	52	8	I	9
148	148	220	220	196	60	12	J	10
0	136	204	68	196	60	8	K	11
136	136	220	220	204	68	16	L	12
0	136	212	76	204	68	8	M	13
136	136	220	220	212	76	8	N	14
0	0	224	224	220	220	4	O	15
						without crash		

حساب ألوقت الجديد وألكلفة ألجديدة لمشروع (1- 1) :

اولا : نشاط O

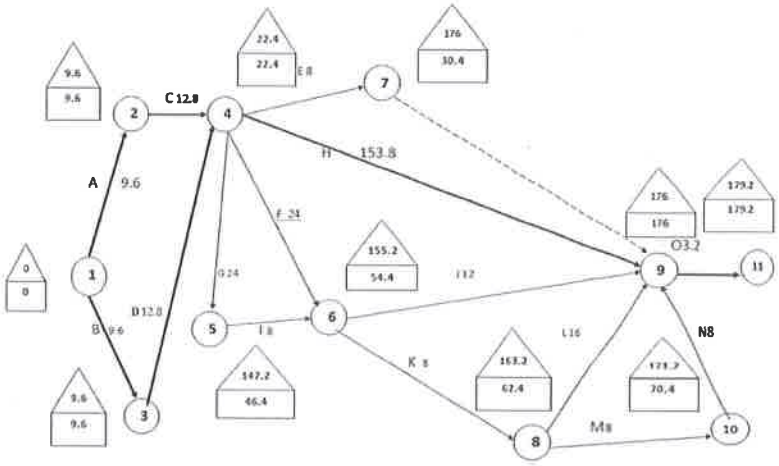
$$N.C = (T_C + DCD) - (E_C)$$

$$= (618,430,000 + 3,348) - (154,607.5)$$

$$= 618,278,740.5\ \$$$

$$NT_1 = TW - PW$$

$$= 224 - 0.8 = 223.2\ Week$$



شكل رقم (5) شبكة اعمال (1-1) بعد ضغط النشاط (O)

جدول رقم(4)

جدول يتبين فيه الوقت الفائض والوقت الفائض الحرلمشروع (1-1) بعد ضغط النشاط (O)

ت	(1-1) النشاط	الوقت/اسبوع Dij	وقت بداية النشاط		وقت لهاية النشاط		الوقت الفائض Tfij= LCj - (Esi + Dij)	الوقت الفائض الحر Ffij = Esj-Esi-Dij
			مبكر- Esi	متاخر- Lci	مبكر- Esj	متاخر- LCj		
1	A	12	0	0	12	12	0	0
2	B	12	0	0	12	12	0	0
3	C	16	12	12	28	28	0	0
4	D	16	12	12	28	28	0	0
5	E	8	28	28	36	220	184	0
6	F	24	28	28	60	196	144	8
7	G	24	28	28	52	188	136	0
8	H	192	28	28	220	220	0	0
9	I	8	168	52	60	196	136	0
10	J	12	196	60	220	220	148	148
11	K	8	196	60	68	204	136	0
12	L	16	204	68	220	220	136	136
13	M	8	204	68	76	212	136	0
14	N	8	212	76	220	220	136	136
15	O	3.2	220	220	223.2	223.2	0	0

CRASH (O)

ثانيا : نشاط H

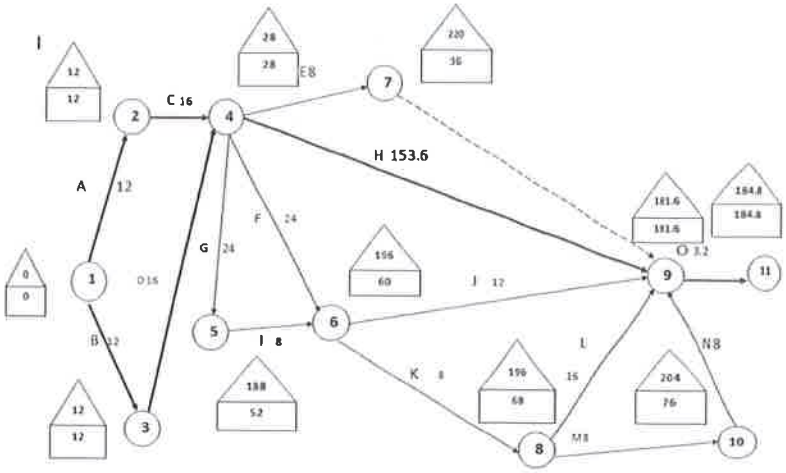
$$N.C = (T_C + DCD) - (E_C)$$

$$= (618,278,740.5 + 21,701,017.58) - 7,421,160$$

$$= 632,558,598.074\ \$$$

$$NT_2 = NT_1 - PW$$

$$= 223.2 - 38.4 = 184.8\ Wee$$



شكل رقم (6) شبكة أعمال (1-1) بعد ضغط ألأنشطة (O , H)

جدول رقم (5)

جدول يتبين فيه الوقت الفائض والوقت الفائض الحرلمشروع (1-1) بعد ضغط النشاطان (O,H)

ت	(1-1) النشاط	الوقت/اسبوع Dij	وقت بداية النشاط		وقت نهاية النشاط		الوقت الفائض	الوقت الفائض الحر
			مبكر- Esi	متأخر- Lci	مبكر- Esj	متأخر- LCj	Tfij= LCj - [Esi + Dij]	Ffij = Esj-Esi-Dij
1	A	12	0	0	12	12	0	0
2	B	12	0	0	12	12	0	0
3	C	16	12	12	28	28	0	0
4	D	16	12	12	28	28	0	0
5	E	8	28	28	36	220	184	0
6	F	24	28	28	60	196	144	8
7	G	24	28	28	52	188	136	0
8	H	153.6	28	28	181.6	181.6	0	0
9	I	8	28	188	60	196	136	0
10	J	12	196	196	181.6	181.6	109.6	148
11	K	8	196	196	68	196	128	0
12	L	16	68	196	68	181.6	97.6	97.6
13	M	8	68	196	76	204	128	0
14	N	8	76	204	84	181.6	97.6	97.6
15	O	3.2	181.6	181.6	184.8	184.8	0	0

CRASH (H)

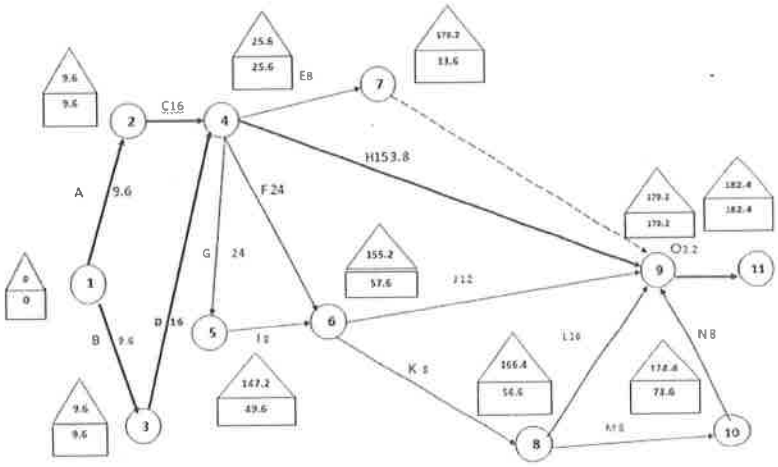
ثالثا : النشاطان (A,B) (نشاطان متزامنان)

New Cost = (632,755,954.454 + 1,990,618.5 + 136,877.4) – (463,822.5)

= 632,755,854.46 $

$NT_3 = NT_2 - PW$

$= 184.8 - 2.4 = 182.4$ Week



شكل رقم (7) شبكة أعمال (1-1) بعد ضغط الأنشطة (O,H,A,B,)

جدول رقم (6)

جدول يتبين فيه الوقت الفائض والوقت الفائض الحرلمشروع (1-1) بعد ضغط الأنشطة (O,H,A,B)

ت	النشاط	(1-1) الوقت/اسبوع	وقت بداية النشاط		وقت نهاية النشاط		الوقت الفائض	الوقت الفائض الحر
		Dij	مبكر- Esi	متأخر- Lci	مبكر- Esj	متأخر- LCj	Tfij= LCj - [Esi + Dij]	Ffij = Esj-Esi-Dij
1	A	9.6	0	0	9.6	9.6	0	0
2	B	9.6	0	0	9.6	9.6	0	0
3	C	16	9.6	9.6	25.6	25.6	0	0
4	D	16	9.6	9.6	25.6	25.6	0	0
5	E	8	25.6	25.6	33.6	179.2	145.6	0
6	F	24	25.6	25.6	57.6	155.2	105.6	8
7	G	24	25.6	25.6	49.6	147.2	97.6	0
8	H	153.6	25.6	25.6	179.2	179.2	0	0
9	I	8	147.2	49.6	155.2	57.6	97.6	0
10	J	12	155.2	57.6	179.2	179.2	109.6	109.6
11	K	8	155.2	57.6	166.4	65.6	100.8	0
12	L	16	166.4	56.6	179.2	179.2	106.6	106.6
13	M	8	166.4	56.6	174.4	73.6	109.8	9
14	N	8	174.4	73.6	179.2	179.2	97.6	97.6
15	O	3.2	179.2	179.2	182.4	182.4	0	0

CRASH (A,B)

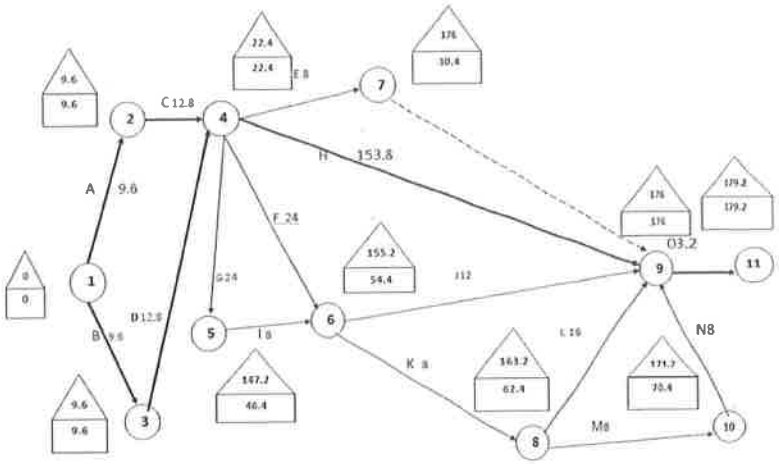
رابعا : النشاطان (C,D) (نشاطان متزامنان)

New Cost = (632,755,954.454 + 1,990,618.5 + 136,877.4) – (618,430)

= 634,264,920.36 $

$$NT_4 = NT_3 - PW$$

= 182.4 – 3.2 = 179.2



شكل رقم (8) شبكة أعمال (1-1) بعد ضغط الأنشطة (O,H,A,B,C,D)

جدول رقم (7)

جدول يتبين فيه الوقت الفائض والوقت الفائض الحرلمشروع (1-1) بعد ضغط الأنشطة (O,H,A,B,C,D)

ت	(1-1) النشاط	الوقت/اسبوع Dij	وقت بداية النشاط مبكر- Esi	وقت بداية النشاط متأخر- Lei	وقت نهاية النشاط مبكر- Esj	وقت نهاية النشاط متأخر- LCj	الوقت الفائض Tfij= LCj - (Esi + Dij)	الوقت الفائض الحر Ffij = Esj-Esi-Dij
1	A	9.6	0	0	9.6	9.6	0	0
2	B	9.6	0	0	9.6	9.6	0	0
3	C	12.8	9.6	9.6	22.4	22.4	0	0
4	D	12.8	9.6	9.6	22.4	22.4	0	0
5	E	8	22.4	22.4	176	30.4	145.6	0
6	F	24	22.4	22.4	155.2	54.4	108.8	8
7	G	24	22.4	22.4	147.2	46.4	100.8	0
8	H	153.6	22.4	22.4	176	176	0	0
9	I	8	147.2	155.2	155.2	54.4	100.8	0
10	J	12	176	176	176	176	109.6	109.6
11	K	8	155.2	155.2	163.2	62.4	100.8	0
12	L	16	163.2	163.2	176	176	97.6	97.6
13	M	8	163.2	163.2	171.2	70.4	100.8	0
14	N	8	171.2	171.2	176	176	97.6	97.6
15	O	3.2	176	176	179.2	179.2	0	0

CRASH (C,D)

جدول رقم (8) خلاصة حسابات اختصار مدة مشروع (1-1)

الكلفة / دولار	الوقت / اسبوع	النشاط المظغوط
618,430,000	224	لا يوجد
618,278,740.5	223.2	O
632,558,598.074	184.8	O,H
632,755,854.461	182.4	O,H,A,B
634,264,920.354	179.2	O,H,A,B,C,D

نلاحظ من الجدول كيف ان الوقت يقل كلما قمنا بضغط الأنشطة وبالمقابل زيادة الكلفة في كل خطوة ضغط للأنشطة.

الإستنتاجات

1- ان اعتماد اسلوب المسار الحرج كاسلوب علمي يؤدي الى اكمال المشروع باسرع وقت و اقل تكاليف ممكنة ، وكما ورد في جدول رقم (8)

2- امكانية الاستفادة من الاوقات الفائضة للانشطة غير الحرجة الى الأنشطة الحرجة.

3- النشاط H و الذي هو الاعمال الكونكريتية لانشاء النفق هو اطول نشاط بين الانشطة لكل المشاريع حيث تبلغ مدته 192 اسبوع .

4- ممكن حساب الكلفة التسريعية لكل نشاط من خلال الصيغة الآتية:

$$F.cost = NDC + \left[\frac{RDC*NDC}{Tn}\right](T_n - T_C)$$

5 - ممكن حساب الميل من خلال الصيغة الجديدة الآتية :

$$Slope = \frac{RDC*NDC}{Tn}$$

التوصيات

1- يجب توفير بيانات كاملة لكل مشروع تتقدم به اي شركة مقاولات و خصوصا الاوقات و الكلف .

2- اخضاع الدراسات و المناقصات لاكثر من لجنة مختصة لابداء ارائهم و تقديراتهم ولا ضرر من استشارة المؤسسات التعليمية العراقية .

3- الزام شركات المقاولات و خصوصا الاجنبية بتدريب مهندسين الشركة العامة للسكك في بلدانهم اما عن طريق الدورات او عن طريق التعليم الاكاديمي.

4- الاهتمام بمشروع (1-1) و تركيز الجهد الهندسي عليه و خصوصا النشاط (H) لانه النشاط الحرج بين كل الانشطة.

5- اعادة النظر في اعمال انشاء النفق و هل من الممكن تشييد جسر بدل منه.

المصادر العربية :

1. بلال، د. محمود إسماعيل/ بحوث العمليات إستخدام الأساليب الكميةفي صنع القرار/2008 دار الجامعة الجيدة ، الزرطية ، مصر .
2. الموسوي ، د.منعم زريزر/ بحوث العمليات مدخل علمي لإتخاذ القرارات،2008،الطبعة الإولى، دار وائل للنشر.
3. حسن ، أ.د ضوية سلمان/ جابر، أ.م.د. عدنان شمخي/ الشمري، أ.م.د.نذير عباس إبراهيم/ بحوث العمليات، الطبعة الإولى 2013 ، مكتبة الجزيرة للطباعة والنشر ، العراق، بغداد .
4. باشيوة، د. لحسن عبدالله/ بحوث العمليات ، الطبعةالعربية 2011، عمان ،الأردن .
5. باري رندر ، رالف ستير، ناجراج بالاكريشنان،تعريب د.م مصطفى مصطفى موسى/ تقديم أ.د.م يحيى عبد العظيم المشد/نمذجة القرارت و بحوث العمليات بإستخدام صفحات الإنتشار الألكتزونية (على الحاسب الآلي)/ دار المرجع للنشر ، المملكة العربية السعودية .
6. الشمرتي ، أ.م.د.حامد سعد نور /بحوث العمليات مفهوما وتطبيقا/الطبعة الإولى /2010،مكتبة الذاكرة ، العراق ، بغداد .
7. حمدان ،فتحي خليل / مرعي، رشيق رفيق /مقدمة في بحوث العمليات ،الطبعة الثانية ، 1999، دار وائل للنشر .
8. الطائي، أ.م.د.خالد ضاري عباس / العتيبي، مروان عبد الحميد / العشاري ، عمر محمد ناصر / تطبيقات وتحليلات النظام الكمي للأعمال / بغداد، مكتبة الذاكرة ،2009 .

الفرهود ، فيصل عبد الإله فاهم/ توظيف البرمجة الخطية في المخططات الشبكية لتحديد الأمثلية للزمن والكلف لإنجاز بعض مشاريع وزارة الشباب/ رسالة ماجستيركلية الإدارة والإقتصاد ،2012

المصادر الأجنبية :

10- FREDERICK S. HILLHER, GERALD J . LIEBERMAN/ INTRODUCTION TO OPEREATION RESEARCH/ SIXTH EDITION/1995

11.PREM KUMAR GUPTA, D.r . D.S HIRA/ OPERATONS RESEARCH/ NEW DELHI/ 2000.

12.HAMDY A.TAHA/ OPERATION RESEARH AN INTRODUCTION/ NINTH EDITION/ 2011.