

برمجة مراحل التنفيذ

إعداد

د.م/ عادل السمادوني

## تخطيط المشروع والجدولة الزمنية بطريقة المسار الحرج

### Critical Path Method (CPM)

تربط طريقة المسار الحرج Critical Path Method (CPM) بين الزمن المحدد لتنفيذ المشروع وأقصى استخدام للموارد وبين التسلسل المنطقي لتنفيذ الأنشطة. وهذا الأسلوب يحدد بدقة الأنشطة التي لايسمح لها بأى تأخير سواء فى بدايتها أو نهايتها حتى يتم الإنتهاء من المشروع فى الوقت المحدد (أى التى تقع على المسار الحرج وهو مسار وهمى يربط بين أنشطة معينة متتابعة وبتأخير بداية أو نهاية أى من هذه الأنشطة يترتب عليه تأخير الإنتهاء من المشروع).

فيما يلى عدة تعريفات تستخدم فى طريقة المسار الحرج :-  
- النشاط Activity : هو بند من بنود (أو عملية من عمليات) المشروع ويحتاج الى زمن وموارد لإنجازه. ويمثل كالاتى :-  
بداية النشاط زمن النشاط نهاية النشاط.

←-----

- زمن تنفيذ النشاط Duration (D) : هو الزمن اللازم لتنفيذ نشاط معين ويتم تحديده طبقا للموارد المتاحة ومعدلات التنفيذ لهذه الموارد.

- الحدث Event : هو إنجاز معين يحدث فى نقطة معينة من الوقت ولايحتاج لوقت أو موارد فى حد ذاته. ويشير الحدث الى إنتهاء النشاط أو الأنشطة السابقة لهذا الحدث - عدا حدث البداية - كما تشير الى إمكانية البدء فى نشاط أو أنشطة تالية لهذا الحدث - عدا حدث النهاية - ويرمز له بالرمز O.

- شبكة الاعمال Net Works : هى عبارة عن شكل شبكى يوضح

التسلسل المنطقي للأنشطة O — أ — O — ب — O

حدث البداية حدث نهاية حدث النهاية

النشاط أ

والبدء فى ب

- البداية المبكرة للنشاط ES : هو الوقت المحدد لبداية تنفيذ نشاط معين. ويتم تحديده بإتباع أطول مسار من حدث البداية الى الحدث المقصود.

- البداية المتأخرة للنشاط LS : وهو الوقت الذي لا يجوز بداية النشاط بعده والا تسبب ذلك في تأخير الإنتهاء من المشروع  
 $LS=LF-D$  (Duration)

- النهاية المبكرة للنشاط EF : وهو زمن إنتهاء نشاط معين والبدء المبكر لتنفيذ النشاط التالي . ويحسب بإضافة زمن تنفيذ النشاط الى البداية المبكرة له.  
 $EF=ES+D$  (Duration)

- النهاية المتأخرة للنشاط LF : هو آخر وقت مسموح به لنهاية النشاط حتى لا يتسبب التأخير عنه في تأخير الأنشطة التالية له وبالتالي في تأخير إتمام المشروع . ويحسب بإضافة زمن تنفيذ النشاط الى البداية المتأخرة لهذا النشاط.  
 $LF=LS+D$  (Duration)

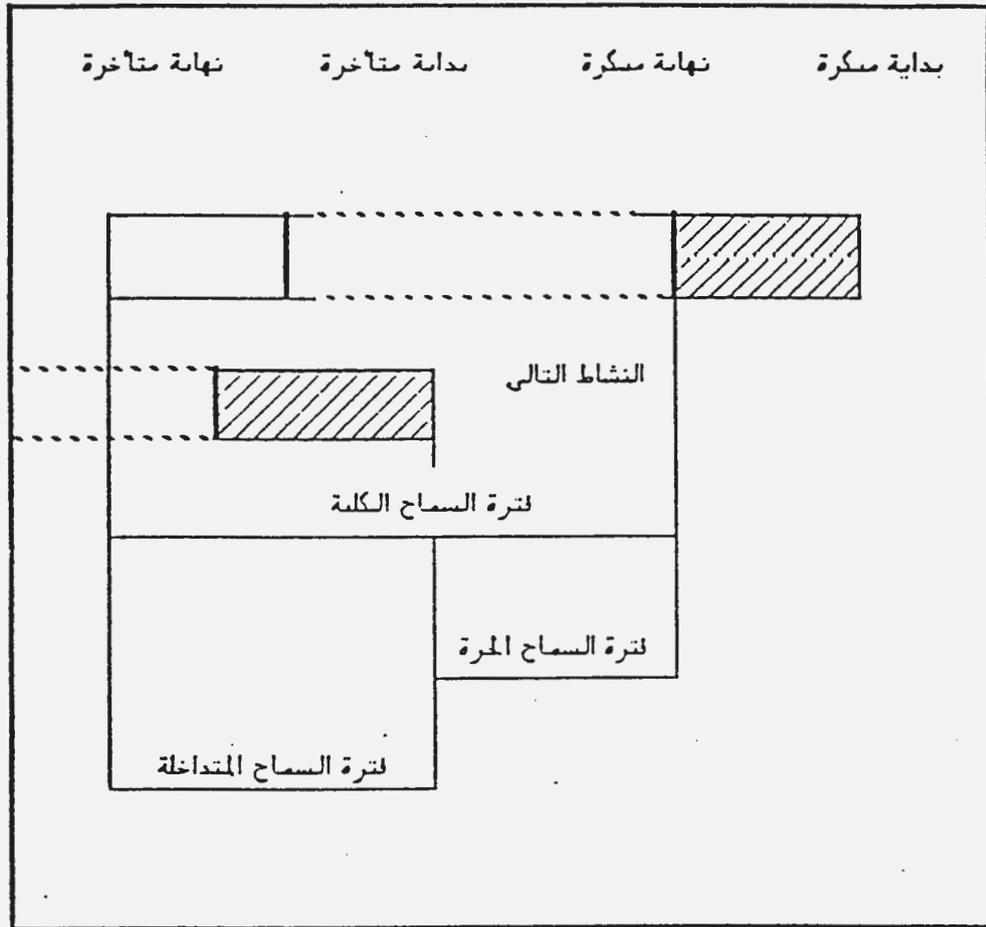
- فترة السماح الكلية Total Float هو الوقت الإحتياطي المسموح به في تأخير بداية او نهاية تنفيذ أى نشاط بدون التأثير على زمن تنفيذ المشروع والأنشطة التي ليست لها فترات سماح هي الأنشطة التي تمثل المسار الحرج الذي لايسمح بتأخير بداية او نهاية أى نشاط حتى لايتأثر الوقت المحدد للإنتهاء من المشروع.

وتحسب فترة السماح الكلية بإيجاد الفرق بين البداية المتأخرة والبداية المبكرة للنشاط او الفرق بين النهاية المتأخرة والنهاية المبكرة للنشاط .  
 $TF=LS-ES=LF-ES$

- فترة السماح الحرة Free Float (FF) هو مدة الزمن التي يمكن ان يتأخرها نهاية النشاط بدون تأخير البداية المبكرة للنشاط الذي يليه Succeeding Activity .  
 $FF = LF$  للنشاط التالي -  $EF$  للنشاط

- فترة السماح المتداخلة Interfering Float هو الفرق بين فترة السماح الكلية وفترة السماح الحرة لنفس النشاط - الشكل (١٢)

- فترة السماح المستقلة Independent Float هي فترة السماح لنشاط ما بحيث لا تؤثر على النشاط التالي له ولا تتأثر بالنشاط السابق له . وتحسب كما يلي :



فترة السماح الكلية والحرة والمتداخلة

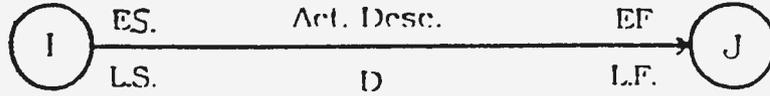
شكل ٨٨

زمن تنفيذ النشاط D - للنشاط السابق LF - للنشاط التالي ES  
= للنشاط نفسه Independent Float

- المسار الحرج Critical Path هو الخط الفاصل بين مجموعة الأنشطة المتصلة ببعضها في شبكة التخطيط (Network) والتي يكون فترة السماح لأي نشاط بتلك المجموعة يساوي صفراً. والمسار الحرج يحدد أقل وقت لازم لإنهاء المشروع.

#### - التخطيط بطريقة الأسهم

يتم تحديد الأنشطة وأوقات اللازم لكل نشاط وعلاقة الأنشطة ببعضها. ويتم تمثيل ورسم الأنشطة المختلفة وعلاقات الأنشطة ببعضها بواسطة أسهم كل سهم يعبر عن نشاط



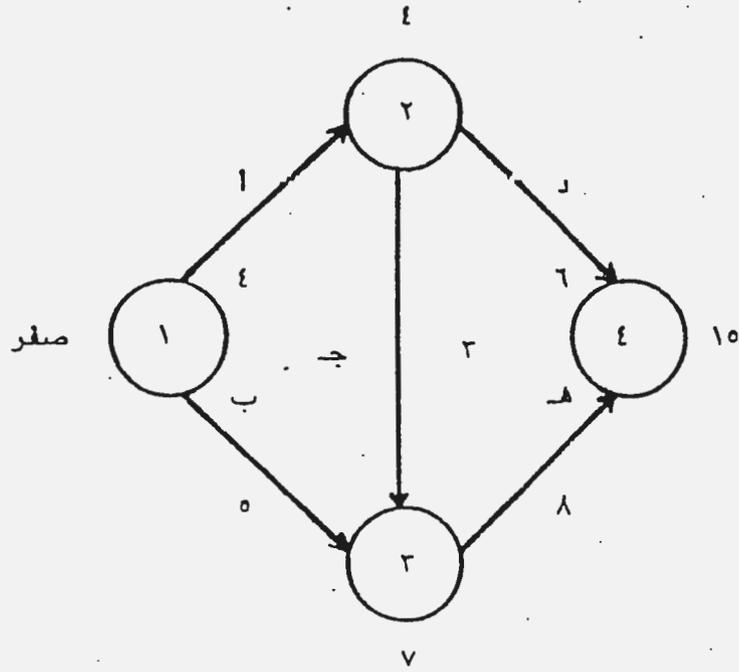
توجد دائرتان صغيرتان في بداية كل سهم ومؤخرته ويتم تدوين كل المعلومات المطلوبة على السهم وداخل الدائرتين كما هو موضح بالشكل.

الشكل (١٣) يوضح التخطيط بواسطة الأسهم لمشروع صغير يتكون من:

خمسة أنشطة يرمز لها بالحروف أ، ب، ح، د، هـ ووقت هذه الأنشطة هو ٤، ٥، ٦، ٨، ٢ على الترتيب.

النشاطان أ، ب يمكن أن يبدأ في وقت واحد. النشاطان ح، د لا يمكن أن يبدأ حتى ينتهي النشاط أ. النشاط هـ يبدأ بعد إنتهاء النشاطين ب، د.

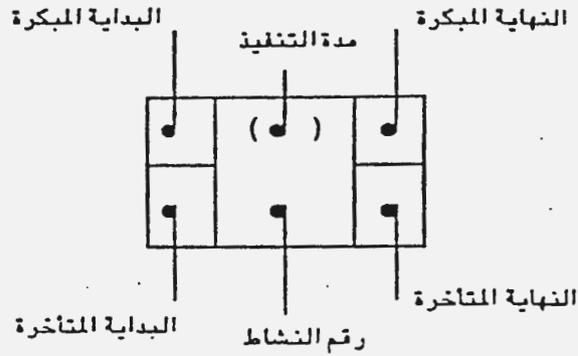
والشكل (٤١) يوضح ان أطول وقت لإنهاء المشروع هو مجموع أزمدة الأنشطة ا.ح.هـ ويساوى ١٥ يوما والمسار الذي يصل بينهم يسمى المسار الحرج للمشروع Critical Path for the Network



شكل (١٣)

#### التخطيط بطريقة التتابع (Precedance Diagram)

- يتم تقدير زمن تنفيذ كل نشاط في أسلوب شبكة الأعمال على اساس معدلات التنفيذ المعروفة او الموضوعه مسبقا طبقا لأساليب التنفيذ ولتحديد زمن المشروع والمسار الحرج نتبع عدة خطوات :
- يتم ترقيم الأنشطة طبقا لتسلسلها المنطقي كلما امكن
- تحديد زمن تنفيذ كل نشاط سواء باليوم او بالاسبوع او بالشهر
- تحديد الأنشطة السابقة (او التالية) لكل نشاط
- يرمز لكل نشاط بالشكل التالي :

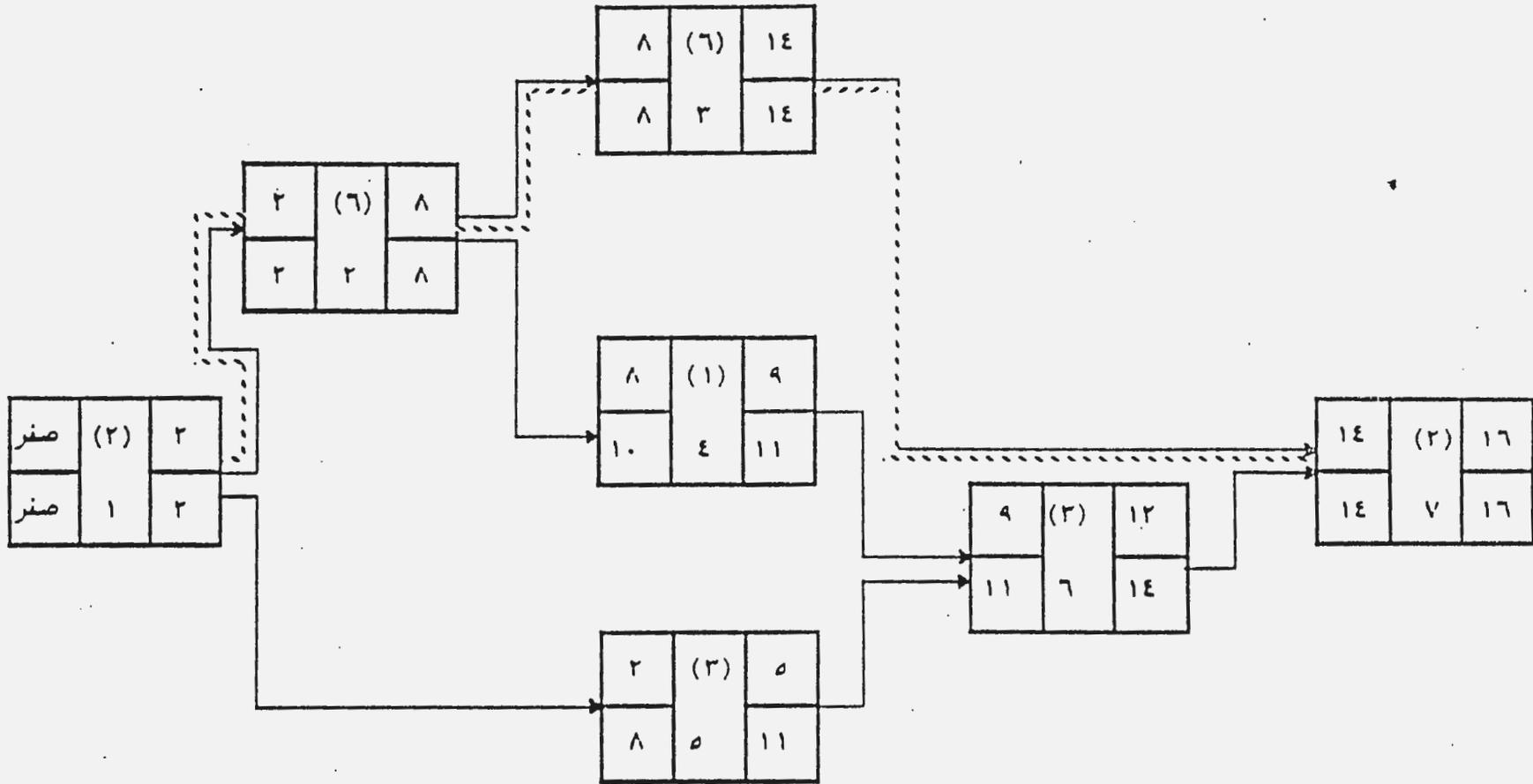


والمثال التالي يوضح طريقة المسار الحرج وكيفية حساب زمن تنفيذ المشروع وبدايات ونهايات كل نشاط من أنشطة مشروع ما مكون من ٧ أنشطة .

الانشطة السابقة	زمن التنفيذ (يوم)	رقم النشاط
---	٢	١
١	٦	٢
٢	٦	٣
٢	١	٤
١	٣	٥
٥ & ٤	٣	٦
٣ & ٦	٢	٧

بعد تحديد وترتيب الأنشطة وزمن تنفيذها والأنشطة السابقة لكل نشاط يتم رسم شبكة الاعمال كما في شكل (٦) وتحديد البداية والنهاية المبكرة لكل نشاط :

- النشاط ١ هو نشاط البداية ومدة تنفيذه يومان ولذلك لايعتمد على أنشطة سابقة له فيكون البداية المبكرة لتنفيذه هو اليوم صفر والنهاية المبكرة لتنفيذه في اليوم الثاني .
- النشاط ٢ وزمن تنفيذه ستة ايام والنشاط السابق له الذي يجب الإنتهاء منه قبل بداية النشاط ٢ هو النشاط ١ فتكون البداية المبكرة لتنفيذ النشاط هو اليوم الثاني والنهاية المبكرة لتنفيذه في اليوم الثامن .



التخطيط بطريقة التتابع Precedence Diagram

شكل (١٦)

- النشاط ٣ زمن تنفيذه ستة ايام ويعتمد على إنتهاء النشاط  
٢ فتكون البداية المبكرة لتنفيذه فى اليوم الثامن والنهاية  
المبكرة لتنفيذه فى اليوم الرابع عشر .
- النشاط ٤ مدة تنفيذه يوم ويعتمد على النشاط ٢ فتكون  
البداية المبكرة لتنفيذه فى اليوم الثامن والنهاية المتأخرة  
لتنفيذه فى اليوم التاسع .
- النشاط ٥ مدة تنفيذه ثلاث ايام ويعتمد على النشاط ١  
فيكون البداية المبكرة لتنفيذه فى اليوم الثانى والنهاية  
المبكرة لتنفيذه فى اليوم الخامس .
- النشاط ٦ مدة تنفيذ ثلاث ايام ويعتمد على كل من النشاط  
٤ والنشاط ٥ ونجد ان النهاية المبكرة الاكبر للانشطة التى  
يعتمد عليها هو نهاية تنفيذ النشاط ٤ فى اليوم التاسع ولذا  
لن يمكن بداية تنفيذ النشاط ٦ قبل اليوم التاسع وتكون  
النهاية المبكرة لتنفيذه فى اليوم الثانى عشر .
- نشاط ٧ مدة تنفيذه يومان ويعتمد على كل من النشاط ٢  
والنشاط ٦ ولن يمكن البدء فى تنفيذه قبل الإنتهاء من تنفيذ  
كل من النشاطين ٢ & ٦ ولذلك تكون البداية المبكرة لتنفيذ  
النشاط ٧ فى اليوم الرابع عشر والنهاية المبكرة لتنفيذه  
فى اليوم السادس عشر .

\* تحديد البدايات والنهايات المتأخرة لكل نشاط :

نلاحظ ان النشاط ٧ هو نشاط النهاية اى ان النهاية المبكرة  
لتنفيذه فى اليوم السادس عشر هى مدة تنفيذ المشروع  
وبالتالى فان النهاية المتأخرة المسموح بها هى اليوم السادس عشر  
ايضا وبطريقة عكسية تكون البداية المتأخرة لتنفيذه هى اليوم  
الرابع عشر .

- النشاط ٦ يسبق النشاط ٧ ولذلك يمكن تأخير نهاية تنفيذه  
الى يوم تنفيذ النشاط ٧ اى اليوم الرابع عشر ومدة تنفيذه  
ثلاث ايام فيكون البداية المتأخرة لهذا النشاط هى اليوم  
الحادى عشر .

- النشاط ٥ يسبق النشاط ٦ فيكون النهاية المتأخرة لهذا النشاط في اليوم الحادى عشر والبداية المتأخرة له في اليوم الثامن .

- النشاط ٤ يسبق النشاط ٦ فيكون نهاية تنفيذه المتأخرة في اليوم الحادى عشر وبداية تنفيذه المتأخرة في اليوم العاشر .

- النشاط ٣ يسبق النشاط ٧ ونجد ان نهاية تنفيذه المبكرة هي نفس يوم البداية المتأخرة للنشاط ٧ ولذا لايسمح له بئى تأخير فى تنفيذه فتكون نهاية تنفيذه المبكرة والمتأخرة واحدة فى اليوم الرابع عشر وبطريقة عكسية تكون بداية تنفيذه المبكرة والمتأخرة واحد فى اليوم الثامن .

- النشاط ٢ يسبق كل من النشاط ٣ والنشاط ٤ ولانه لايسمح بئى تأخير فى النشاط ٢ فلا بد ان ينتهى تنفيذ النشاط ٢ فى نفس يوم بداية النشاط ٢ اى لايسمح له بئى تأخير عن اليوم الثامن وهو نفس اليوم لنهاية تنفيذه المبكرة فتكون بداية تنفيذه المبكرة والمتأخرة واحدة .

- النشاط ١ نشاط البداية ويسبق النشاط ٢ والنشاط ٥ وبنفس الطريقة فى النشاط ٢ نجد انه لا بد ان ينتهى تنفيذ النشاط ١ فى يوم البداية المتأخرة للنشاط ٢ التى هي نفس البداية المبكرة للنشاط ٢ اى نفس النهاية المبكرة للنشاط ١ فى اليوم الثانى فتكون النهاية المتأخرة والمبكرة للنشاط ١ واحدة وبدايته المتأخرة هي المبكرة فى اليوم صفر .

\* ونلاحظ ان الانشطة ١-٢-٣-٧ بدايتها المبكرة والمتأخرة واحدة ونهايتها المبكرة والمتأخرة واحدة اى لايسمح بئى تأخير فى بداية تنفيذها او نهاية تنفيذها والا سيترتب على اى تأخير فى اى واحد منها تأخير تنفيذ المشروع . وتسمى هذه الانشطة بالانشطة الحرجة التى تستلزم عناية خاصة بمواردها ويسمى هذه الانشطة بالمسار الحرج للمشروع .

\* **الزمنة أنشطة المشروع في هيئة جدول**

عند عمل حسابات البدايات والنهايات وفترات السماح لتنفيذ قواعد خرسانية مسلحة لعمارة سكنية فإنها تظهر شبكة التخطيط كما في شكل (١٥) ولكن باستخدام الحاسب الآلى تظهر في صورة جدول انظر جدول (١).

\* **جدولة الزمنة المبكرة وتربيطها بتكويم نتيجة المشروع Calender**

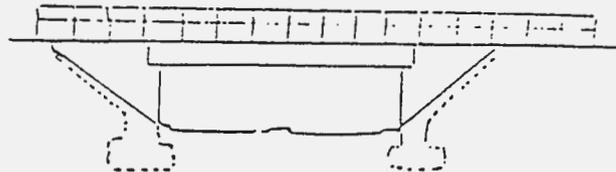
لكى يمكن متابعة الأنشطة ووقت تنفيذها يجب ان يحدد بداية النشاط باليوم والشهر والسنة وكذلك نهايته ويتم ذلك بتوفيق نتائج التخطيط الشبكي مع بداية المشروع وايام الاجازات وايام العمل كما هو موضح في جدول (٣) وهو في حالة البدايات والنهايات المبكرة . وذلك بترقيم ايام العمل وعدم احتساب اجازة نهاية الاسبوع والاجازات الاخرى .

وبافتراض ان وقت البداية هو الاثنين ٢ يناير ١٩٨٩ فتظهر تواريخ النتيجة في الجزء العلوى ويتم وضع ايام العمل في دائرة

**PROBLEM**

As part of an overall motorway construction-project, a side road has to be directed on to the new bridge which will go over the motorway. You list the activities and estimated durations for the construction of the bridge as follows.

10	Construct precast concrete beams - off site	10 wks
20	Excavate for N abutment	4 wks
30	Excavate for S abutment	3 wks
40	Construct N abutment	8 wks
50	Construct S abutment	6 wks
60	Grade N approaches	6 wks
70	Grade S approaches	6 wks
80	Erect precast concrete beams and construct in-situ slab	5 wks
90	Surfacing & parapets etc. on bridge and approaches	2 wks



Draw networks (activity on the arrow and precedence)

to keep the construction time a minimum assuming

- i) Excavation on both abutment may occur simultaneously.
- ii) Grading on N and S approaches may occur simultaneously but can not start until the respective abutment is complete.
- iii) Construction of the N and S abutments can not occur simultaneously as the same formwork is to be used for both abutments.

Find the critical path and the minimum construction period. How much time could be saved by using an extra set of formwork? Would having the time on the approaches by doubling the plant be as effective?

(25 wks, 6 wks, No, only 1 wk. saved)



CASE (I)

ONE SET OF FORM WORK

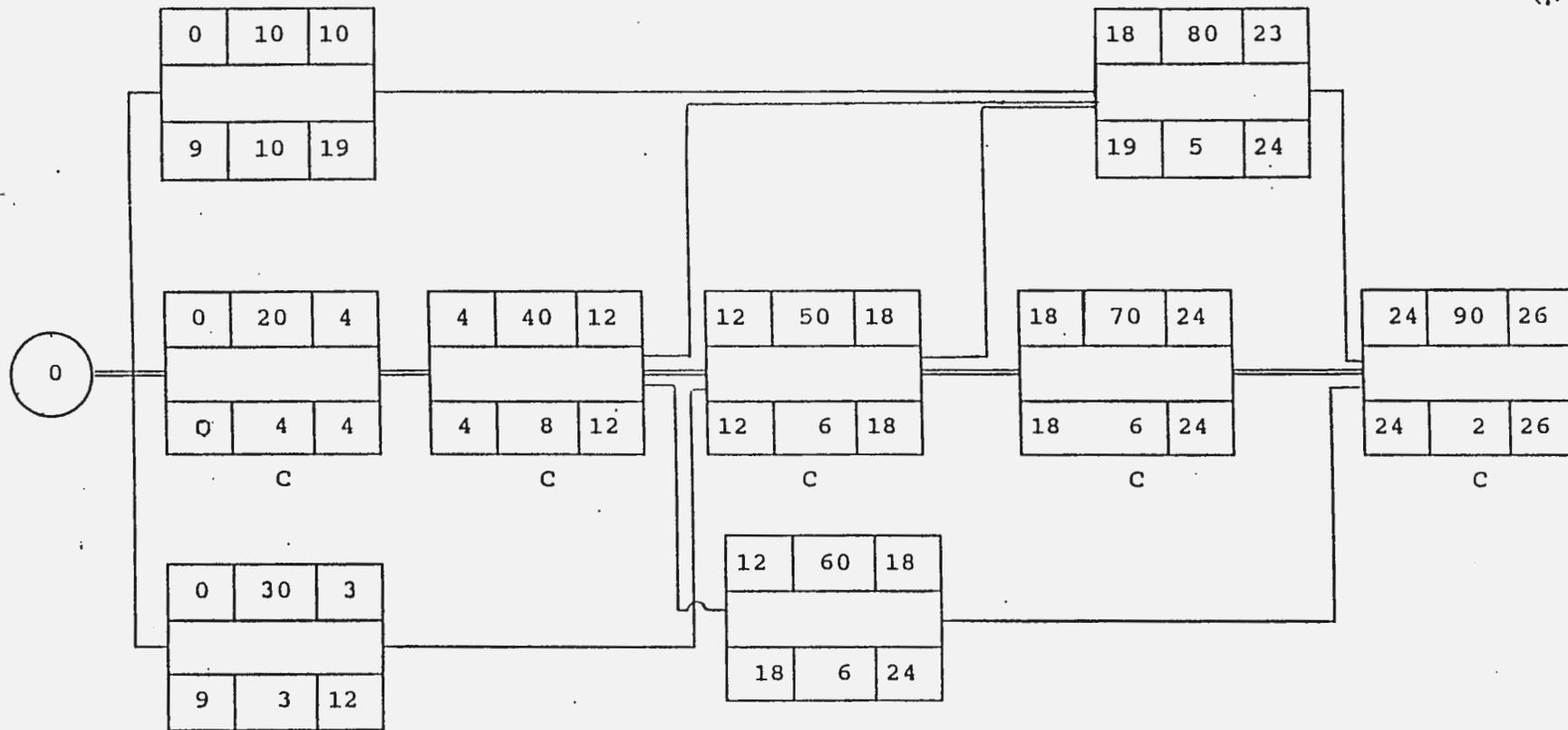
ACT. NO.	DESC.	DUR. WKS.	PREC. ACT.
10		10	--
20		4	--
30		3	--
40		8	20
50		6	30&40
60		6	40
70		6	50
80		5	40,50&10
90		2	60,80&70

CASE (II)

TWO SETS OF FORM WORK

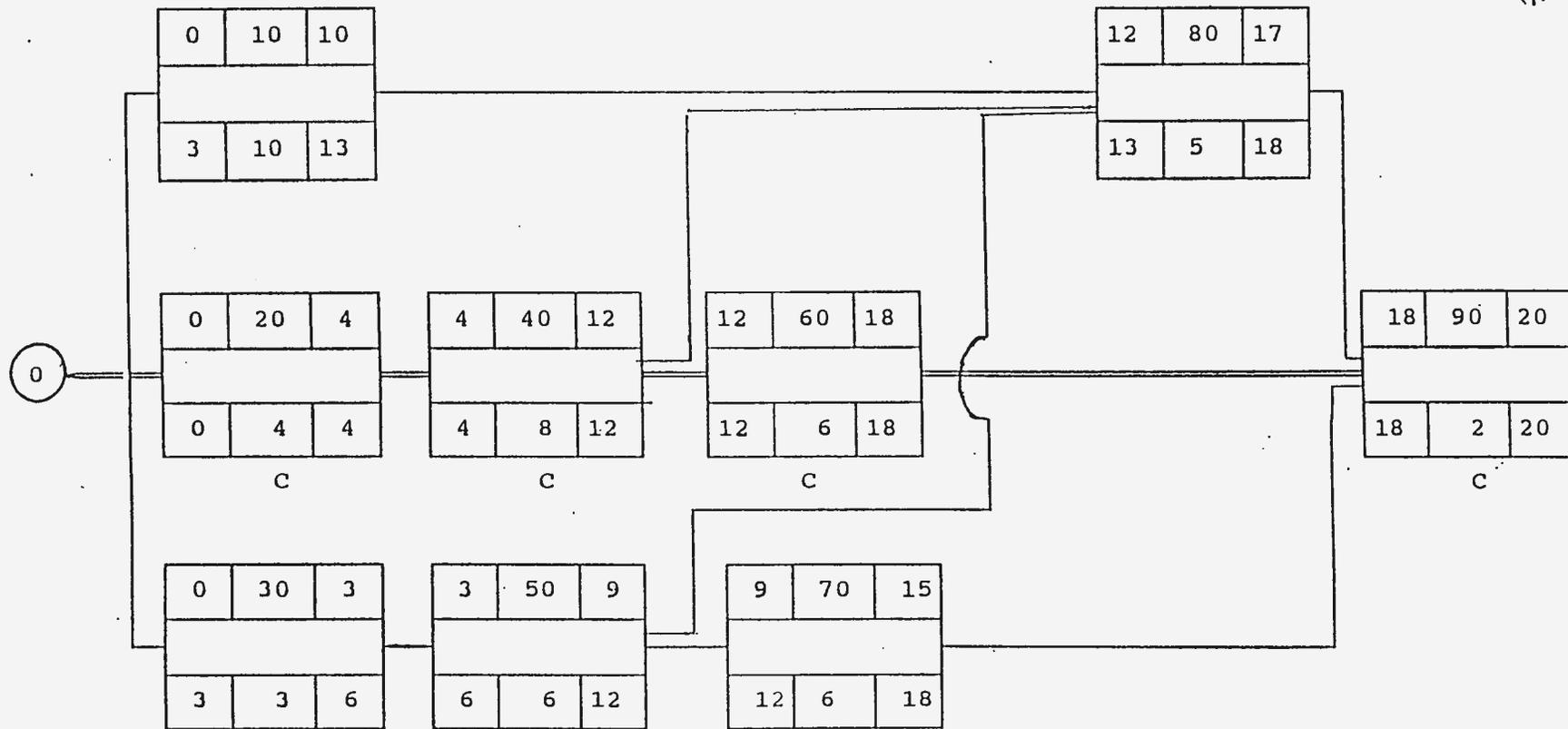
ACT. NO.	DESC.	DUR. WKS.	PREC. ACT.
10		10	--
20		4	--
30		3	--
40		8	20
50		6	30
60		6	40
70		6	50
80		5	40,50&10
90		2	80

CASE I



==== Critical Path

CASE II



==== Critical Path