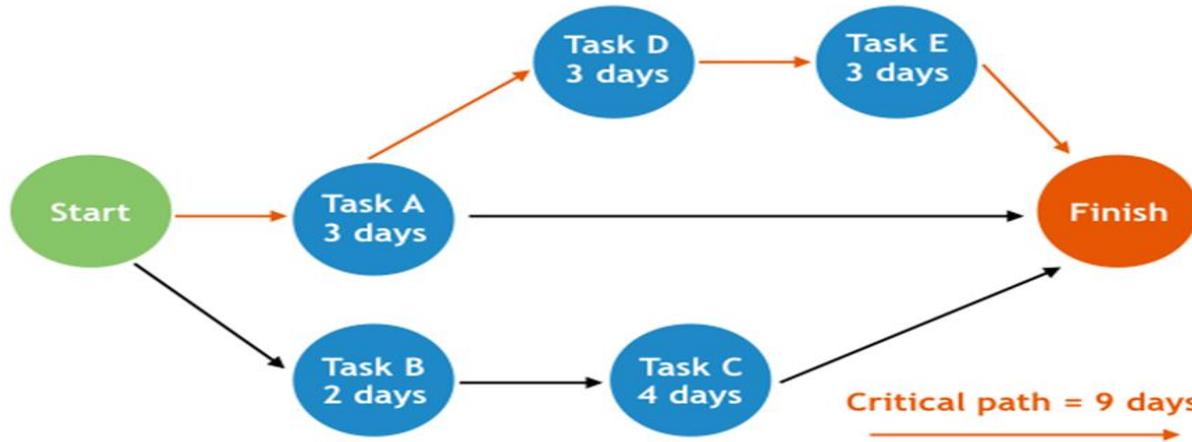




Al-Mustaqlal University - College of Engineering & Technology  
Department: Medical Instrumentation Techniques Engineering  
Class: 4<sup>th</sup>  
Subject: Project Management  
Cod: MU0244006  
Lecturer: Lec. Hameed Nida Hameed  
1<sup>st</sup> term / Lecture: Network Analysis , Critical Path Method (CPM)



## ***CHAPTER 4*** **Project Planning Techniques** **Network analysis** **Critical Path Method (CPM)**



E-mail: hameed.nida.hameed@uomus.edu.iq

## Introduction

**Critical Path Method (CPM):-** or (Calculate Schedule) is a modeling process that defines all the project's critical activities which must be completed on time. CPM models the activities and events of a project as a network using arrows.

طريقة المسار الحرج (CPM) هي عملية نمذجة تحدد جميع الانشطة الحرجية في المشروع التي يجب ان تكتمل في وقت محدد ، في هذه الطريقة يتم تمثيل الانشطة والاحداث التي يتضمنها المشروع على شكل مخطط شبكي باستخدام الاسهم .

## ***Steps in CPM Project Planning***

- 1. Specify individual activities.**
- 2. Determine the sequence of those activities.**
- 3. Draw a network diagram.**
- 4. Estimate the completion time for each activity.**
- 5. Identify the critical path (longest path through the network)**
- 6. Update the CPM diagram as the project progresses.**

خطوات طريقة المسار الحرج :

1. تحديد جميع الانشطة
2. تحديد تتابع واعتمادية تلك الانشطة
3. رسم المخطط الشبكي
4. تخمين وقت الانتهاء لكل نشاط
5. تحديد المسار الحرج وهو اطول مسار في المخطط الشبكي
6. تحديث المخطط مع تقدم المشروع

## **CPM Advantage:**

- Provides a graphical view of the project.
- Predicts the time required to complete the project.
- Shows which activities are critical to maintaining the schedule and which are not.

مزايا طريقة المسار الحرج :

- تعطي منظريّة بيانيّة للمشروع
- تتنبأ بالوقت المطلوب لإكمال المشروع
- تبيّن أي النشطة هي حرجة للمحافظة على جدولها وإيهما غير حرجة

## **CPM Disadvantage:**

- Only as good as the effort put forth to properly model the plan.
- Can be difficult to update properly.
- Can be easily misused.
- May lead to a false sense of security.

### عيوب طريقة المسار الحرج:

- تعتمد دقة وصحة الخطة على صحة المخطط الشبكي واي خطأ فيه يقود الى نتائج خاطئة
- يمكن ان تكون عملية التحديث الصحيحة صعبة
- يمكن ان يساء استخدامها بسهولة
- يمكن ان تقود الى شعور زائف في الامان

## Components of CPM network:

مكونات المخطط الشبكي

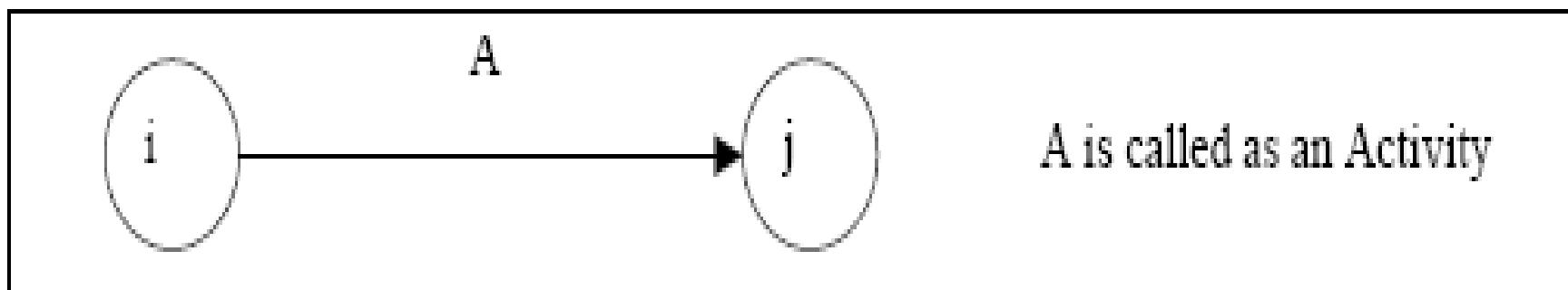
PERT/CPM networks contain two major components:

- i. Activities
- ii. Events

الأنشطة
الاحداث

**Activity:** An activity represents an action and consumption of resources (time, money, energy) required to complete a portion of a project. Activity is represented by an arrow, .

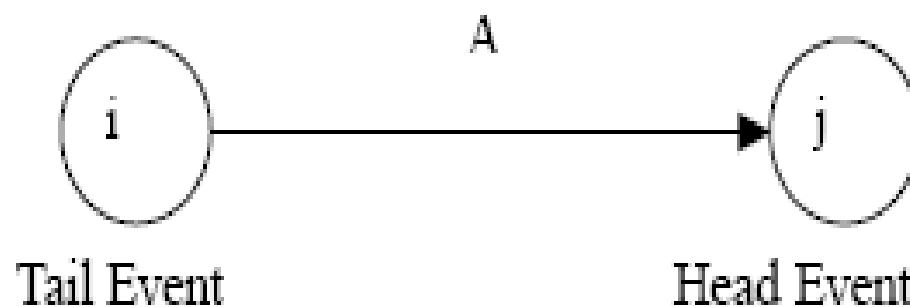
النشاط : يمثل فعل او عمل يتطلب موارد (وقت ، مال ، طاقة) لإنجاز جزء من مشروع ويتم تمثيل النشاط بسهم



**Event:** An event (or node) will always occur at the beginning and end of an activity. The event has no resources and is represented by a circle. The ith event and jth event are the tail event and head event respectively.

الحدث : ويسمى عقدة تكون عند بداية ونهاية النشاط ويتم تمثيله بدائرة ولا يحتاج الى موارد .

الحدث (i) والحدث (j) هما حدث البداية وحدث النهاية بالتتابع



## Dummy activity:

النشاط الوهمي

An imaginary activity which does not consume any resource and time is called a **dummy activity**. **Dummy activities are simply used to represent a connection between events** in order to maintain a logic in the network. It is represented by a dotted line in a network.

هو نشاط متخيل لا يتطلب اي موارد ولا وقت ويستخدم لربط الاحداث لكي تكون منطقية في المخطط الشبكي  
وكذلك لتحديد الاسبقيات ويرسم بخط منقط



**Critical path:** Is the longest-duration path through the network. The significance of the critical path is that the activities that lie on it cannot be delayed without delaying the project. Because of its impact on the entire project, critical path analysis is an important aspect of project planning. The critical path can be identified by determining the following four parameters for each activity:

المسار الحرج (C.P.) هو أطول مسار من حيث الوقت في المخطط الشبكي ، إن دلالة المسار الحرج هي أن انشطته لا يمكن تأخيرها والا ادى ذلك الى تأخير انجاز المشروع ، ويحدد المسار الحرج من خلال تحديد المتغيرات الاربعة التالية لكل نشاط :

1. **Earliest Start time (ES):** The earliest time at which the activity can start given that its precedent activities must be completed first.
2. **Earliest Finish time (EF):** Equal to the earliest start time for the activity plus the time required completing the activity.
3. **Latest Finish time (LF):** The latest time at which the activity can be completed without delaying the project.
4. **Latest Start time (LS):** Equal to the latest finish time minus the time required to complete the activity.

1. وقت البدء المبكر (ES): هو الوقت المبكر الذي يمكن أن يبدأ به النشاط بحيث يجب تكون جميع الأنشطة السابقة له قد اكتملت.
2. وقت الانتهاء المبكر (EF): ويساوي وقت البدء المبكر (ES) للنشاط مضافاً اليه الوقت اللازم لإنجاز النشاط.
3. وقت الانتهاء المتأخر (LF): هو آخر وقت يمكن أن ينجز فيه النشاط بدون تأخير للمشروع.
4. وقت البدء المتأخر (LS): ويساوي وقت الانتهاء المتأخر مطروحاً منه الوقت اللازم لإنجاز النشاط.

5. The **slack time** or **Total float** for an activity is the time between its earliest and latest start time, or between its earliest and latest finish time. Slack is the amount of time that an activity can be delayed past its earliest start or earliest finish without delaying the project.

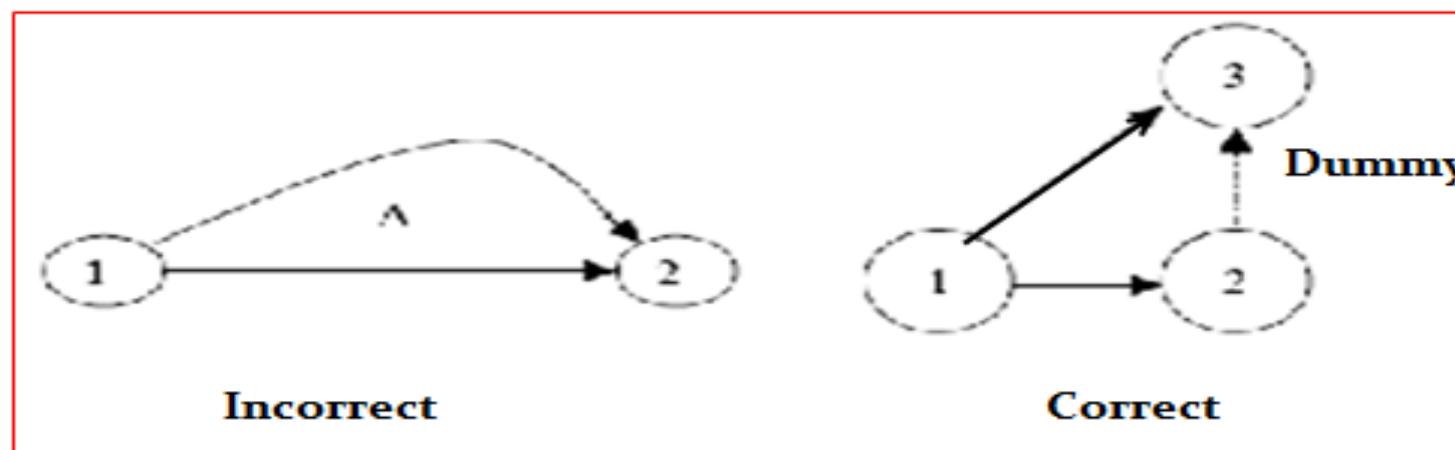
الوقت الراكد (Slack time) او العائم الكلي (Total Float) للنشاط ما هو الفرق بين وقت البدء المبكر ووقت البدء المتأخر له ، او هو بين وقت الانتهاء المبكر ووقت الانتهاء المتأخر له .  
الوقت الراكد هو كمية الوقت التي يمكن للنشاط ان يتاخرها بعد بدايته المبكرة او نهايته المبكرة بدون تأخير المشروع .

6. **Estimated duration time** : Activity estimated duration time (Time Estimated) (TE) is approximation of how much time a project task will take ,It can be hours, days, weeks or months.

وقت النشاط المخمن : هو الوقت التقريري المتوقع ان يتطلب النشاط لكي ينجذ ، ويمكن ان يكون بالساعات او الايام او الاسابيع او الاشهر.

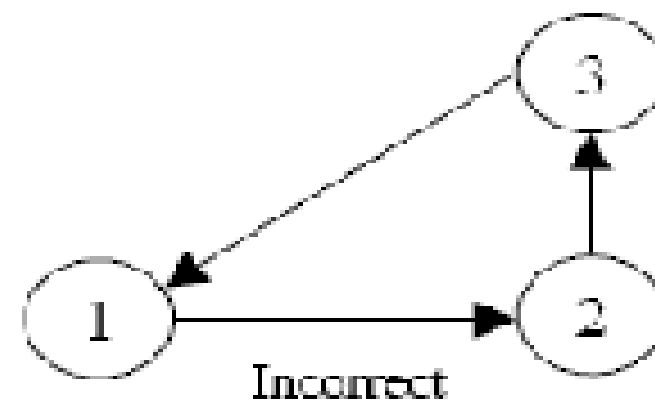
## ERRORS TO BE AVOIDED IN CONSTRUCTING A NETWORK:

- a. Two activities starting from a tail event must not have a same end event. To ensure this, it is absolutely necessary to introduce a dummy activity, as shown in Figure .



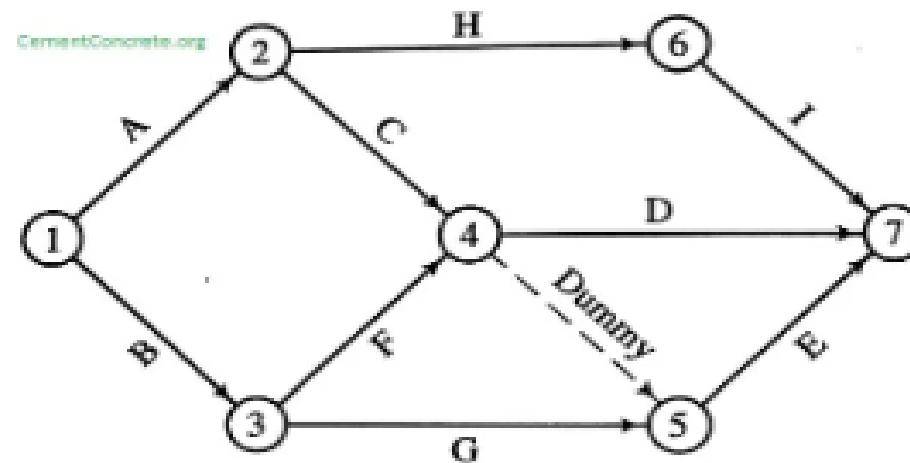
ا- اي نشاطان يبدأان من حدث يجب ان لا يكون لهما نفس حدث النهاية ولتحقيق ذلك لا بد من استخدام نشاط وهي كما موضح في الشكل.

b. Looping error should not be formed in a network, as it represents performance of activities repeatedly in a cyclic manner, as shown below in Figure .



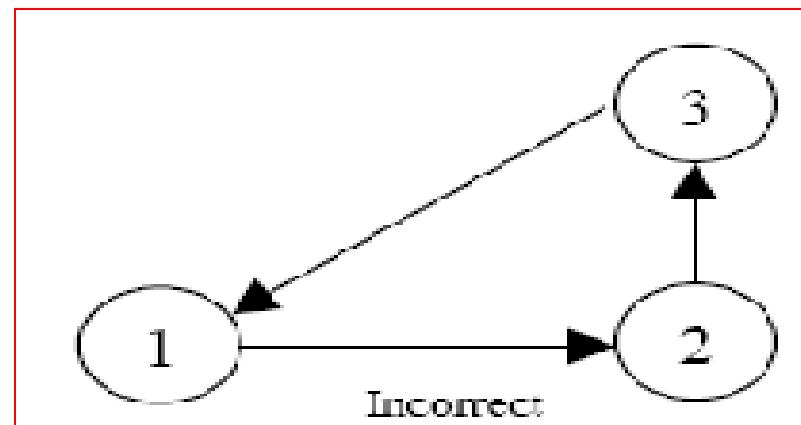
b- لا يسمح بعمل حلقات في المخطط الشبكي كما موضح بالشكل لأنه يمثل اداء مكرر للأنشطة بأسلوب دوري .

c. In a network, there should be only one start event and one ending event as shown below, in Figure .



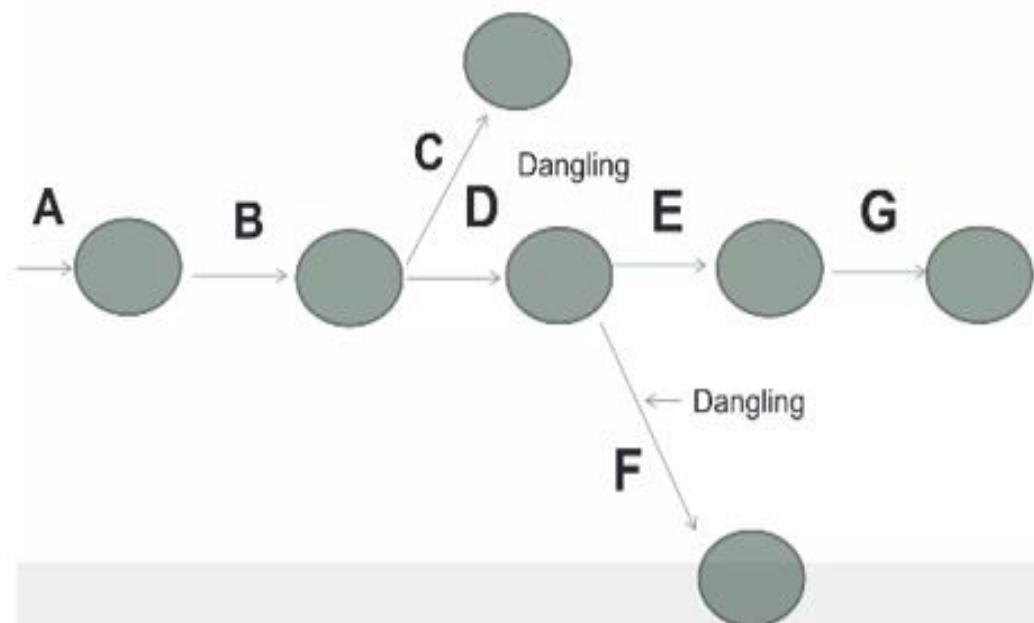
٣- في المخطط الشبكي يجب ان يكون هناك حدث بداية واحد وحدث نهاية واحد ومختلف لكل نشاط كما في الشكل.

d. The direction of arrows should flow from left to right avoiding mixing of direction as shown in Figure .



d- اتجاه الاسهم يجب ان تكون من اليسار الى اليمين مع تجنب التقاطع وعكس الاتجاهات كما في الشكل .

**E. Dangling :** Whenever an activity is disconnected from the network it is called dangling error.



E. اينما كان هناك نشاط غير متصل بالمخطط الشبكي فانه يسمى خطأ النشاط المعلق.

## RULES IN CONSTRUCTING A NETWORK:

قواعد انشاء المخطط الشبكي

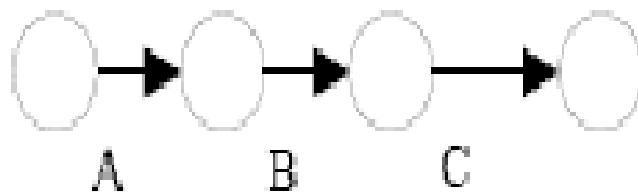
1. No single activity can be represented more than once in a network. The length of an arrow has no significance.
2. The event numbered 1 is the start event and an event with highest number is the end event. Before an activity can be undertaken, all activities preceding it must be completed. That is, the activities must follow a logical sequence (or - interrelationship) between activities.
3. In assigning numbers to events, there should not be any duplication of event numbers in a network.
4. Dummy activities must be used only if it is necessary to reduce the complexity of a network.
5. A network should have only one start event and one end event.

1. لا يمكن تمثيل النشاط الواحد أكثر من مرة في المخطط الشبكي ولا اعتبار لطول السهم في التعبير عن وقت النشاط.
2. الحدث رقم 1 هي أول حدث في المشروع والحدث ذو الرقم الأعلى تعتبر حدث نهاية المشروع ، وقبل بدء اي نشاط يجب ان تكون الانشطة السابقة له قد اكتملت.
3. عند تخصيص الارقام للأحداث يجب عدم تكرار نفس الرقم لحدثين مختلفين في المخطط الشبكي.
4. يجب عدم استخدام النشاط الوهمي الا للضرورة لتقليل التعقيد في المخطط الشبكي.
5. المخطط الشبكي يجب ان يكون له حدث بداية واحد وحدث نهاية واحد.

Some conventions of network diagram are shown in Figures below:

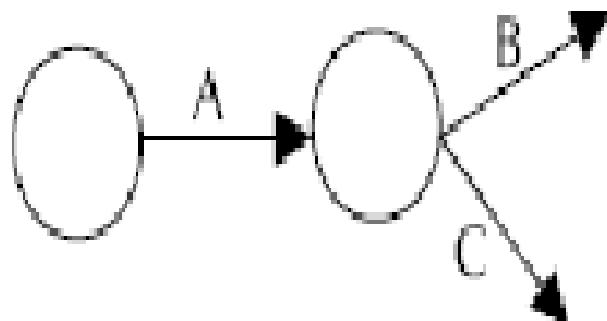
بعض الاتفاقات في المخططات الشبكية موضحة في الاشكال التالية:

(a)



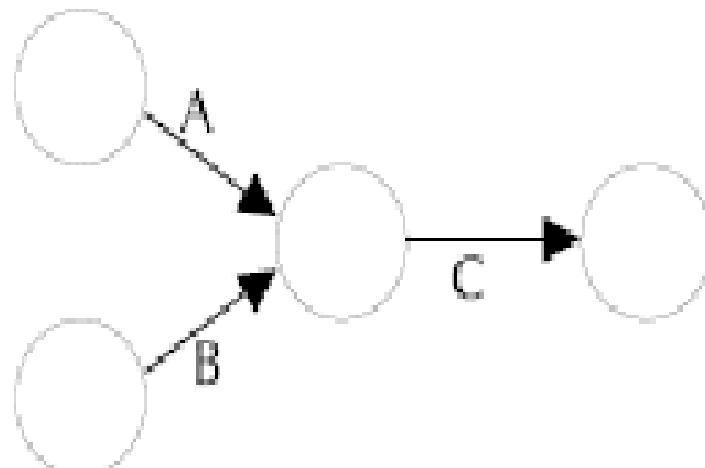
Activity B can be performed only after completing activity A, and activity C can be performed only after completing activity B.

(b)



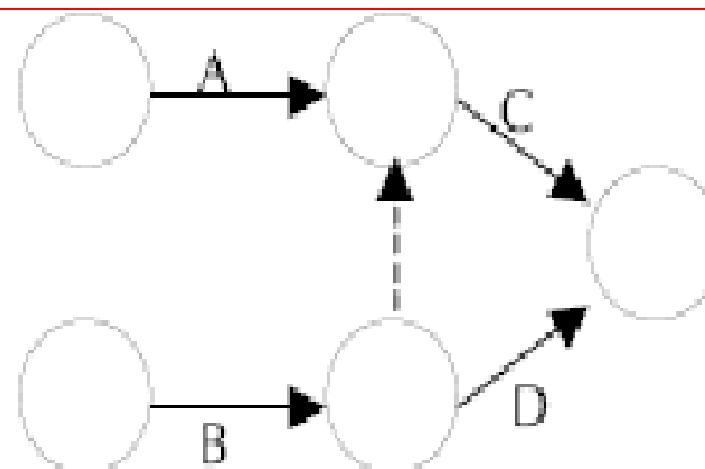
Activities B and C can start simultaneously only after completing A.

(c)



Activities A and B must be completed before start of activity C.

(d)



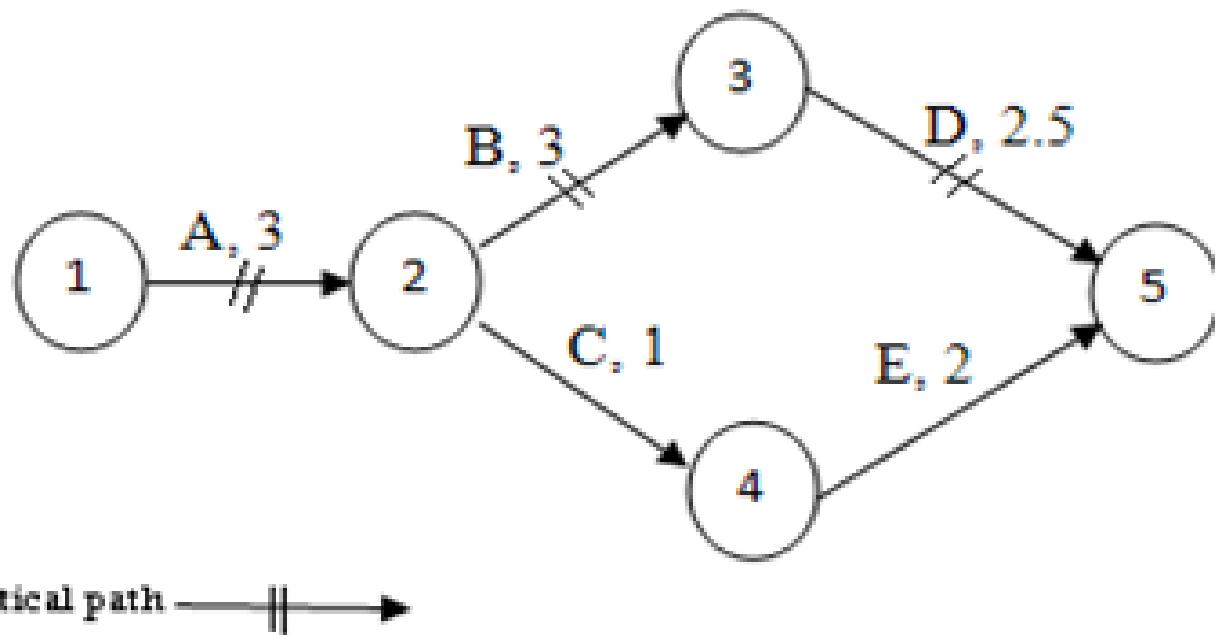
Activity C must start only after completing activities A and B. But activity D can start after completion of activity B.

## **EXAMPLES**

**Ex 1:** Draw a network and determine the critical path by using CPM for the sequence of activities shown in the following table (project).

Activities	Path	Duration (days)	Description
A	1 – 2	3	Description for each activity
B	2 – 3	3	
C	2 – 4	1	
D	3 – 5	2.5	
E	4 – 5	2	

**Ans:**

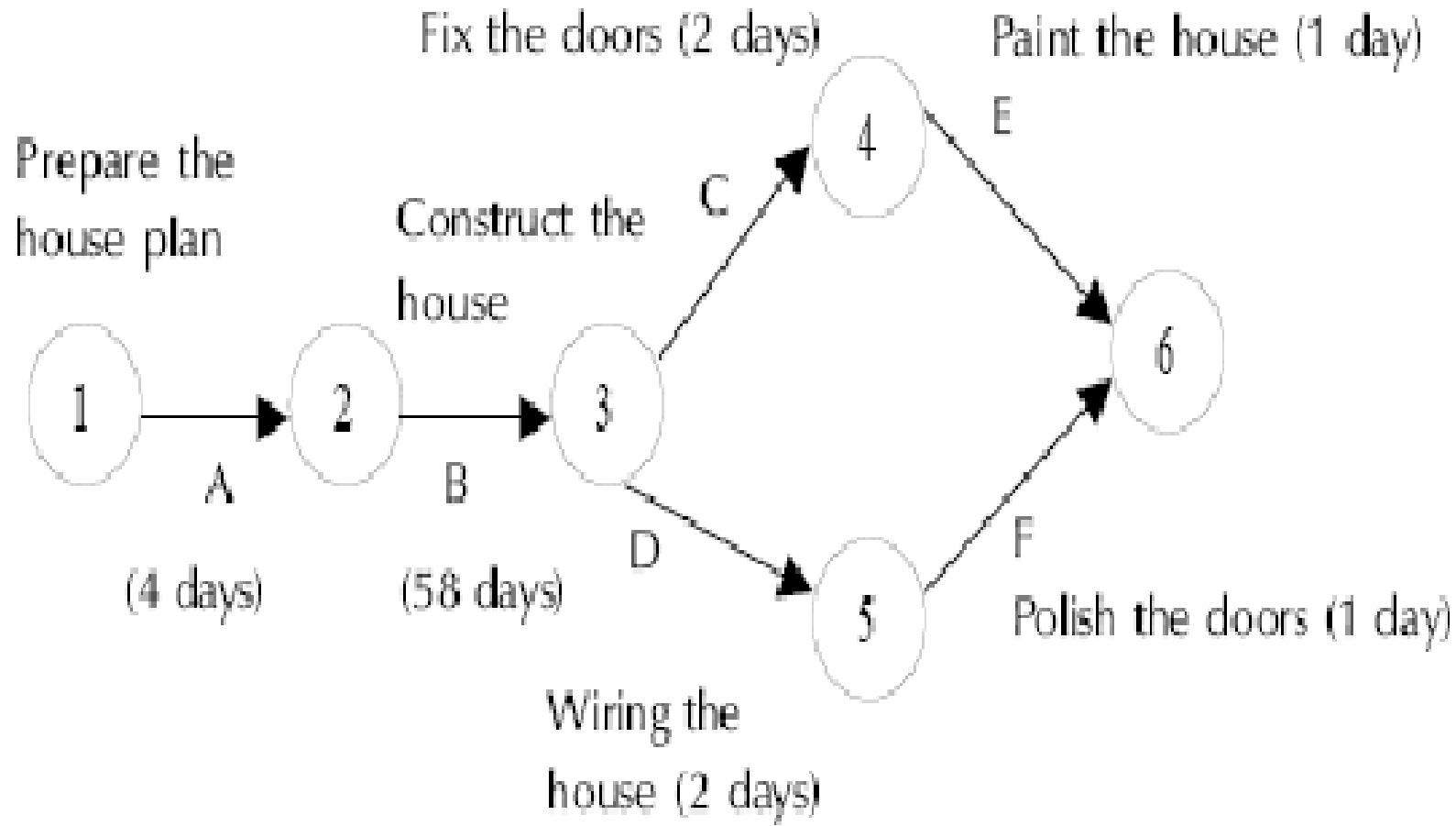


**Critical path =  $3 + 3 + 2.5 = 8.5$  days**

**Ex 2:** Draw a network for a house construction project. The sequence of activities with their predecessors are given in Table , below.

Name of the activity	Starting and finishing event	Description of activity	Predecessor	Time duration (days)
A	(1,2)	Prepare the house plan	--	4
B	(2,3)	Construct the house	A	58
C	(3,4)	Fix the door / windows	B	2
D	(3,5)	Wiring the house	B	2
E	(4,6)	Paint the house	C	1
F	(5,6)	Polish the doors / windows	D	1

*Solution:*

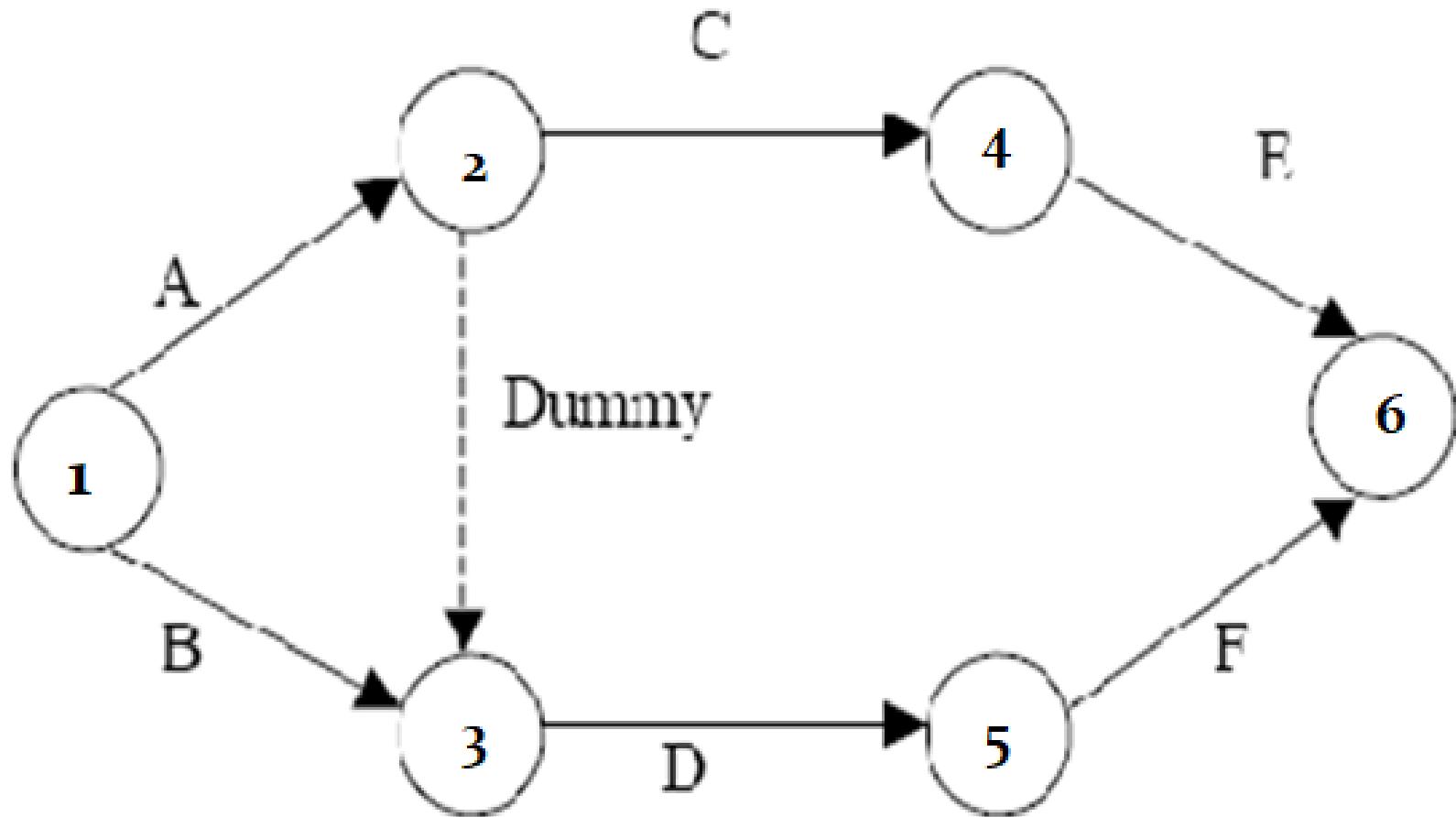


**C.P = ?**

**Ex 3:** consider the project given in the table below , Draw the network for the project.

Activity	Description	Predecessor
A	Purchase of Land	-
B	Preparation of building plan	-
C	Level or clean the land	A
D	Register and get approval	A, B
E	Construct the building	C
F	Paint the building	D

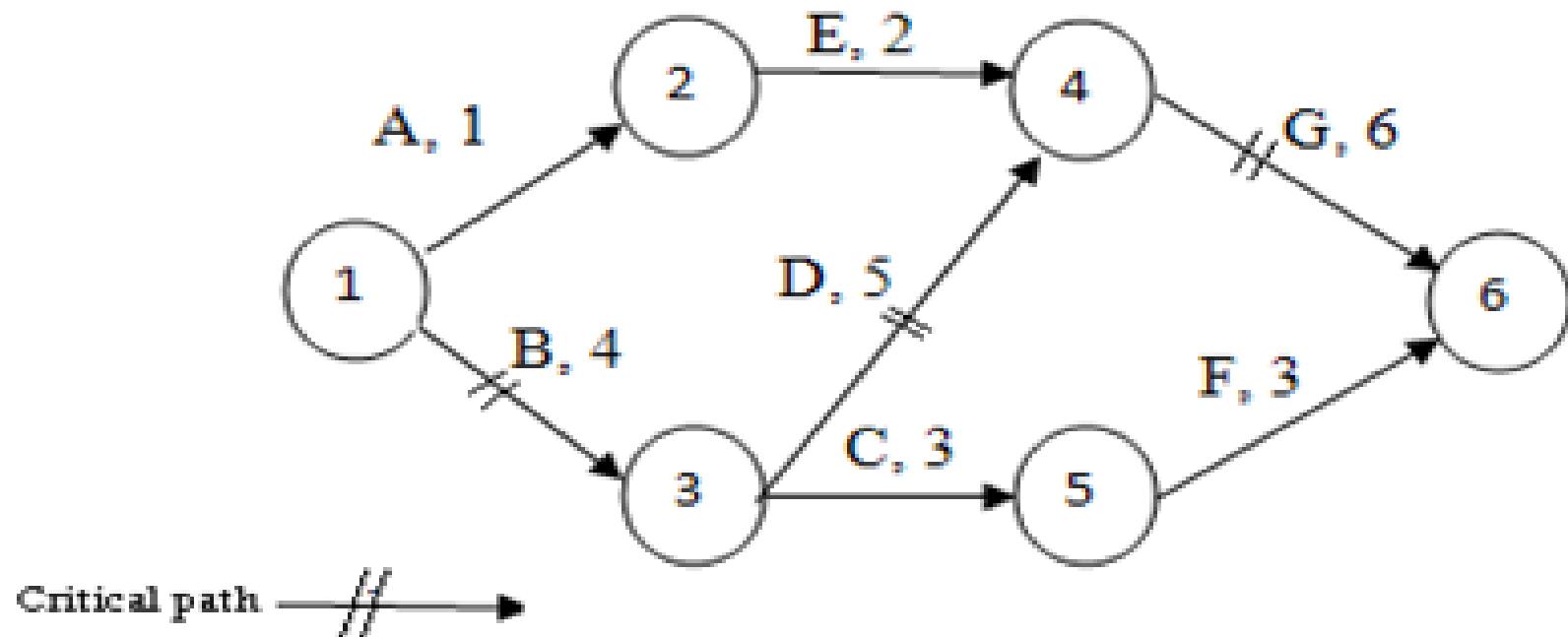
Ans:



**Ex4:** Determine the critical path by using CPM of the following Table (project).

Activities	Path	Duration (weeks)	Description
A	1 – 2	1	Description for each activity
B	1 – 3	4	
C	3 – 5	3	
D	3 – 4	5	
E	2 – 4	2	
F	5 – 6	3	
G	4 – 6	6	

**Ans:**

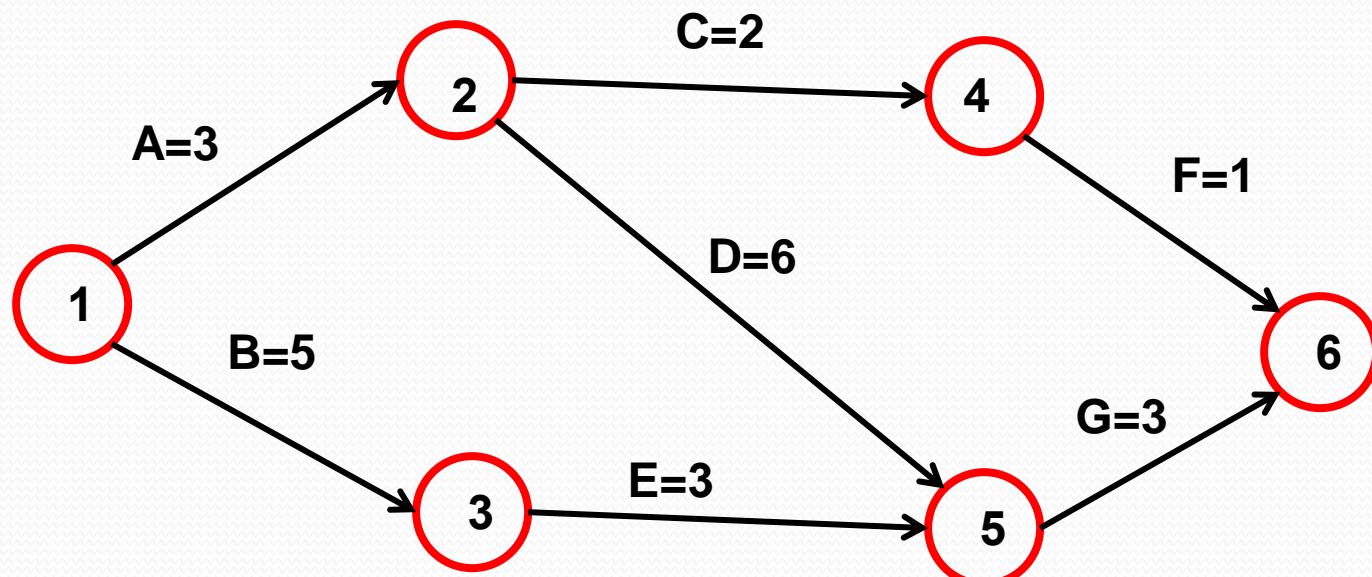


**Critical path = 4+ 5+ 6= 15 weeks**

**Ex 5:** Draw the network and determine critical path for the project shown in the table below:

Activity	Predecessor	Duration (day)
A	-	3
B	-	5
C	A	2
D	A	6
E	B	3
F	C	1
G	D,E	3

Activity	Predecessor	Duration (day)
A	-	3
B	-	5
C	A	2
D	A	6
E	B	3
F	C	1
G	D,E	3



$$1. A - C - F = 3 + 2 + 1 = 6$$

$$2. A - D - G = 3 + 6 + 3 = 12 \rightarrow C.P.$$

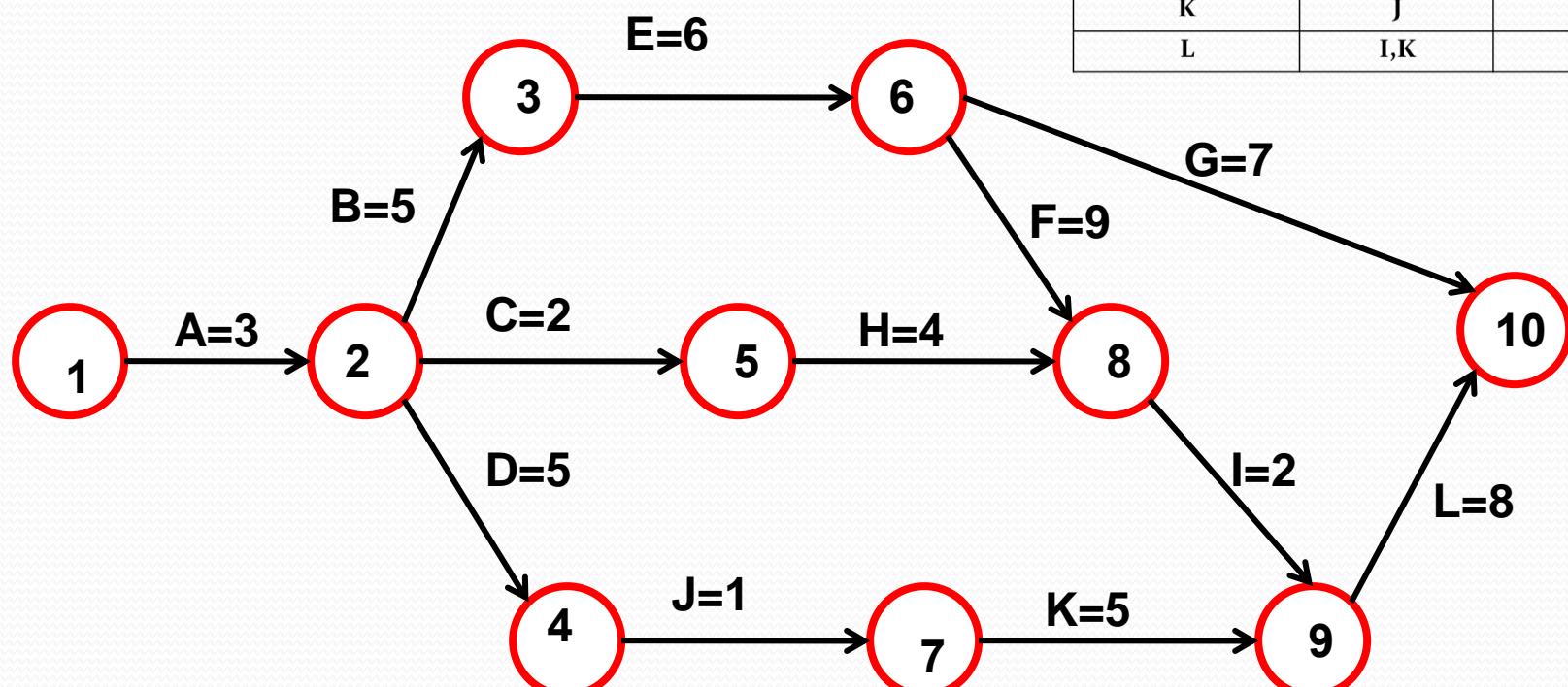
$$3. B - E - G = 5 + 3 + 3 = 11$$

**Ex 6:** Draw the network and determine the duration required to complete the project below:

Activity	Predecessor	Duration (day)
A	-	3
B	A	5
C	A	2
D	A	5
E	B	6
F	E	9
G	E	7
H	C	4
I	F,H	2
J	D	1
K	J	5
L	I,K	8

**Ans:**

Activity	Predecessor	Duration (day)
A	-	3
B	A	5
C	A	2
D	A	5
E	B	6
F	E	9
G	E	7
H	C	4
I	F,H	2
J	D	1
K	J	5
L	I,K	8



## Paths:

1. A-B-E-G =  $3 + 5 + 6 + 7 = 21$
2. A-B-E-f-I-L =  $3 + 5 + 6 + 9 + 2 + 8 = 33$
3. A-C-H-I-L =  $3 + 2 + 4 + 2 + 8 = 19$
4. A-D-J-K-L =  $3 + 5 + 1 + 5 + 8 = 22$

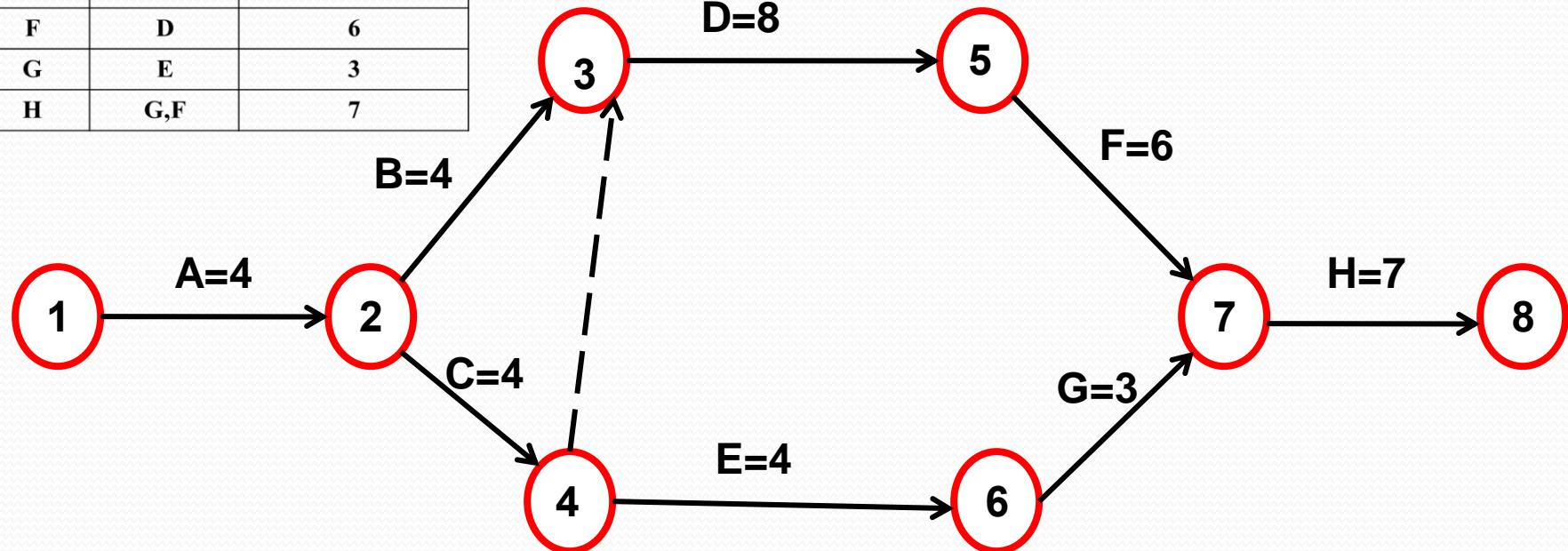
**C.P. = Path 2 (A-B-E-F-I-L)**

**Required Duration to Complete the Project = 33 Day**

**Ex 7:** Draw the network and determine the critical path and duration required to complete the project below:

Activity	Predecessor	Duration (months)
A	-	4
B	A	4
C	A	4
D	B,C	8
E	C	4
F	D	6
G	E	3
H	G,F	7

Activity	Predecessor	Duration (months)
A	-	4
B	A	4
C	A	4
D	B,C	8
E	C	4
F	D	6
G	E	3
H	G,F	7



## Paths:

1.  $A - B - D - F - H = 4 + 4 + 8 + 6 + 7 = 29$
2.  $A - C - D - F - H = 4 + 4 + 8 + 6 + 7 = 29$
3.  $A - C - E - G - H = 4 + 4 + 4 + 3 + 7 = 22$

- There are Two Critical Paths in this Project : 1 and 2
- Period required to complete the project = 29 month

□ إن طريقة تحديد المسارات وحساب أوقاتها لتحديد النشاط الحرج غير عملية مع المخططات الشبكية الكبيرة لكثره عدد المسارات واحتمال الخطأ .

□ لذلك الطريقة الأمثل هي اعتماد تحديد نوعين من الأوقات هما :

. 1. الوقت المبكر لبدء الحدث (Es)(Earliest Start Time)

. 2. الوقت المتأخر لانتهاء الحدث (LF)(Latest Finish Time).

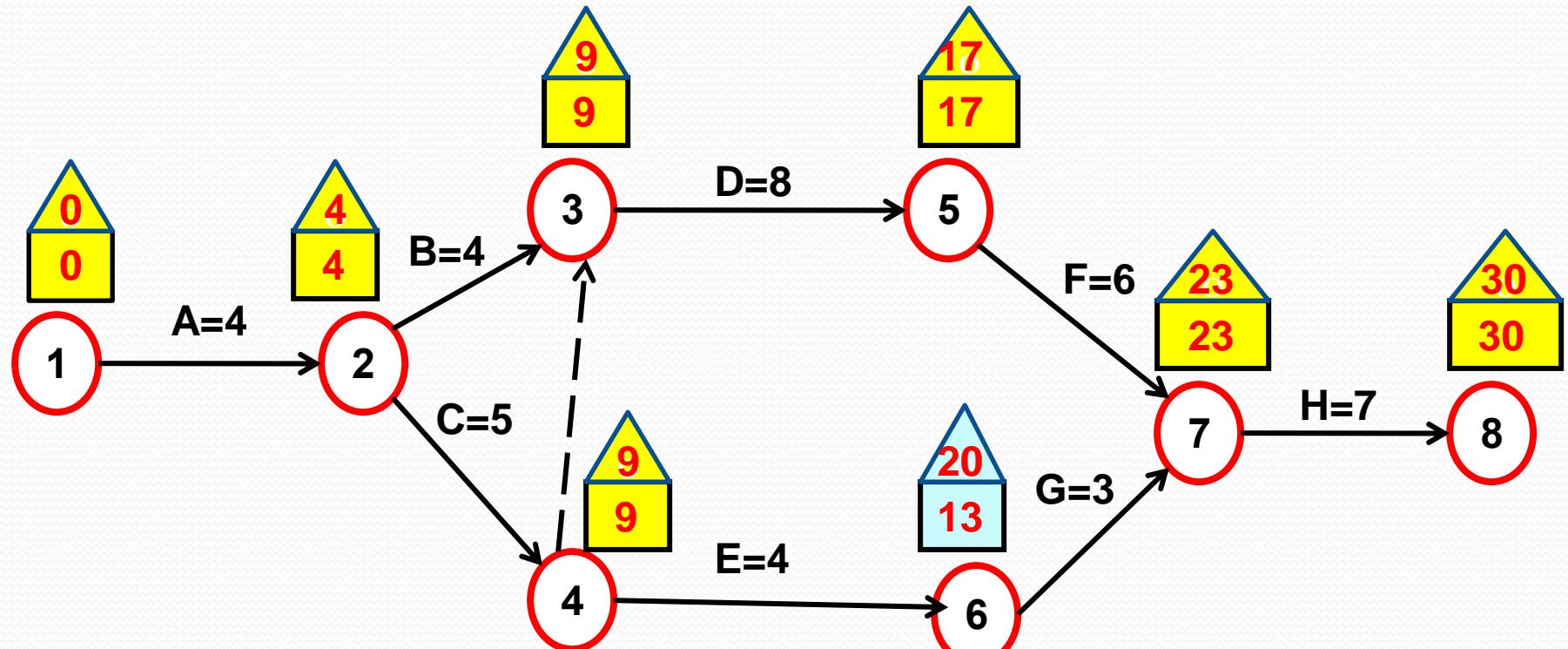
□ حيث يتم حساب هذه الأوقات لكل حدث والمسار الحرج هو المسار الذي يتساوى فيه الوقتين وذلك باستخدام المعادلات التالية :

$$(E_s)j = \max [(E_s)i + (E_T)ij]$$

$$(L_F)i = \min [(L_F)j - (E_T)ij]$$



**Ex 8:** Determine critical Path according to  $(E_S)$  ,  $(L_F)$  and Duration required to complete the following project using CPM.



■ المسار الحرج هو المسار الذي يتساوى فيه  $(E_S)$  و  $(L_F)$  وهو المسار:

1- A - C - Dummy - D - F - H

Duration Req. = 30 T.U.

**Ex 9 : H.W**

Construct a network for a project whose activities and their predecessor relationship are given in table, then determine Es, Lf, CP and required duration to complete the project.

Activity	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Predecessor	-	-	A	B	B	A	C,D	C,D	C,D	F,G	E,H	J	K
Duration (day)	3	5	2	6	4	4	1	3	6	8	3	2	7

**Ex 10 : H.W**

Draw a network diagram for a project given in table, Then determine Es , Lf , CP and required duration to complete the project.

Activity	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Predecessor	-	A	B	A	D	C,E	D	D	H	H	F,H	G,J
Duration (week)	4	7	3	5	2	1	3	6	4	2	5	3