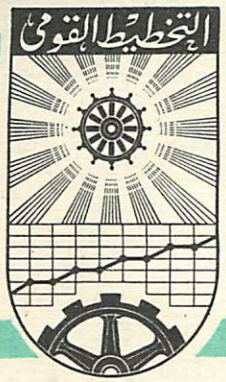
الجمهورية العربية المتحدة



معهد التخطيط القومى

مذكرة خارجية رقم (٨٥٧)

محاضرات
فى
نماذج توقيت وضبط وتنفيذ المشروعات واستخدام الحاسب الالكترونى فى هذا المجال

PERT

دكتور مهندس
محمد عبد الفتاح منجى

نوفمبر ١٩٦٨
اعادة طبع / مايو ١٩٧٧
اعادة طبع / اكتوبر ١٩٧٨

القاهرة
طريق صلاح سالم مدينة نصر

نماذج توقيت وضبط تنفيذ المشروعات
واستخدام الحاسب الالكترونى فى هذا المجـال

PERT

يعتبر اسلوب توقيت وضبط تنفيذ المشروعات PERT
(Program Evaluation and Review Technique)
احد الاساليب الحديثه التى ظهرت نتيجة للثورة الصناعيةوما تتطلبه من استحداث طـــرق دقيقه تساعد معدى المشروعات والبرامج على الوصول الى افضل القرارات ودق الاختبارات التى تؤدى فى النهاية الى اسرع معدل نمو للاقتصاد القومى مع ضمان افضل هيكل له ، وهـــو يعتبر احد الطرق الرياضية لمعالجة المشاكل الاقتصادية .

وهذا الاسلوب يعالج المشروعات الكبيرة التى تشتمل على اعمال جزئية متعدده وترتبط مع بعضها البعض زمنيا ويتطلب الامر التنسيق بين هذه الاعمال الجزئية من حيث توقيت البدء فى تنفيذ كل منها على حده بهدف توفير الطول قدر ممكن من الزمن الكلى اللازم لتنفيـــذ المشروع .

ويعتمد هذا الاسلوب على بناء شبكات تبين العلاقات المتشابكه للاعمال الجزئيـــة للمشروع وهذه الشبكات تناظر نماذج رياضية ، وهذا يعنى ان لكل شبكه من هذه الشبكـــات مصفوفة مناظره (Matrix) تمثلها وبالعكس .

ويمكن تقسيم طريقة استخدام هذا الاسلوب الى مرحلتين متباينتين :

١ - مرحلة اعداد الخطه الاوليه (مشروع الخطه) وهذه تشتمل على :
- خطة سير العمل .
- خطة التوقيت (الخطة الزمنية).
- خطة التكاليف .

٢ - مرحلة اعداد الخطة النهائيه وهذه تشتمل على :
- المقارنة بين المرادفات المختلفه .
- التأثير على سير الخطة .
- تصحيح الخطه فى صورتها النهائيـــة .

ويجدر بنا هنا ان نذكر ان كلتا المرحلتين يجب ان تكرر بالقدر اللازم للوصول الى ادق النتائج .

وقد بدأ ظهور هذا الاسلوب وتطبيقه عام ١٩٥٨ مرتبطا ببرنامج الصواريخ الامريكية بولاريس بغرض اعداد خطط دقيقه لاعمال البحوث والتطوير والتصميم والانتاج وقد تم بالفعل خفض خطه العمل الخمسيه الى ثلاثة سنوات ونصف . وبعد هذا التاريخ تتابع استخدام هذا الاسلوب فى اعداد الخطط للمشروعات والبرامج العسكريه والمدنيه بنجاح كبير . ولقد قدرت بعض شركات البناء الامريكية ان الوفر فى الزمن والتكاليف فى تنفيذ مشروعاتها يقدر بحوالى ٢٠٪ ، ٥٪ على التوالى نتيجة لاستخدام هذا الاسلوب .

ولقد ساعد انتشار استخدام الالات والعقول الحاسبه الالكترونية على التوسع فى استخدام هذا الاسلوب فى كثير من البلاد وعلى سبيل المثال تم استخدامه فى منطقة غرب اوربا فى تخطيط مشروعات معامل تكرير البترول ، برامج العمرات الشاملة لمصانع الكيماويات ، وفى تخطيط اقامة المشروعات الكهربائية وتصنيع الطائرات ... الخ .

كما يطبق هذا الاسلوب على نطاق واسع فى تنفيذ مشروعات البناء فى البلاد الاشتراكية حيث تقوم الحكومات باقامة المشروعات العمرانيه الضخمه ـ وحاليا تجرى محاولات لاستخدام هذه الطريقة فى تخطيط العمليات الجراحيه لخفض الزمن اللازم لها والمجال مفتوح لاستخدامات اخرى عديده فى المستقبل .

ويمكن تلخيص مزايا هذا الاسلوب التخطيطى فى النقاط الاتيه :ـ

١ . مساعدة الادارة فى التعرف على ما يجب عمله لانجاز اهداف المشروعات المختلفة فى اوقاتها المحددة .

٢ . توضيح الاعمال الجزئيه للمشروعات والتى تحتاج الى عناية خاصة وبذلك يمكن الاعداد لها مسبقا .

٣ . تقدير احتياجات المشروعات من العمالة ، والالات ورأس المال الخ .

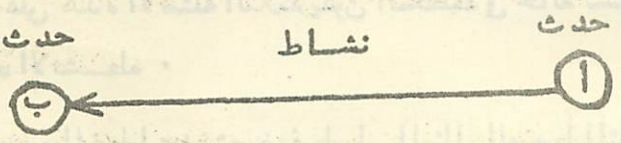
٤ . اعطاء صورة عريضه عما يمكن توقعه من المشروع .

اولا : اسلوب توقيت وضبط تنفيذ المشروعات (PERT / TIME)

أ ٠ عرض المشكلة :

كما سبق ان ذكرنا يهدف عرض المشكلة بتقسيم المشروع الى اعمال جزئيه لكل منها زمن محدد لازم لتنفيذه ، وترتبط هذه الاعمال مع بعضها البعض من حيث التوقيت فى بدء تنفيذ اى منها ٠

واساس هذه الطريقة هو بناء شبكات (Diagrams) تمثل الترابط والعلاقات بين هذه الاعمال الجزئيه فاذا افترضنا ان الشكل رقم (١) يمثل احد هذه الاعمال الجزئيه (Job) لمشروع ما فانه يتضح ان هذا العمل يتكون من نشاط (Activity) له فترة زمنيه سبق تحديدها وحدثان أ ، ب (Events) .



شكل رقم (١)

هذان الحدثان يمثلان نقطه زمنيه محدده حيث أ تمثل نقطة بداية النشاط (أ ب) وب تمثل نقطة نهايتـــه ٠

ويلاحظ عند تمثيل الاعمال الجزئية بهذه الطريقة مايأتى

١ــ عدم وجوب رسم الانشطه المختلفه بمقياس رسم ثابت

٢ــ ان يكون اتجاه السهم من الرقم او العدد الاصغر الى الاكبر وخاصة عند استخـــدام الاجهزة الحاسبه الالكترونية فى الحسابات ــ اى يشترط دائما ان يكون أ اصغر من ب

واذا كان هناك مجموعة من الانشطه (أ ب) ، (ب حـ) ، (حـ د) ٠٠ الخ بحيث ان أ < ب < حـ < د ٠٠ فان هذه المجموعه تكون مايسمى بالمسار (Path) ٠

ب ـ بناء الشـــبكات :

لضمان بداية منتظمه ورشيده لبناء الشبكات يفضل ان تبدأ العمليه بعمل قائمة بـــكل الاعمال الجزئيه للمشروع وذلك لتوضيح حجم الشبكه . كما يفضل اعطاء رموز لهذه الاعمال فى هذه القائمه لتسهيل رسم الشبكات وخاصة فى حالة المشروعات التى تتكون من اعمال جزئية كبيرة العدد .

وبعد اعداد هذه القائمة يجب (بالنسبة لكل نشاط) التساؤل :

١ ـ ماهو النشاط (او الانشطه) الذى يجب ان يتم قبل بدء النشاط موضع السؤال ؟

٢ ـ ماهو النشاط (او الانشطه) الذى يمكن ان يتم تنفيذه فى نفس الوقت ؟

٣ ـ ماهو النشاط (او الانشطه) الذى لايمكن البدء فى تنفيذه الا بعد الانتهاء من تنفيـــذ النشاط موضع السؤال ؟

وبالاجابه على هذه الاسئلة الثلاثه يكون المخطط فى حالة تسمح له بالبدء فى رســـم الشبكه الممثله لهذه الانشـطه .

ولتوضيح هذه الخطوات نستعرض فيما يلى المثال المبسط التالى :

تقوم احدى شركات البناء بتنفيذ انشاء ثلاثة مجمعات من المساكن الشعبية وسنفترض هنا للتبسيط ان عملية الانشاء هذه تنقسم الى عمليتين :

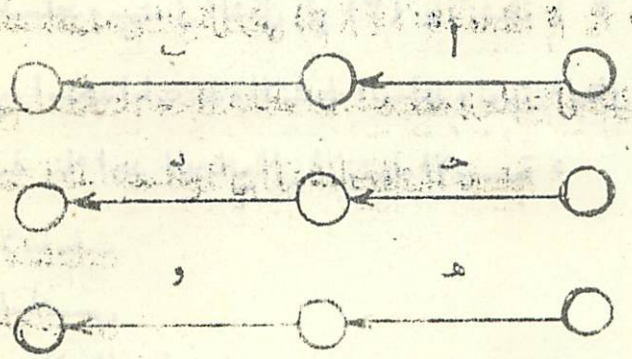
١ ـ عملية الاســاسات

٢ ـ عملية المبانـــى

وبذلك يمكن اعداد قائمة الاعمال الجزئية للمشروع كما يلـــى :

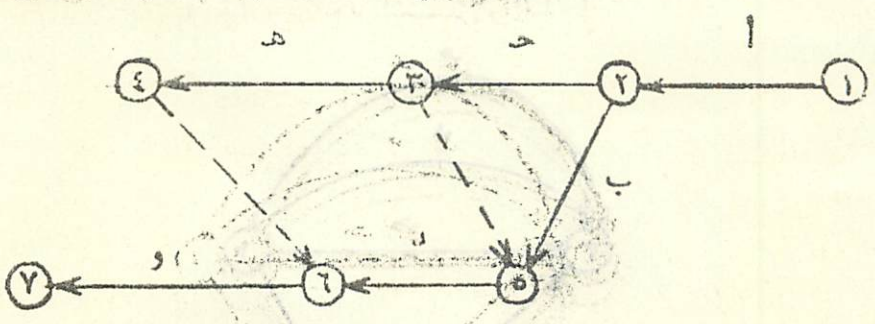
أ	اســـاسات	للمجموعة السكنية الاولى
ب	مبانـــى	
حـ	اســـاسات	للمجموعه السكنية الثانيـــة
د	مبانـــى	
هـ	اســـاسات	للمجموعه السكنيه الثالثـــة
و	مبانـــى	

وهذه القائمة يمكن تمثيلها بالرسم كما يلي



شكل رقم (٢)

وحيث ان شركة واحده هى التى تقوم بتنفيذ بناء المجمعات السكنيه الثلاث فانه يمكن ان يتم التنفيذ كما هو موضح بالشكل رقم (٣)



شكل رقم (٣)

وواضح من هذا الشكل اننا بدأنا التنفيذ بالنشاط (أ) وهو اعمال الاساسات للمجموعه السكنيه الاولى حيث انه لايمكن البدء بأى اعمال للبناء الا بعد اتمام هذه المرحلة على الاقل ويتلو ذلك تنفيذ مرحلة اساسات ومرحلة بناء فى نفس الوقت ، وحيث ان كل من المرحلتين (أ و الانشاطين) (ب ، حـ) مثلاً هما مرحلتان متوازيتان اى يتمان فى نفس الوقت فانه يتم استخدام مايعرف بالنشاط المساعد (Dummy Activity) لتوضيح ذلك

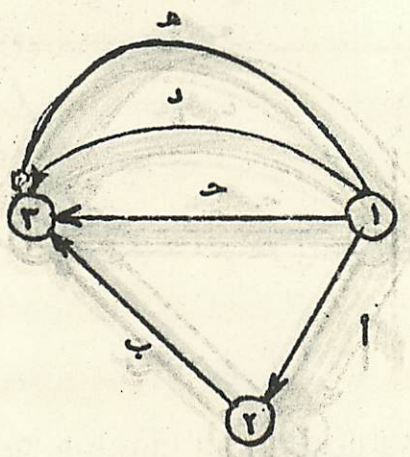
وتوضح دائما فى الرسم بخطوط متقطعه وهى لاتمثل اى وحدات زمنيه (تمثل زمنا يساوى صفر)
وهذه الانشطه المساعده مبينه فى الشكل رقم (٣) بالانشطة (٣ ، ٥) ، (٤ ، ٦)

ولتوضيح استخدامات هذه الانشطه المساعده نسوق المثال التالى :-

تتلخص عملية تنفيذ بناء احد المصانع الى الإنشطه الاتيـــة :

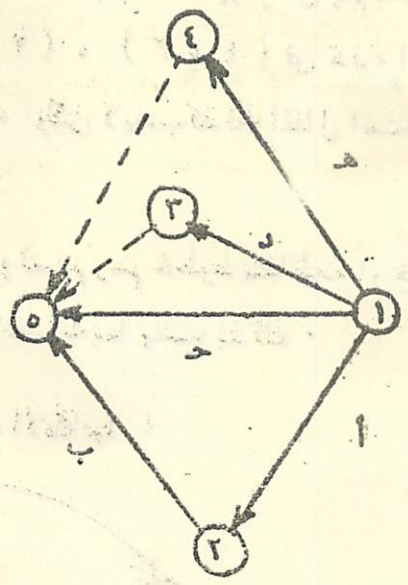
أ ـ الاساسات
ب ـ المبانـــى
حـ ـ توصيلات الميـــاه
د ـ توصيلات الكهرباء
هـ ـ توصيلات الغـــاز

وواضح ان الانشطه (حـ) ، (د) ، (هـ) يمكن ان تتم جزئيا اثناء تنفيذ الاساسات (أ) والمبانى (ب) وهذا مايوضحة الشـــكل رقم (٤)



شكل رقم (٤)

ولكن هذه الطريقة لتمثيل الانشطه لاتوضح العلاقه بين ارقام الاحداث والانشطه لذلك تستخدم فى مثل هذه الحالة الانشطه المساعده لتلافى هذه النقص (شكل رقم ٥) .



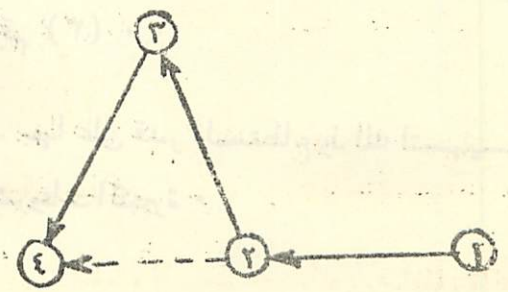
شـــكل رقم (٥)

وبهذه الطريقة نضمن ان كل زوجين من الارقام يمثلان بوضوح نشاطا معينا والعكس .

ويجب عند رسم هذه الشبكات مراعاة مايأتـــى :ـ

١ . يجب ان تبدأ كل شبكه بحدث بدايه (Start) وتنتهى بحدث نهاية (End) .

٢ . يجب عدم استخدام الانشطه المساعده الا فى حالة الضرورة . والشكل رقم (٦) يوضـــح احدى الحالات التى لايجب فيها استخدام النشاط المساعد .

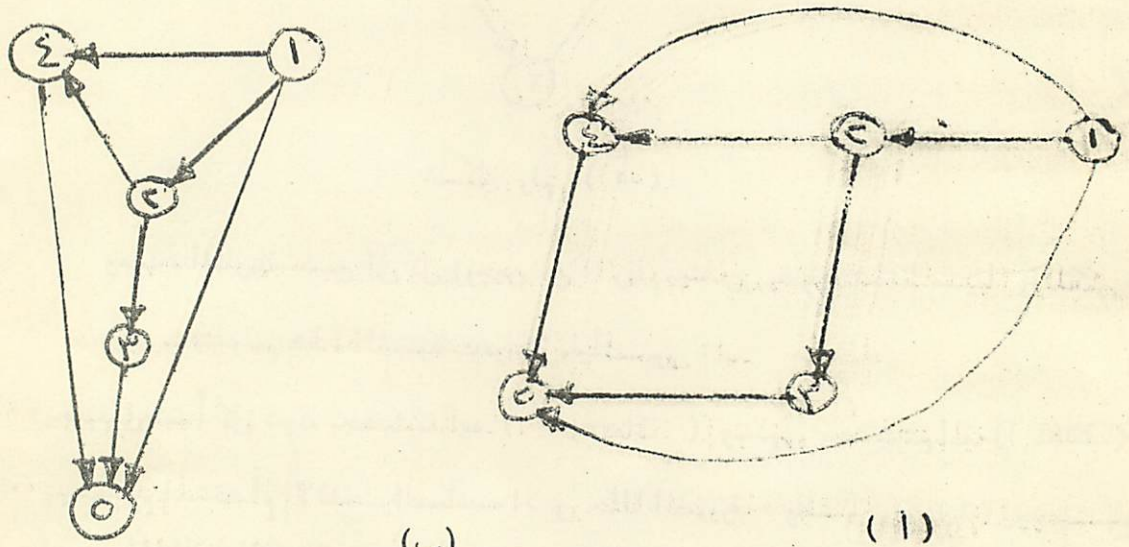


شـــكل رقم (٦)

وهذا الشكل يوضح ان الحدث رقم (٤) يجب ان يتم بعد الحدث رقم (٢) وهو ما يبينه كل من النشاطين (٢ ، ٣) ، (٣ ، ٤) فى هذه الحاله لاينبغى استخدام النشاط المساعد (٢ ، ٤) ، ولكن لايجب كذلك اغفال استخدام هذه الانشطه المساعده فى الحالات الضرورية .

٣. المحاولة على قدر المستطاع لعدم رسم خطوط متقاطعه او خطوط غير مستقيمه . وهذا يمكن ان يتم بتنظيم وضع الاحداث بما يسمح بذلك .

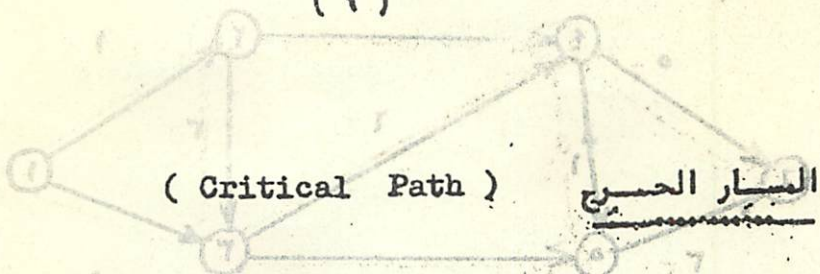
والشكل التالى يوضح هذه الامكانية :



(ا) (ب)

وواضح من الشكل ان كلا من (ا) ، (ب) تمثل نفس الانشطه وما بينها من علاقات ولكن الشكل (ب) يحقق الملاحظة رقم (٣) .

وهذه الملاحظات يجب الاخذ بها على قدر المستطاع وذلك لتسهيل عملية التحليل وخاصة فى حالات المشروعات الكبيرة .



حـ ـ المسار الحرج (Critical Path)

بعد رسم الشبكه (Diagram) المناظره لخطوات تنفيذ المشروع وأعماله الجزئية المختلفه ، اخذين بعين الاعتبار الملاحظات السابق ذكرها ، تكون الخطوه التاليه هى تحديد المسار الحرج لهذه الشبكه والمسار الحرج هو اطول مسار لهذه الشبكه من نقطه البدايه الى نقطة النهايـة .

وتعرف الانشطه او الاعمال الجزئيه التى تقع على المسار الحرج بالانشطه او الاعمال الحرجه (Critical Jobs or Activities) وهى الانشطه او الاعمال التى يجب ان تتم فى المواعيد السابق تحديدها اذا ما اريد للمشروع ان يتم طبقا للجدول الزمنى المعد له . اما ماعدا ذلك من انشطه او اعمال جزئيه فيمكن التأخير فى بدء تنفيذها فى حدود زمنيه معينه يمكن تحديدها من حسابات المسار الحرج كما سنرى فيما بعـد .

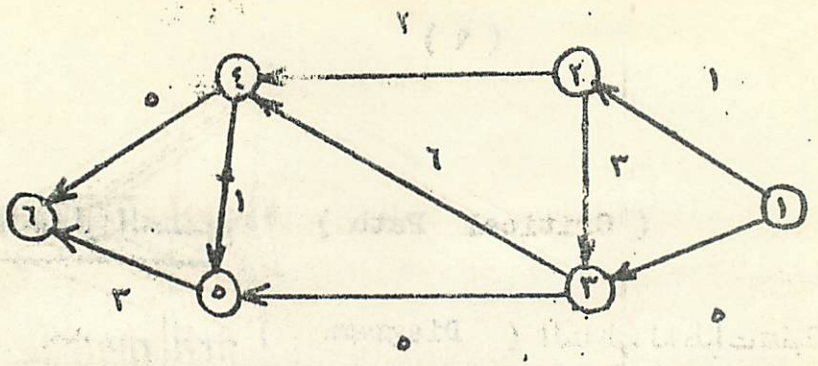
والمسار الحرج يحدد الاعمال الجزئيه او الحرجه والتى تتطلب من الخطط انتباها خاصا حيث انها ، كما سبق ذكره ، يجب ان تتم فى المواعيد المحدده لها .

واحدى طرق تحديد المسار الحرج هى حساب اكثر الاوقات تبكيرا (Earliest time) واكثر الاوقات تأخيرا (Latest Time) والتى يمكن ان يتم عندها كل حدث (Event) ومن ثم يمكن تطبيق اختبارات بسيطه للتعرف عما اذا كان النشاط يقع على المسار الحرج من عدمه .

تحديد وقت حدوث الحـدث : (Event Occurence Time)

لتحديد وقت حدوث الحدث نسوق المثال الاتـى :ـ

يمكن تمثل مشروع يتكون من عشرة انشطه بما فيها النشاط الخاص باعداد المشـروع (ويطلق على الزمن اللازم لهذا النشاط الاخير Lead Time .) بالشبكه الاتية (شـكل رقم ٨) .



شكل رقم (٨)

والرقم الموضح على كل نشاط يمثل الزمن اللازم لاتمام تنفيذ هذا النشاط ولتحديد اكثر الاوقات تبكيرا لحدوث كل حدث يجب ملاحظة مايأتى :ـ

ـ البدء من نقطة بداية المشروع الى نقطة الانتهاء من تنفيذه .

ـ معالجة كل حدث على حده وعلى التوالى .

ـ مقارنة المسارات المتوازيه لكل حدث .

وعلى سبيل المثال :ـ

١ـ النشاط (صفر ، ١) هو النشاط الخاص باعداد المشروع وقد افترض فى هذا المثال ان الزمن اللازم له يساوى صفرا ولم يوضح بالرسم لتسهيله .

٢ـ الزمن المطلوب للوصول من الحدث (١) الى الحدث (٢) هو وحده زمنيه واحده (ويتكون هذه الوحده فى هذا المثال هى اليوم) اذن يكون اكثر الاوقات تبكيرا لحدوث الحدث (٢) هو يوم واحد بعد بداية المشروع .

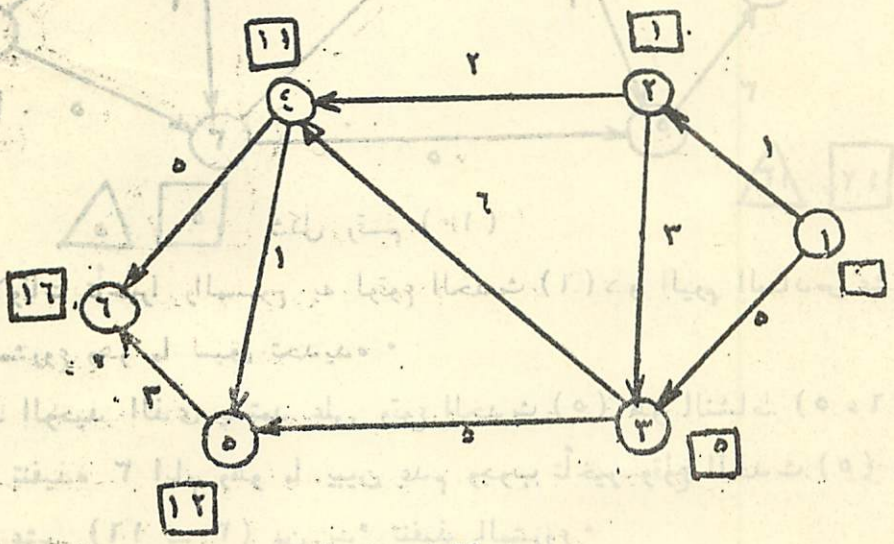
٣ـ الزمن المطلوب للوصول من الحدث (١) الى الحدث (٣) هو خمسة ايام واتمام الحدث (٣) مرتبط ايضا بنهو تنفيذ النشاطين (١ ، ٢) و (٢ ، ٣) وهو مايتطلب اربعة ايام (١ + ٣) . ومن هذا يتضح ان اكثر الاوقات تبكيرا لوقوع الحدث (٣) هو خمسة ايام .

٤ـ الزمن من (٢) الى (٤) هو يومان . ومع ذلك فان الحدث (٤) لايمكن ان يتم الا اذا تم تنفيذ النشاط (٣ ، ٤) وهو مايتطلب ستة ايام . وعلى ذلك فان اكثر الاوقات تبكيرا لوقوع الحدث (٤) هو ١١ يوما بعد بداية المشروع (٥ + ٦) .

٥ـ الزمن من (٣) الى (٥) هو خمسة ايام . ولكن (٥) لايجوز ان يقع الا اذا تم تنفيذ النشاط (٤ ، ٥) والذى يتطلب يوما واحدا . وعلى ذلك فان اكثر الاوقات تبكيرا لوقوع الحدث (٥) هو ١٢ يوما (١١ + ١) من بداية المشروع .

٦ـ الزمن من (٥) الى (٦) هو ثلاثة ايام . ومع ذلك فان الحدث (٦) لايقع الا باتمام تنفيذ النشاط (٤ ، ٦) وهو ما يحتاج الى خمسة ايام . وعلى ذلك فان اكثر الاوقات تبكيرا لوقوع الحدث (٦) هو ١٦ يوما (١١ + ٥) من بداية المشروع .

وهذه الاوقات الاكثر تبكيرا للاحداث المختلفة مبينة داخل مربعات بجانب الاحداث فى الشكل الاتى رقم (٩) لنفس المشروع .

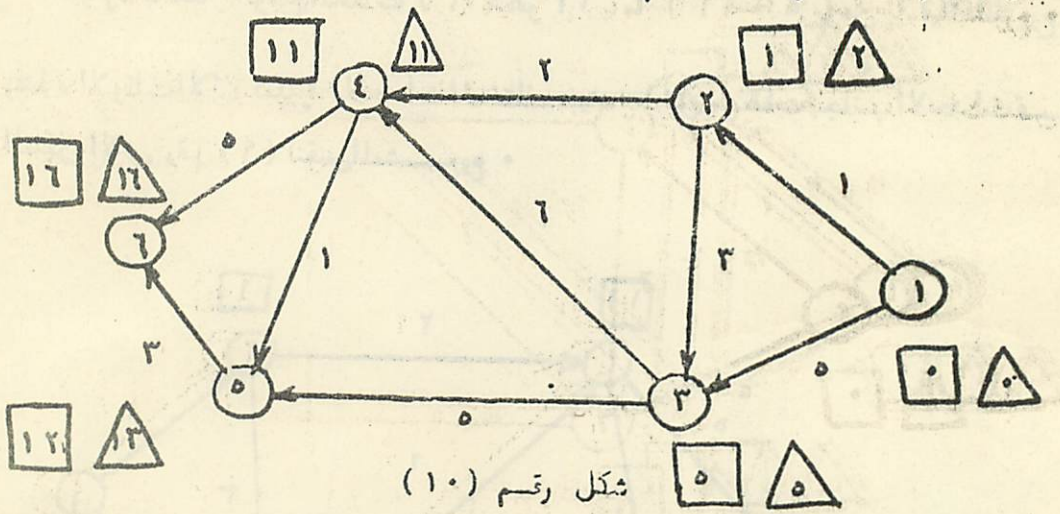


شكل رقم (٩)

ومن هذا المثال يمكن تعريف اكثر الاوقات تبكيرا لوقوع حدث ما بأنه الوقت الذى لايمكن لهذا الحدث ان يقع قبله اخذين فى الاعتبار تحقيق وقوع الاحداث السابقة والمجاورة له .

والخطوه التالية هى تحديد اكثر الاوقات تأخيرا والمسموح به لاتمام كل نشاط ، وهذا يتم عن طريق تحديد اكثر الاوقات تأخيرا لوقوع كل حدث بادئين من نقطة نهاية المشروع الى نقطة بدايته . وهذا يتأتى بمقارنة الزمن اللازم لكل نشاط يبتدئ من الحدث موضوع البحث وسوف تبين اكثر الاوقات تأخيرا داخل مثلث قرين كل حدث.

ولتوضيح طريقة تحديد اكثر الاوقات تأخيرا لكل حدث نستمر فى معالجة المثال السابق (انظر الشكل رقم ١٠) :



شكل رقم (١٠)

١ ـ اكثر الاوقات تأخيرا والمسموح به لوقوع الحدث (٦) هو اليوم السادس عشر من بدء المشروع وهو ما سبق تحديده .

٢ ـ النشاط الوحيد الذى يعتمد على وقوع الحدث (٥) هو النشاط (٥ ، ٦) والذى يتطلب تنفيذه ٣ ايام وهو ما يبين عدم وجوب تأخير وقوع الحدث (٥) عن اليوم الثالث عشر (١٦ ـ ٣) من بدء تنفيذ المشروع .

٣ ـ من الحدث (٤) يبتدئ النشاطان (٤ ، ٥) ، (٤ ، ٦) حيث يستمر النشاط الاول يوما واحد وهذا يعنى ان هذا النشاط يجب الا يبدأ متأخرا عن اليوم الثانى عشر (١٣ ـ ١) . وبنفس الطريقة نجد ان النشاط الثانى (٤ ، ٦) يجب الا يبدأ متأخرا عن

اليوم الحادى عشر (١٦ ــ ٥) .

من هذا نرى ان اكثر الاوقات تأخيرا والمسموح به لوقوع الحدث (٤) هو اليوم الحادى عشر من بدء المشروع .

وعلى نفس المنوال يمكن تحديد الاوقات المناظره لباقى الاحداث .

تحديد المسار الحرج :

بعد تحديد اكثر الاوقات تبكيرا واكثرها تأخيرا لوقوع كل حدث يمكن تحديد الانشطه التى تقع على المسار الحرج بواسطه اختبارين بسيطين :ــ

الاختبار الاول :

اذا كان اكثر الاوقات تبكيرا (□) مساويا لاكثر الاوقات تأخيرا (△) عند بداية ونهاية نشاط ما فانه من الممكن وقوع هذا النشاط على المسار الحرج . وهذا شرط ضرورى لكل نشاط حرج ولكنه غير كاف .

الاختبار الثانى :

اذا تحقق الشرط السابق وكان الفرق بين الزمن عند بداية النشاط وعند نهايته مساويا للزمن اللازم لتنفيذ هذا النشاط كان ذلك شرطا كافيا لوقوع ذلك النشاط على المسار الحرج .

وباستخدام هذه المعايير يمكننا تحديد المسار الحرج للمشروع السابق معالجته فى المثال السابق ففى هذه الحاله يمكن اختبار الانشطه المختلفه بأى ترتيب يراه القائمون بالتحليل .

١ . النشاط (١ ، ٢) لايحقق الشرط الاول لان اكثر الاوقات تبكيرا لايساوى اكثره تأخيرا عند نهاية هذا النشاط □١ ≠ △٢

٢ . النشاط (١ ، ٣) يحقق الشرط الاول حيث ان □٠ = △٠ ، □٥ = △٥ وكذلك الشرط الثانى حيث ان الفرق بين الوقت فى بداية ونهاية النشاط يساوى الزمن المطلوب لتنفيذ هذا النشاط (٥ ايام) وهذا يعنى ان النشاط (١ ، ٣) يقع على المسار الحرج .

٠٣ النشاط (٢ ، ٣) لايحقق الشرط الاول لان ١ ≠ ٢ عند بداية هذا النشاط وبالتالى فهو لايقع على المسار الحرج

٠٤ النشاط (٢ ، ٤) سوف يستبعد لنفس السبب السابق ٠

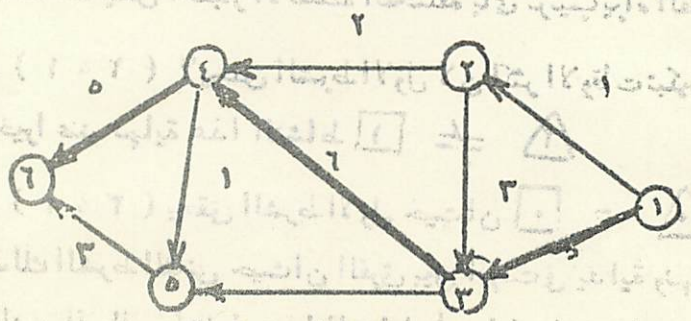
٠٥ النشاط (٣ ، ٤) يحقق الشرط الاول : ٥ = ٤ عند بدايته ، ١١ = ١٠ عند نهايته ٠ كما انه يحقق الشرط الثانى حيث ان ١١ - ٥ = ٦ وهو الزمن اللازم لتنفيذ النشاط ٠ اذن فالنشاط (٣ ، ٤) يقع على المسار الحرج ٠

٠٦ النشاط (٣ ، ٥) لايحقق الشرط الاول ولذلك فهو لايمكن ان يقع على المسار الحرج ٠٠

٠٧ النشاط (٤ ، ٥) يستبعد لنفس السبب السابق ٠

٠٨ النشاط (٤ ، ٦) يحقق الشرط الاول حيث ان ١١ = ١١ ، ١٦ = ١٦ وكذلك الفرق بين الزمنين = ١٦ - ١١ = ٥ وهو الوقت اللازم لتنفيذ هذا النشاط ٠ اى ان النشاط (٤ ، ٦) يحقق كلا الشرطين وهو بالتالى يقع على المسار الحرج ٠

وبتحديد الانشطة الحرجه لهذا المشروع نكون قد حددنا المسار الحرج له وهو مبين عادة على الرسم بخطوط سميكه للتوضيح كما هو مبين بالشكل الاتى :



شكل رقم (١١)

وواضح من المثال السابق ان للمشروع موضوع البحث مسارا حرجا واحدا ولكنه من المحتمل وجود اكثر من مسار حرج واحد للمشروعات الفعليه ويجب ملاحظة ذلك عند معالجة مثل هذه المشروعات .

ويحسن بنا هنا ان ننوه الى ان المسار الحرج قد تم تحديده فى المثال السابق على اساس ان الازمنه اللازمة لتنفيذ الانشطه المختلفه غير قابلة للتغيير ولكن اذا ما حدث وتغير الزمن اللازم لتنفيذ نشاط او اكثر فان ذلك قد يؤدى الى تغيير المسار الحرج لهذا المشروع .

السماح : (Float)

لقد تم تعريف الانشطه الحرجه بانها الانشطه التى يتسبب اى تأخير فى تنفيذها فى تأخير تنفيذ المشروع ككل ، بالعكس فان الانشطه غير الحرجه تتميز بدرجة تأخير او تبكير محدده عند بدئها او الانتهاء منها بدون التأثير على الزمن الكلى اللازم لتنفيذ المشروع .

ويعرف الزمن المسموح به هذا بالسماح (Float) .

ويحسن بنا هنا ان ننوه الى ان اى تخطى لهذه الحدود الزمنيه المسموح بها قد يتسبب فى ان تصبح بعض الانشطه غير الحرجه انشطه حرجة .

وللاغراض التحليليه هناك ثلاثة انواع من السماح :

أ ـ السماح الكلى (Total Float)

وهو يساوى اقصى وقت متاح لنهو تنفيذ اى نشاط مطروحا منه الزمن اللازم لتنفيذ هذا النشاط وهذا السماح الكلى يساوى صفرا فى حالة الانشطة الحرجه .

ب ـ السماح الحر (Free Float)

وهو يساوى الوقت المتاح لنهو تنفيذ اى نشاط بافتراض ان كل انشطه المشروع (او اعماله الجزئيه) سوف تبتدئ وتنتهى مبكرا على قدر الامكان .

حـ - السماح الجدولي (Scheduled Float)

وهو السماح المرجح لاى نشاط وهو اذا استخدم لايؤثر على باقى الانشطه ولكنه يسمح بتنفيذ المشروع حسب الجدول الزمنى المعد لذلك سلفا .

ولكل من هذه المفاهيم اهمية خاصة فى عملية توقيت وضبط تنفيذ المشروعات. فالسماح الكلى يبين اقصى الحدود الزمنيه المسموح بها لتنفيذ الانشطة المختلفة والتى لايمكن تخطيها اذا ما اريد للمشروع ان يتم فى موعده المحدد . والسماح الحر يؤثر على امكانية تاجيل الاستفادة من السماح المتاح للانشطه المختلفه الى المستقبل بقدر المستطاع .

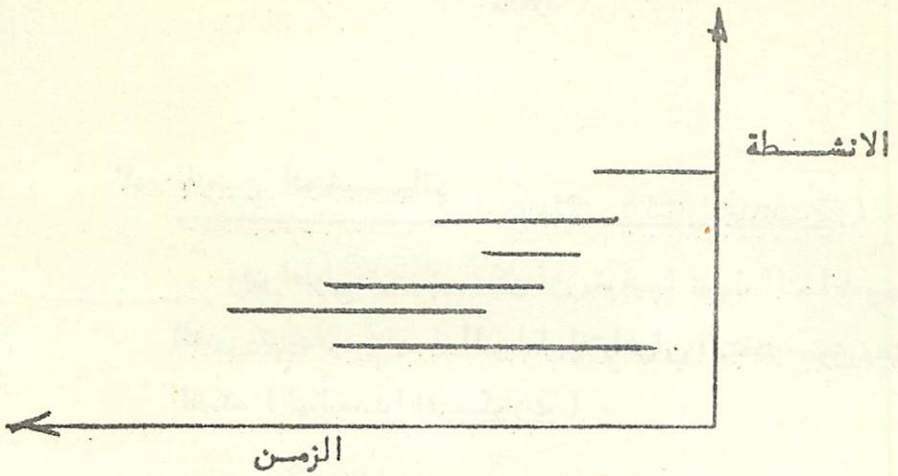
والمقصود بهذه العملية هو امكانية توفير اكبر قدر من السماح للمستقبل لمواجهة اى تاخير طارئ غير محسوب ، وخاصة فى حالة المشروعات الكبيرة ، وبالتالى امكانية تنفيذ المشروعات بدون تاخير اجمالى على قدر المستطاع .

اما السماح الجدولى فيحدد بتوزيع السماح الكلى للمشروع على الانشطه غير الحرجه بعد وضع افضليات معينه بواسطة منفذ المشروع .

استخدام البيانات الناتجه من حسابات المسار الحرج :

بعد اتمام الحسابات السابقه والخاصة بتحديد المسار الحرج لشبكه مشروع ما وبالتالى تحديد انشطته الحرجة تستخدم هذه البيانات فى وضع الجدول الزمنى لتنفيذ هذا المشروع . وهنا يستخدم عادة مايعرف بـ (... Bar Chart) حيث تمثل الاطوال المختلفه الازمنه الفعلية اللازمة لتنفيذ الانشطة المختلفه بمقياس رسم محدد .

والشكل التالى يبين احد هذه الجداول الزمنية .



شـكل رقم (١٢)

وتبين الانشطه الحرجه فى الجدول بحدودها الزمنيه الثابته وماعداها من انشطه فتبين الحدود الزمنيه المسموح بها والتى يمكن تنفيذ الانشطة فى نطاقها وكذلك الازمنه اللازمة لتنفيذ هذه الانشـطه المختلفـــة •

ولقد سبق ان ذكرنا ان الازمنه اللازمة لنهو تنفيذ الانشطه المختلفه سوف تؤخذ على اساس انها محسوبه بمعرفة المسئولين عن تنفيذ المشروع ولكن يستحسن هنا ان نوضح احـــد الطرق المستخدمه لحساب هذه الازمنـــه •

يقوم المهندسون على تنفيذ المشروع والمتفهمون تماما لدقائقه باعداد كشوف بالازمنـــه اللازمة للانشـطة المختلفه كالاتـــى :ـ

١ـ الزمن المتفائـــل (Optimistic Time)

وهى اقصر فترة زمنيه يمكن ان يتم فيها تنفيذ النشاط وبعبارة اخرى هـــو الزمن الذى يتم خلاله تنفيذ النشاط بافتراض ان كل شىء اثناء التنفيذ ســـوف يتم احسن مما يتوقع عـــاده •

٢ـ الزمن الاكثر احتمالا (Most Likely Time)

وهو احسن تقدير للفترة الزمنيه اللازمة لنهو النشاط اخذين فى الاعتبـــار الاحتمالات المتوقعه اثناء التنفيـــذ •

٣- الزمن المتشـــائم (Pessimistic Time)

وهو اطول فترة زمنيه يمكن ان يتم فيها تنفيذ النشاط وبعبارة اخرى هو الزمن الذى يتم خلاله تنفيـذ النشاط بافتراض ان التنفيذ سوف يعترضه كل العقبـات الممكنه (فيما عـدا الـكوارث) .

فاذا رمزنا لهذه الازمنة الثلاثه بالرموز أ ، ب ، حـ على التوالى بافتراض انها تمثل وحدات زمنيه معينه (يوم ، اسبوع ، شـهر ... الخ) وانها لاتمثل اوقات عمل فعليه ولكن تواريخ محدده فانه يمكن حساب الزمن المتوسط اللازم لتنفيذ اى نشاط من المعادلة الاتية

$$\text{الزمن المتوسط اللازم لتنفيذ اى نشاط} = \frac{\text{أ} + ٤\text{ب} + \text{حـ}}{٦}$$

وهذا هو الزمن الذى يؤخذ به فى حساب الشبكات اذا ما استخدمت هذه الطريقـة فى الحســاب .

ويمكن تعريف هذا الزمن بأنه الزمن المتوسط الذى يتطلبه تنفيذ نشاط ما اذا ماكرر تنفيـذه مرات كثـيرة .

بما سبق نكون قد استعرضنا المفاهيم الاساسية لكل من نموذج توقيت وضبط تنفيـذ المشروعات (PERT / TIME) وطريقة المسار الحرج (CPM) ولقد استخدمنا فـى شرح هذه المفاهيم مثالا مبسطا يتكون من تسع (٩) اعمال جزئية او انشـطة .

اما فى حالة المشروعات الفعليه فاننا نواجه بعدد ضخم من هذه الاعمال الجزئيـه لكل مشروع ، قد تصل فى بعضها الى عدة آلاف ، وهذا الوضع يتطلب الاستعانه باجهـزة قادره على القيام بالعمليات الحسابية بدقه وسرعه وما تتميز به الاجهزة الحاسبة الالكترونية .

وفيما يلى سنقدم شرحا للخطوات الواجب اتباعها عند استخدام الحاسب الالكترونـى (IBM 1620) المستخدم بالمعهد ، فى حساب مثل هذه النمـاذج .

- اعداد البيانات اللازمـــة :

تثقب البيانات اللازمة على الكروت (Cards) كالآتـــى :

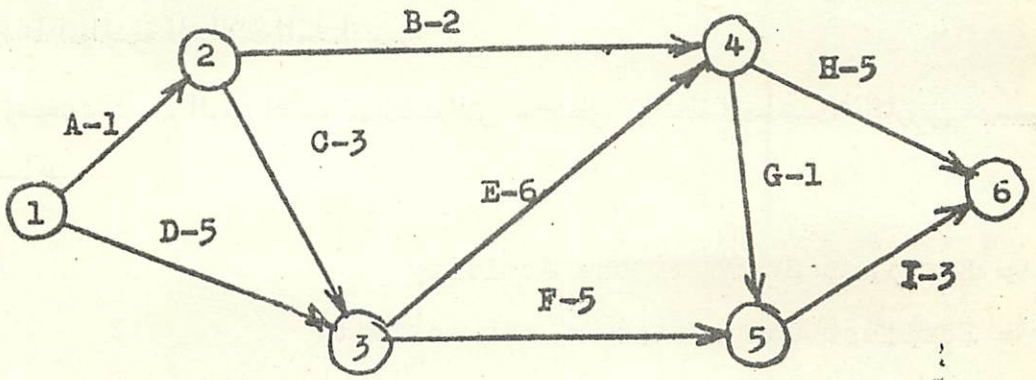
الكارت الاول : ويبين عليه عدد الانشطه (FORMAT I 4)

الكارت الثانى : ويبين عليه الاحداث i ، j والزمن اللازم لكل نشاط

(FORMAT 2 I 4, F 4.2) وهنا يجب مراعاة الآتـــى :

- يكرر الكارت الثانى لكل نشاط على حده (عدد الكروت = عدد الانشطه)
- لكل نشاط يجب ان يكون $i < j$

وسوف نأخذ هنا المثال السابق لتوضيح كيفية اعداد البيانات



شـكل رقم (٣)

والجدول الاتى يبين كيفية تثقيب بيانات هذه الشبكه على الكروت :

رقم العمود		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
الكارت الاول				9							
الكارت الثانى	A			1			2				1
	D			1			3				5
	C			2			3				٤
	B			2			4				2
	E			3			4				٥
	F			3			5				٦
	G			4			5				1
	H			4			٥				٧
	I			٦			٥				٧

وكل صف من هذا الجدول يمثل كارتا مستقلا ويجب ملاحظة ان الابعاد الموضوعه لعدد الانشطة يمكن تغييرها لمواجهة الحالات المختلفة .

وسوف تستخدم الرموز الاتية للبيانات التى ستعطى بواسطة الحاسب الالكترونى عن كل نشاط .

ES = Earliest Start of the Activity

EC = Earliest Completion of the Activity

= E S T DURATION.

LC = Latest Completion of the Activity

LS = Latest Start of the Activity

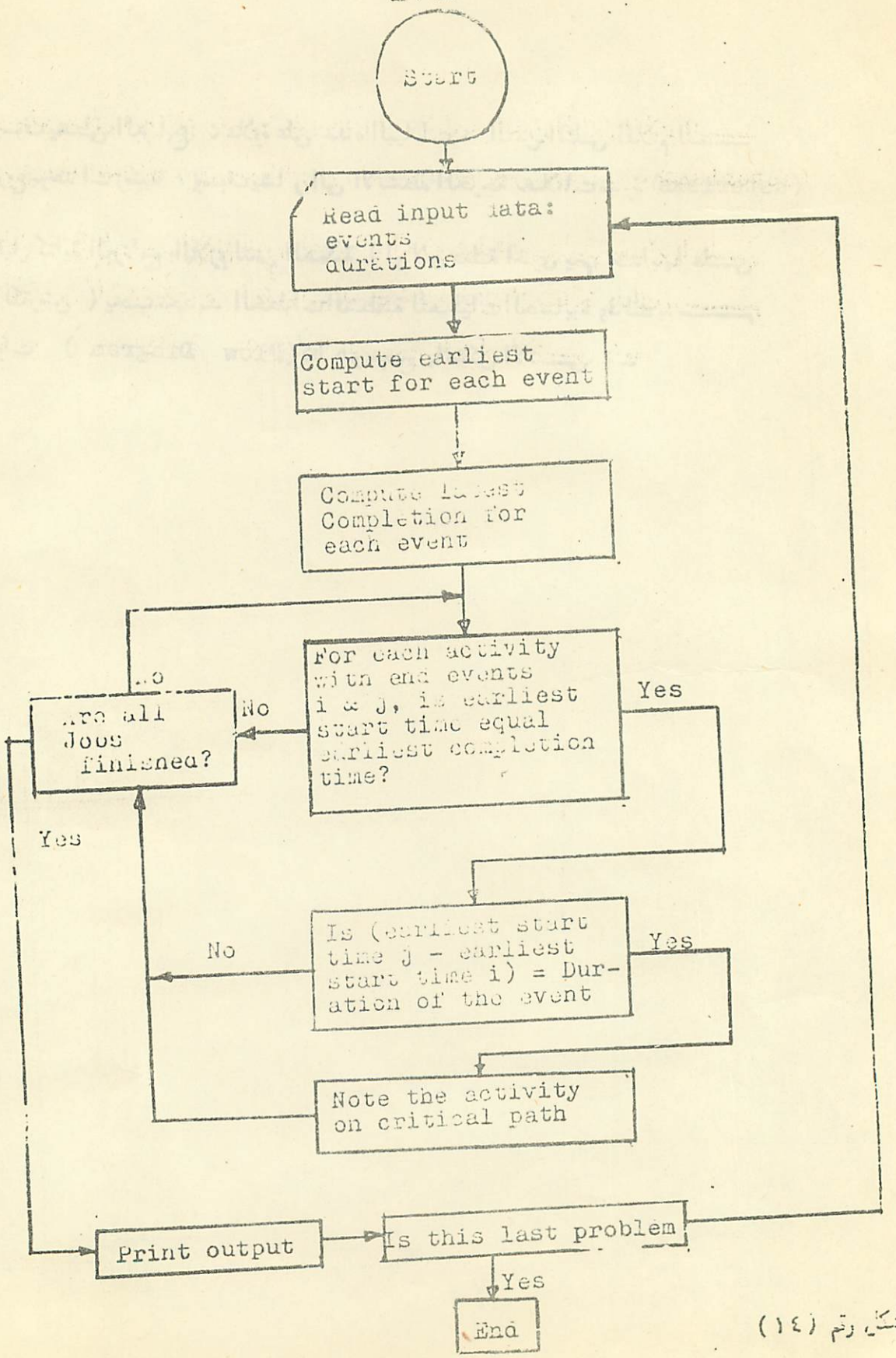
= LC- DURATION.

TF = Total Float = LC - ES - DURATION.

FF = Free Float. Which is the Time Available to Complete any activity assuming all activities in a project start and are completed as early as possible.

وسوف يعطى البرنامج ، علاوة على هذه البيانات ، الزمن الكلى اللازم لتنفيذ المشروع بوحدات زمنية ، وسوف يشار الى الانشطه الحرجة بعلامات نجمية (asterisks)

وقبل كتابة البرنامج اللازم لتنفيذ العملية (او لاى عملية اخرى يتم حسابها على الحاسب الالكترونى) يجب تحديد الخطوات المنطقية للعمليات الحسابية وذلك برسم هذه الخطوات (Flow Diagram) كما هو موضح بالشكل الاتى :-


Start
Read input data:
events
durations
Compute earliest
start for each event
Compute latest
Completion for
each event
For each activity
with end events
i & j, is earliest
start time equal
earliest completion
time?
No
Yes
Are all
Jobs
finished?
No
Yes
Is (earliest start
time j - earliest
start time i) = Dur-
ation of the event
No
Yes
Note the activity
on critical path
Print output
Is this last problem
Yes
End

شكل رقم (١٤)

FORTRAN PROGRAM FOR THE BROBLEM.

```
C       A PROGRAM FOR PERT/TIME SCHEDULING BY CPM
        DIMENSION J(100),I(100),SE(100),SL(100),D(100)
  100 FORMAT(2I3,F4.0)
  102 FORMAT(20HPERT-TIME SCHEDULING
  103 FORMAT(///18HPPOJECT DURATION = ,E15.3)
  106 FORMAT(2I4,2XF5.1,2X2F5.1,2X2F5.1,2X F5.1)
  107 FORMAT(2I4,2XF5.1,2X2F5.1,2X2F5.1,2X F5.1, 2H *)
  108 FORMAT (//2X 8HACTIVITY,2X 3HDUR,4X 2HES,3X 2HEC,5X 2HLS,3X 2HLC
     1 5X 2HTF)
C       INITIALIZATION
    7 DO 2 K=1,100
      J(K)=0
      I(K)=0
      SE(K)=0
      SL(K)=0
    2 D(K)=0
      K2=2
      K3=1
C       READ INPUT
      READ 100,M
      DO 5 K=1,M
    5 READ 100,I(K),J(K),D(K)
C       COMPUTE EARLIEST-START TIMES
    9 DO 10 N=1,M
      K1=N
      IF(J(N)-K2)10,50,10
   50 K3=1
      K4=I(K1)
      T=SE(K4)+D(K1)
      IF(SE(K2)-T)51,10,10
   51 SE(K2)=T
   10 CONTINUE
      IF(K3)11,20,11
   11 K2=K2+1
      K3=0
      SE(K2)=0
      GO TO 9
C       COMPUTE LATEST-START TIMES
   20 K2=K2-2
      NUM=K2+1
      SL(NUM)=SE(NUM)
   14 SL(K2)=SL(NUM)
      DO 15 K1=1,M
      IF(I(K1)-K2) 15,30,15
```

```
   30 K4=J(K1)
      T =SL(K4)-D(K1)
      IF(T-SL(K2)) 31,15,15
   31 SL(K2)=T
   15 CONTINUE
      IF(K2-1) 60,60,16
   16 K2=K2-1
      GO TO 14
C     FINAL RESULTS
   60 PRINT 102
      PRINT 103,SE(NUM)
      PRINT 108
      DO65 N2=1,M
      K1=J(N2)
      K2=I(N2)
      CE=SE(K2)+D(N2)
      CL=SL(K1)-D(N2)
      TF=SL(K1)-CE
      IF (SL(K1) - SE(K1))  70, 71, 70
   71 IF (SL(K2) - SE(K2))  70, 72, 70
   72 AR=SL(K1)-SL(K2)-D(N2)
      IF (AR)  70, 73, 70
   73 PRINT 107,K2,K1,D(N2),SE(K2),CE,CL,SL(K1),TF
      GO TO 65
   70 PRINT 106,K2,K1,D(N2),SE(K2),CE,CL,SL(K1),TF
   65 CONTINUE
C     START NEW PROBLEM
      GO TO 7
      END
TURN SW 1 ON FOR SYMBOL TABLE, PRESS START
END OF PASS 1
```

Illustrative Solved Example:

To illustrate how the computer gives the final results of the problem, we give hereunder the computer output for the above example:

PERT-TIME SCHEDULING

PPOJECT DURATION = 16000.000E-03

ACTIVITY		DUR	ES	EC	LS	LC	TF
1	2	1.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0
1	3	5.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0 *
2	3	3.0	1.0	4.0	2.0	5.0	1.0
2	4	2.0	1.0	3.0	9.0	11.0	8.0
3	4	6.0	5.0	11.0	5.0	11.0	0.0 *
3	5	5.0	5.0	10.0	8.0	13.0	3.0
4	5	1.0	11.0	12.0	12.0	13.0	1.0
4	6	5.0	11.0	16.0	11.0	16.0	0.0 *
5	6	3.0	12.0	15.0	13.0	16.0	1.0

Note : Asterisks indicate critical activities.

ثانيا : أسلوب توقيت وضبط تنفيذ المشروعات مع الاخذ فى الاعتبار عامل التكلفة (PERT/COST)

اشرنا فى الجزء الاول من هذه المذكرة اسلوب توقيت وضبط تنفيذ المشروعات ، آخذين الاعتبار عامل الزمن (PERT/TIME) ، ولقد كان لما حققه هذا الاسلوب من نجاح كبير عند تطبيقه على كثير من المشروعات فى مختلف نواحى النشاط القومى ان بدأ المخططون ومنفذو المشروعات العمل على تطويره الى ان توصلوا الى اسلوب يعالج ليس فقط عامل الزمن ولكنه يعالج ايضا عامل التكلفة .

ولما كان عامل التكلفة هو احد العوامل الرئيسية التى تؤثر على وضع الاولويات للمشروعات المختلفة عند اعداد برامج وخطط التنمية ، فان هذا الاسلوب يكتسب اهمية خاصة كواحد من اهم الوسائل التى تساعد المخططين فى التعرف على امكانية تنفيذ المشروعات المختلفة بتكاليف اجمالية مختلفة آخذين فى الاعتبار عامل الزمن .

ويعتبر الجزء الاول من هذه المذكرة اساسا لتفهم الجزء الثانى منها ، وسوف يراعى هذا الافتراض فى عرض الجزء التالى .

أ — العلاقة بين الزمن والتكلفة :

تعتمد هذه الطريقة فى تخطيط المشروعات على تقسيم المشروع الى اعمال جزئية او انشطة ، كما سبق شرحه ، ثم تحديد العلاقة بين الزمن والتكلفة لكل عمل جزئى او نشاط فى المشروع . وهذه العلاقة تبين التغيير الذى يمكن ان يطرأ على تكلفة تنفيذ نشاط ما بتغيير الفترة الزمنية التى يمكن ان يتم خلالها تنفيذ هذا النشاط آخذين فى الاعتبار العوامل الآتية :—

— حجم العمالة والخبرات الفنية المطلوبة فى كل حالة .
— المصروفات النقدية .
— الطرق الفنية التى يمكن استخدامها فى التنفيذ .

بتحليل هذه البيانات وربط العوامل المختلفة ببعضها البعض يمكن التوصل الى تحديد الطريقة المثلى لتنفيذ المشروع ككل ، بحيث يسبب اى انحراف عن هذا الطريق فى التنفيذ زيادة ملحوظة فى التكاليف .

ولتوضيح العلاقة بين الزمن والتكلفة لتنفيذ اى نشاط يمكن ان نعطى المثال المبسط التالى :

نفترض فى هذا المثال ان هناك نشاط معينا يمكن ان يتم تنفيذه على الوجه الاكمل فى خمسة ايام ، على ان يقوم بالتنفيذ اثنان من العمال . وان طبيعة هذا النشاط لا تتطلب اية مجهودات اخرى اضافية . وعلى ذلك يمكن ان يتم تنفيذ هذا النشاط باحدى الطرق الآتية :

١ - بواسطة رجلين يعملان لمدة خمسة ايام بمعدل وردية واحدة يوميا (٨ ساعات يوميا).

(٢ رجل × ٥ يوم × ٨ ساعة = ٨٠ رجل ساعة)

٢ - بواسطة ٤ رجال يعملون لمدة ٣ ايام ، اثنان منهم يعملان فى ثلاثة ورديات صباحية واثنان يعملان فى ورديتين مسائيتين وكل وردية مدتها ٨ ساعات .

(٢ × ٣ × ٨ + ٢ × ٢ × ٨ = ٨٠ رجل ساعة)

٣ - بواسطة مجموعة من ٦ رجال لمدة يومين ، اثنان منهم يعملان فى ورديتين صباحيتين ، واثنان فى ورديتين مسائيتين واثنان فى وردية واحدة ليلية ، وكل وردية مدتها ٨ ساعات .

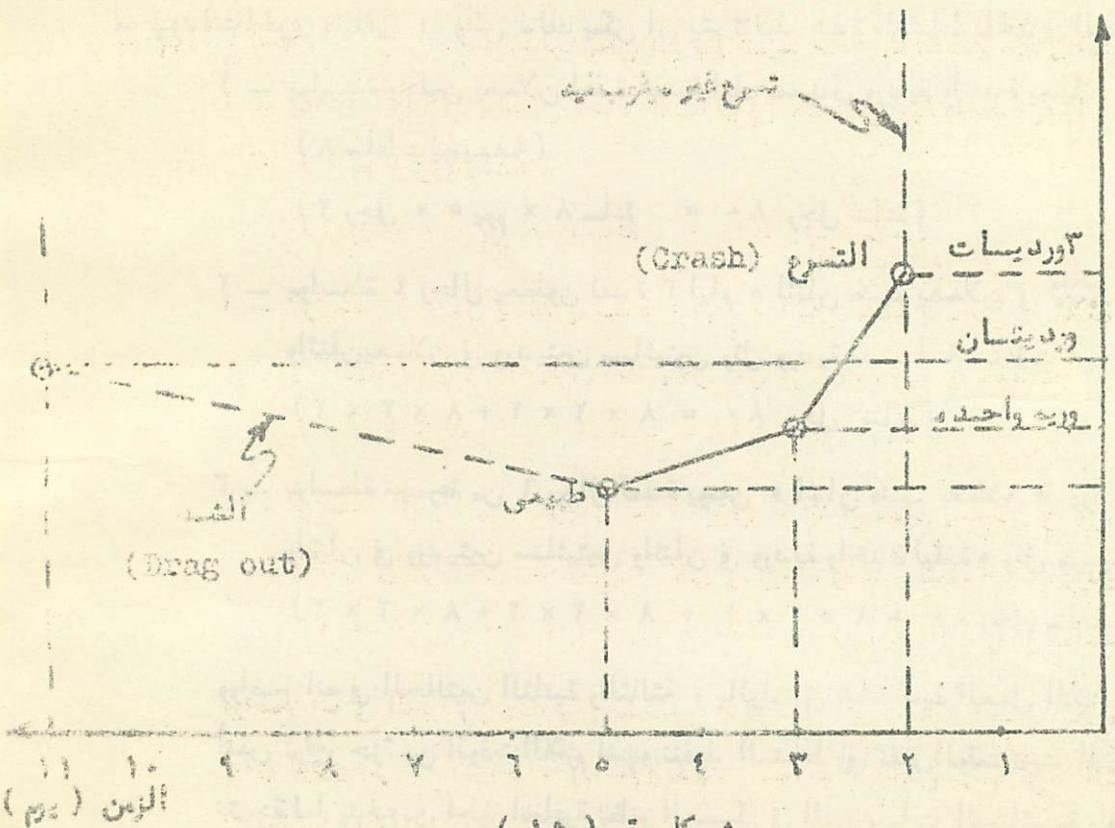
(٢ × ٢ × ٨ + ٢ × ٢ × ٨ + ١ × ٢ × ٨ = ٨٠ رجل ساعة)

وواضح انه فى الحالتين الثانية والثالثة ، بالرغم من ثبات كمية العمل اللازمة (رجل ساعة) فانه أمكن توفير جزء من الوقت اللازم لنهو تنفيذ النشاط وفى نفس الوقت تزيد التكلفة الكلية للتنفيذ نتيجة لما يدفع من اجور اضافية نظير العمل فى الورديات المسائية والليلية وغيرها من المصروفات

٤ - بواسطة مجموعة مكونة من اكثر من ٦ رجال ، وفى هذه الحالة سوف ترتفع التكاليف ارتفاعا كبيرا فى حين ان المدة اللازمة ستظل يوما بالرغم من اية زيادة فى عدد الرجال .

٥ ـ بواسطة رجل واحد يعمل لمدة عشرة أيام او اكثر ، بمعدل ٨ ساعات يوميا ، وفي هذه الحالة سوف ترتفع التكاليف عن الحد الادنى نتيجة لانخفاض الكفاية الانتاجية ولاسباب اخرى .

والشكل الآتي يوضح العلاقة بين تغيير الزمن والتكلفة اللازمين لتنفيذ نشاط ما .



شكل رقم (١٥)

والتكلفة الطبيعية (Normal cost) هي اقل تكلفة ممكنة لتنفيذ نشاط ما والزمن المقابل لهذه التكلفة يعرف بالزمن الطبيعي . أما الزمن المتسرع (Crash time) فهو اقل زمن يمكن خلاله تنفيذ نشاط ما والتكلفة المقابلة تعرف بالتكلفة المتسرعة (Crash Cost) .

ويجب هنا ان ننوه الى عدم ضرورة معرفة منحنى العلاقة بين الزمن والتكلفه لكل نشاط فى المشروع عند استخدام اسلوب المسار الحرج بالتفصيل المبين بالشكل رقم (١٥) وذلك لعدم وجود البيانات الكافيه لذلك بصفة عامة ولكننا ملزمون بحساب النقط الطبيعية والنقط المتسرعة ويمكن اعتبار ان مسار المنحنى بين هاتين النقطتين خطا مستقيما بدون الوقوع فى خطا يذكر ٠

ب - التكلفه المباشرة للمشروع وطريقة تغطيتها :

بتحديد العلاقة بين الزمن والتكلفه لكل نشاط فى المشروع يمكن استخدام طريقة المسار الحرج CPM لمعرفة البدائل الممكنه من حيث الزمن والتكلفه لتنفيذ المشروع متدرجين من الزمن الطبيعى الى الزمن المتسرع ومايقابل هذه الازمنه من تكلفة ٠ والخطوات التالية توضح هذه الطريقة ٠

١ - يحدد المسار الحرج للمشروع عندما تكون تكلفة جميع الانشطة تكلفة طبيعية ، اى اقل تكلفه ممكنه لتنفيذ المشروع ٠

ويحسن هنا ان نذكر ان التكلفه الطبيعية هى التكلفة المقابله للزمن الطبيعى وهو يحسب باستخدام المعادلة السابق شرحها لحساب الزمن المتوسط للنشاط :

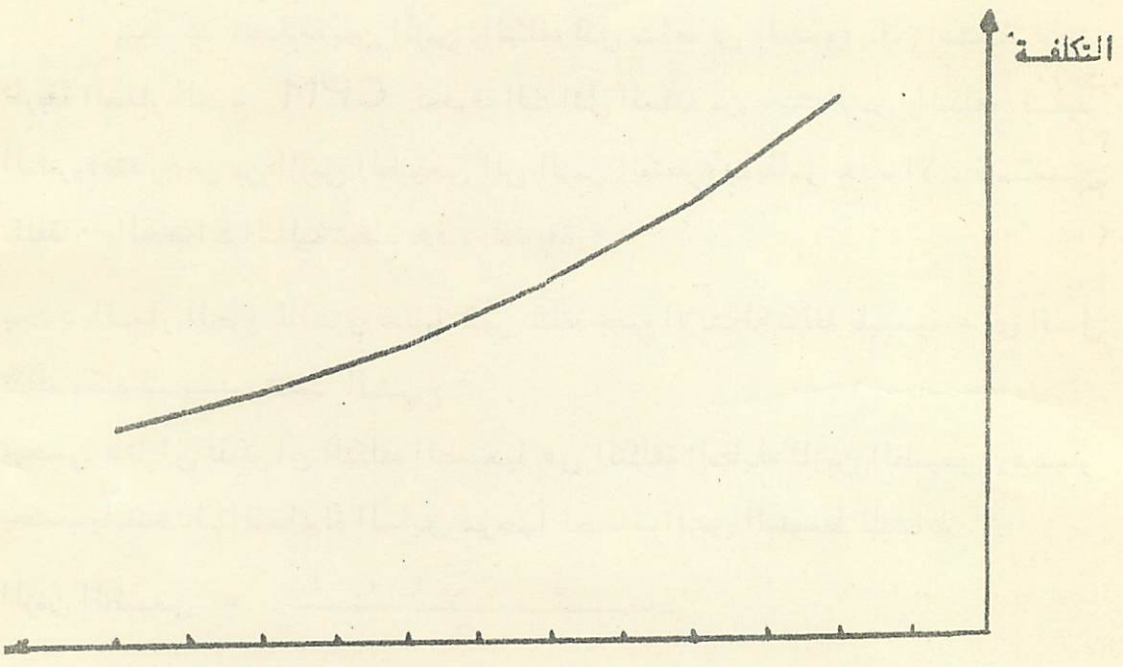
$$\text{الزمن الطبيعى} = \frac{\text{ا} + ٤\,\text{ب} + \text{جـ}}{٦}$$

٢ - يختار النشاط الواقع على المسار الحرج والذى يتميز باقل زيادة فى التكلفة لكل وحدة زمنية توفر نتيجة لهذا التغيير ثم يضغط الزمن اللازم لهذا النشاط حتى نقطه التسرع crash point اى الى اقل زمن ممكن ان ينفذ فيه هذا النشاط وهذا الزمن يقابله اعلى تكلفة لتنفيذه ٠ ويحسب بعد ذلك التكلفة الجديده للمشروع ومساره الحرج الجديد ٠

٣ - تكرر الخطوة رقم (٢) حتى نصل الى المرحلة التى لايمكن بعدها اى ضغط اخر للزمن اللازم لتنفيذ المشروع ٠

مما سبق نلاحظ فى كل مرحلة من مراحل حساب الزمن الكلى للمشروع ، ان التكلفة المقابلة هى اقل تكلفة ممكنة حيث انه عند الانتقال من مرحلة الى اخرى ثم اختيار النشاط الذى يتميز باقل زيادة فى التكلفة لكل وحدة زمنية توفر فى كل مرحلة .

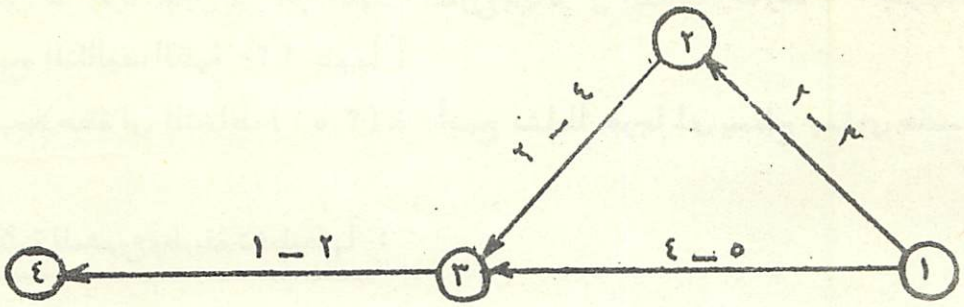
ويمكن تمثيل النتائج النهائية لهذه الحسابات بالمنحنى المبين بالشكل رقم (١٦) ، وهو يبين العلاقة بين الزمن والتكاليف الكلية المباشرة لتنفيذ المشروع (time-total direct cost)



شكل رقم (١٦)

وهذا المنحنى يعطى اقل التكاليف الكلية المباشرة لكل زمن يمكن خلاله تنفيذ المشروع وهو ما يساعدنا على وضع انسب الخطط لتنفيذ المشروع .

والمثال التالى يوضح هذه الطريقة (شكل رقم ١٧)



النشاط	الزمن الطبيعى (يوم)	الزمن المتسرع (يوم)	التكلفة الطبيعية (جنيه)	ز (جنيه)
١ ، ٢	٣	٢	١٠٠	٣٠
١ ، ٣	٥	٤	٨٠	٢٠
٢ ، ٣	٤	٢	١٢٠	٤٠
٢ ، ٤	٢	١	٧٠	٢٠

ز = زيادة التكلفة الناتجة عن توفير وحدة زمنية واحدة من فترة التنفيذ .

شكل رقم (١٧)

ومن هذا الشكل يتبين ان الزمن الطبيعى لتنفيذ هذا المشروع هو ٩ ايام بتكلفة اجمالية بيانية قدرها ٣٧٠ جنيها فى حين ان الزمن المتسرع هو خمسة ايام بتكاليف متسرعة قدرها ٥٢٠ جنيها ولنفترض انه قد استقر رأى المشرفين على المشروع على تنفيذه فى سبعة ايام وبالتالى سنجد ان هناك عدة بدائل لتحقيق هذا الهدف ولكن يجب أولا ضغط الانشطة الواقعة على المسار الحرج وعلى هذا لا يجب ضغط النشاط (١ ، ٣) . أما النشاط (٣ ، ٤) فيتميز بأن له اقل زيادة فى التكلفة عند توفير يوم واحد من فترة تنفيذه ولذلك يجب ضغط فترة تنفيذه يوما واحدا بزيادة اجمالية فى التكاليف قدرها ٢٠ جنيها . وبنفس الاسلوب يتم ضغط النشاط (١ ، ٢) الى يومين بدلا من ثلاثة بزيادة فى التكاليف قدرها ٣٠ جنيها .

وبهذا نكون قد وفرنا يومين من فترة تنفيذ المشروع بزيادة فى التكاليف قدرها ٥٠ جنيهـــا (٢٠+٣٠) وتصبح التكاليف الكلية ٤٢٠ جنيها .

وهنا يجب ملاحظة ان النشاط (١ ، ٣) قد أصبح نشاطا حرجا اى بسماح يساوى صفـــرا .

جـ ـ التكلفة الكلية للمشروع وطريقة تخطيطها :

فى المشروعات التجارية الصناعية ، وهى اكثر المشروعات التى يجب تطبيق هذا الاسلوب فى تخطيط تنفيذها ، يمكن تقسيم التكاليف الكلية الى :ـ

١ـ التكاليف المباشرة

وأهم عناصرها هو تكلفة العمل اى الاجور والمرتبات وقيمة استهلاك او ايجـــار الماكينات ، وهى التكاليف التى تؤخذ فى الحسبان عند تطبيق طريقة المسار الحـــرج

٢ ـ التكاليف الغير مباشرة

وهذه تنقسم الى :

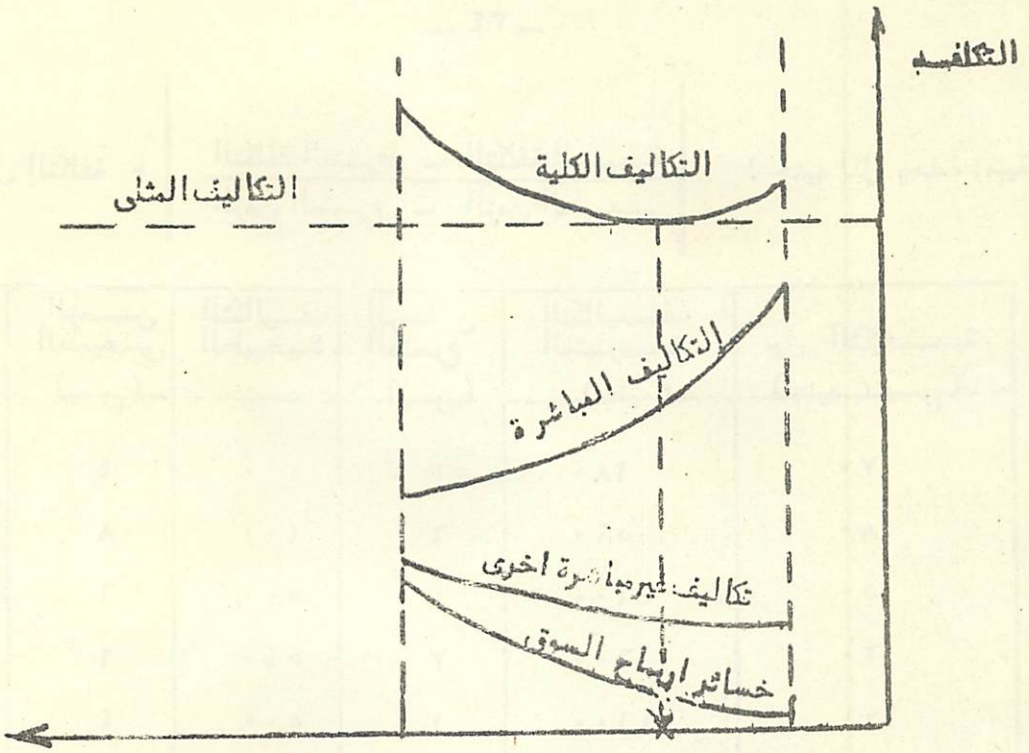
ـ خسائر ارباح السوق

وهى الخسائر التى يمكن تلافيها اذا ما تم تنفيذ المشروع فى أقصر فترة ممكنة وبدأ انتاجـــه .

ـ التكاليف الناتجة عن فوائد رأس المال المستثمر فى تنفيذ المشروع ، وغرامـــات التأخير الخ ...

وواضح ان التكاليف الغير مباشرة ترتفع كلما طالت فترة تنفيذ المشروع ، اى انها تتناسب عكسيا مع التكاليف المباشرة . وعند تخطيط عملية تنفيذ مشروع ما يجب الاخذ فى الاعتبار التكاليف الكليـــة للمشروع (المباشرة والغير مباشرة) لمعرفة اقل التكاليف الكلية للتنفيذ وبالتالى مدة التنفيذ المقابلـــة لهذه التكاليف ويطلق عليها المدة المثلى

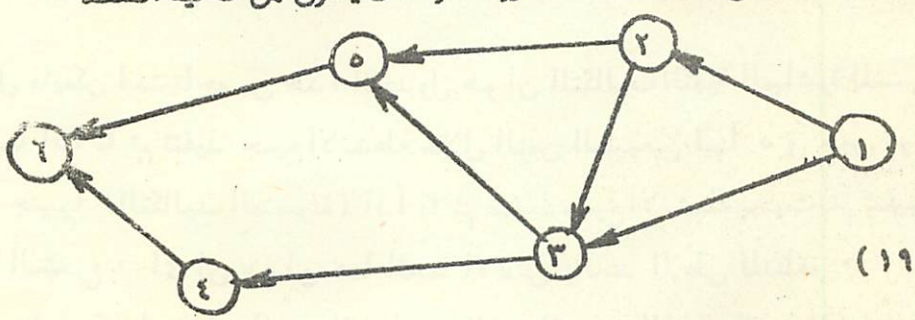
والشكل التالى يوضح ذلك .



شكل رقم (١٨)

د - طريقة حساب التكلفة والزمن

الشكل رقم (١٩) يوضح شبكة احد المشروعات والذى يتكون من ثمانية انشطة .



شكل رقم (١٩)

والجدول التالي يبين البيانات اللازمة عن كل نشاط من انشطة هذا المشروع ، كما ان العمود الاخير فى هذا الجدول يبين الزيادة فى تكلفة تنفيذ كل نشاط والناتجة عن اختصار فترة تنفيذه يوما واحدا ، وهذا ما يعرف غالبا باسم ميل التكلفة (Cost slope) ويمكن حسابه بالطريقة الآتية :

ميل التكلفة = | التكلفة المتسرعة - التكلفة الطبيعية / الزمن المتسرع - الزمن الطبيعى | (جنيه لكل وحدة زمنية)

النشاط	الزمن الطبيعى (يوم)	التكاليف الطبيعية (جنيه)	الزمن المتسرع (يوم)	التكاليف المتسرعة (جنيه)	ميل التكلفة (جنيه/يوم)
٢ ٥ ١	٤	٢١٠	٣	٢٨٠	٧٠
٣ ٥ ١	٨	٤٠٠	٦	٥٦٠	٨٠
٣ ٥ ٢	٦	٥٠٠	٤	٦٠٠	٥٠
٥ ٥ ٤	٦	٥٤٠	٧	٦٠٠	٣٠
٤ ٥ ٣	٤	٥٠٠	١	١١٠٠	٢٠٠
٥ ٥ ٣	٥	١٥٠	٤	٦٤٠	٩٠
٦ ٥ ٤	٣	١٥٠	٣	١٥٠	لا يمكن ضغطه
٦ ٥ ٥	٧	٦٠٠	٦	٧٥٠	١٥٠
المجموع		٣٠٥٠		٤٢٨٠	

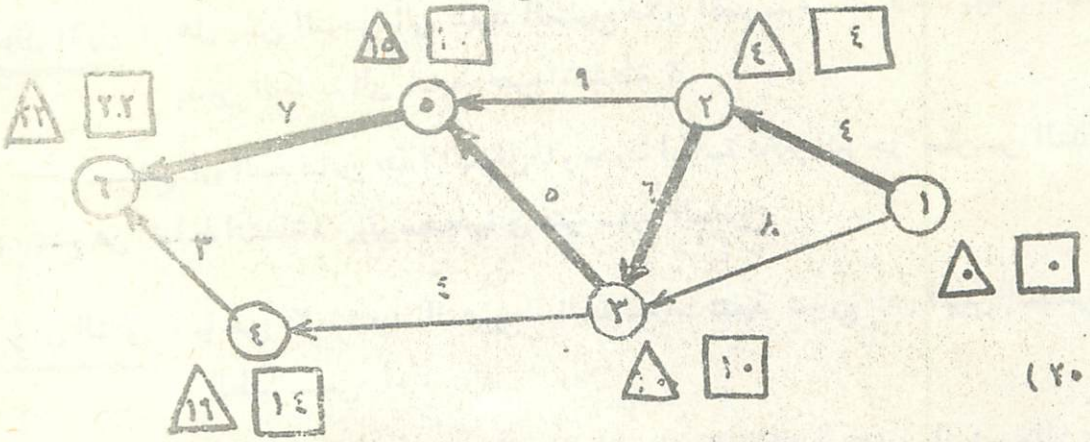
واول مايمكن استنتاجه من هذا الجدول هو ان التكاليف الكلية المباشرة للمشروع هى ٣٠٥٠ جنيها اذا ما تم تنفيذ جميع الانشطة خلال الزمن الطبيعى لها ، فى حين ترتفع هذه التكاليف الى ٤٢٨٠ جنيها (التكاليف المتسرعة) اذا ما تم ضغط جميع الانشطة بحيث يتم تنفيذ كل منها خلال الزمن المتسرع . اى ان هذان هما الحد الادنى والحد الاعلى للتكلفة .

ومن ثم يمكن استنتاج الزمن الطبيعى والزمن المتسرع الذى يمكن خلاله تنفيذ المشروع ككل .

١ - الحل على اساس الحالة الطبيعية لكل الانشطة

تستخدم الازمنة الطبيعية للانشطة والواردة بالجدول السابق ويحدد على اساسها المسار الحرج كما سبق شرحه فى الجزء الاول من هذه المذكرة .

والشكل التالى يبين ان الزمن الكلى اللازم لتنفيذ المشروع فى هذه الحالة هو ٢٢ يوما .

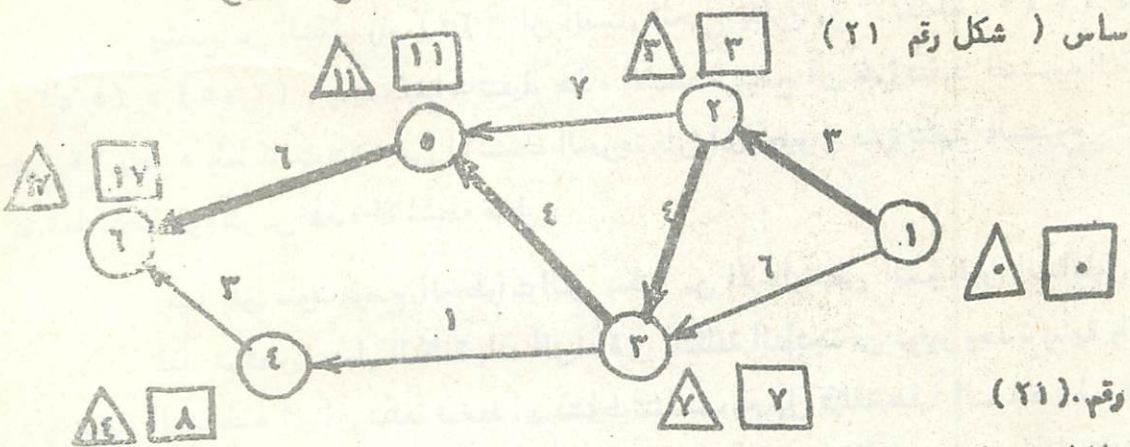


شكل رقم (٢٠)

وهذه الفترة الزمنية يقابلها تكاليف اجمالية مباشرة قيمتها ٣٠٥٠ جنيهـــا .

٢ - الحل على اساس الحالة المتسرعة لكل الانشطـــة

تستخدم الازمنة المتسرعة لكل الانشطة وبحسب المسار الحرج للمشروع على هـــذا الاساس (شكل رقم ٢١)



شكل رقم (٢١)

والشكل السابق يبين ان هذا الحل سوف يمكن من انهاء المشروع فى ١٧ يوما فقط بزيادة فى التكاليف المباشرة قدرها ١٢٣٠ جنيها عن الحل السابق ويصبح اجمالى التكاليف المباشرة ٤٢٨٠ جنيهـــا

وبعد حساب اقصر و اطول فترتين يمكن تنفيذ المشروع خلالهما يجد المخطط نفســـه مواجها بالسؤالين الآتيين :

السؤال الاول : هل يمكن التوصل الى تنفيذ المشروع خلال اقصر مدة ممكنة (١٧ يوما : المثـــال) بدون الحاجة الى ضغط جميع الانشطة ؟

وواضح ان الهدف من هذا السؤال هو معرفة امكانية توفير اكبر جزء ممكن من التكاليـــف التى تنتج عن ضغط انشطة لا يوفر ضغطها فى فترة تنفيذ المشروع .

السؤال الثانى : ما هى تكلفة تنفيذ المشروع المقابلة لفترات تنفيذ تتدرج بين الزمن المتسرع والزمن الطبيعـــى ؟

ويهدف المخطط بهذا السؤال الى التعرف على كل امكانيات تنفيذ المشروع الذى يقـــوم بتخطيطه من ناحية الزمن والتكلفة ليتمكن من اختيار المرادف الذى يتناسب مع ظروف المشروع المختلفة

كما ان تحديد فترة التنفيذ التى تحقق التكاليف الكلية المثلى تتطلب مثل هذا التحليـــل (راجـــع شكل ١٨)

ويتضح من الشكل رقم (٢٠) ان المسار الحرج يتكون من الانشطة (١ ، ٢) ، (٢ ، ٣) (٣ ، ٥) ، (٥ ، ٦) وبجمع فترات تنفيذ هذه الانشطة يتضح ان فترة تنفيذ المشروع الطبيعيـــة هى ٢٢ يوما ، ولما كانت هذه هى الانشطة الحرجة فان اى توفير فى فترة تنفيذ المشروع يمكن ان تتم بضغط نشاط او اكثر من هذه الانشطة فقط .

وفيما يلى سوف نوضح الخطوات التى تمكننا من الاجابة على السؤالين السابقين

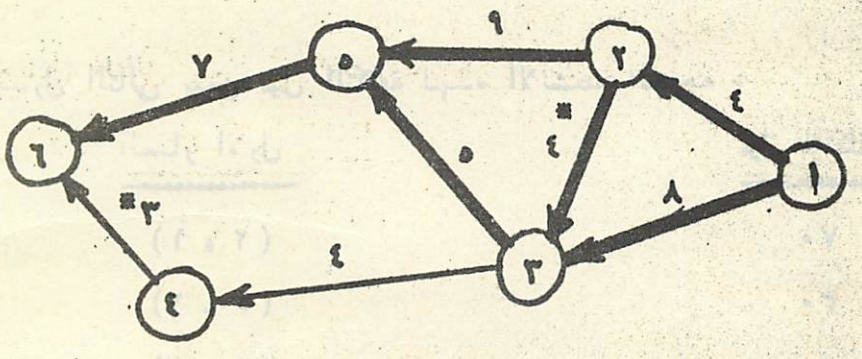
لقد تم تعريف ميل التكلفة بانه الزيادة فى التكلفة الناتجة عن توفير وحدة زمنية واحدة مـــن فترة تنفيذ النشاط ، اى ان تكلفة ضغط اى نشاط تتناسب مع ميل تكلفة هذا النشاط تناسبا طرديـــا ولذلك يجب معرفة ميل تكلفة الانشطة الحرجة المختلفة . والجدول الآتى يوضح ميل التكلفة للانشطـــة الحرجة بالمثال الذى نعالجه

النشاط	ميل التكلفة
(١ ، ٢)	٧٠
(٢ ، ٣)	٥٠
(٣ ، ٥)	٩٠
(٥ ، ٦)	٦٥٠

وهذا الجدول يبين ان النشاط (٢ ، ٣) يتميز بأقل ميل تكلفة ولذلك يجب البـــدء بضغطه على قدر المستطاع . اى انه يمكن ضغط فترة تنفيذ هذا النشاط يومين بزيادة فى التكلفة قدرها ١٠٠ جنيه (٥٠ × ٢) بدون التأثير على اى نشاط آخر فى المشروع .

وينتج عن ذلك الحصول على جدول التسرع الاول . ثم يجب تحديد المسار او المسارات الحرجة الجديدة التى تنتج عن ضغط النشاط (٢ ، ٣) لمدة يومين .

والشكل التالى يبين شبكة المشروع والمسارات الحرجة بعد عملية الضغط الاولى مـــع ملاحظة وجوب وضع علامة مميزة على الانشطة التى لا يمكن ضغطها بعد كل مرحلة (■) .



مدة تنفيذ المشروع = ٢٠ يوما

تكلفة التنفيذ = ٣١٥٠ جنيـه

جـدول التسـرع الاول

شكل رقـم (٢٢)

ويتضح من الشكل رقم (٢٢) زيادة عدد المسارات الحرجه للمشروع الى ثلاثة بدلا من مسار واحد وذلك نتيجة الى ضغط فترة تنفيذ المشروع الى ٢٠ يومـــا بدلا من ٢٢ يوما وهذه الفترة الجديدة يمكن تحقيقها بمجموعات الانشطة الاتيـــة :

المسار الاول =

٤ + ٩ + ٧ = ٢٠ يوما

المسار الثانى =

٤ + ٤ + ٥ + ٧ = ٢٠ "

المسار الثالث =

٨ + ٥ + ٧ = ٢٠ "

والجدول التالى يبين ميل التكلفة لهذه الانشطه الحرجه :

المسار الاول	ميل التكلفة
(١ ، ٢)	٧٠
(٢ ، ٥)	٣٠
(٥ ، ٦)	١٥٠

المسار الثانى	ميل التكلفه
(١ ، ٢)	٧٠
(٢ ، ٣)	٥٠
(٣ ، ٥)*	٩٠
(٥ ، ٦)	١٥٠

المسار الثالث	ميل التكلفة
(١ ، ٣)	٨٠
(٣ ، ٥)	٩٠
(٥ ، ٦)	١٥٠

٣ - الاسراع فى تنفيذ المشروعات ذات المسارات الحرجة المتعددة :

هنا يجب مراعاة ضغط جميع المسارات الحرجه بنفس الفترة الزمنية وذلك لضمان تحقيق اختصار فترة تنفيذ المشروع بالقدر اللازم.

ومن الوصول السابق بدون ضغط النشاط (٢ ، ٥) الواقع على المسار الاول يوما واحدا بزيادة فى التكاليف قدرها ٢٠ جنيها ، كما يمكن ضغط النشاط (٣ ، ٥) الواقع على المسارين الثانى والثالث يوما واحدا ايضا بزيادة فى التكاليف قدرها ٩٠ جنيها . اى ان الزيادة الكلية فى تكاليف المشروع المباشرة والناتجة عن ضغط فترة التنفيذ من ٢٠ الى ١٩ يوما هى ١١٠ جنيها.

ولما كان هدف هذا الاسلوب فى التخطيط هو معرفة اقل التكاليف المقابلة لفترات التنفيذ المختلفة ، لذا يجب دراسة الامكانيات الاخرى التى قد تؤدى الى زيادة اقل فى التكاليف لنفس الوفر فى الزمن.

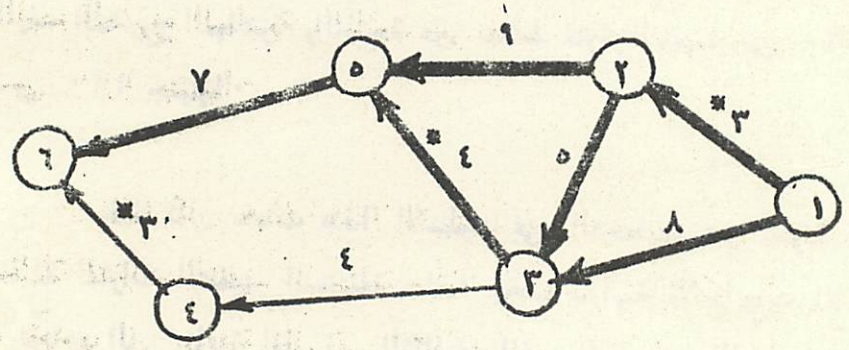
فقد يحدث احيانا ان الاسراع فى تنفيذ بعض الانشطه يسمح بابطاء تنفيذ انشطة اخرى ذات ازمنه متسرعه بدون التأثير على زمن تنفيذ المشروع.

ولايضاح ذلك نتناول بالتحليل البديل الاتى :

اذا تم ضغط النشاط (١ ، ٢) والنشاط (٣ ، ٥) يوما واحدا لكل منهما تكون الزيادة فى التكاليف هى ٧٠ جنيها للنشاط الاول و ٩٠ جنيها للنشاط الثانى ، وتكون الزيادة الكلية فى تكاليف المشروع نتيجة

لتوفير يوم واحد هى ١٦٠ جنيها. ولكن النشاط (٢ ، ٣) والذى سبق ضغطه الى زمنه المتسرع يمكن فى هذه الحالة اطاله فترة تنفيذه يوما واحدا بدون التأثير على الزمن الكلى للمشروع وبالتالى نوفر فى التكاليف الكلية للتنفيذ ٥٠ جنيها فتصبح صافى زيادة التكلفة ١١٠ جنيها (١٦٠ـ ٥٠) بدلا من ١٢٠ فى الحالة الاولى. وهذا يوضح ضرورة تحليل الامكانيات المختلفة واختيار البديل الذى يحقق اقل زيادة فى التكلفه الكليه.

وينتج عن ضغط النشاطين (١ ، ٢) ، (٣ ، ٥) الازمنة الموضحة على الشبكة الاتية :



مدة تنفيذ المشروع = ١٩ يوما

تكلفة التنفيذ = ٣٢٦٠ جنيها

جدول التسرع الثانى

شكل رقم (٢٣)

ومن الشكل (٢٣) يتبين ان المسارات الحرجه للمشروع لم تتغير نتيجة لضغط فترة تنفيذه من ٢٠ يوما الى ١٩ يوما ولذلك يجب تحليل المسارات الحرجه

النظر مرة اخرى للتعرف على الامكانيات المتاحة للتوفير فى فترة تنفيذ المشروع بأقل زيادة فى التكاليف وذلك بمقارنة الانشطه الحرجه وميل تكلفة كل منها كما هو مبين بالجدول الاتى :

المسار الاول	ميل التكلفه
(١ ، ٢)*	٧٠
(٢ ، ٥)	٣٠
(٥ ، ٦)	١٥٠

المسار الثانى	ميل التكلفه
(١ ، ٢)*	٧٠
(٢ ، ٣)	٥٠
(٣ ، ٥)*	٩٠
(٥ ، ٦)	١٥٠

المسار الثالث	ميل التكلفه
(١ ، ٣)	٨٠
(٣ ، ٥)*	٩٠
(٥ ، ٦)	١٥٠

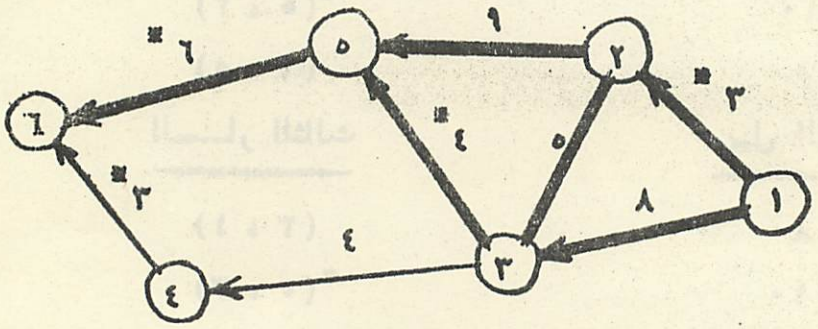
٣ - تأثير اى تسرع آخر فى تنفيذ المشروع وتكلفته :

من الجدول السابق يتضح انه لم يتبقى الا امكانيتين للتسرع فى تنفيذ المشروع حيث ان بعض الانشطه والمميزه بالعلامة (*) قد وصلت الى ازمنتها المتسرعة وبالتالى لا يمكن اعادة ضغطها .

وواضح ان الامكانية الاولى تتحقق بضغط كل من الانشطه (٢ ، ٥) فى المسار الاول ، (٢ ، ٣) فى المسار الثانى ، (١ ، ٣) فى المسار الثالث لمدة يوم واحد بزيادة فى التكاليف قدرها ٣٠ ، ٥٠ ، ٨٠ جنيها على التوالى . أى بزيادة اجمالية قدرها ١٦٠ جنيها .

اما الامكانية الثانية فهى ضغط النشاط (٥ ، ٦) المشترك بين المسارات الثلاثة بزيادة اجمالية فى التكلفة قدرها ١٥٠ جنيها ولما كان الهدف هو توفير يوم واحد بأقل زيادة ممكنه فى التكاليف الاجمالية ، لذا فاننا نفضل الامكانية الثانية التى تضمن تنفيذ المشروع فى ١٨ يوما بتكاليف قدرها ٣٤١٠ جنيها .

والشكل التالى يبين شبكه المشروع فى هذه الحالة



مدة تنفيذ المشروع = ١٨ يوما

تكلفة التنفيذ = ٣٤١٠ جنيها

جدول التسرع الثالث

شكل رقم (٢٤)

ونلاحظ من الشكل رقم (٢٤) ان المسارات الحرجه لم تتغير نتيجة لضغط مدة تنفيذ المشروع من ١٩ الى ١٨ يوما . ولذلك يجب تحليل انشطة

هذه المسارات مره اخرى للتعرف على ما تبقى من امكانيات التسرع .

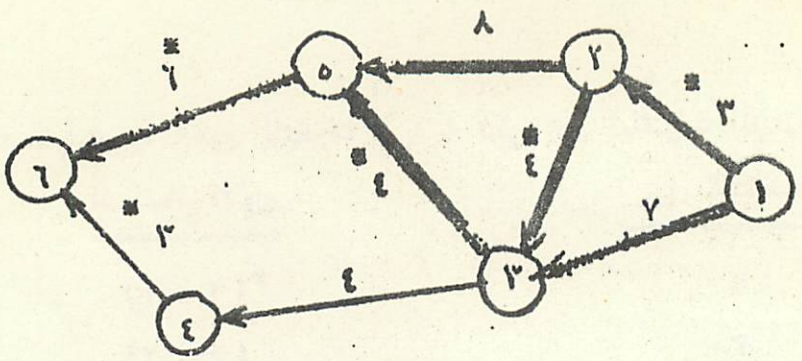
المسار الاول	ميل التكلفه
(١ ، ٢)*	٧٠
(٢ ، ٥)	٣٠
(٥ ، ٦)*	١٥٠

المسار الثانى	ميل التكلفه
(١ ، ٢)*	٧٠
(٢ ، ٣)	٥٠
(٣ ، ٥)*	٩٠
(٥ ، ٦)*	١٥٠

المسار الثالث	ميل التكلفه
(١ ، ٣)	٨٠
(٣ ، ٥)*	٩٠
(٥ ، ٦)*	١٥٠

٤ - الحل الامثل لتنفيذ المشروع فى اقصر فترة ممكنه :

بفحص الجدول السابق يتضح وجود مجموعة واحدة فقط من الانشطه يمكن ضغطها لتوفير يوم آخر من فترة تنفيذ المشروع ، وهذه الانشطه هى (٢ ، ٥) ، (٢ ، ٣) ، (١ ، ٣) بزيادة اجمالية فى التكلفة قدرها ١٦٠ جنيها (٣٠ + ٥٠ + ٨٠). وينتج من عملية الاسراع فى تنفيذ هذه الانشطه الثلاثه الازمنه الموضحة على انشطة المشروع فى الشكل التالى :



مدة تنفيذ المشروع = ١٧ يوما

تكلفة التنفيذ = ٣٥٧٠ جنيها

جدول التسرع الرابع

شكل رقم (٢٥)

وبهذا الحل نكون قد توصلنا الى ضغط مده تنفيذ المشروع الى ١٧ يوما بتكلفة اجمالية مباشرة قدرها ٣٥٧٠ جنيها . والشكل السابق يبين عدم تغيير المسارات الحرجه للمشروع . وهنا يجب اعادة تحليل انشطة هذه المسارات لتحديد اى خطوات اخرى ممكنه كما فى الجدول الاتى :

المسار الاول	ميل التكلفه
*(١ ، ٢)	٧٠
(٢ ، ٥)	٣٠
*(٥ ، ٦)	١٥٠

المسار الثانى	ميل التكلفه
*(١ ، ٢)	٧٠
*(٢ ، ٣)	٥٠
*(٣ ، ٥)	٩٠
*(٥ ، ٦)	١٥٠

المسار الثالث	ميل التكلفه
(١ ، ٣)	٨٠
(٣ ، ٥)*	٩٠
(٥ ، ٦)*	١٥٠

وحيث ان جميع انشطة المسار الثانى قد وصلت الى ازمنتها الحرجه ، اى لا يمكن ضغط فترة تنفيذ اى منها بعد هذه المرحله ،كما وانه قد سبق ان اشترطنا ان يتم الضغط بنفس الفترة الزمنية لجميع المسارات الحرجه للمشروع اذا ما اردنا ضغط مدة التنفيذ الكلية للمشروع ، فانه يتضح ان اى عمليـــة اسراع فى تنفيذ اى نشاط لم يصل الى زمنه الحرج لن تؤدى الا الى زيادة فى التكلفة بدون اى وفر فى فترة التنفيذ . ولذا يطلق على هذا الحل "الحل الامثل" وعلى التكاليف الكليه المقابله "التكاليف المثلى".

٥ — تحليل بيانات الزمن والتكلفة

بعد تحديد امكانيات تنفيذ المشروع المختلفة زمنيا وماليا يمكن البدء فى عملية تحليل النتائج التى تم التوصل اليها فى الخطوات السابقة .

والجدول الآتى يوضح الصورة الشاملة لهذه النتائج

النشاط	الحالة الطبيعية	الحل الاول	الحل الثانى	الحل الثالث	الحل الرابع	الحل الخامس	الحالة المتسرعة
(١ ، ٢)	٤	٤	٤	٣	٣	٣	٣
(١ ، ٣)	٨	٨	٨	٨	٨	٧	٦
(٢ ، ٣)	٦	٥	٤	٥	٥	٤	٤
(٢ ، ٥)	٩	٩	٩	٩	٩	٨	٧
(٣ ، ٤)	٤	٤	٤	٤	٤	٤	١
(٣ ، ٥)	٥	٥	٥	٤	٤	٤	٤
(٤ ، ٦)	٣	٣	٣	٣	٣	٣	٣
(٥ ، ٦)	٧	٧	٧	٧	٦	٦	٦
مدة تنفيذ المشروع (يوم)	٢٢	٢١	٢٠	١٩	١٨	١٧	١٧
اقل تكلفة تنفيذ (جنيه)	٣٠٥٠٠	٣١٠٠٠	٣١٥٠٠	٣٢٦٠٠	٣٤١٠٠	٣٥٧٠٠	٤٢٨٠٠

وهذا الجدول النهائى يبين ان الحل الخامس يعطى نفس الوفر الزمنى الذى يتحقق بضغط جميع انشطة المشروع الى حالتها المتسرعة ، فى حين ان الحل الخامس يوفر ٧١٠٠ جنيها من التكاليف الاجمالية للتنفيذ عن الحالة المتسرعة لجميع الانشطة . كما ان الجدول يبين الامكانيات الزمنية المختلفة لتنفيذ المشروع وما يقابلها من تكاليف اجمالية مباشرة . وبهذا يتمكن المخطط من اختيار البديل الانسب للمشروع ، واضعا فى اعتباره ان التكاليف المحسوبة هى اقل تكاليف مباشرة ممكنة ومناظرة لفترات التنفيذ المختلفة .

ومن هذا المثال البسيط يتضح حجم الحسابات والمجهود الذى يجب ان تبذل للحصول على هذه النتائج ، اما فى المشروعات الفعلية والتى تتكون عادة من عدة مئات من الانشطة فان عملية حساب الفترات الممكنة لتنفيذ المشروع واقل التكاليف الممكنة والمناظرة لهذه الفترات تصبح عملية ضخمة يحسن لحسابها استخدام الحاسب الالكترونى

استخدام الحاسب الالكترونى فى الحسابات

لقد تم تطبيق طريقة الحساب السابق شرحها فى اعداد برنامج بواسطة معدى البرامج بشركة (IBM) ، ولقد كتب هذا البرنامج باللغة (FORTRAN) ، مع اننا سوف نستخدم هذا البرنامج فى حساباتنا الا اننا سوف ندخل عليه بعض التعديلات التى تمكننا من استخدام الزمن الطبيعى بدلا من استخدام العوامل الزمنيه الثلاثه التى يحسب منها هذا الزمن وذلك تسهيلا لخطوات البرنامج .

- طريقة اعداد البيانات :

تثقب البيانات اللازمة على كروت بحيث يكون لكل نشاط كارتا مستقلا ، ويكون نظام تثقيب كل كارت كالاتى :

الصفوف	
من ١ الى ٤	ويثقب فيها رقم حدث البداية (I)
من ٥ الى ٨	ويثقب فيها رقم حدث النهاية (J)
من ٩ الى ١٦	ويثقب فيها الزمن الطبيعى
من ١٧ الى ٢٤	ويثقب فيها الزمن المتسرع
من ٢٥ الى ٣٢	ويثقب فيها التكلفة الطبيعية
من ٣٣ الى ٤٠	ويثقب فيها التكلفة المتسرعة

ويجب ملاحظة وضع كارت غير مثقب فى نهاية كروت البيانات وان تكون كروت الانشطه مرتبه ترتيبا تصاعديا بالنسبة الى (I) ، وفى حالة ثبات (I) لعده كروت ان ترتب تصاعديا بالنسبة الى (J) .

FORTRAN Program for the Problem:

```
C
C                              PECOS
C       PROJECT EVALUATION AND COST OPTIMIZATION SYSTEM FOR 1620
C
C
C                       E.A.SCHAEFER      C.J.SNYDER
C                       B.F.GOODRICH        I.B.M.
C
C                                  AUGUST 1, 19 1
      DIMENSION CC( 50),L1( 50),L2( 50),LS( 50),E( 50),DUR( 50),
     1I( 50),J( 50),ST( 50),TE( 50),TL( 50),CT( 50),SC( 50),F( 50,2)
    1 L=1
      FIN=1.0E+95
    2 READ 1001,I(L),J(L),ST(L),CT(L),SC(L),CC(L)
      IF(J(L))3,3,4
 1001 FORMAT(2I4,4F8.0)
    4 DUR(L)=ST(L)
      IF (ST(L)-CT(L))500,500,501
  500 CC(L)=FIN
      GO TO 502
  501 CC(L)=(CC(L)-SC(L))/(ST(L)-CT(L))
  502 L=L+1
      GO TO 2
    3 M=L-1
      DO 5 K=1,M
      F(K,1)=0.
      F(K,2)=0.
    5 CONTINUE
  207 TE(1)=0.
      TE(2)=0.0
      K2=2
      K3=1
  209 DO 210 N=1,M
      K1=N
      IF (J(N)-K2)210,250,210
  250 K3=1
      K4=I(K1)
      TT=TE(K4)+DUR(K1)
      IF(TE(K2)-TT)251,210,210
  251 TE(K2)=TT
  210 CONTINUE
      IF (K3)211,220,211
  211 K2=K2+1
      K3=0
      TE(K2)=0.0
      GO TO 209
  220 K2=K2-2
      GO TO 234
    9 IP=0
      L1(1)=1
      E(1)=FIN
   10 IF (IP-NUMN+1)11,22,22
```

```
11 IP=IP+1
   IF (L1(IP))10,10,12
12 DO 20 K=1,M
   IF (I(K)-IP)20,15,20
15 JP=J(K)
   IF (L1(JP))13,13,20
13 IF (ABSF(CT(K)+TE(IP)-TE(JP))-.01)14,14,20
14 L1(JP)=IP
   L2(JP)=2
   E(JP)=FIN
20 CONTINUE
21 GO TO 10
22 IF (L1(NUMN))25,25,605
25 IP=1
27 IF (L1(IP))28,28,26
26 IF (LS(IP))28,30,30
28 IP=IP+1
   IF (IP-NUMN)27,29,29
29 IF (L1(IP))70,70,60
30 DO 55 K=1,M
   IF (IP-I(K))31,32,31
31 IF (IP-J(K))55,41,55
32 JP=J(K)
   IF (L1(JP))33,33,55
33 IF (ABSF(ST(K)-TE(JP)+TE(IP))-.01)35,35,34
34 IF (ABSF(CT(K)-TE(JP)+TE(IP))-.01)36,36,55
35 DIFF=CC(K)-F(K,1)
   KT=1
   IF (DIFF)55,55,37
36 DIFF=FIN-F(K,2)
   KT=2
   IF (DIFF)55,55,37
37 IF (E(IP)-DIFF)38,38,39
38 E(JP)=E(IP)
   GO TO 40
39 E(JP)=DIFF
40 L1(JP)=IP
   L2(JP)=KT
   GO TO 55
41 JP=I(K)
   IF (L1(JP))42,42,55
42 IF (ABSF(ST(K)-TE(IP)+TE(JP))-.01)44,44,43
43 IF (ABSF(CT(K)-TE(IP)+TE(JP))-.01)45,45,55
44 KT=1
   GO TO 46
45 KT=2
46 IF (F(K,KT))55,55,47
47 IF (E(IP)-F(K,KT))48,48,49
48 E(JP)=E(IP)
   GO TO 50
```

```
49 E(JP)=F(K,KT)
50 L1(JP)=IP
   L2(JP)=KT
55 LS(IP)=-1
   GO TO 25
60 JP=NUMN
61 DO 68 K=1,M
   KT=L2(JP)
   IF (JP-J(K))63,62,63
62 IF (L1(JP)-I(K))68,66,68
63 IF (JP-I(K))68,64,68
64 IF (L1(JP)-J(K))68,65,68
65 F(K,KT)=F(K,KT)-E(NUMN)
   GO TO 67
66 F(K,KT)=F(K,KT)+E(NUMN)
67 JP=L1(JP)
   IF(JP-1)85,85,61
68 CONTINUE
   PAUSE 9999
70 DEL=FIN
   DO 80 K=1,M
   IP=I(K)
   JP=J(K)
   IF(L1(IP))74,74,71
71 IF (L1(JP))72,72,80
72 DIFF=TE(JP)-ST(K)-TE(IP)
   IF (DIFF)73,73,78
73 DIFF=TE(JP)-CT(K)-TE(IP)
   IF (DIFF)  80, 80, 78
74 IF (L1(JP))  80, 80, 75
75 DIFF=CT(K)-TE(JP)+TE(IP)
   IF (DIFF)76,76,78
76 DIFF=ST(K)-TE(JP)+TE(IP)
   IF (DIFF)80,80,78
78 IF (DEL-DIFF)80,80,79
79 DEL=DIFF
80 CONTINUE
   DO 82 K=1,NUMN
   IF (L1(K))81,81,82
81 TE(K)=TE(K)-DEL
82 CONTINUE
   DO 799 K=1,M
   IP=I(K)
   JP=J(K)
   IF (ST(K)-TE(JP)+TE(IP))101,101,102
101 DUR(K)=ST(K)
   GO TO 799
102 DUR(K)=TE(JP)-TE(IP)
799 CONTINUE
   K2=NUMN-1
234 TL(K2+1)=TE(K2+1)
   NUMN=K2+1
   TL(K2)=TL(K2+1)
```

```
214 DO 215 N1=1,M
    K1=N1
    IF (I(N1)-K2)215,230,215
230 K4=J(K1)
    TT=TL(K4)-DUR(K1)
    IF (TT-TL(K2))231,215,215
231 TL(K2)=TT
215 CONTINUE
    IF (K2-1)216,260,216
216 K2=K2-1
    TL(K2)=TL(NUMN)
    GO TO 214
260 TCST=0.005
603 PRINT 1007
    PRINT 1008
107 DO 104 K=1,M
    IP=I(K)
    JP=J(K)
103 PCST=SC(K)+(ST(K)-DUR(K))*CC(K)+.05
    TCST=PCST+TCST-.05
    SE=TE(IP)+.05
    SL=TL(JP)-DUR(K)+.05
    CE=TE(IP)+DUR(K)+.05
    CL=TL(JP)+.05
    DURX=DUR(K)+.05
    TF=TL(JP)-TE(IP)-DUR(K)+.05
    IF(TF-.06)265,265,266
265 TF=0.0
266 FF=TE(JP)-TE(IP)-DUR(K)+.05
    DF=TE(JP)-TL(IP)-DUR(K)+.05
    IF(DF-.05)261,599,599
261 DF=0.0
599 CONTINUE
607 IF(TF)600,601,600
601 PRINT 1009,      I(K),J(K),DURX  ,SE,SL,CE,CL,TF,FF,DF,PCST
    GO TO 104
600 PRINT 1010,      I(K),J(K),DURX  ,SE,SL,CE,CL,TF,FF,DF,PCST
104 CONTINUE
602 PRINT 1011,TCST
    PRINT 1020,TE(NUMN)
 85 DO 86 K=1,NUMN
    L1(K)=0
    L2(K)=0
    E(K)=0.
    LS(K)=0
 86 CONTINUE
    GO TO 9
605 GO TO 1
1007 FORMAT(      15H   NODE     TIME,6X,5HSTART,9X,6HFINISH,12X,5HFLOAT)
1008 FORMAT(       7H   I    F13X,1HE6X,1HL6X,1HE6X,1HL6X,1HT6X,1HF6X,1HI
   14X,4HICOST)
1009 FORMAT(2I4,9F7.1,1H*)
1010 FORMAT(2I4,9F7.1)
1011 FORMAT(/23H  TOTAL PROJECT COST = F10.2)
1020 FORMAT (28H  ESTIMATED TOTAL JOB TIME =F6.1/)
    END
```

Illustrative Solved Example By the Computer:

NODE I	NODE F	TIME	START E	START L	FINISH E	FINISH L	T	FLOAT F	I	COST
1	2	4.0	0.0	0.0	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	210.0*
1	3	8.0	0.0	2.0	8.0	10.0	2.0	2.0	2.0	400.0
2	3	6.0	4.0	4.0	10.0	10.0	0.0	0.0	0.0	500.0*
2	5	9.0	4.0	6.0	13.0	15.0	2.0	2.0	2.0	540.0
3	4	4.0	10.0	15.0	14.0	19.0	5.0	0.0	0.0	500.0
3	5	5.0	10.0	10.0	15.0	15.0	0.0	0.0	0.0	150.0*
4	6	3.0	14.0	19.0	17.0	22.0	5.0	5.0	0.0	150.0
5	6	7.0	15.0	15.0	22.0	22.0	0.0	0.0	0.0	600.0*

TOTAL PROJECT COST = 3050.00
ESTIMATED TOTAL JOB TIME = 22.0

NODE I	NODE F	TIME	START E	START L	FINISH E	FINISH L	T	FLOAT F	I	COST
1	2	4.0	0.0	0.0	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	210.0*
1	3	8.0	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	400.0*
2	3	4.0	4.0	4.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	600.0*
2	5	9.0	4.0	4.0	13.0	13.0	0.0	0.0	0.0	540.0*
3	4	4.0	8.0	13.0	12.0	17.0	5.0	0.0	0.0	500.0
3	5	5.0	8.0	8.0	13.0	13.0	0.0	0.0	0.0	150.0*
4	6	3.0	12.0	17.0	15.0	20.0	5.0	5.0	0.0	150.0
5	6	7.0	13.0	13.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0	600.0*

TOTAL PROJECT COST = 3150.00
ESTIMATED TOTAL JOB TIME = 20.0

NODE I	NODE F	TIME	START E	START L	FINISH E	FINISH L	T	FLOAT F	I	COST
1	2	3.0	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	280.0*
1	3	8.0	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	400.0*
2	3	5.0	3.0	3.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	550.0*
2	5	9.0	3.0	3.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0	540.0*
3	4	4.0	8.0	12.0	12.0	16.0	4.0	0.0	0.0	500.0
3	5	4.0	8.0	8.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0	240.0*
4	6	3.0	12.0	16.0	15.0	19.0	4.0	4.0	0.0	150.0
5	6	7.0	12.0	12.0	19.0	19.0	0.0	0.0	0.0	600.0*

TOTAL PROJECT COST = 3260.00
ESTIMATED TOTAL JOB TIME = 19.0

NODE I	NODE F	TIME	START E	START L	FINISH E	FINISH L	FLOAT T	FLOAT F	FLOAT I	COST
1	2	3.0	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	280.0*
1	3	8.0	0.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	400.0*
2	3	5.0	3.0	3.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	550.0*
2	5	9.0	3.0	3.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0	540.0*
3	4	4.0	8.0	11.0	12.0	15.0	3.0	0.0	0.0	500.0
3	5	4.0	8.0	8.0	12.0	12.0	0.0	0.0	.0.0	240.0*
4	6	3.0	12.0	15.0	15.0	18.0	3.0	3.0	0.0	150.0
5	6	6.0	12.0	12.0	18.0	18.0	0.0	0.0	0.0	750.0*

TOTAL PROJECT COST = 3410.00
ESTIMATED TOTAL JOB TIME = 18.0

NODE I	NODE F	TIME	START E	START L	FINISH E	FINISH L	FLOAT T	FLOAT F	FLOAT I	COST
1	2	3.0	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	0.0	280.0*
1	3	7.0	0.0	0.0	7.0	7.0	0.0	0.0	0.0	480.0*
2	3	4.0	3.0	3.0	7.0	7.0	0.0	0.0	0.0	600.0*
2	5	8.0	3.0	3.0	11.0	11.0	0.0	0.0	0.0	570.0*
3	4	4.0	7.0	10.0	11.0	14.0	3.0	0.0	0.0	500.0
3	5	4.0	7.0	7.0	11.0	11.0	0.0	0.0	0.0	240.0*
4	6	3.0	11.0	14.0	14.0	17.0	3.0	3.0	0.0	150.0
5	6	6.0	11.0	11.0	17.0	17.0	0.0	0.0	0.0	750.0*

TOTAL PROJECT COST = 3570.00
ESTIMATED TOTALJOB TIME= 17.0

المراجـــــع

(1) A Programmed Introduction to PERT. By Federal Electric Corporation. 1964.

(2) Battersby, A. : Network analysis for Planning and Scheduling ; Macmillan and Co., London 1964.

(3) Kritischer Weg Und PERT, Methoden Zur Planung zeitabhangiger Prozesse; Planung und [illegible]tung der Volkswirtsnaft-Heft 5; Verlag Die Wirtschaft Berlin, 1965.

(4) General Electric, Computer Department, GE-225 Application- CPM Programm, 1962.

(5) IPM,
General Information Manual, PERT... a dynamic project Planning & Control method E 20-8067-1.

(6) PERT - a new management techinque, AEI Engineering Management, No. 4/ 1962. By Baldwin.

(7) Making the most of CPM : Constructor No. 3/ 1963. By Berman, H.

(8) The PERT model for the distribution of an activity time, I, : Operations Research, 3/ 1962. By Clark, Ch. E.