جامعة البصرة – كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

Engineering Management

Text Book

For

Civil Engineering Department

اعداد

أ.د. عبدالحسين عبدالكريم عباس

م.د. خلدون شهاب أحمد

تشرين الاول 2022

Engineering Management Course

Course Content:

1. General Introduction
2. Bar chart (Gantt Chart)
3. Network Analysis Technique
4. Resource Management
5. Program Evaluation and Review Technique (PERT)
6. Repetitive Projects Planning by Line of Balance (LOB)
7. Quality Management
8. References

1.0 General Introduction

تعريف المشروع

المشروع هو نشاط او مجموعة انشطة لها زمن معين أي له تاريخ بداية وتاريخ نهاية وتستخدم فيه موارد معينة (العمال والمعدات) وتنفق من أجله الأموال للحصول على منافع متوقعة خلال فترة زمنية معينة . وقد يكون المشروع تجاري او زراعي أو صناعي أو سياحي أو خدمي وقد يكون مشروع كبيرا أو مشروعا صغيرا أو متوسط الحجم .وقد يكون مشروعا محليا أو مشروعا قوميا أو مشروعا دوليا.

وقد عرف هيرسون (1992) المشروع بأنه " أي سلسلة من الانشطة أو المهام التي لها أهداف محدده يجب أن تنجز ضمن مواصفات محدده ولها بداية ونهاية محددتان وله تمويل ويستعمل المصادر المختلفة من اموال ووقت ومعدات وعماله.

أيضا يعرف معهد إدارة المشاريع (PMI) المشروع على انه "عبارة عن مسعى او جهد مؤقت متخذ لإنجاز منتوج أو خدمة فريدة من نوعها ضمن فترة زمنية محددة وأهداف محددة، والتي يدل تحققها على اكتمال المشروع."

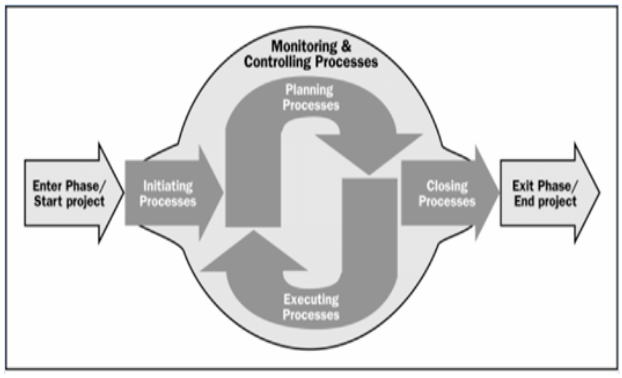
أدارة المشاريع الهندسية Engineering Project management:

هي عملية التنسيق بين مالك المشروع والمقاول والمهندس من اجل السيطرة على تنفيذ المشروع بما يؤمن تحقيق التوازن بين العناصر الأساسية للمشروع وهي الوقت والكلفة والجودة بهدف الوصول على نوعية أنشاء جيدة.

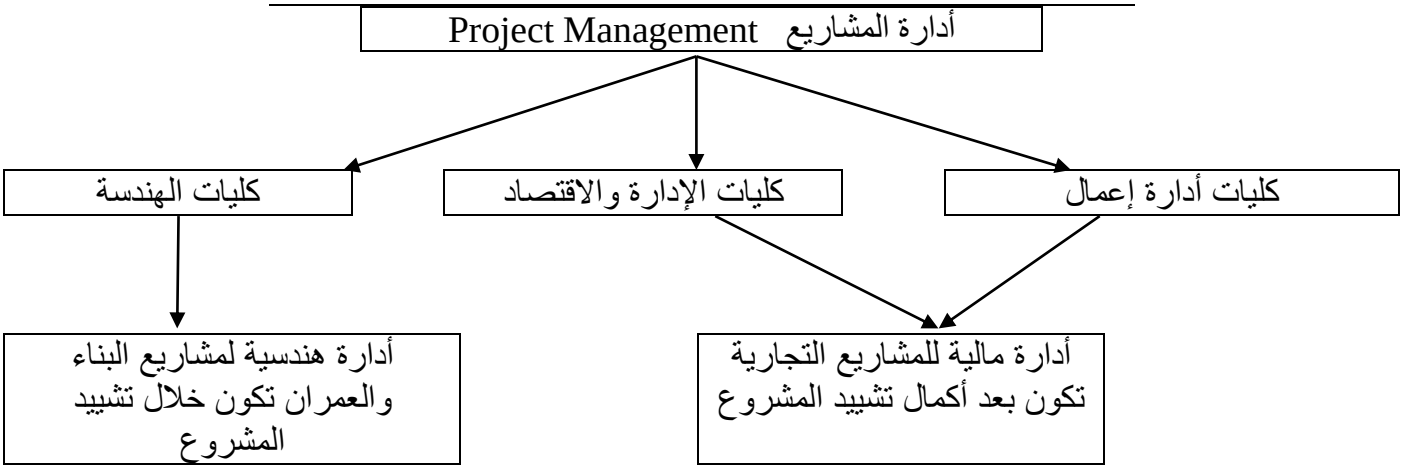
الوظائف الخمسة للادارة هي:

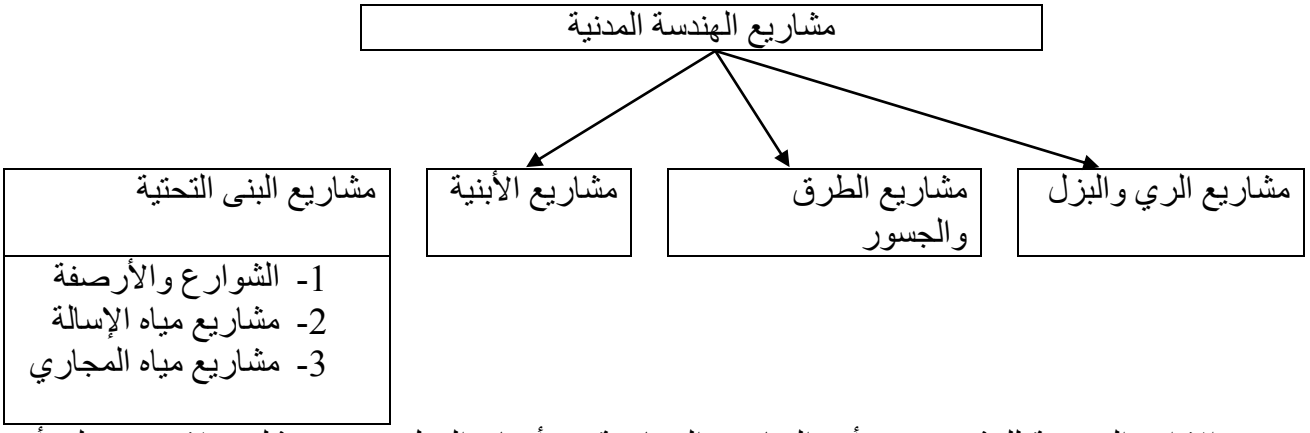
التخطيط : توقع الوقت للمشروع وتحديد أفضل الطرق لإنجاز المشروع.
التنظيم : تحديد مهام وصلاحيات كل شخص في المشروع.
التوظيف : اختيار وتعيين وتدريب ووضع الشخص المناسب في المكان المناسب في المشروع.
التوجيه :إرشاد وتحفيز الاشخاص باتجاه تحقيق أهداف المشروع.
الرقابة : مراقبة أداء المشروع وتحديد ما إذا كانت حققت أهدافها أم لا.

أيضا يعرف معهد إدارة المشاريع (PMI) إدارة المشروع على انها " تطبيق للمعارف والمهارات والأدوات والتقنيات على فعاليات المشروع من أجل تلبية احتياجات أصحاب المصلحة وتوقعاتهم من المشروع."



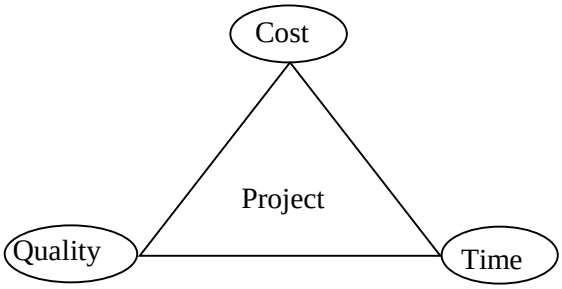
اما مراحل المشروع من منظور معهد إدارة المشاريع (PMI) فهي:
البدا (Initiating)
التخطيط (Planning)
التنفيذ (Executing)
المراقبة والسيطرة (Monitoring and Controlling) و
الغلق (Closing)



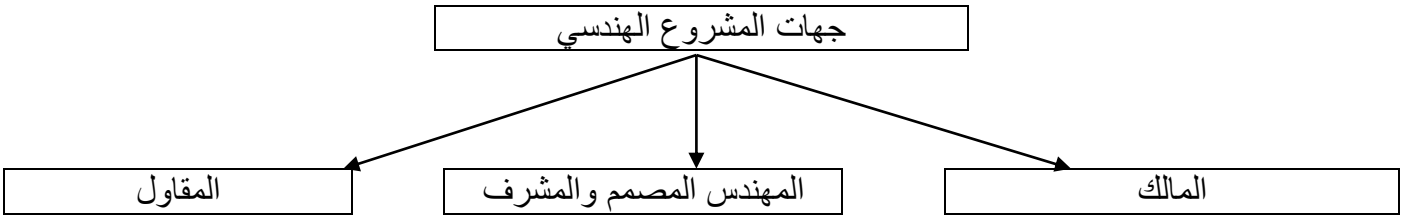


❖ وتعتبر الإدارة الهندسية للمشروع من أهم العناصر المساهمة في أنجاح العمل وتجنب فشله، ولا يخفى على أحد ما للإدارة في أي مجال من أهمية خاصة في أنجاح العمل، وخاصة في مجال مشاريع البناء، التي تعتبر أكثر تعقيداً إدارياً وعملياً من معظم مجالات الإدارة الأخرى، وكمقارنة بسيطة لتقدير أهمية ذلك، فإن مصنع سيارات مثلاً إن أنجز سيارة وأجرى عليها الاختبارات فبإمكانه تعديلها بكل بساطة حتى الحصول على المنتج المطلوب ومن ثم نسخه إلى أعداد كبيرة، دون خسارة تذكر لا في الوقت ولا الكلفة، بينما المشاريع العمرانية لا يمكنك بناء مشروع ثم تعديله تماماً بل يجب عليك توقع كل العيوب مسبقاً وتلافيها، وهنا لا بد من حسن الإدارة وبراعة القيادة، وعبقرية إيجاد الحلول والبدائل.

العناصر الأساسية للإدارة الهندسية



الجهات(الأطراف) المشتركة في المشروع



المالك :

هو صاحب المشروع ويمكن أن يكون فرد او مجموعة سواء كان قطاع خاص أو عام وهو الذي يبدأ بفكرة المشروع و التزامات المالك هي ما يلي:

1- أمداد الاستشاري بالمعلومات اللازمة للمشروع.
2- تقديم شهادات حيازة الأرض المراد أنشاء المشروع عليها.
3- التصديقات والمستندات من الجهات المختصة.
4- الوفاء بالالتزامات المالية.
5- تقديم المساعدات والمعينات اللازمة.

الاستشاري:

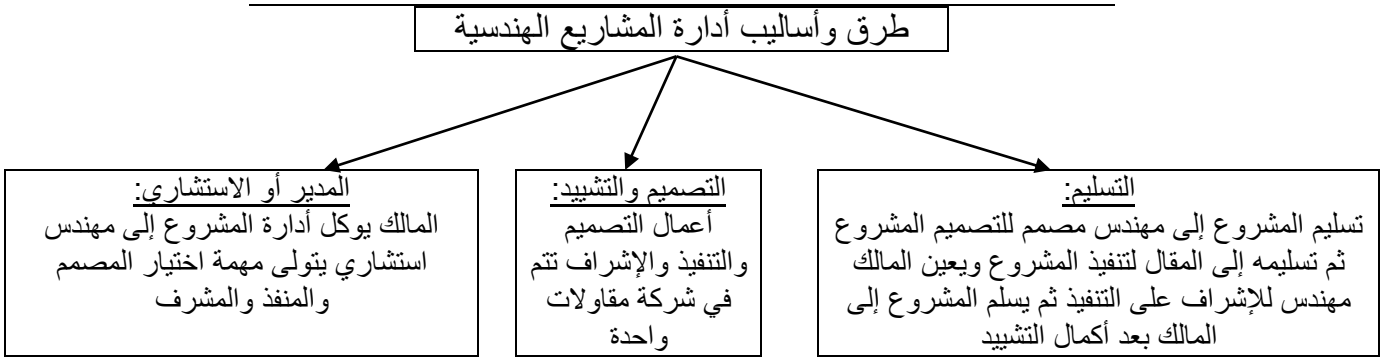
هو المهندس أو المكتب الهندسي الذي يقوم بدراسات المشروع(احتياجات وطبيعة وحجم المشروع) ويعد الرسومات التنفيذية للمشروع ويقوم بتقديم التصميمات الكاملة للمشروع والتصميمات المحددة للتنفيذ وهو مفوض من قبل المالك بالإشراف على متابعة المشروع. والتزامات الاستشاري هي ما يلي:

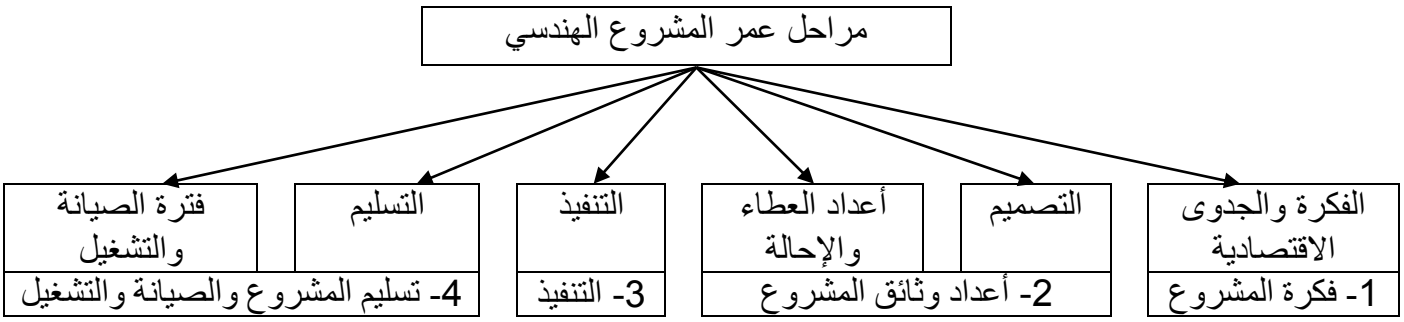
1- اعداد دراسة جدوى المشروع (دراسات، احتياجات،طبيعة، حجم المشروع ...الخ).
2- أعداد مقترحات التصميم (فكره أوليه أو عدة أفكار).
3- تطوير التصميم المقترح.
4- أعداد رسومات وتصميمات تفصيلية للتنفيذ.
5- أعداد المواصفات (حسب المواصفات القياسية).
6- أعداد جداول الكميات.
7- شروط وصيغ التعاقد.
8- الإشراف على التنفيذ وتقديم تقارير دوريه للمالك.

المقاول :

هي الجهة التي تقوم بتنفيذ المشروع ويؤدي دوره تحت أشراف جهة الإشراف المختارة من قبل المالك .بعد أن يتم التعاقد مع المقاول تصبح مسئولية صناعة المشروع الهندسي موكله إليه وهذا العمل (المقاول العام) يحتاج أحيانا إلى عدد من الاختصاصيين والعمال ونتيجة لذلك يتم في بعض المشروعات الاستعانة بمقاولي الاختصاص أو ما يعرف (بمقاولي الباطن أو الثانوي) ولا يتم ذلك ألا بالاتفاق مع جهات الإشراف. والتزامات المقاول هي:

-تنفيذ المشروع حسب المخططات والمواصفات الموضوعة والمتفق عليها.
-الالتزام ببرنامج زمني متفق عليه.
-تسخير أفضل واكبر قدر من إمكانيات وسائل التنفيذ.
-توفير المعدات والآلات المطلوبة.
-توفير العمالة المدربة ذات الخبرة.
-الالتزام بضبط الجودة والتامين والسلامة.
-الوفاء والالتزام بشروط العقد.
-تقديم التقارير عن تقدم العمل.





مراحل المشروعات الهندسية

هنالك اربعة مراحل أساسية تمر بها المشروعات الهندسية وهي على التوالي :

المرحلة الأولى : دراسة جدوى المشروع (فكرة المشروع).

المرحلة الثانية : أعداد وثائق المشروع (مرحلة التصميم)

المرحلة الثالثة : تنفيذ المشروع.

المرحلة الرابعة: تسليم المشروع والصيانة والتشغيل

دراسة الجدوى للمشروع.

عندما يفكر المالك أو صاحب المشروع في أي مشروع تكون أول الخطوات التي يجب البدء بها هي دراسة الجدوى وتقوم بها جهة استشارية متخصصة في هذا النوع من الدراسات وتتم في هذه المرحلة دراسة أوليه .ودراسة جدوى للمشروع هي عمليه الدراسة ألاقتصاديه للمشروع لتحديد تكاليفه وتقدير العائد منه في مراحل المشروع المختلفة . أي تقدير ميزانية المشروع (Project Budget) حسب المقاييس والمواصفات ومعرفة المدة الزمنية للانتهاء من التنفيذ ومعرفة الاستفادة من المشروع مستقبلاً.

التصميم وإعداد وثائق المشروع :

في هذه المرحلة يقوم مالك المشروع بتكليف جهة استشارية (يمكن أن تكون نفس الجهة التي سبق وأعدت دراسة جدوى المشروع) بأعداد وثائق المشروع حتى يتم التمكن من طرح المشروع في مناقصه عامة .تتمثل وثائق المشروع والتي يقوم بإعدادها الاستشاري من الأتي-:

1- دراسات المشروع (احتياجاته،طبيعته،حجمه...الخ).
2- أعداد التصاميم والمقترحات التصويرية الأولية للمشروع وتكون من فكره أو عدة أفكار أولية .
3- أعداد التصاميم والمقترحات التصويرية النهائية للمشروع وتكون بتطوير التصميم المقترح.
4- أعداد التصميمات التنفيذية التفصيلية اللازمة لتنفيذ للمشروع.
5- أعداد المواصفات الفنية للمشروع وتكون وفقاً للمواصفات القياسية.
6- أعداد جداول توضح كميات المواد اللازمة للمشروع.
7- شروط التعاقد وصيغته.

بعد ذلك يتم طرح أعمال المشروع في مناقصة عامة هي ما يعرف بمرحلة إعلان العطاء وتتم في إعلان مفتوح أو محدود في وسائل الإعلام .يتم تحليل العطاءات والبت فيها بمشاركة الجهة الاستشارية التي سبق لها أعداد وثائق المشروع .ثم يتم فتح مظاريف العطاء بواسطة لجنه تمثل مالك المشروع والاستشاري طرف ثالث بحضور ممثلين أو مندوب للجهات المتنافسة و المتقدمة للقيام بتنفيذ المشروع .

تنفيذ المشروع

تبدأ هذه المرحلة بعد ترسيه العطاء باختيار مقاول للمشروع ليقوم بتنفيذ المشروع تحت إشراف جهة الإشراف المختارة من قبل المالك (الاستشاري) و بذلك يصبح المقاول هو المسئول عن تنفيذ المشروع ويمكن للمقاول أن يستعين بمقاولين ثانويين (مقاولين الباطن) ذوي اختصاص معين (أذا كان حجم ونوع المشروع يتطلب) ويكون ذلك بتقسيم المشروع لعدد من الاختصاصات والحرف حيث يتم توزيع مراحل التنفيذ للتصميمات المختلفة حسب الاختصاصات ويصبح بذلك المقاول مقاول عام مشرف على تنفيذ المشروع.

2.0 Project Planning and Scheduling

وهي تتضمن الجدولة الزمنية للمشروع الإنشائي باستخدام احد أساليب التخطيط التالية بهدف تحديد افضل مدة لتنفيذ المشروع والعلاقات المنطقية بين فعالياته:-

1- Bar Chart (Gantt Chart) الجدول البياني
2- Network Analysis Technique or Critical Bath Method (CPM)
   A- Arrow Diagram Method (ADM) طريقة الأسهم
   B- Precedence or Node Diagram Method (PDM or NDM) طريقة المستطيلات
3- Program Evaluation & Review Technique (PERT)
4- Line of Balance Technique (LOB) طريقة خط الاتزان (للمشاريع التكرارية مثل الإسكان)

خطوات الجدولة الزمنية أو تخطيط المشاريع:-

1- تقسيم المشروع إلى عدد من الأنشطة أو البنود أو الفقرات أو الفعاليات (Activities)
2- تحديد العلاقة بين الفعاليات (Dependency or Followed by or Predecessors)
3- تحديد زمن تنفيذ الفعالية (Duration)
4- تمثيل الفعاليات والعلاقة بينها باستخدام احد أساليب تخطيط المشاريع
5- حساب زمن تنفيذ المشروع بعد تحديد بداية ونهاية وفترات السماح لكل فعالية مع الأخذ بنظر الاعتبار التداخل بين الفعاليات لتحقيق اقل زمن لتنفيذ المشروع

زمن الفعالية (Duration) : يحدد بعد معرفة معدلات الإنتاجية وكمية أو حجم العمل كما يلي:-

زمن الفعالية (D) = حجم العمل (Q) ÷ الإنتاجية (R)

$$D = \frac{Q}{R}$$

D = Duration زمن الفعالية
Q = Quantity حجم أو كمية العمل للفعالية
R = Product or Output Rate معدل الإنتاجية للفعالية (هناك جداول تستخدم لتقديرها)

نموذج من جداول تقدير الإنتاجية كما يلي

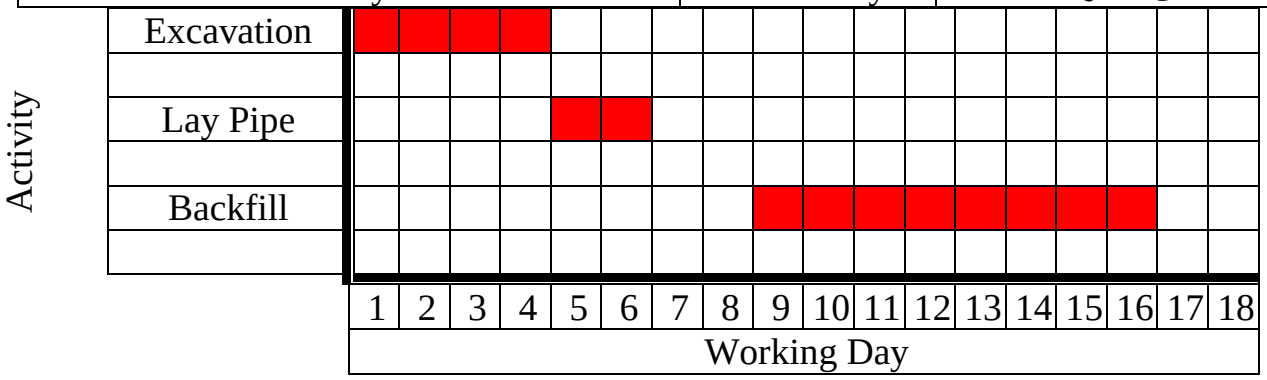
ت	وصف العمل	الإنتاجية	الوحدة
1	الحفر اليدوي في تربة طينية فوق مستوى المياه الجوفية الى عمق 1.5m	0.2	m3/hr
2	كونكريت غير مسلح للأسس صب موقعي	0.8	m3/hr
3	بناء بالطابوق ومونه الاسمنت 1:3	0.05	m3/hr
4	تربيع الأرضيات طابوق كسر سمك 8cm	1.9	m3/hr
5	صب أرضيات كونكريت غير مسلح سمك 12cm	1.9	m3/hr

1- طريقة الجدول البياني (Bar Chart)

تعد من أقدم أساليب التخطيط منذ عام 1900 وفيها يتم تمثيل الفعاليات على شكل مستطيلات طولها يتناسب مع زمن تنفيذ الفعالية حيث يتم تقسيم المشروع إلى عدد من الفعاليات ومن ثم تحديد زمن كل فعالية والعلاقة بينها ثم تمثيل الفعاليات في صورة مستطيلات أفقية على مخطط بياني محوره العمودي يمثل اسم الفعالية والمحور الأفقي يمثل زمن الفعالية

مثال 1: مشروع لتنفيذ مد أنبوب ماء أو مجاري بطول 400m العمل يتضمن الفعاليات المبينة في الجدول أدناه. المطلوب إعداد جدول زمني بأسلوب المخطط البياني (Bar Chart) وحسب الإمكانيات المتوفرة من المعدات والعمال الممثلة بالإنتاجية المدرجة إزاء كل فعالية في الجدول أدناه. شروط العمل تتضمن انتظار لمدة يومين بعد مد الأنبوب لغرض أجراء فحص الضغط للأنبوب قبل دفنه

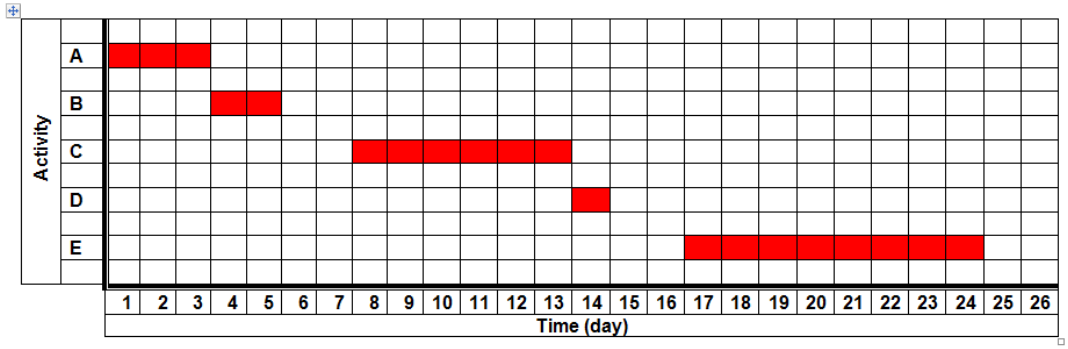
الفعالية	الإنتاجية	المدة = كمية العمل ÷ الإنتاجية = 400 ÷ الإنتاجية
حفر الخندق	100 m / day	4 day
مد أو وضع الأنبوب	200 m / day	2 day
دفن الأنبوب	50 m / day	8 day



مثال 2: جزء من مشروع إنشائي يشمل تنفيذ خمسة فقرات احتسبت المدد المتوقعة لإنجاز كل منها كما مبين في أدناه. أرسم المخطط البياني Bar Chart والوقت اللازم لتنفيذ العمل بحيث يتم التوقف عن العمل لمدة يومين بعد كل صب

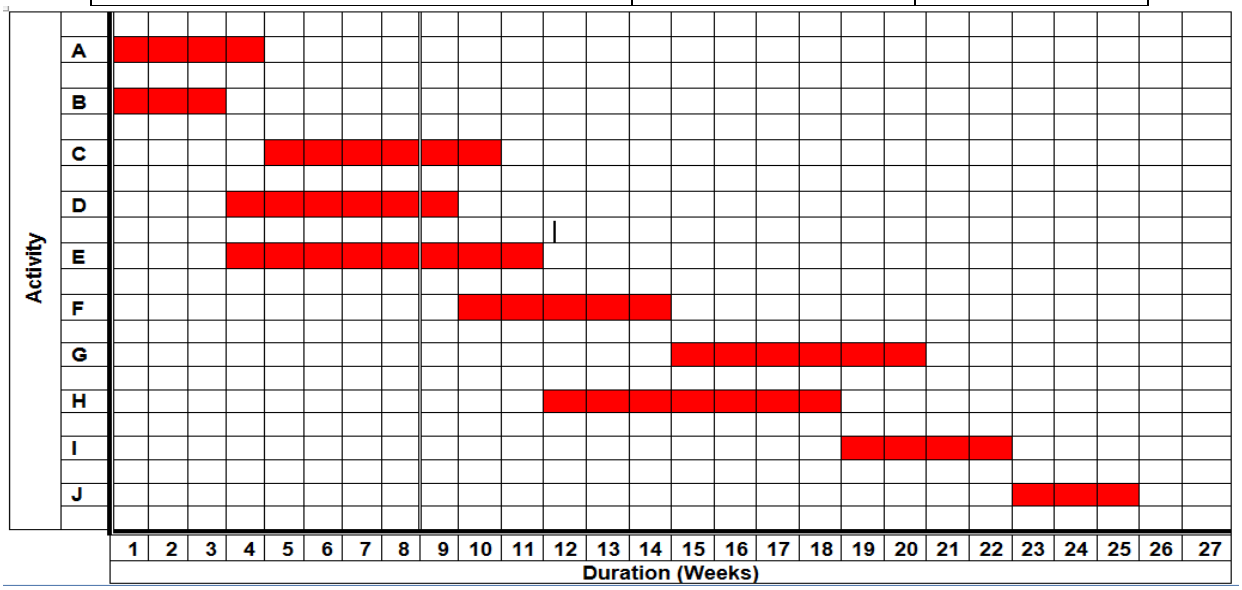
رمز الفعالية	الفعالية	مدة الفعالية
A	حفر الأساس تحت مانع الرطوبة	3
B	صب كونكريت الأساس	2
C	البناء بالطابوق	6
D	صب كونكريت مانع الرطوبة	1
E	البناء بالطابوق	8

الحل:



مثال 3: الجدول التالي يمثل أحد مشروعات التشييد. المطلوب تخطيط المشروع بطريقة الجدول البياني Bar Chart وتحديد زمن المشروع وموقف المشروع في نهاية الأسبوع الثامن

اسم البند (النشاط)	زمن البند (أسبوع)	الاعتمادية (علاقة النشاط بالأنشطة الأخرى)
Activity	Duration (Week)	Dependency
A	4	-
B	3	-
C	6	A
D	6	B
E	8	B
F	5	D
G	6	F
H	7	E
I	4	H
J	3	I



Act.	Dur.	Dep.
A	4	-
B	3	-
C	6	A
D	6	B
E	8	B
F	5	D
G	6	F
H	7	E
I	4	H
J	3	I

موقف المشروع في نهاية الأسبوع الثامن هو كما يلي:

1- الفعاليات A & B تم الانتهاء منها بنسبة انجاز 100%
2- الفعاليات F, G, H, & I لم يتم بدء العمل فيها أي نسبة الإنجاز هي صفر
3- نسبة انجاز الفعالية C هي = 66.7% = 0.667 = 4/6
4- نسبة انجاز الفعالية D هي = 83.3% = 0.833 = 5/6
5- نسبة انجاز الفعالية E هي = 62.5% = 0.625 = 5/8

رسم جدول التوزيع التكراري للموارد وكفاءة استخدامها

- الموارد تعني جميع المتطلبات من عمال ومواد ومعدات وحتى الأموال اللازمة لتنفيذ المشروع
- يستخدم مخطط الجدول البياني Bar Chart في استنتاج ورسم التوزيع التكراري لاستخدام الموارد على مدار عمر المشروع وذلك بتحديد احتياج كل فعالية من الموارد وكتابته على المستطيل الممثل للفعالية ثم رسم التوزيع التكراري لها أسفل المخطط Bar Chart

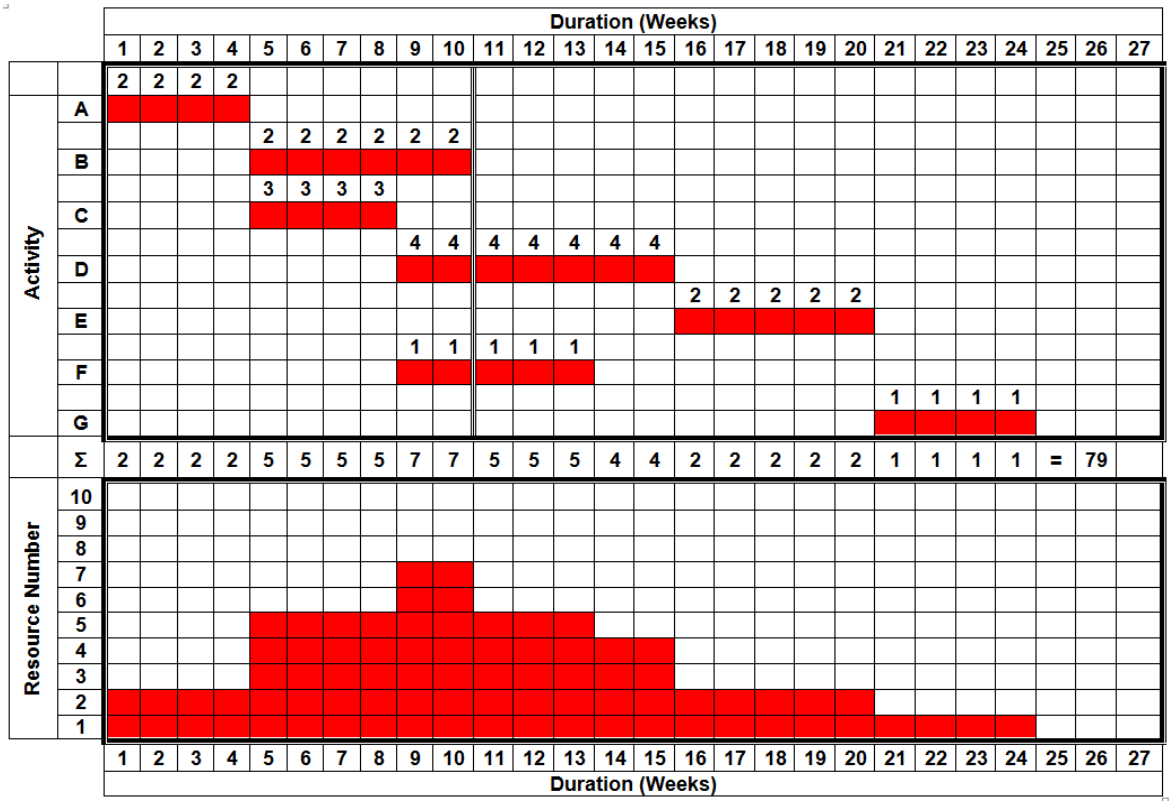
- كفاءة استخدام الموارد هو النسبة المئوية بين ما مستخدم فعلا من الموارد إلى الموارد الكلية المتوفرة أو بتعبير آخر
كفاءة استخدام الموارد = (الطاقة المستخدمة ÷ الطاقة الكلية المتوفرة) × 100

مثال 4 :- الجدول التالي يبين الفعاليات المختلفة لأحد مشروعات التشييد و يبين العلاقة بين الفعاليات وزمن الفعالية وعدد الشاحنات (الموارد) التي تحتاجها كل فعالية. المطلوب تخطيط المشروع بطريقة الجدول البياني Bar Chart ورسم التوزيع التكراري لاستخدام الشاحنات وحساب كفاءة استخدام الشاحنات في حالة العدد الكلي المتوفر من الشاحنات في موقع العمل هو 8 شاحنة على طول عمر المشروع

رمز الفعالية	زمن الفعالية (أسبوع)	الاعتمادية	عدد الشاحنات اللازمة
A	4	-	2
B	6	A	2
C	4	A	3
D	7	C	4
E	5	D	2
F	5	C	1
G	4	E	1

الحل:-

Act.	Dur.	Dep.	R
A	4	-	2
B	6	A	2
C	4	A	3
D	7	C	4
E	5	D	2
F	5	C	1
G	4	E	1



موقف المشروع في نهاية الأسبوع العاشر

1- الفعاليات A, B, & C تم انجازها بنسبة 100%
2- الفعاليات E & G لم يتم المباشرة بها
3- نسبة انجاز الفعالية D هي = 28.6% = 0.286 = 2/7
4- نسبة انجاز الفعالية F هي = 40% = 0.40 = 2/5

حساب كفاءة استخدام الموارد

الطاقة الكلية المتوفرة = 192 = 24 × 8

الطاقة الكلية المستخدمة = مساحة مخطط التوزيع التكراري للموارد = مجموع المستطيلات = 79

كفاء استخدام الموارد = (الطاقة المستخدمة ÷ الطاقة المتوفرة) × 100 = 41% = 100×(79/192)

وهذا يعني ان هناك 59% من طاقة الموارد لا يستفاد منها او بتعبير آخر هناك هدر بمقدار 59%

فلو كانت كلفة الشاحنة الواحدة اسبوعيا هي $1000

الهدر بالكلفة سوف يكون = 1000×8×24×0.59=113280$

من ذلك يظهر اهمية دراسة كفاءة الموارد للمشاريع وان رفع كفاءة الموارد يؤدي الى تقليل التكلفة الكلية للمشروع ومن الأساليب التي يمكن استخدامها لرفع كفاء الموارد هي

Resource Smoothing & Levelling

تحميل الموارد على الفعاليات في المخطط البياني Resource Loading

جمع الموارد في كل وحدة زمنية من عمر المشروع Resource Aggregate

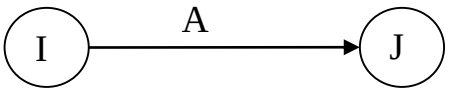
3.0 Network Analysis Technique or Critical Path Method (CPM)

A- Arrow Diagram Method (ADM) طريقة الأسهم

B- Node (Precedence) Diagram Method (PDM) طريقة المستطيلات

A. طريقة المخططات السهمية Arrow diagram Method

بدأ استخدامه منذ عام 1950 في هذا النوع من المخططات الشبكية يتم تمثيل كل فعالية بشكل سهم A واحد يتجه من اليسار إلى اليمين موصلا بين حدثين هما حدث البداية للفعالية I وحدث النهاية للفعالية J



الحدث Event :

ويعرف الحدث على انه نقطة من الزمن تبدأ وتنتهي فيها تنفيذ الفعالية الإنشائية. يتم تمثيل الحدث بشكل دائرة صغيرة ويمثل السهم عادة وصف الفعالية ومدتها بالوحدات الزمنية كما يتم تأشير الأحداث بأرقام تصاعدية. ويستفاد منها لأغراض الدلالة على الفعاليات

المدة Duration : هي الوقت المخمن بأي وحدة زمنية لإكمال فعالية معينة

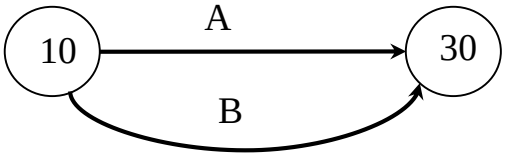
خطوات رسم المخطط الشبكي

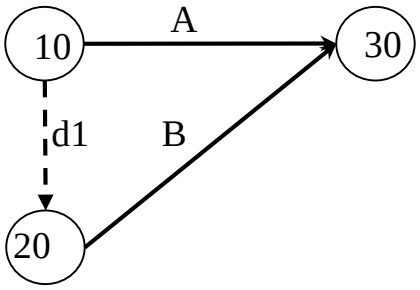
1- كل سهم يمثل مرحلة واحدة من مراحل المشروع
2- يجب أن ترقم الدوائر (الأحداث) حسب التسلسل الطبيعي للإعداد وحسب ترتيب مراحل المشروع
3- السهم يجب أن يتجه من الرقم الأدنى إلى الرقم الأعلى
4- يمكن أن تشترك أكثر من فعالية في البداية فقط أو في النهاية فقط
5- لا يجوز اشتراك أكثر من فعالية واحدة في البداية والنهاية معا في أن واحد لذلك تستخدم الفعالية الوهمية لحل هذا الأشكال أو الخلل في الرسم

الفعالية الوهمية Dummy Activity : هي الفعالية التي لا تحتاج إلى مدة زمنية و لا تستهلك أي موارد وتستعمل فقط لغرض تحقيق التتابع المنطقي لفعاليات المشروع وتمثل على شكل خط متقطع في المخطط السهمي

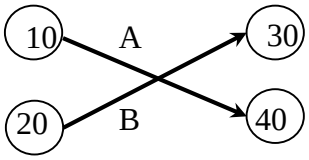
أمثلة على استخدام الفعالية الوهمية

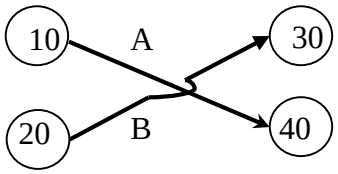
الفعاليات التي تشترك في البداية والنهاية معا





لا يجوز التقاطع بين الفعاليات في الرسم





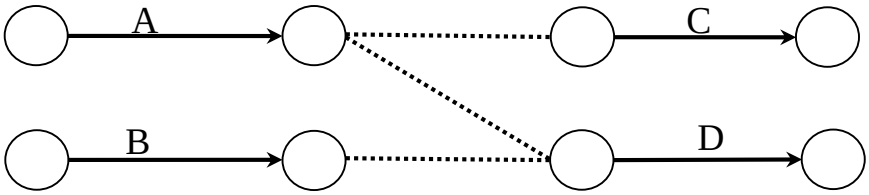
مثال1 : خطط المشروع التالي باستخدام أسلوب المخطط السهمي

Activity	Dependency
A	-
B	-
C	A
D	A, B

الحل:-

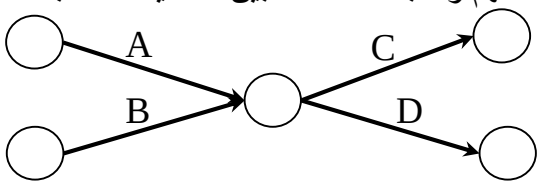
1- أرسم الفعاليات في عدة مستويات حسب الأعتمادية

2- ربط الفعاليات حسب الاعتمادية بخطوط متقطعة

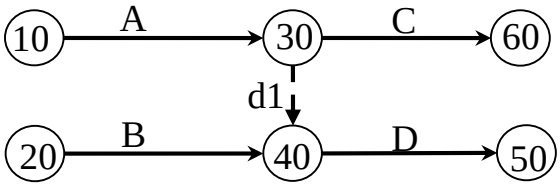


3- حذف ورسم الأسهم وضبط العلاقات بين الفعاليات حسب الاعتمادية مع استخدام الفعاليات الوهمية أذا تطلب ذلك

Activity	Dependency
A	-
B	-
C	A
D	A, B

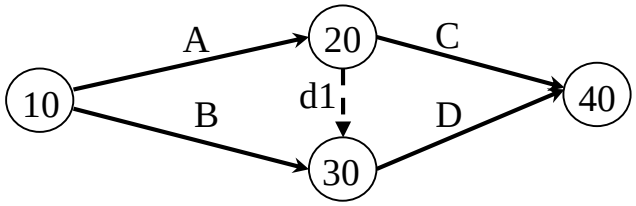


4- استخدام الفعالية الوهمية d1 لتحقيق التتابع المطلوب



5- تجميع البدايات في بداية واحدة و تجميع النهايات في نهاية واحدة

Activity	Dependency
A	-
B	-
C	A
D	A, B

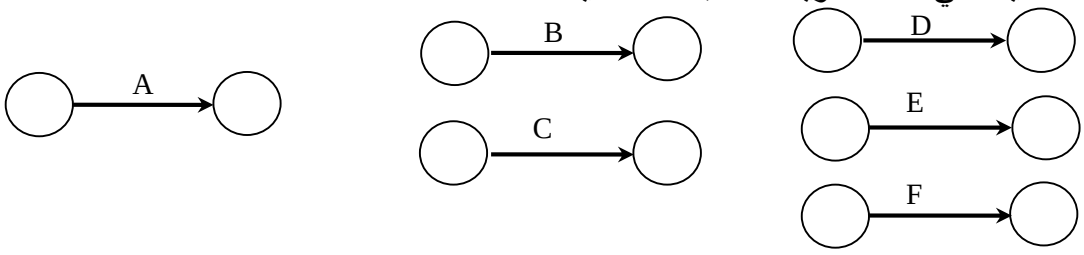


مثال 2: أرسم المخطط الشبكي السهمي للمشروع الموضحة فعالياته وتتابعها في الجدول التالي

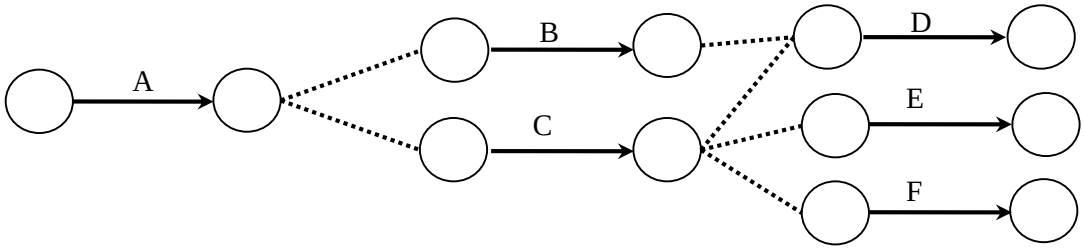
Activity	Dependency
A	-
B	A
C	A
D	B, C
E	C
F	C

الحل:-

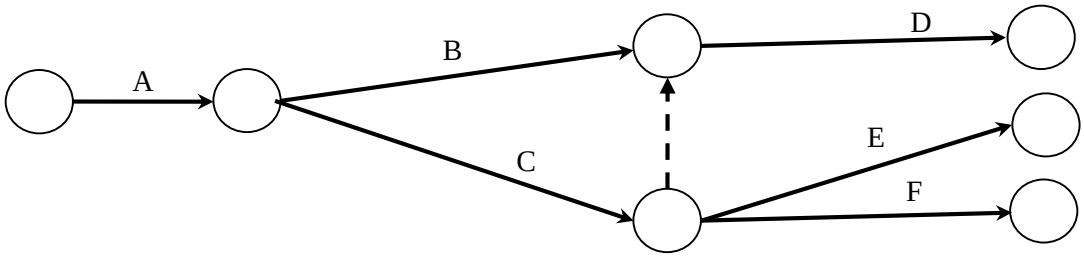
1- أرسم الفعاليات في عدة مستويات حسب الأعتمادية



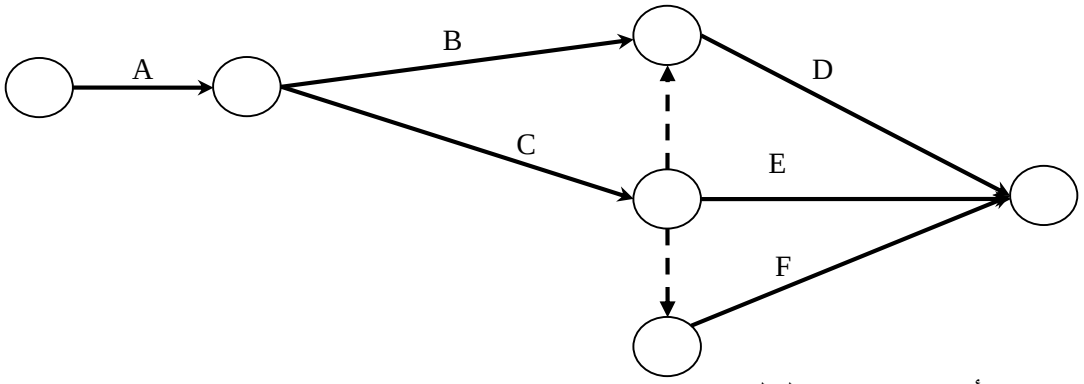
2- ربط الفعاليات حسب الاعتمادية بخطوط متقطعة



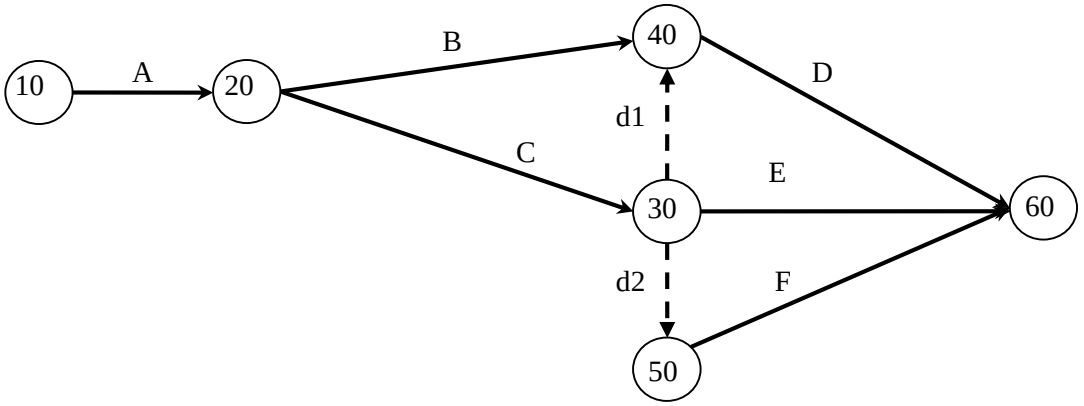
3- حذف ورسم الأسهم وضبط العلاقات بين الفعاليات حسب الاعتمادية مع استخدام الفعاليات الوهمية أذا تطلب ذلك



4- تجميع النهايات والبدايات مع استخدام الفعاليات الوهمية أذا تطلب ذلك



5- ترقيم دوائر الأحداث حسب تسلسلها

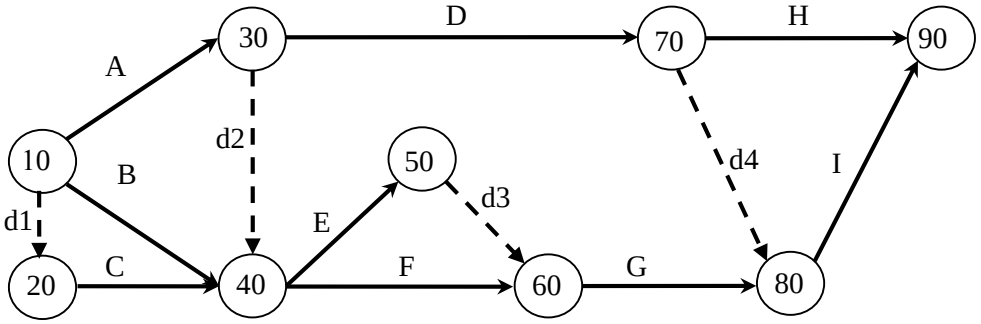


ملاحظات:-

1- عند ترقيم دوائر الأحداث يجب أن يكون الرقم الذي في بداية الفعالية (بداية السهم) أصغر من الرقم في نهاية الفعالية (رأس السهم)
2- يفضل استخدام أرقام متباعدة (مثلا من مضاعفات 5 أو 10) لاعطاء فرصة إضافة فعاليات في حالة نسيانها بحيث لا يغير من الترقيم للبقية

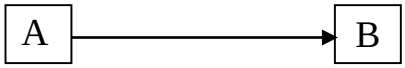
مثال 3 : أرسم المخطط الشبكي السهمي للمشروع الموضحة فعالياته وتتابعها في الجدول التالي

Activity	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Dependency	-	-	-	A	A, B, C	A, B, C	E, F	D	D, G



B. طريقة المستطيلات Node (Precedence) Diagram

في هذا الأسلوب تستخدم المستطيلات لتمثيل الفعاليات بينما تستخدم الأسهم لربط الفعاليات فيما بينها لتمثيل العلاقة حسب الاعتمادية

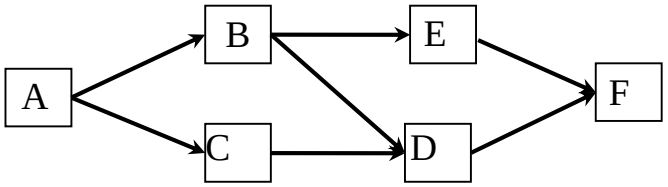


خطوات رسم المستطيلات

1- نرسم الفعاليات بمستويات مختلفة حسب الاعتمادية
2- نربط بين الفعاليات بأسهم حسب الاعتمادية حيث نربط الفعالية بالفعالية التي تعتمد عليها

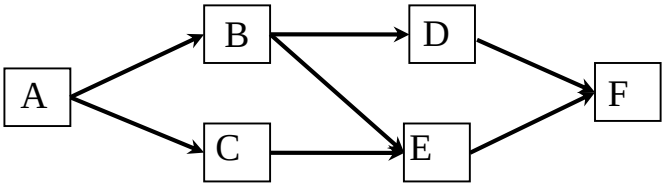
مثال 4: أرسم المخطط الشبكي بطريقة المستطيلات للمشروع الموضحة فعالياته وتتابعها في الجدول التالي

Activity	Dependency
A	-
B	A
C	A
D	B, C
E	B
F	D, E



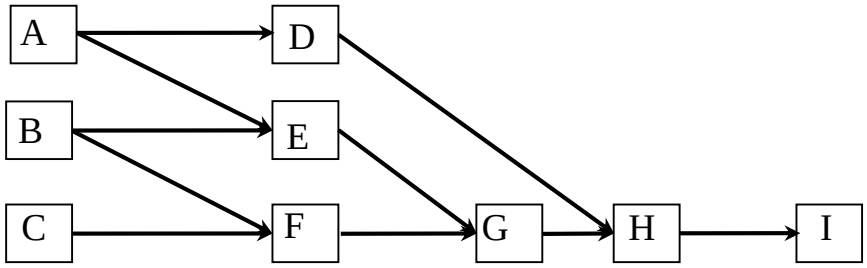
مثال 5: أرسم المخطط الشبكي بطريقة المستطيلات للمشروع الموضحة فعالياته وتتابعها في الجدول التالي

Activity	Dependency
A	-
B	A
C	A
D	B
E	B, C
F	D, E



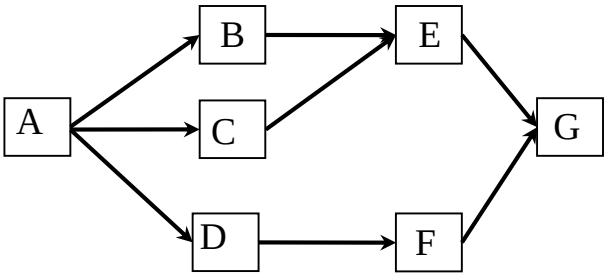
مثال 6: أرسم المخطط الشبكي بطريقة المستطيلات للمشروع الموضحة فعالياته وتتابعها في الجدول التالي

Activity	Dependency
A	-
B	-
C	-
D	A
E	A, B
F	B, C
G	E, F
H	D, G
I	H



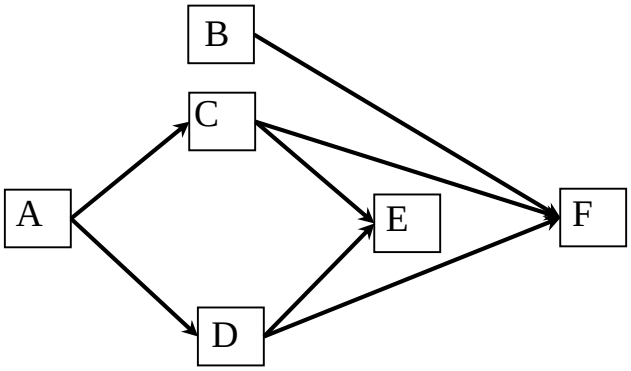
مثال 7: أرسم المخطط الشبكي بطريقة المستطيلات للمشروع الموضحة فعالياته وتتابعها في الجدول التالي

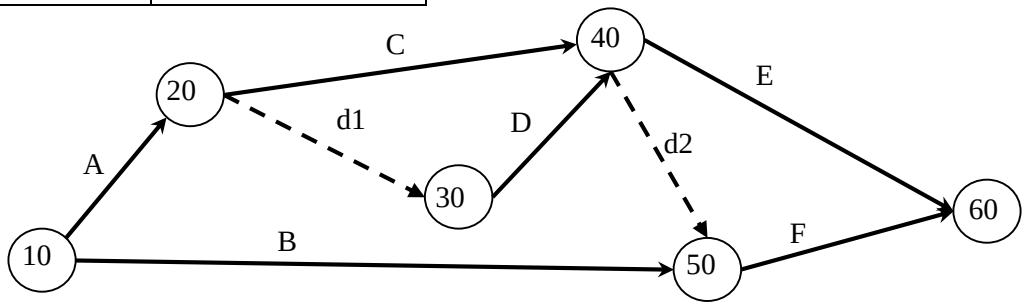
Activity	Dependency
A	-
B	A
C	A
D	A
E	B, C
F	D
G	E, F



مثال 8: أرسم المخطط الشبكي بطريقتي الأسهم والمستطيلات للمشروع الموضحة فعالياته وتتابعها في الجدول التالي

Activity	Dependency
A	-
B	-
C	A
D	A
E	C, D
F	B, C, D





حسابات الشبكة بطريقة المسار الحرج

البداية المبكرة Early Start (ES) : وهو أول زمن يمكن أن تبدأ فيه الفعالية

النهاية المبكرة Early Finish (EF) : وهو الزمن الذي ينتهي فيه النشاط أذا بدأ بداية مبكرة

$$EF = ES + D$$

D = Duration of Activity زمن تنفيذ الفعالية

البداية المتأخرة Late Start (LS) : وهو آخر موعد يمكن أن تبدأ فيه الفعالية

النهاية المتأخرة Late Finish (LF) : وهو الزمن الذي ينتهي فيه النشاط أذا بدأ بداية متأخرة

$$LF = LS + D$$

فترة السماح الكلي Total Float of Activity (TF) : وهي الفترة المسموح بها للفعالية بأن تتأخر دون التأثير على زمن المشروع

$$TF = LS - ES = LF - EF$$

فترة السماح الجزئي Free Float of activity (FF) : هي الفترة المسموح بها للفعالية أن تتأخر بدون أن يؤثر على بداية الفعالية التي تليها

$$FF = ES \text{ of Succeeding Activity} - EF$$

الفعالية الحرجة Critical Activity : هي الفعالية التي ليس لها فترة سماح كلي أو التي لها فترة سماح يساوي صفرا (TF = FF = 0)

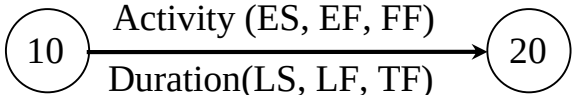
المسار الحرج Critical Path : هو المسار الذي يمر بالفعاليات الحرجة ويعتبر أطول مسار في الشبكة ومنه يمكن تحديد زمن المشروع

تمثيل الحسابات على المخططات الشبكية

1- طريقة المستطيلات Node Diagram

ES	FF	EF
Activity	Duration	
LS	TF	LF

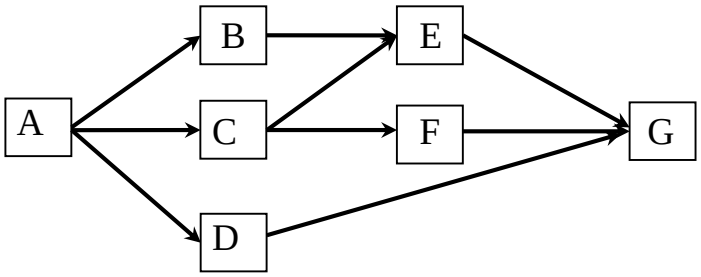
2- طريقة الاسهم Arrow Diagram



مثال 9 :- ارسم المخطط الشبكي بطريقة المستطيلات للمشروع المدرجة تفاصيله في الجدول أدناه ثم احسب البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة والوقت الفائض والحر للفعاليات ثم حدد الفعاليات الحرجة والمسار الحرج وزمن انجاز المشروع

Activity	Duration	Dependency
A	8	-
B	10	A
C	5	A
D	15	A
E	15	B,C
F	5	C
G	3	D, E, F

الحل: -



Activity	Duration	Dependency
A	8	-
B	10	A
C	5	A
D	15	A
E	15	B,C
F	5	C
G	3	D, E, F

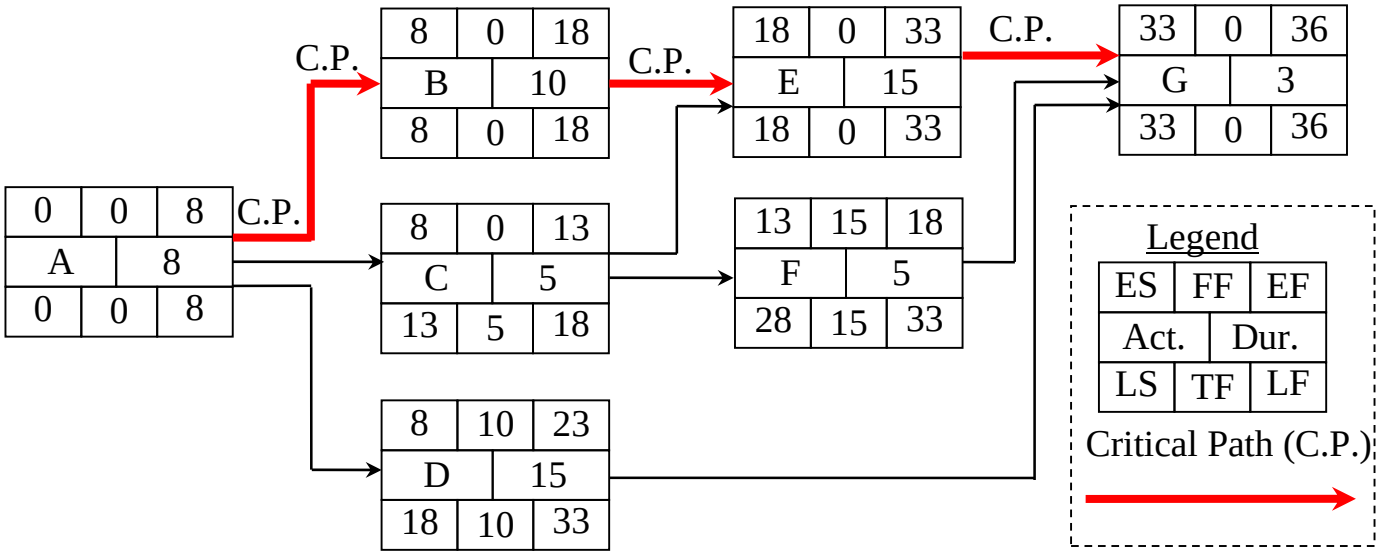
Project Paths

A B E G = 8 + 10 + 15 + 3 = 36

A C E G = 8 + 5 + 15 + 3 = 31

A C F G = 8 + 5+ 5 + 3 = 21

A D G = 8 + 15 + 3 = 26



خطوات حسابات الشبكات

1- **حسابات الذهاب**:

نبدأ بفرض أن البداية المبكرة ES تساوي صفرا للفعاليات الأولى في المشروع (الفعاليات التي لا تعتمد على أي فعاليات) ونحسب من اليسار إلى اليمين وذلك بجمع البداية المبكرة لكل فعالية مع زمن الفعالية للحصول على النهاية المبكرة للفعالية (EF=ES+D) والتي تعتبر بداية مبكرة للفعالية التي تليها وفي حالة تعدد القيم يتم اختيار أكبر قيمة لها ونستمر حتى نصل إلى نهاية المشروع ونحدد زمن المشروع وهو اكبر نهاية مبكرة لآخر فعاليات المشروع.

2- **حسابات العودة**:

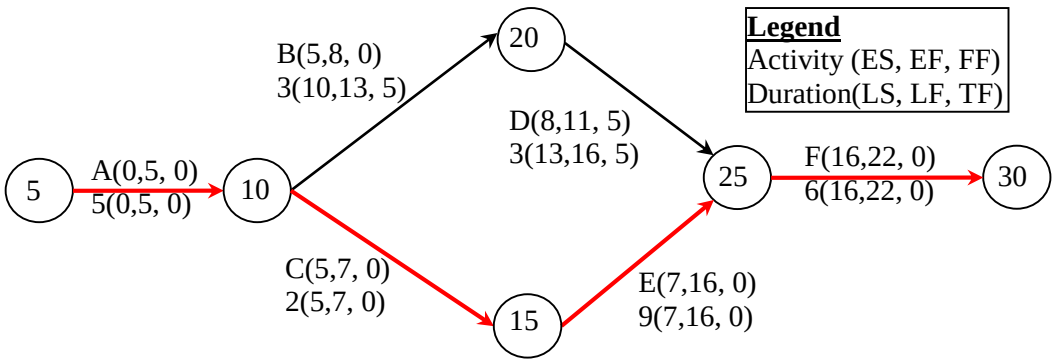
ننقل النهاية المبكرة لآخر فعالية في المشروع إلى موقع النهاية المتأخرة لنفس الفعالية (أي نعتبر النهاية المتأخرة للفعالية هو يساوي زمن المشروع) ونبدأ بطرح زمن كل فعالية من نهايتها المتأخرة لحساب بدايتها المتأخرة (LS=LF–D) والتي تعتبر نهاية متأخرة للفعالية التي تسبقها وفي حالة تعدد القيم يتم اختيار اصغر قيمة لها ونستمر حتى الوصول الى فعاليات بداية المشروع والتي يجب أن تكون بدايتها المتأخرة صفرا.

مثال 10 :- ارسم المخطط الشبكي بطريقة الأسهم للمشروع المدرجة فعالياته في الجدول أدناه ثم احسب البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة والوقت الفائض والحر للفعاليات ثم حدد الفعاليات الحرجة والمسار الحرج وزمن انجاز المشروع

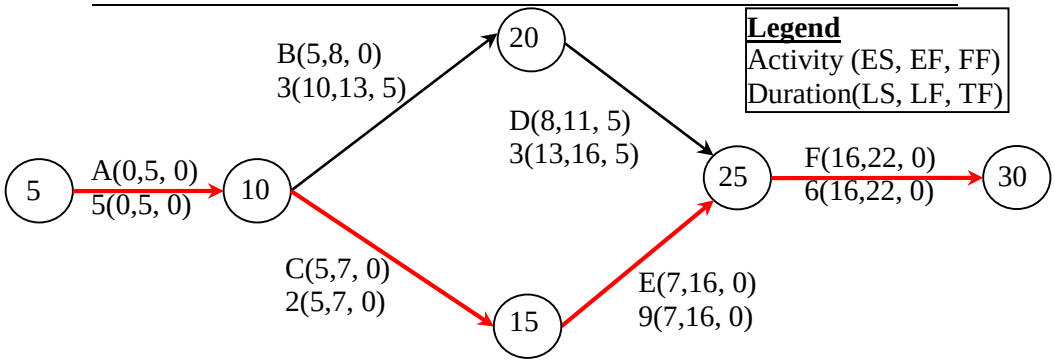
Activity	Duration (day)	Dependency
A	5	-
B	3	A
C	2	A
D	3	B
E	9	C
F	6	D, E

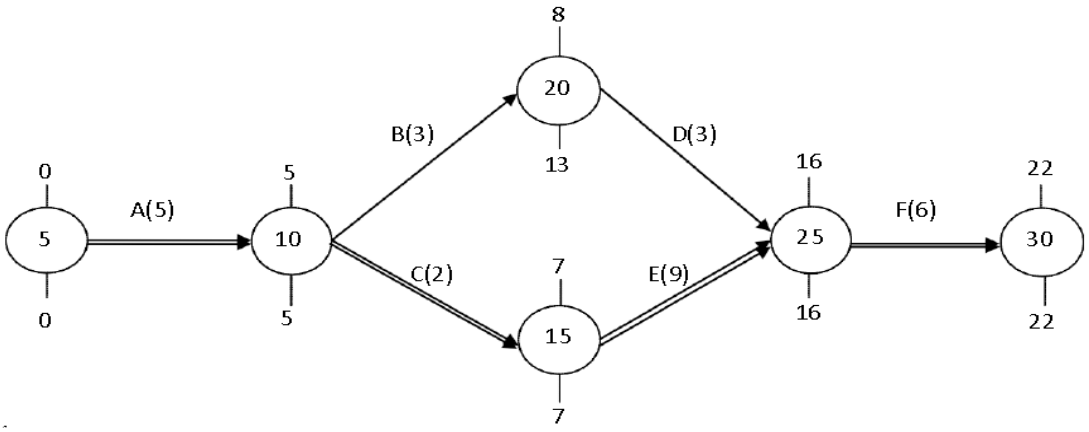
Project Paths
A B D F = 5 + 3 + 3 + 6 = 17
A C E F = 5 + 2 + 9 + 6 = 22

الحل:-



المسار الحرج هو A-C-E-F ومدة المشروع هي 5+2+9+6=22 Day

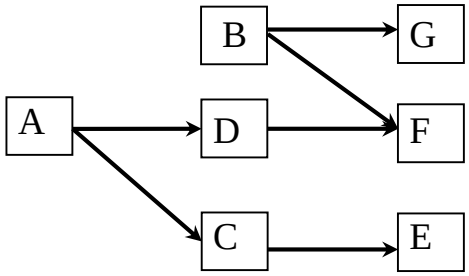




مثال 11 :- ارسم المخطط الشبكي بطريقة الأسهم للمشروع المدرجة فعالياته في الجدول أدناه ثم احسب البدايات والنهايات المبكرة والمتأخرة والوقت الفائض والحر للفعاليات ثم حدد الفعاليات الحرجة والمسار الحرج وزمن انجاز المشروع

Activity	Duration (day)	Dependency
A	10	-
B	18	-
C	12	A
D	15	A
E	6	C
F	8	B,D
G	17	B

الحل :- اذا كان المطلوب رسم الشبكة بطريقة المستطيلات سوف تكون بالشكل التالي



Activity	Duration (day)	Dependency
A	10	-
B	18	-
C	12	A
D	15	A
E	6	C
F	8	B,D
G	17	B

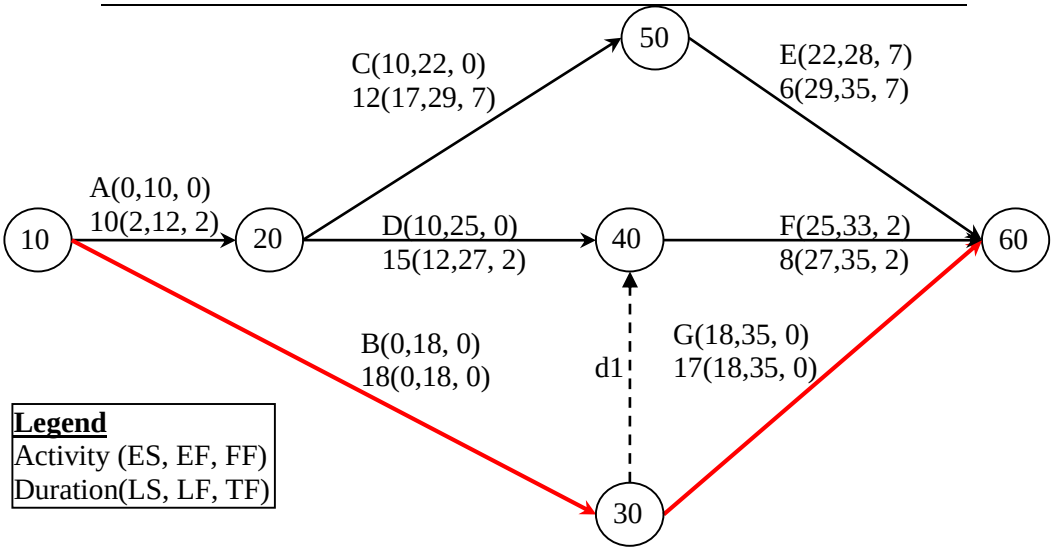
Project Paths

A C E = 10 + 12 + 6 = 28

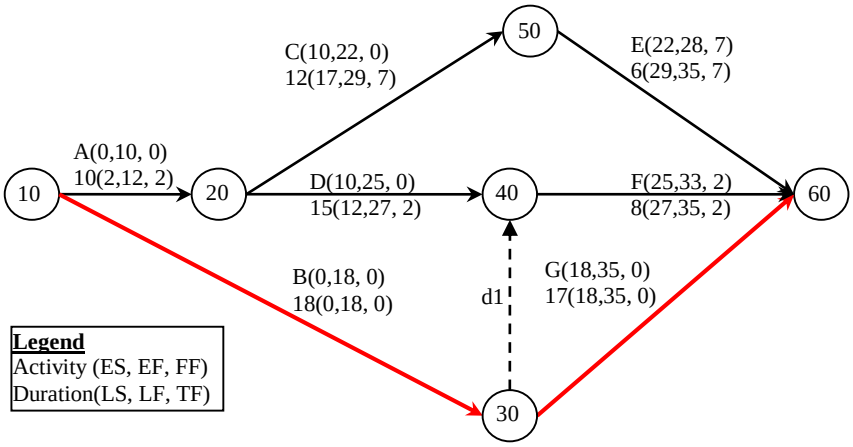
A D F = 10 + 15 + 8 = 33

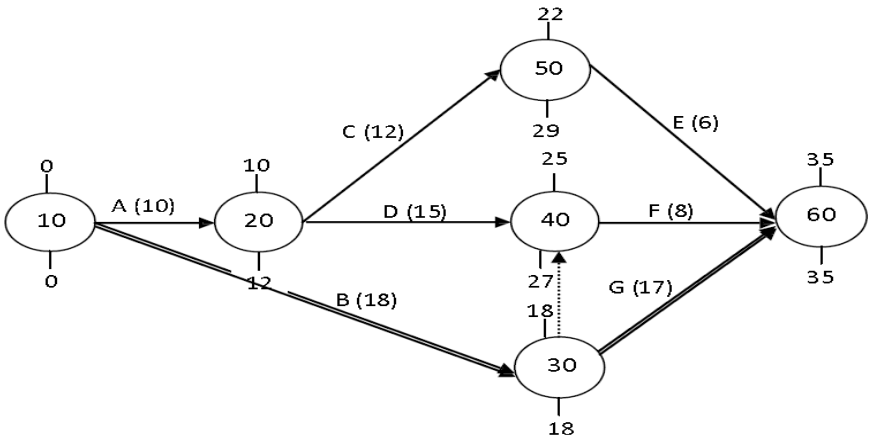
B F = 18 + 8 = 26

B G = 18 + 17 = 35



Critical Path B-G (10-30-60) and Project time = 35 days





4. Project Resource Management

Plan Resource Management is the process of defining how to estimate, acquire, manage, and use physical and team resources

Physical resources include equipment, materials, facilities and infrastructure.

Team resources, or personnel, refer to the human resources.

Planning needs to consider competition for scarce resources and may impact costs, schedule, risks, quality, etc.

The figure below summaries the main processes, tools and techniques and outputs of this management area:

Project Resource Management Overview

9.1 Plan Resource Management

.1 Inputs
- .1 Project charter
- .2 Project management plan
- .3 Project documents
- .4 Enterprise environmental factors
- .5 Organizational process assets

.2 Tools & Techniques
- .1 Expert judgment
- .2 Data representation
- .3 Organizational theory
- .4 Meetings

.3 Outputs
- .1 Resource management plan
- .2 Team charter
- .3 Project documents updates

9.2 Estimate Activity Resources

.1 Inputs
- .1 Project management plan
- .2 Project documents
- .3 Enterprise environmental factors
- .4 Organizational process assets

.2 Tools & Techniques
- .1 Expert judgment
- .2 Bottom-up estimating
- .3 Analogous estimating
- .4 Parametric estimating
- .5 Data analysis
- .6 Project management information system
- .7 Meetings

.3 Outputs
- .1 Resource requirements
- .2 Basis of estimates
- .3 Resource breakdown structure
- .4 Project documents updates

9.3 Acquire Resources

1 Inputs
- .1 Project management plan
- .2 Project documents
- .3 Enterprise environmental factors
- .4 Organizational process assets

.2 Tools & Techniques
- .1 Decision making
- .2 Interpersonal and team skills
- .3 Pre-assignment
- .4 Virtual teams

.3 Outputs
- .1 Physical resource assignments
- .2 Project team assignments
- .3 Resource calendars
- .4 Change requests
- .5 Project management plan updates
- .6 Project documents updates
- .7 Enterprise environmental factors updates
- .8 Organizational process assets updates

9.4 Develop Team

.1 Inputs
- .1 Project management plan
- .2 Project documents
- .3 Enterprise environmental factors
- .4 Organizational process assets

.2 Tools & Techniques
- .1 Colocation
- .2 Virtual teams
- .3 Communication technology
- .4 Interpersonal and team skills
- .5 Recognition and rewards
- .6 Training
- .7 Individual and team assessments
- .8 Meetings

.3 Outputs
- .1 Team performance assessments
- .2 Change requests
- .3 Project management plan updates
- .4 Project documents updates
- .5 Enterprise environmental factors updates
- .6 Organizational process assets updates

9.5 Manage Team

1 Inputs
- .1 Project management plan
- .2 Project documents
- .3 Work performance reports
- .4 Team performance assessments
- .5 Enterprise environmental factors
- .6 Organizational process assets

.2 Tools & Techniques
- .1 Interpersonal and team skills
- .2 Project management information system

.3 Outputs
- .1 Change requests
- .2 Project management plan updates
- .3 Project documents updates
- .4 Enterprise environmental factors updates

9.6 Control Resources

.1 Inputs
- .1 Project management plan
- .2 Project documents
- .3 Work performance data
- .4 Agreements
- .5 Organizational process assets

.2 Tools & Techniques
- .1 Data analysis
- .2 Problem solving
- .3 Interpersonal and team skills
- .4 Project management information system

.3 Outputs
- .1 Work performance information
- .2 Change requests
- .3 Project management plan updates
- .4 Project documents updates

Project Resources Management

Project Resources Scheduling
جدولة موارد المشروع

Resource Levelling → Resource Constrained

Resource Smoothing → Time Constrained

Resource Levelling

is changing the starting date of all activates according to prioritize and allocate the constrained amount of resources leading to increase project duration

"**تسوية الموارد**"

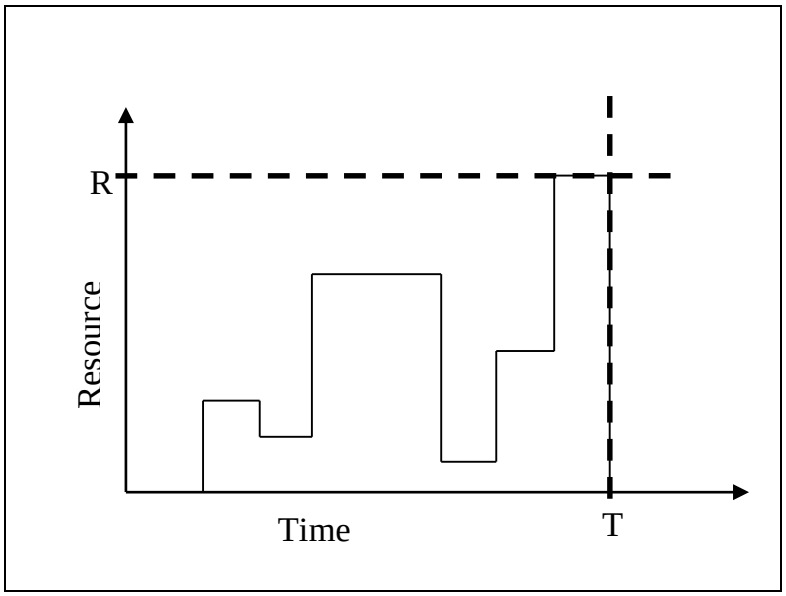
هي عملية تغيير تاريخ بدء جميع الفعاليات وفقًا لتحديد أولويات وتخصيص كمية الموارد المحدودة مما يؤدي إلى زيادة مدة المشروع

Resource smoothing

is changing the starting date of only non-critical activity within its total float to reduce the fluctuation of used resource amount along the constrained project duration

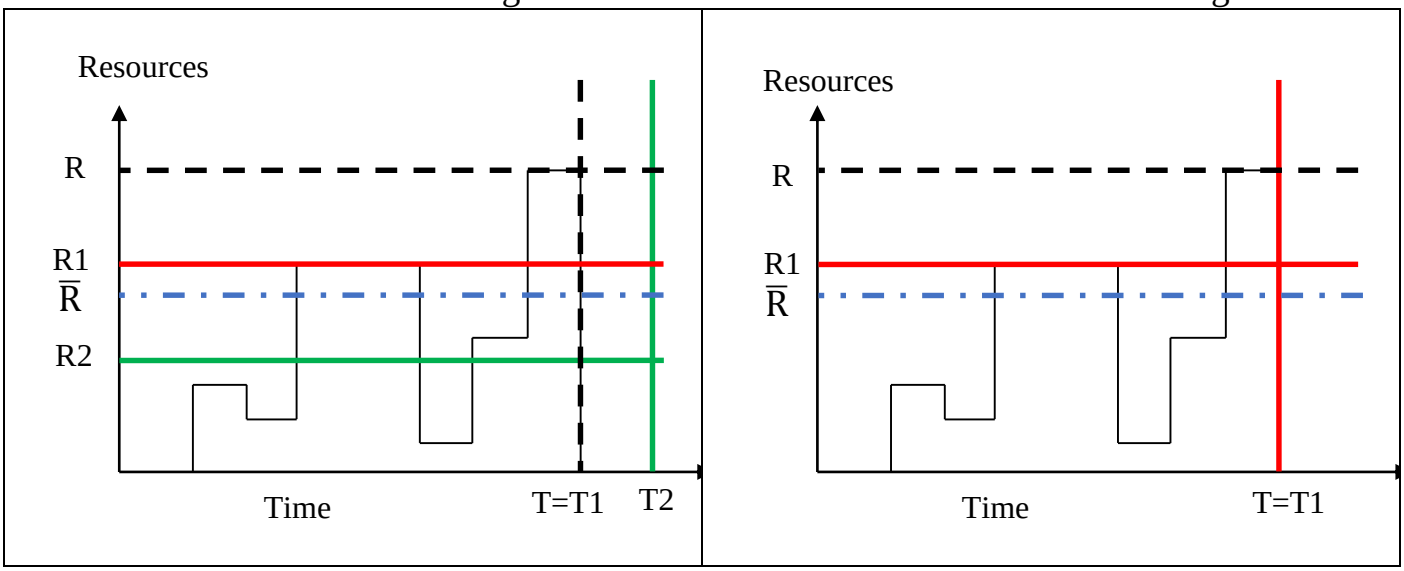
"**تنعيم الموارد**"

هو عملية تغيير تاريخ بدء الفعايات الغير حرجة فقط ضمن فترات السماح لها لتقليل التذبذب في كمية الموارد المستخدمة على طول مدة المشروع المقيدة



Resource constrained Project
B. Resource Levelling

Time constrained Project
A. Resource Smoothing



T2 > T	$R2 < \bar{R}$	T1 = T	$R1 \geq \bar{R}$

$If\ R_{av.} < \bar{R}\ \therefore Project\ will\ be\ delay\ (Resource\ Levelling)$
$If\ R_{av.} \geq \bar{R}\ \therefore Project\ on\ time\ (Resource\ Smoothing)$

Where:-

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{T}$$

$\bar{R}$ = Average $Resource\ Required\ Per\ Unit\ Time\ of\ Project = \frac{\sum R}{T}$

$R_{av.} = Resource\ Available$
$R = Resource\ at\ any\ Unit\ time\ of\ project$
$T = Completion\ Time\ of\ Project$

A. <u>Resource Smoothing</u>

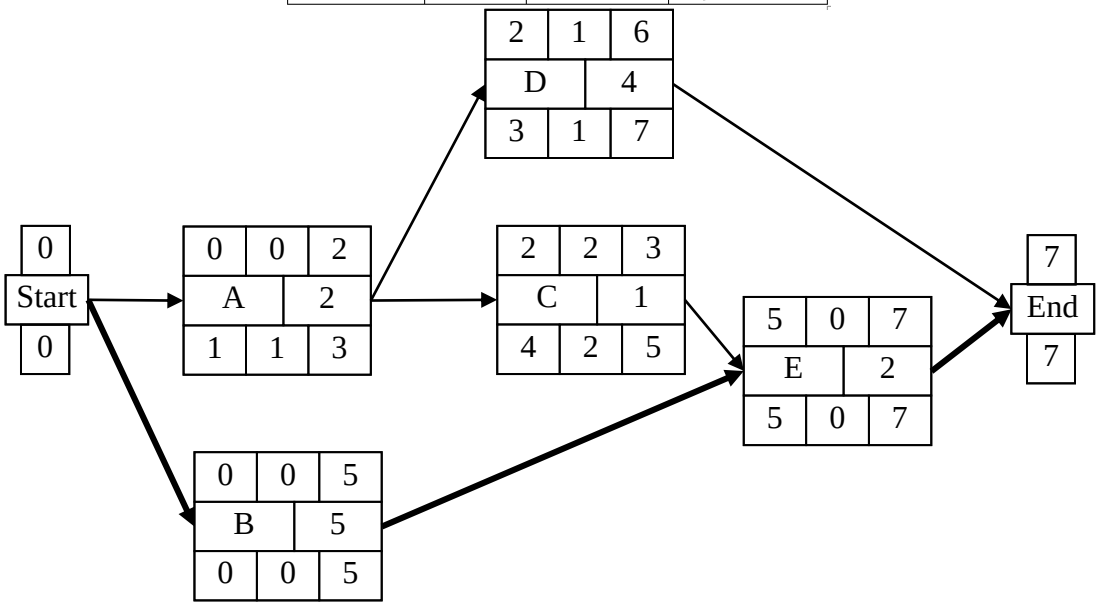
- Resources unconstrained; no limits on resources and use average resource.
- Project duration constrained; project duration cannot be delayed.
- Reduce the difference between the peaks and the valleys to avoid the resource fluctuation
- Change the starting date for some of the non-critical activities.

Example 1: A company has taken a contract involve the following activities. Each activity required two workers. Can we complete the job with only 4 workers?

Activity	Days	Workers	Precedent
A	2	2	
B	5	2	
C	1	2	A
D	4	2	A
E	2	2	B, C

Solution: -

Activity	Days	Workers	Precedent
A	2	2	
B	5	2	
C	1	2	A
D	4	2	A
E	2	2	B, C



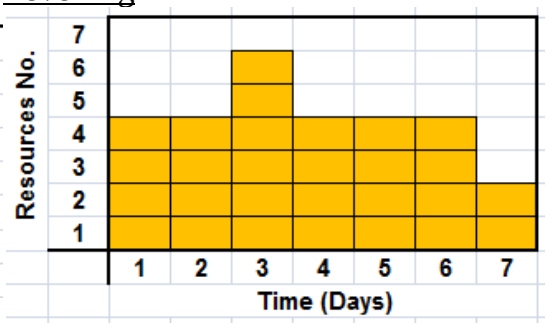
Activity	Days	Workers	Precedent
A	2	2	
B	5	2	
C	1	2	A
D	4	2	A
E	2	2	B, C

Resources Summation = 28

Average Resources Required =

$28 \div 7 = 4$

Resources Histogram Before Levelling



Resource Smoothing Procedure:

- Draw a node diagram for the project
- Draw a bar chart for the project
- Resource Loading; put the resource usage in each bar of the related activity
- Resource Aggregate; summation the resources in each time period
- Calculate the total resources required = Σ resource required for all unit time of project
- Calculate the average resource required = Σ Total Resources Required / Project duration
- Draw the FF as dashed line beside the upper side of the bar of activity
- Draw the TF as dashed line beside the lower side of the bar of activity
- Critical activities to be drawn first (do not move them)
- Shift non-critical activities within their FF first, then their TF
- Revise the schedule of activities
- Aggregate the resources in each time period
- Start from the last non-critical activity

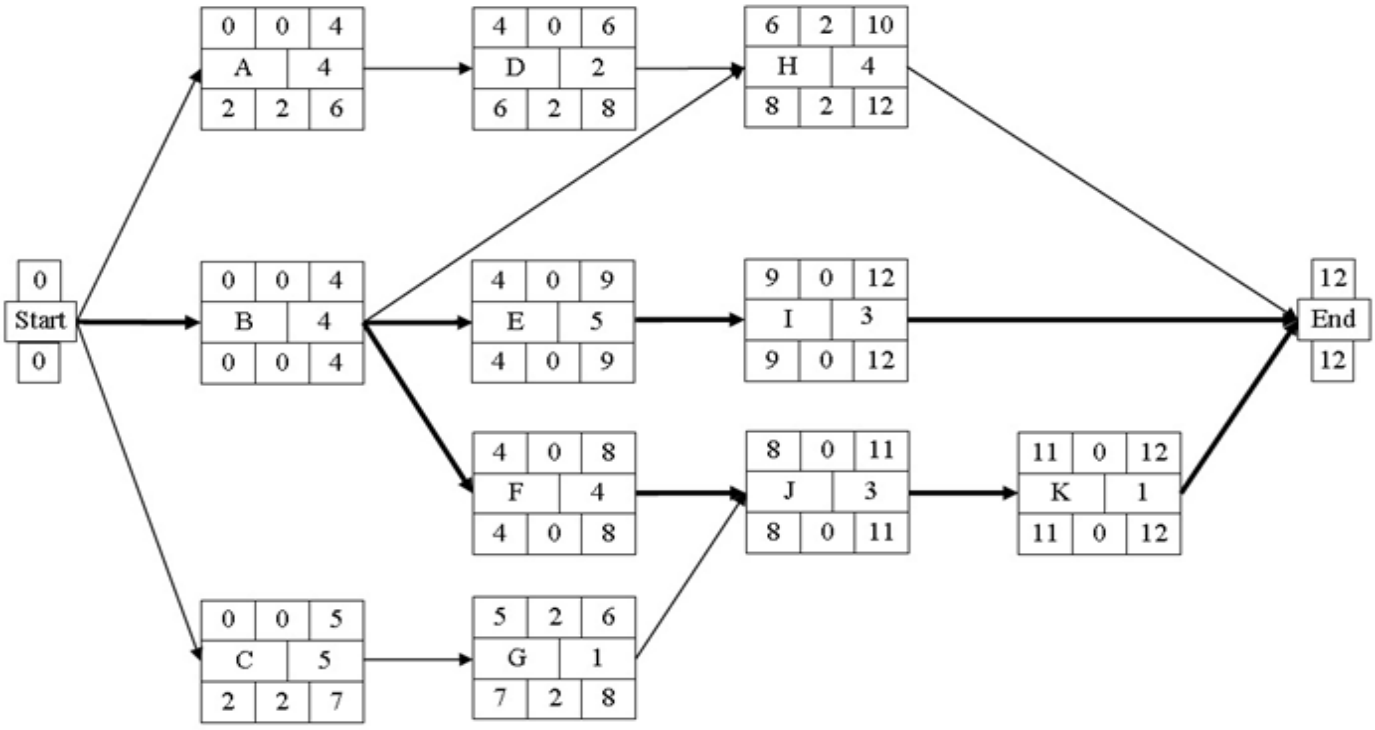
Example 2:

The activities involved in the construction of a certain project are given in the table below. One resource type will be used during the contract. Determine minimum level of the resource required to complete the project and draw the Bar Chart of the project based on ES and LS timing of activities

Activity	Dependency	Duration (Weeks)	Number of machines (Units/Week)
A	-	4	1
B	-	4	1
C	-	5	2
D	A	2	2
E	B	5	1
F	B	4	1
G	C	1	1
H	B, D	4	1
I	E	3	1
J	F, G	3	2
K	J	1	3

Solution:-

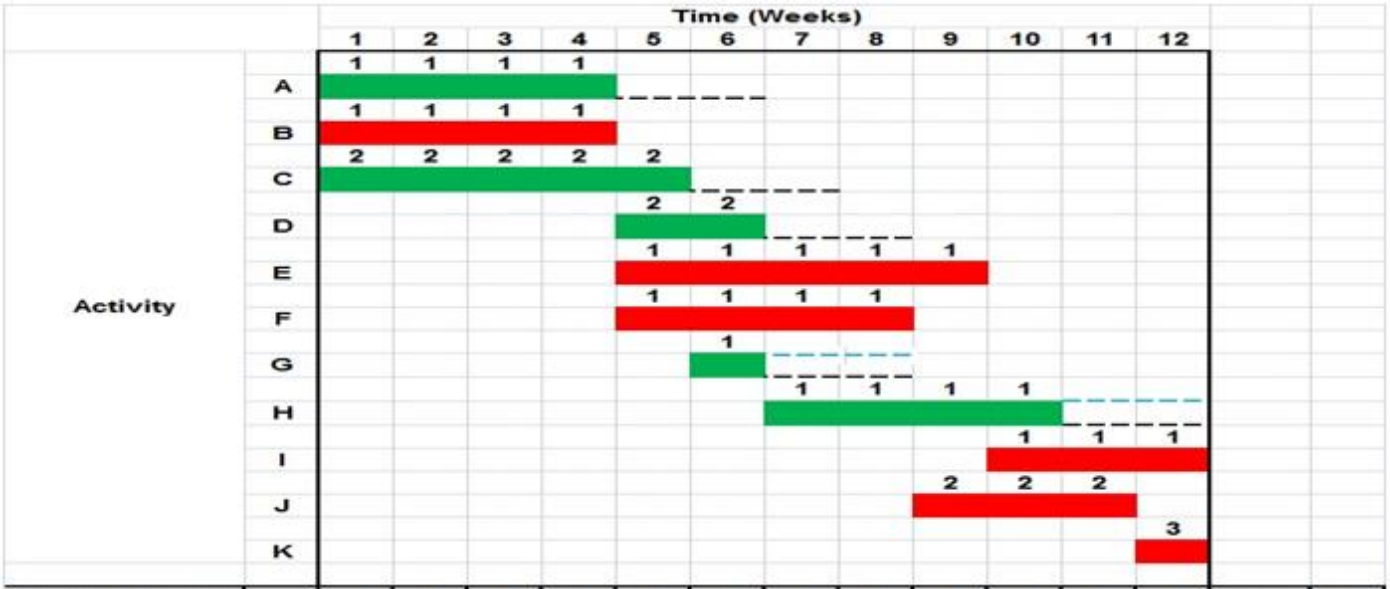
A.



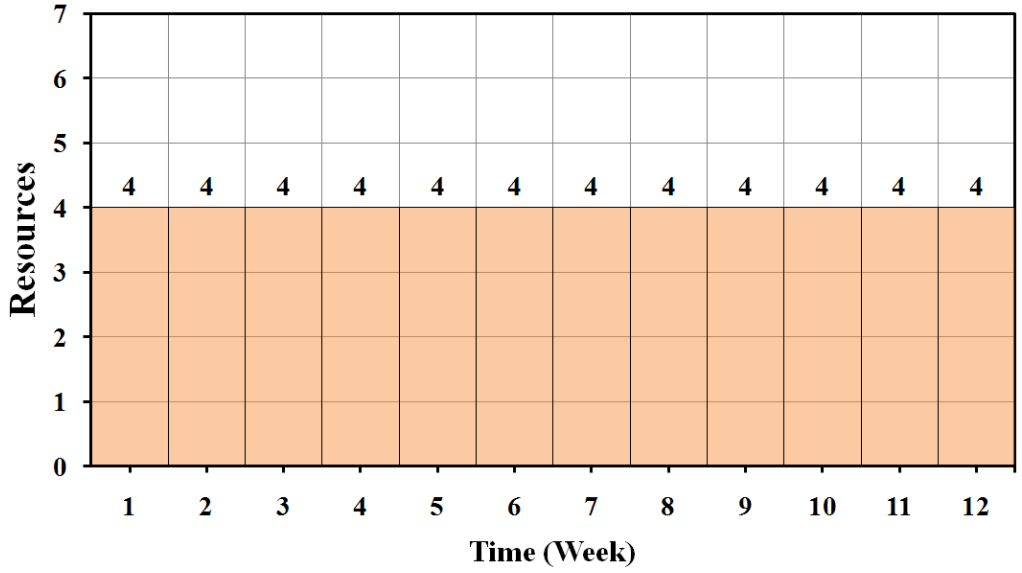
B. Shift non-critical activities within TF to decrease the peaks and raise the valleys.

Total resources required = 4 + 4+ 4 +4 + 6 + 5 + 3 +3 + 4 + 4 +3 + 4 = 48

Average resource required = 48/12 = 4

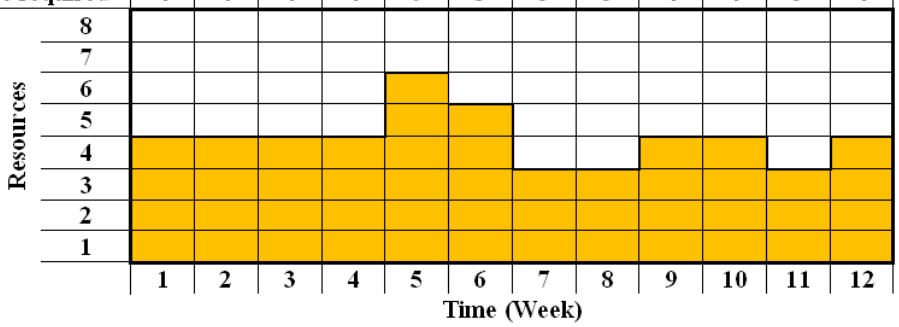


Before Levelling		4	4	4	4	6	5	3	3	4	4	3	4	Total =	48
Move H: 1week								-1				1			
		4	4	4	4	6	5	2	3	4	4	4	4	Total =	48
Move G: 2week							-1		1						
		4	4	4	4	6	4	2	4	4	4	4	4	Total =	48
Move D: 1week						-2		2							
		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Total =	48



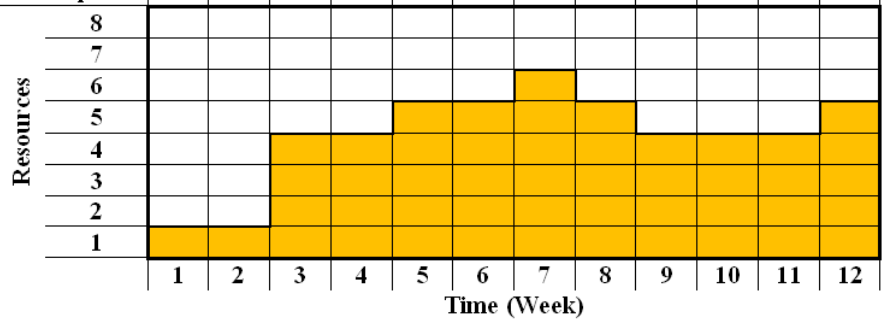
C. Drawing the Bar Chart of the project based on ES timing of activities

Activity	Duration (Weeks)	Resources (Units/Week)	Early Start	Early Finish	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	4	1	0	4	1	1	1	1								
B	4	1	0	4	1	1	1	1								
C	5	2	0	5	2	2	2	2	2							
D	2	2	4	6					2	2						
E	5	1	4	9					1	1	1	1	1			
F	4	1	4	8					1	1	1	1				
G	1	1	5	6						1						
H	4	1	6	10							1	1	1	1		
I	3	1	9	12										1	1	1
J	3	2	8	11									2	2	2	
K	1	3	11	12												3
Weekly Resource required					4	4	4	4	6	5	3	3	4	4	3	4



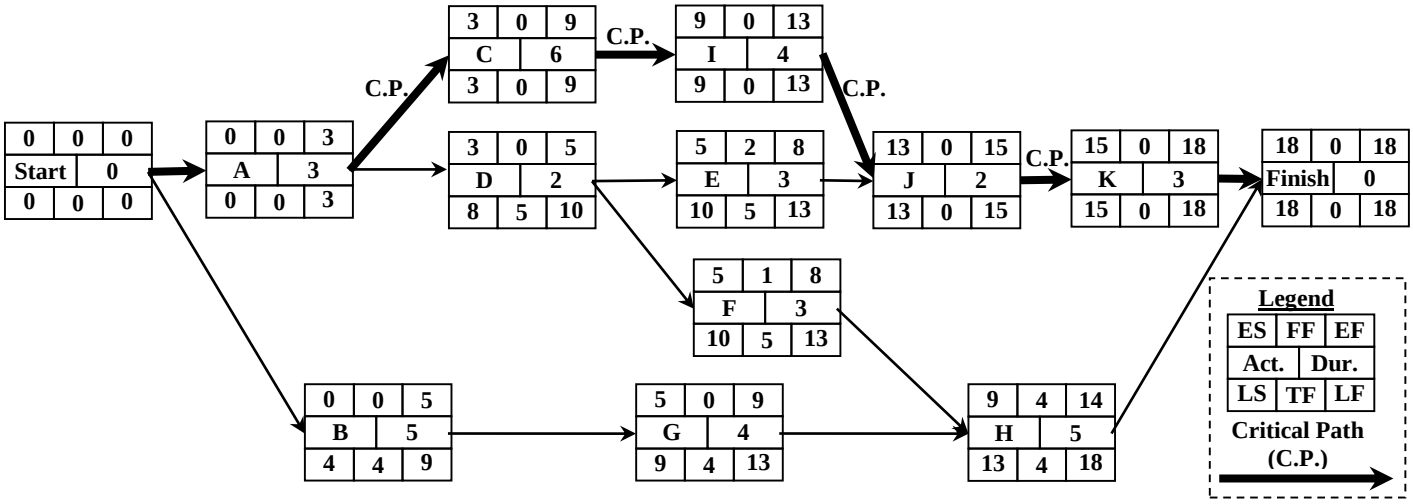
D. Drawing the Bar Chart of the project based on LS timing of activities

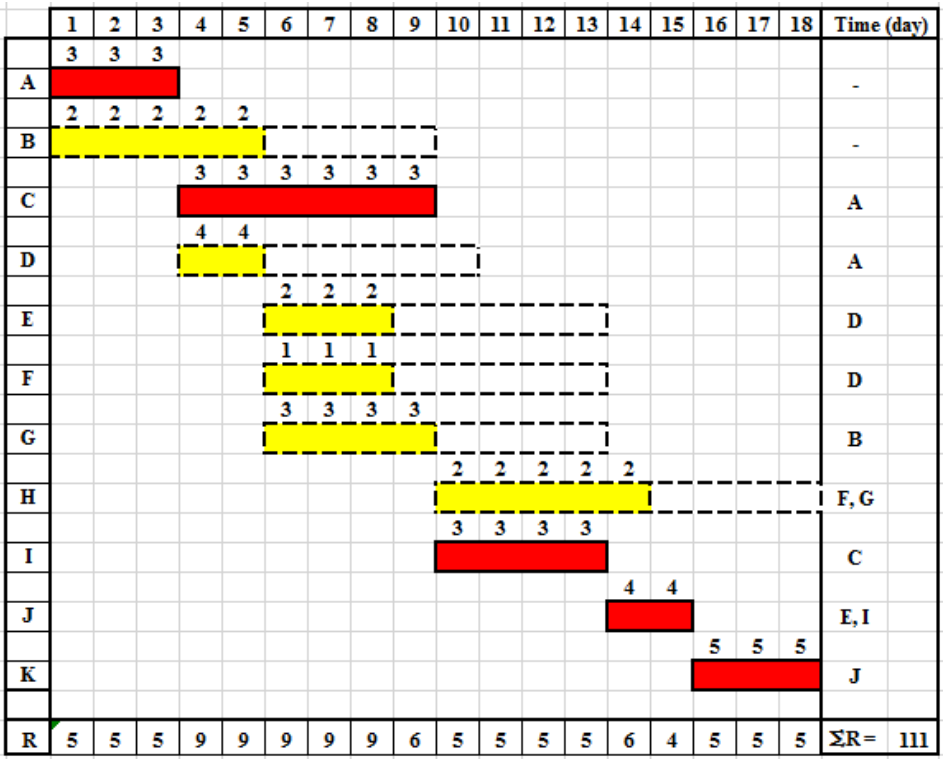
Activity	Duration (Weeks)	Resources (Units/Week)	Late Start	Late Finish	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	4	1	2	6			1	1	1	1						
B	4	1	0	4	1	1	1	1								
C	5	2	2	7			2	2	2	2	2					
D	2	2	6	8							2	2				
E	5	1	4	9					1	1	1	1	1			
F	4	1	4	8					1	1	1	1				
G	1	1	7	8								1				
H	4	1	8	12									1	1	1	1
I	3	1	9	12										1	1	1
J	3	2	8	11									2	2	2	
K	1	3	11	12												3
Weekly Resource Required					1	1	4	4	5	5	6	5	4	4	4	5



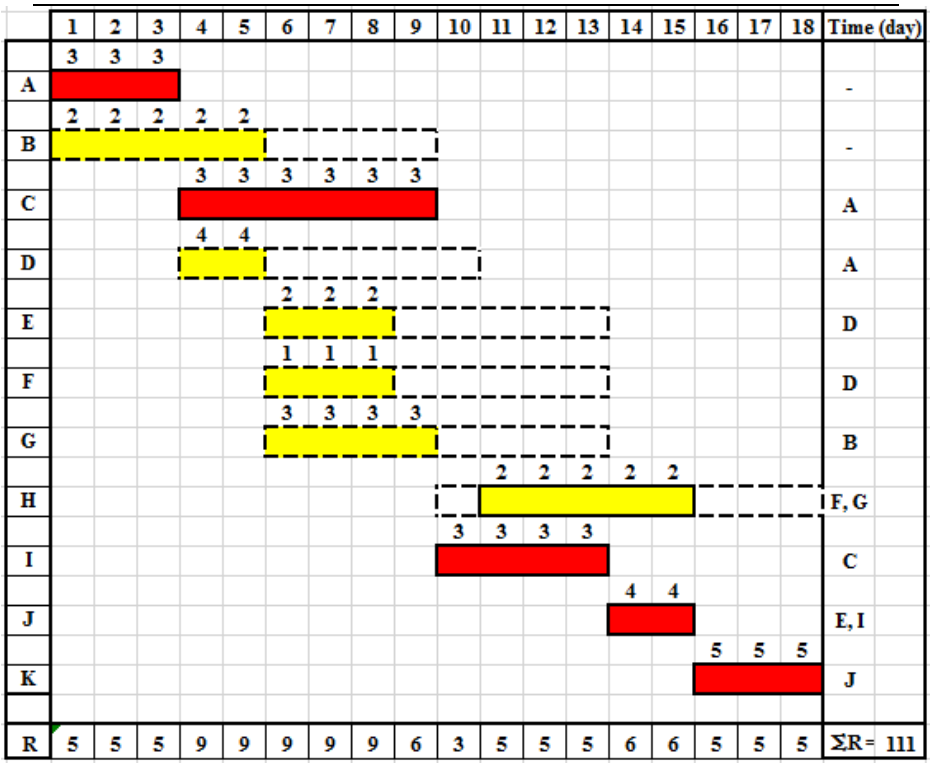
Example 3: Schedule the resources for the following project and determine the Efficiency of Resource Usage.

Activity	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Duration (day)	3	5	6	2	3	3	4	5	4	2	3
Dependency	-	-	A	A	D	D	B	F, G	C	E, I	J
Resource	3	2	3	4	2	1	3	2	3	4	5

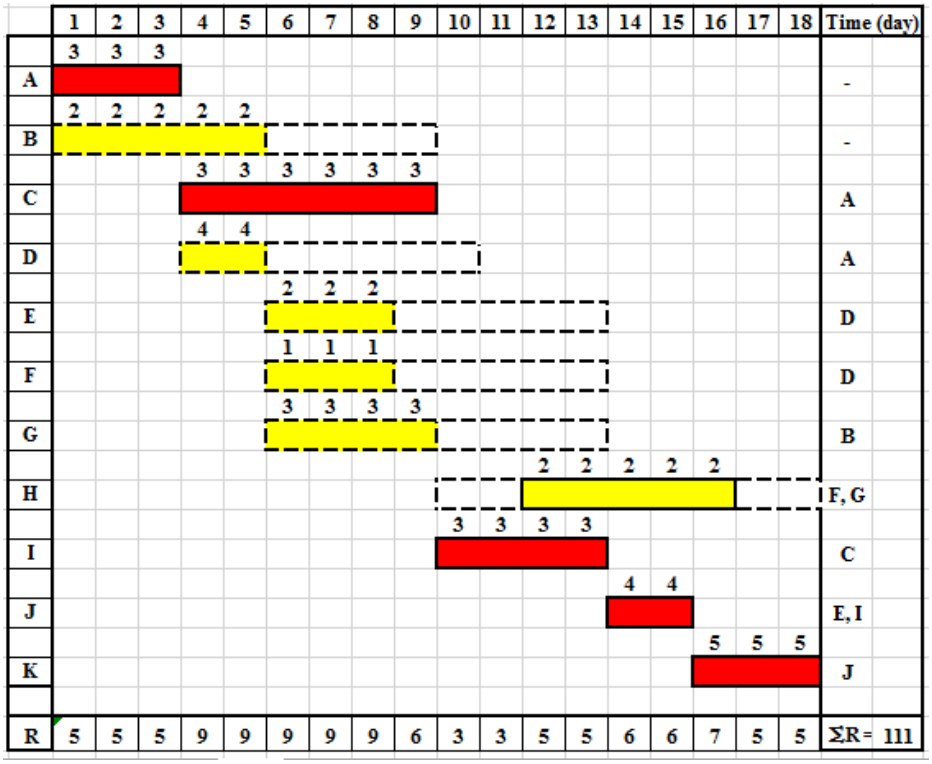




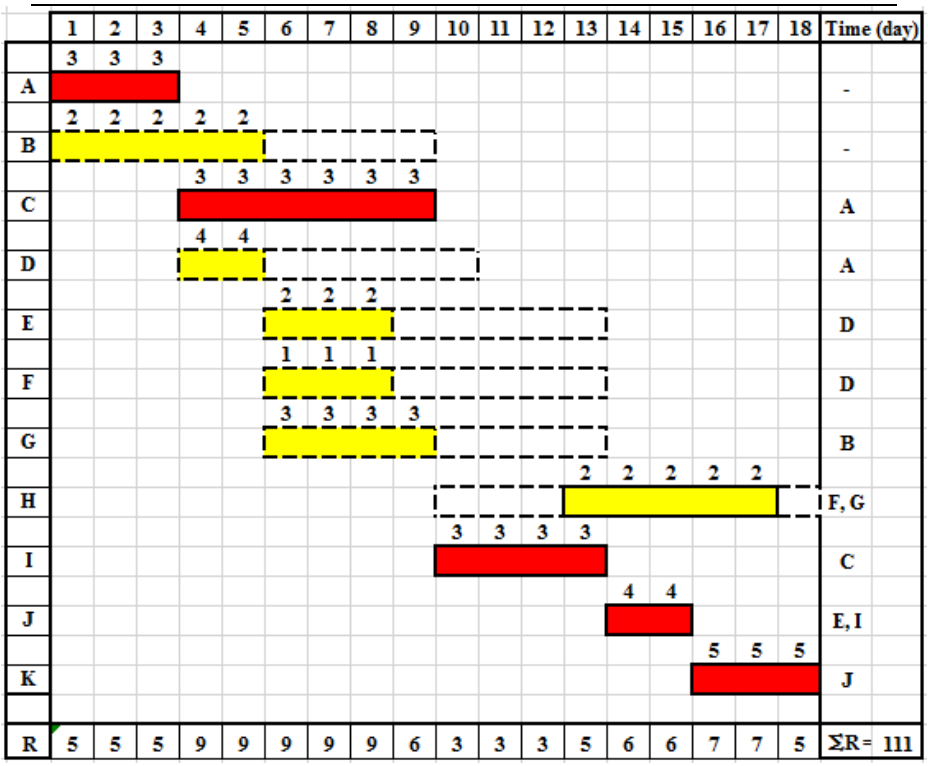
1. Before Smoothing



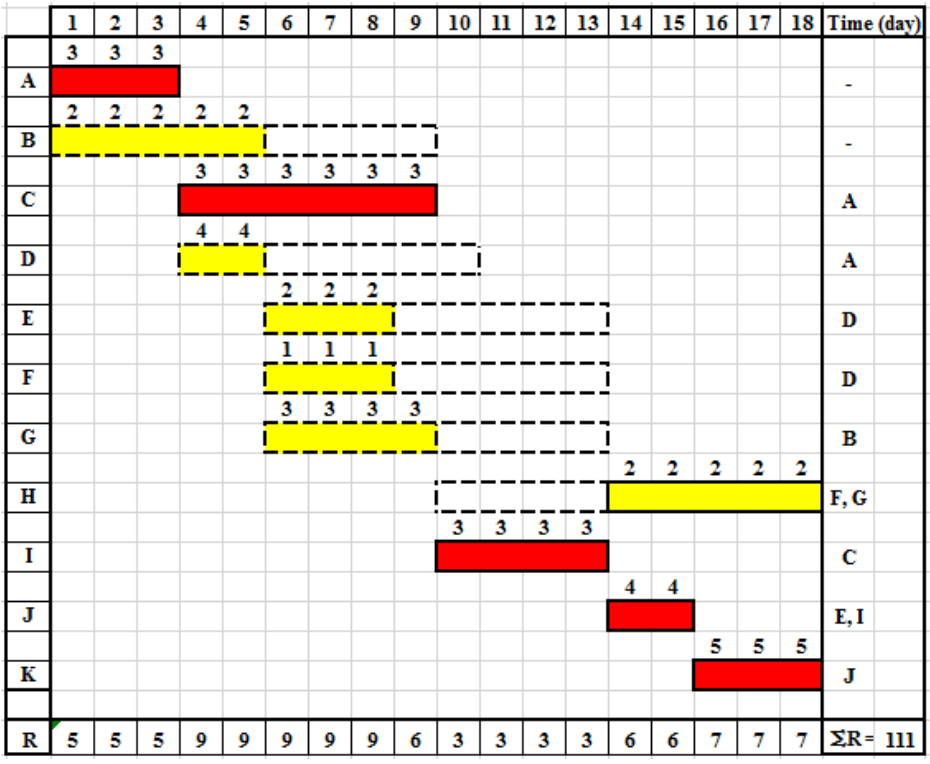
2. Move H by 1-day



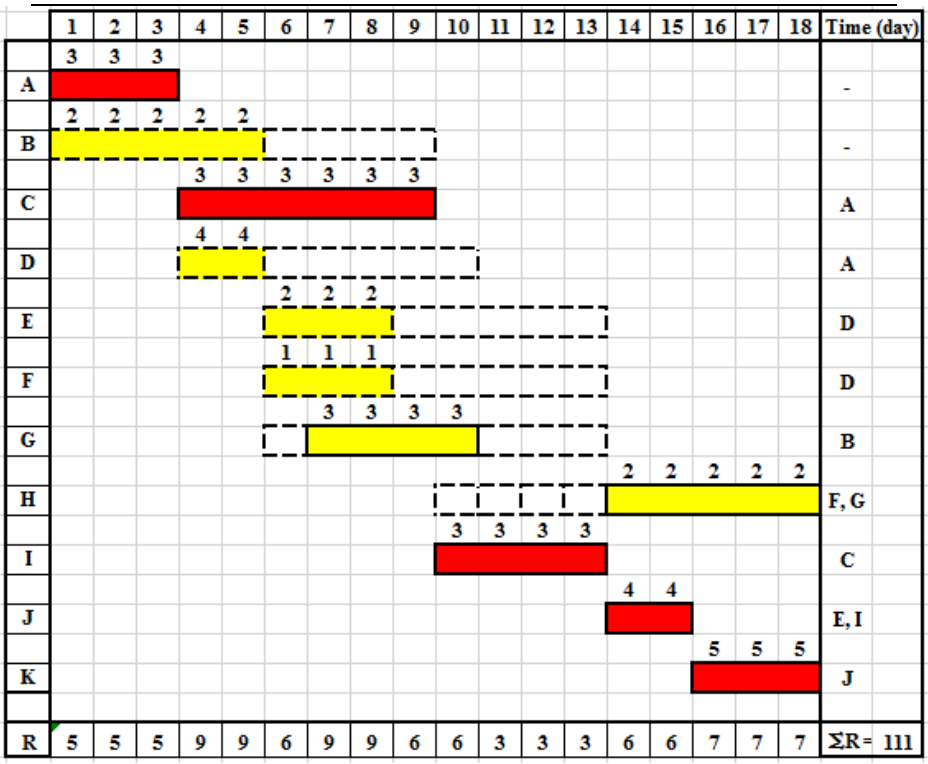
3. Move H by 2-day



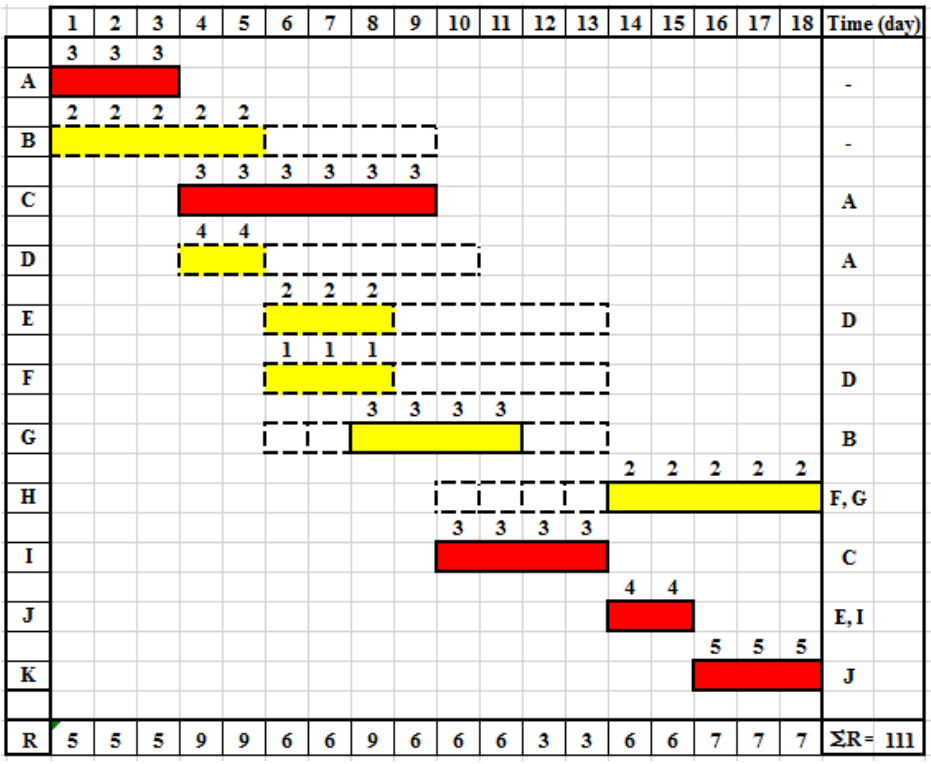
4. Move H by 3-day



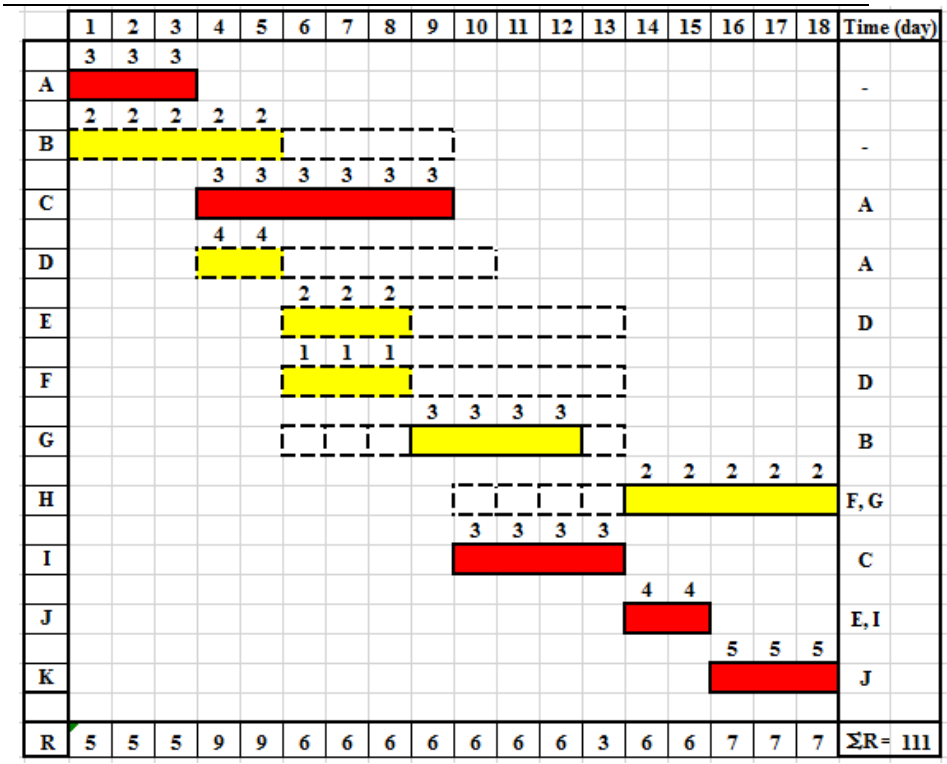
5. Move H by 4-day



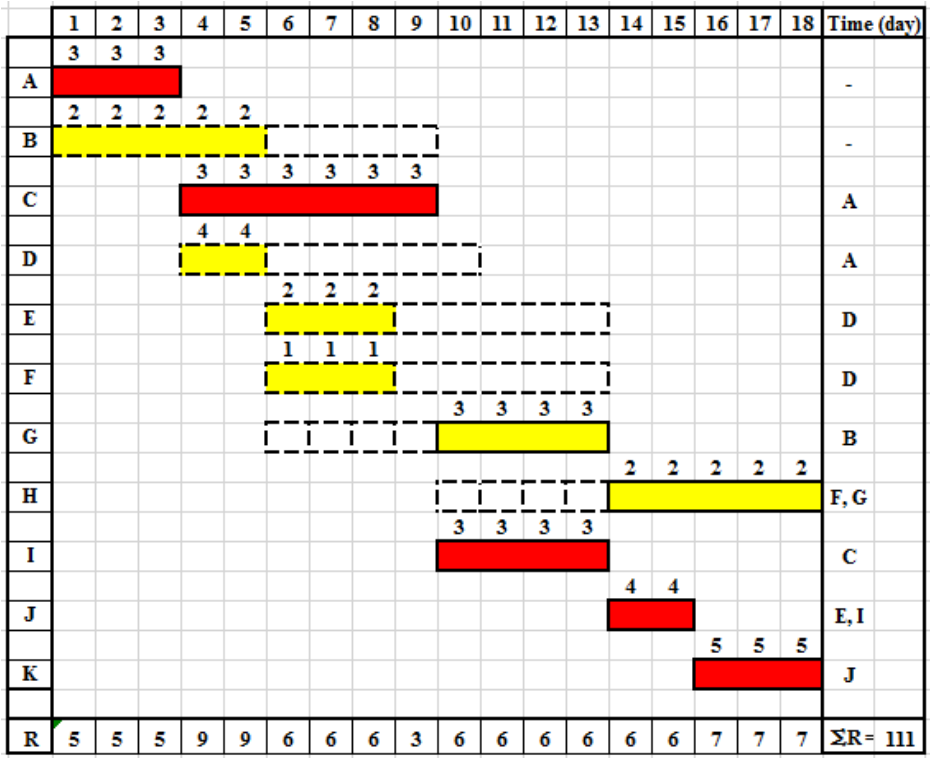
6. Move H by 4-day and G by 1-day



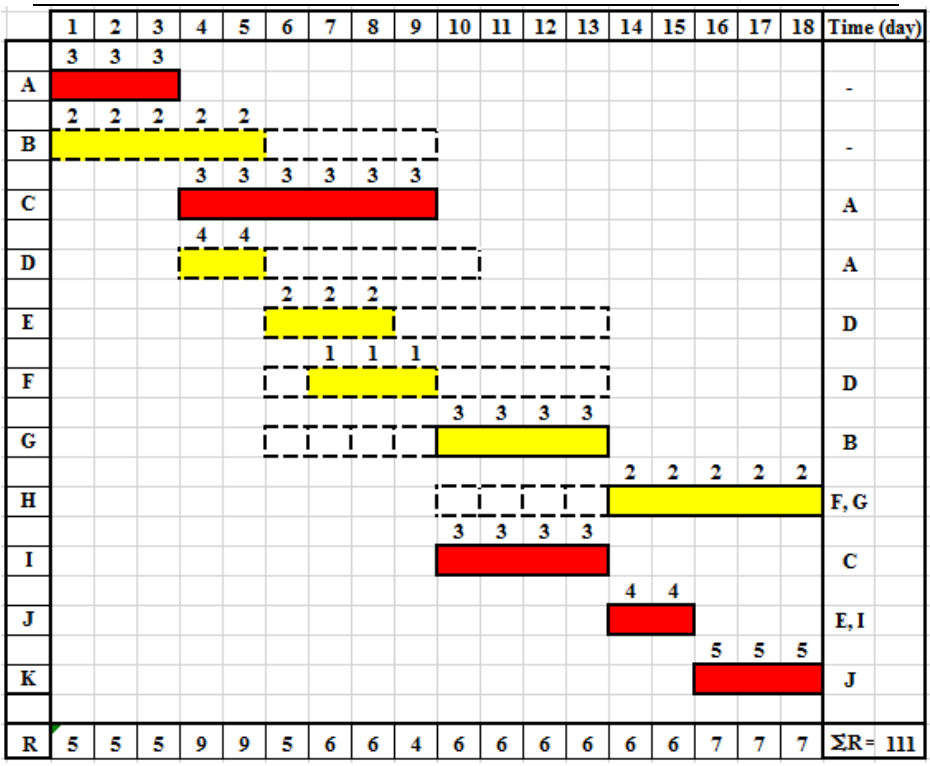
7. Move H by 4-day and G by 2-day



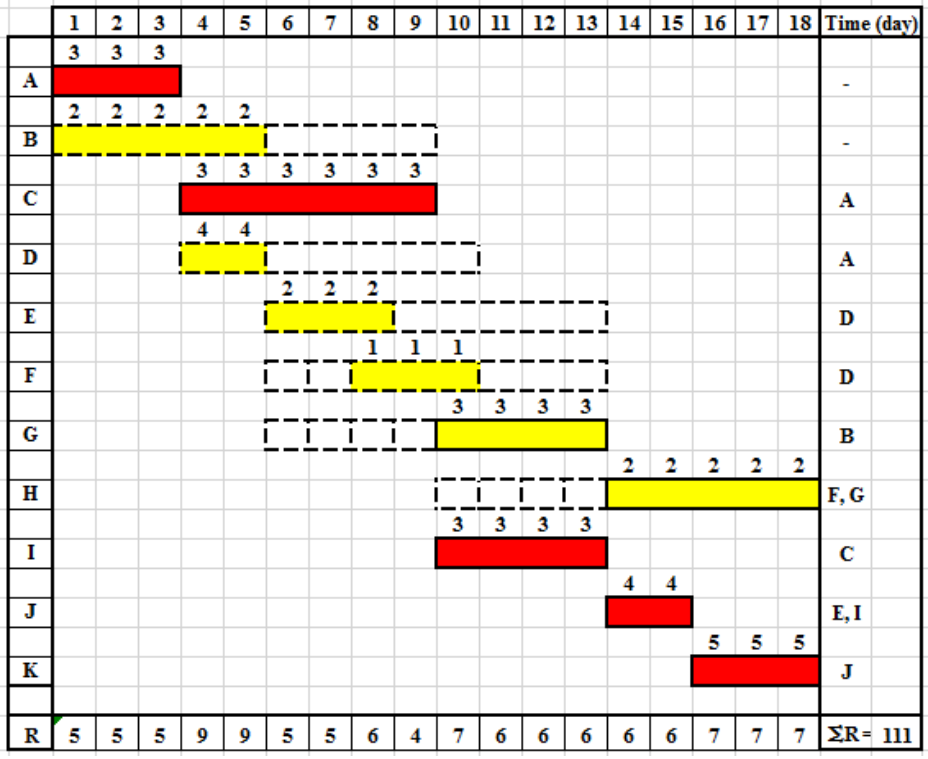
8. Move H by 4-day and G by 3-day



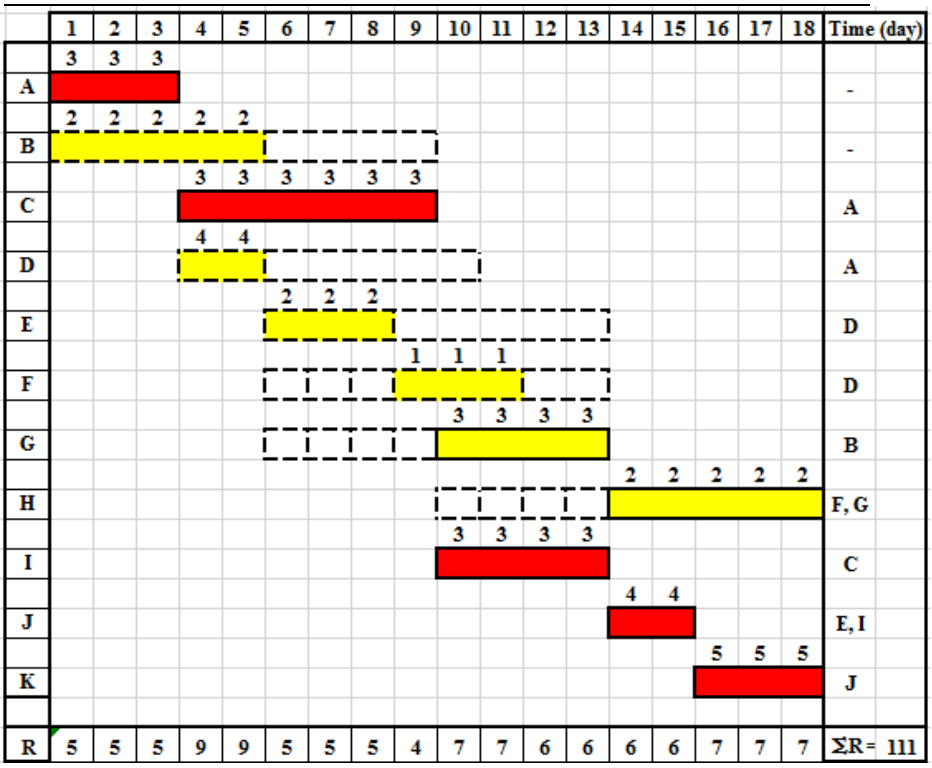
9. Move H by 4-day and G by 4-day



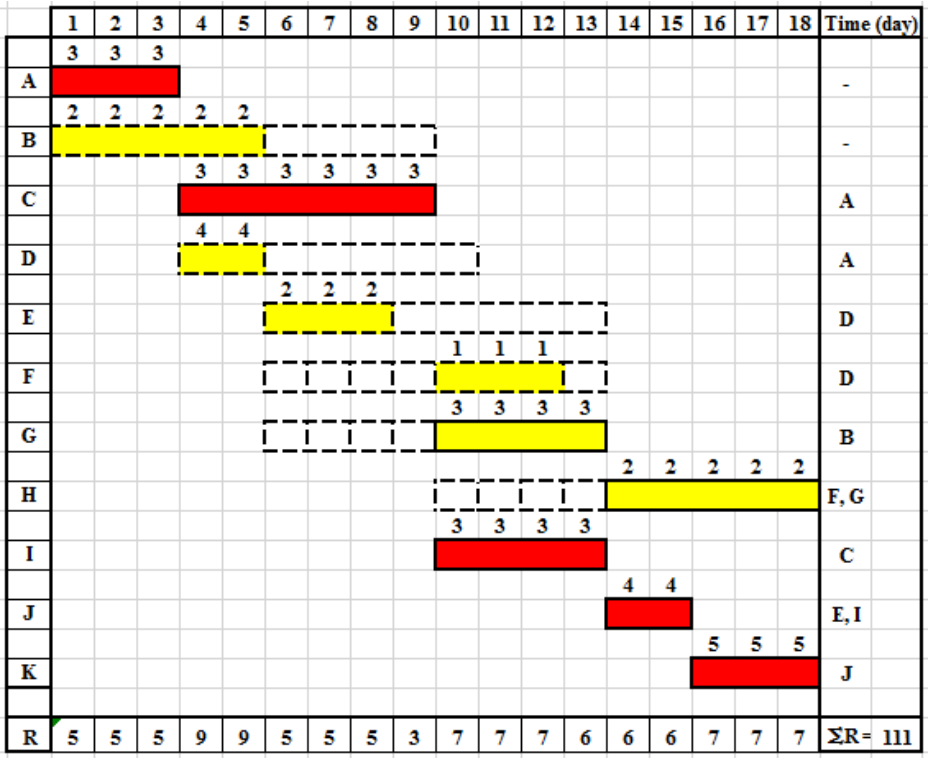
10. Move H by 4-day , G by 4-day and F by 1-day



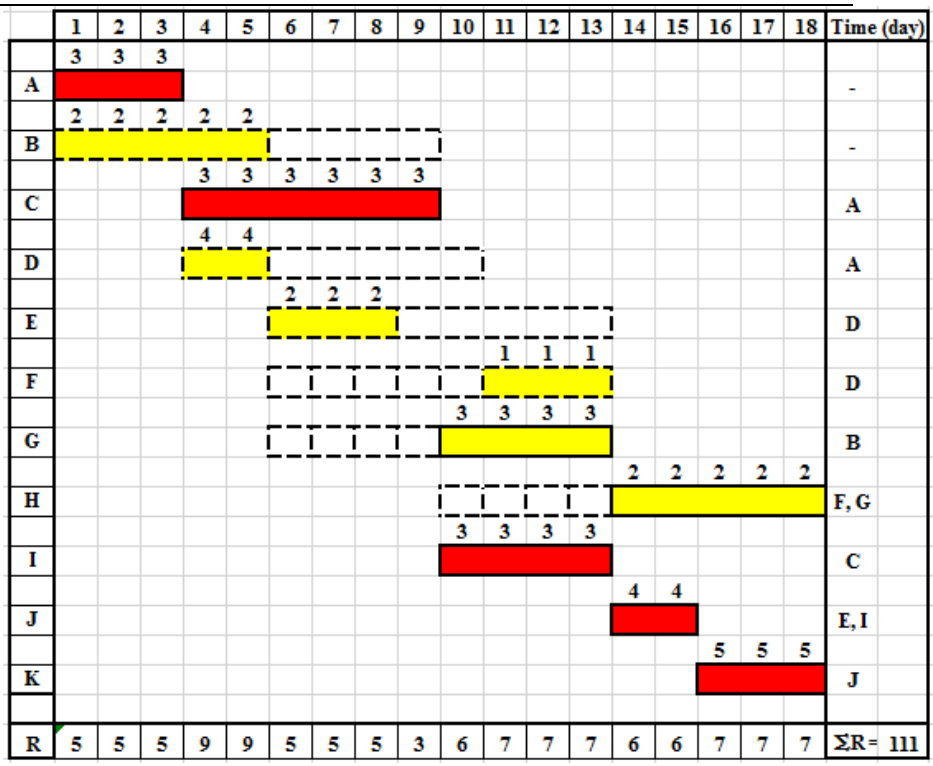
11. Move H by 4-day , G by 4-day and F by 2-day



12.Move H by 4-day , G by 4-day and F by 3-day

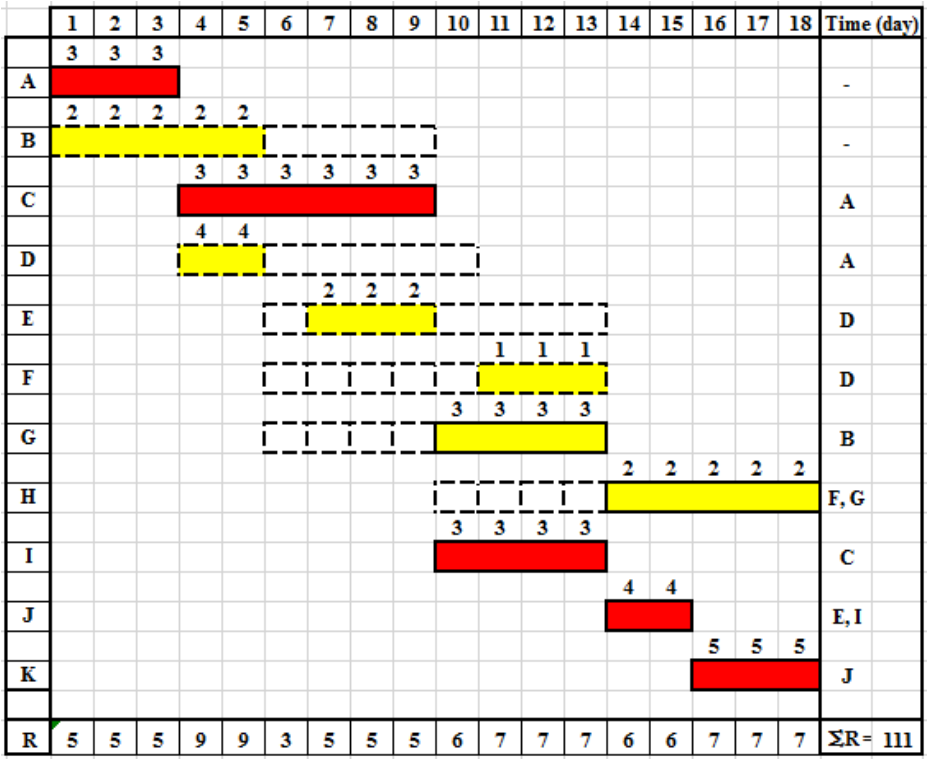


13.Move H by 4-day , G by 4-day and F by 4-day

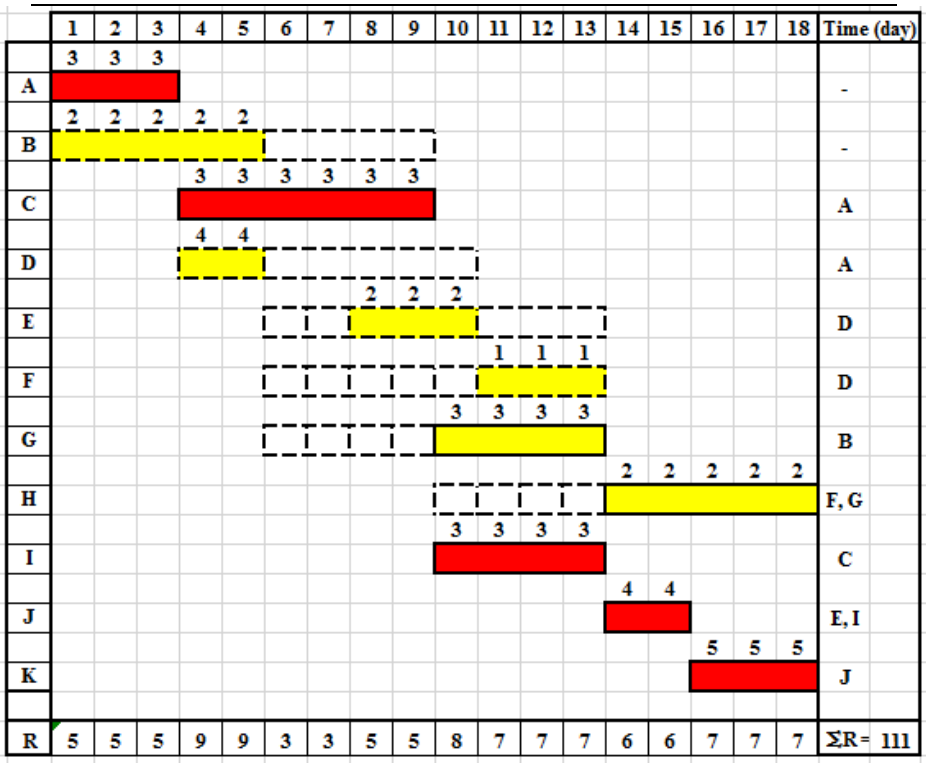


14.Move H by 4-day , G by 4-day and F by 5-day

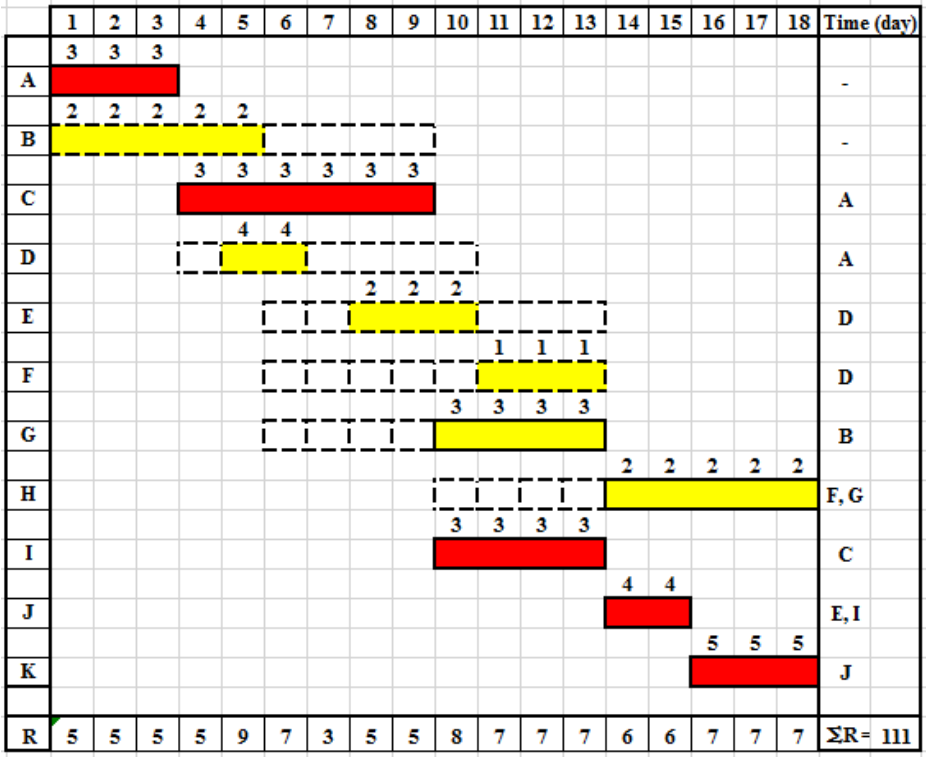
15.



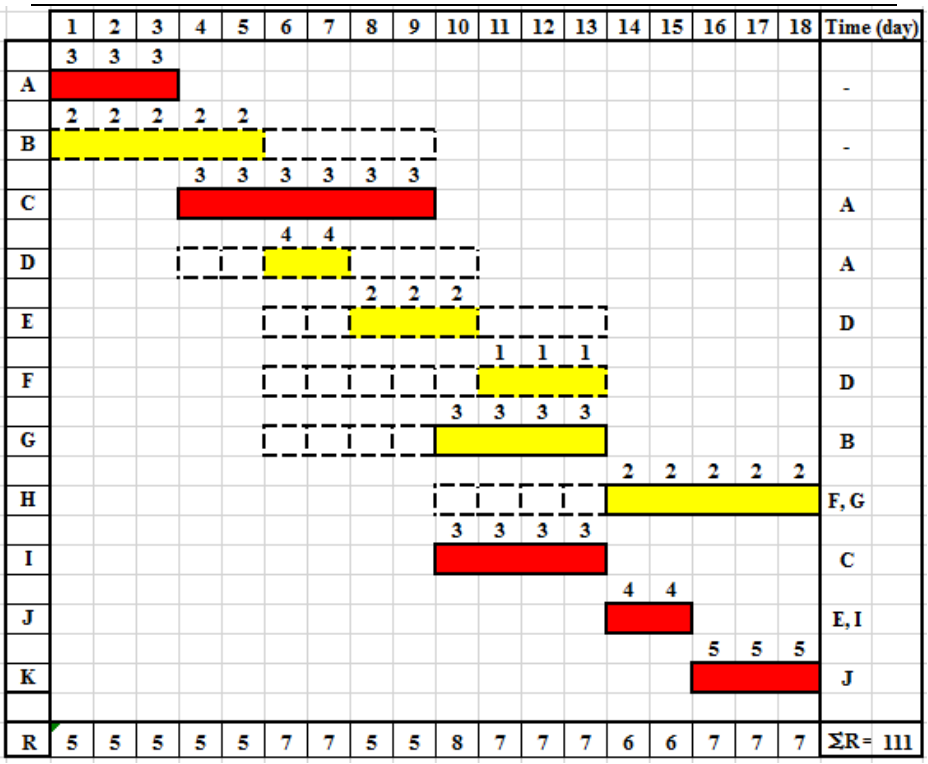
16. Move H by 4-day , G by 4-day , F by 5-day and E by 1-day



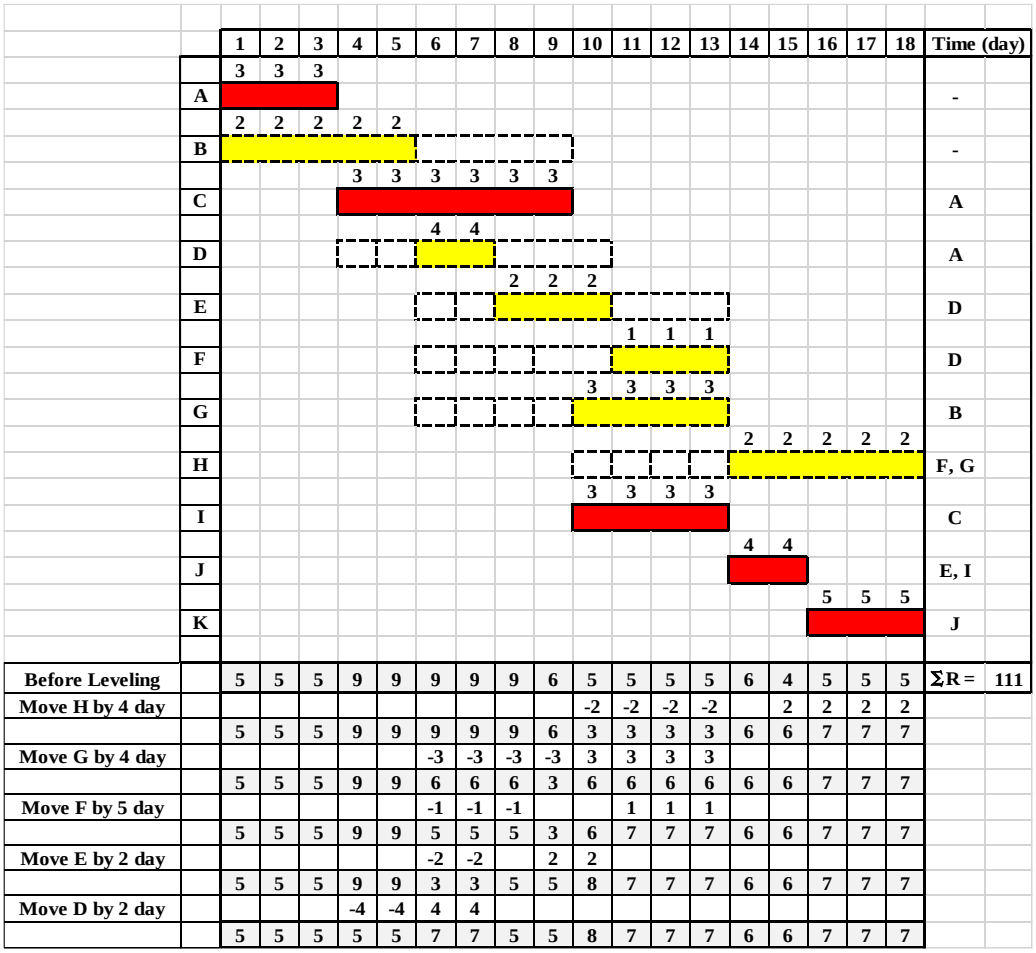
17. Move H by 4-day , G by 4-day , F by 5-day and E by 2-day



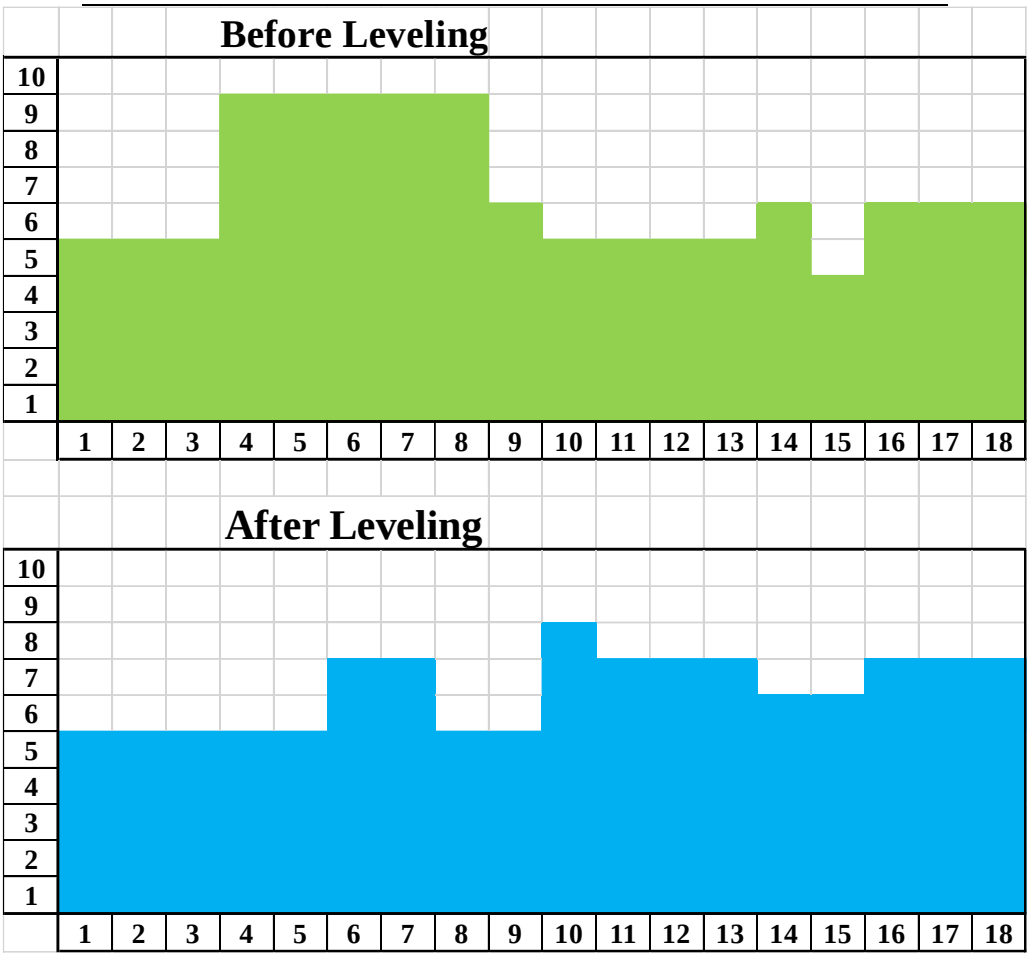
18. Move H by 4-day , G by 4-day , F by 5-day , E by 2-day and D by 1-day



19. Move H by 4-day , G by 4-day , F by 5-day , E by 2-day and D by 2-day



Before Leveling		5	5	5	9	9	9	9	9	6	5	5	5	5	6	4	5	5	5	ΣR = 111
Move H by 4 day											-2	-2	-2	-2		2	2	2	2	
		5	5	5	9	9	9	9	9	6	3	3	3	3	6	6	7	7	7	
Move G by 4 day							-3	-3	-3	-3	3	3	3	3						
		5	5	5	9	9	6	6	6	3	6	6	6	6	6	6	7	7	7	
Move F by 5 day							-1	-1	-1			1	1	1						
		5	5	5	9	9	5	5	5	3	6	7	7	7	6	6	7	7	7	
Move E by 2 day							-2	-2		2	2									
		5	5	5	9	9	3	3	5	5	8	7	7	7	6	6	7	7	7	
Move D by 2 day					-4	-4	4	4												
		5	5	5	5	5	7	7	5	5	8	7	7	7	6	6	7	7	7	



Average Resources Required = 111 ÷ 18 = 6.17 ≈ 7

Efficiency Usage of Resources

1- Before Smoothing

Let us use the max. Resource as available resource = 9
Total available resource = 9 × 18 = 162
Total usage resource = 111
Efficiency = 111 ÷ 162 = 0.685 = 68.5%

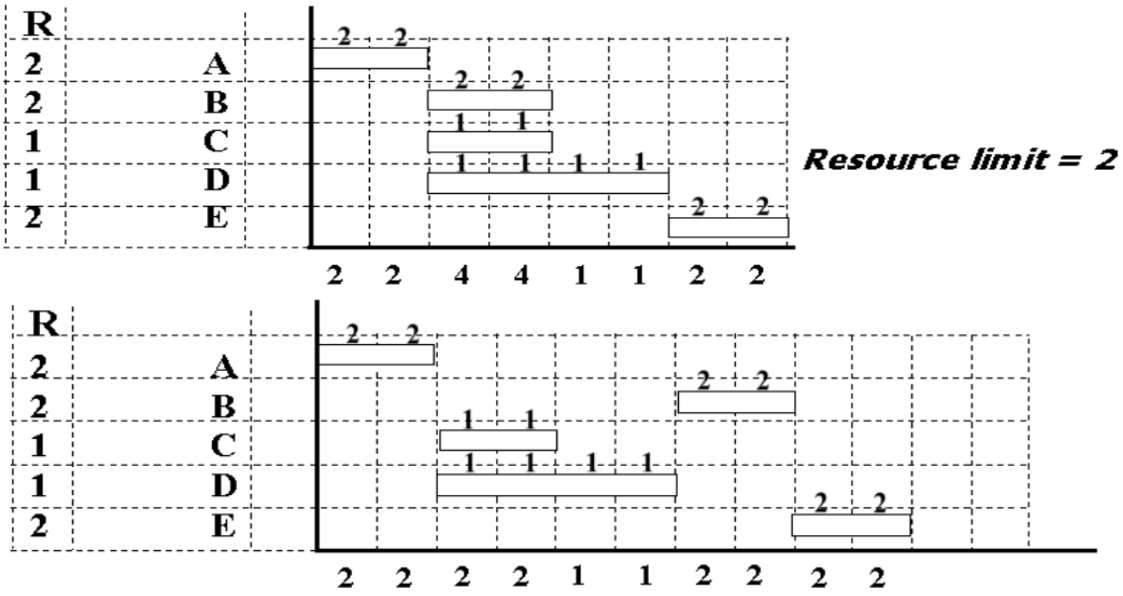
2- After Smoothing

Let us use the max. Resource as available resource = 8
Total available resource = 8 × 18 = 144
Total usage resource = 111
Efficiency = 111 ÷ 144 = 0.771 = 77.1%

B. Resource Scheduling

- Reduce the resource usage to be less than the average resource required.
- Constrained Resources; available resources are less than the average resource required
- Unconstrained project duration; project time may be delayed
- The objective is to calculate a minimum project time delay to meet the resources limits

Resource Scheduling: Is a way to prioritize activities that compete for the limited resources so that the net project delay is minimized?



Act.	Dep.	Dur.	R
A	-	2	2
B	A	2	2
C	A	2	1
D	A	4	1
E	B,C,D	2	2

Example 1:

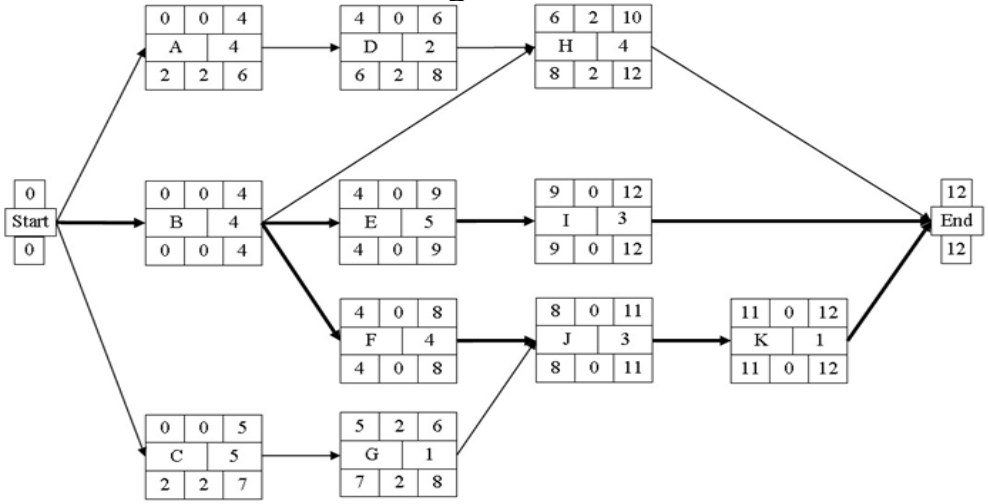
The activities involved in the construction of a certain project are given in the table below. One resource type will be used during the contract. It is required to schedule the project above so that the weekly resource requirements do not exceed 3 machines.

Activity	Dependency	Duration (Weeks)	Number of machines (Units/Week)
A	-	4	1
B	-	4	1
C	-	5	2
D	A	2	2
E	B	5	1
F	B	4	1
G	C	1	1
H	B, D	4	1
I	E	3	1
J	F, G	3	2
K	J	1	3

Solution: -

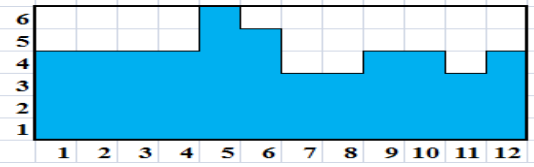
Act.	Dep.	Dur.	R	LS	TF
B	-	4	1	0	0
A	-	4	1	2	2
C	-	5	2	2	2
E	B	5	1	4	0
F	B	4	1	4	0
D	A	2	2	6	2
G	C	1	1	7	2
J	F, G	3	2	8	0
H	B, D	4	1	8	2
I	E	3	1	9	0
K	J	1	3	11	0

A. Draw the Network Diagram



B. Drawing the Bar Chart of the project

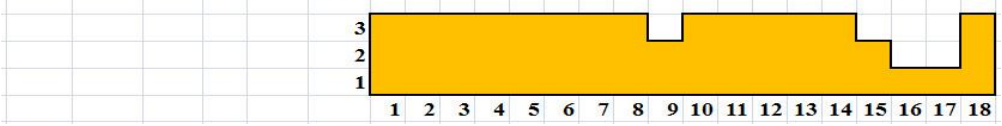
Act.	Dep.	Dur.	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	-	4	1	1	1	1	1								
B	-	4	1	1	1	1	1								
C	-	5	2	2	2	2	2	2							
D	A	2	2					2	2						
E	B	5	1					1	1	1	1	1			
F	B	4	1					1	1	1	1				
G	C	1	1						1						
H	B, D	4	1							1	1	1	1		
I	E	3	1										1	1	1
J	F, G	3	2									2	2	2	
K	J	1	3												3
		ΣR=	48	4	4	4	4	6	5	3	3	4	4	3	4



C. Prioritise activities according to the following rules, priority goes to the activity that has:
   a. Earliest Late Start (LS)
   b. If a tie, Lowest Total Float (TF)
   c. If a tie, consider sequence

D. Draw the Bar chart (Gantt chart) so that the weekly resource requirement does not exceed the limit available. As illustrated in the following Chart:

Act.	Dep.	Dur.	R	LS	TF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
B	-	4	1	0	0	1	1	1	1														
A	-	4	1	2	2					1	1	1	1										
C	-	5	2	2	2	2	2	2	2	2													
E	B	5	1	4	0						1	1	1	1	1								
F	B	4	1	4	0						1	1	1	1									
D	A	2	2	6	2										2	2							
G	C	1	1	7	2											1							
J	F, G	3	2	8	0												2	2	2				
H	B, D	4	1	8	2												1	1	1	1			
I	E	3	1	9	0															1	1	1	
K	J	1	3	11	0																		3
				ΣR=	48	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	1	1	3
				ΣR^2=	136	9	9	9	9	9	9	9	9	4	9	9	9	9	9	4	1	1	9



4. Programme Evaluation and Review Technique (PERT)
التخطيط باستخدام (طريقة بيرت)

❖ يعد أسلوب بيرت (PERT) من الأساليب التي تعتمد على المخططات الشبكية في برمجة المشاريع الإنشائية.
❖ ويعتبر من الأساليب الحديثة حيث جرى تطويره سنة 1959 عندما أستخدم بشكل ناجح في برمجة فعاليات مشروع صواريخ من قبل البحرية الأمريكية
❖ يختلف هذا من ناحية كونه يعتمد على نظرية الاحتمالات الإحصائية في اختيار ثلاث قيم لأزمنة الفعاليات وهي كما يلي:-

1- Optimistic Time (a) الوقت المتفائل: هو اقصر وقت لتنفيذ الفعالية
2- Pessimistic Time (b) الوقت المتشائم: هو أطول وقت لتنفيذ الفعالية
3- Most Likely Time (m) الوقت الأكثر احتمالا: هو قيمة وسطية بينهما

❖ فرضيات طريقة بيرت (PERT) هي ما يلي:-
1- أزمنة الفعاليات يتم تحديدها باستخدام قيم تقديرية بحيث تخضع للتوزيع الطبيعي ويكون لها متوسط mean (T) وانحراف معياري Standard Deviation (S) وتباين Variance (V)
2- باستخدام القيم المتوسطة للزمن (T) وقيم التباين (V) يمكن حساب التوزيع الأكثر احتمالا لزمن المسار الحرج للمشروع

خطوات الحل :
1- حساب الزمن المتوقع أو القيمة المتوسطة (t) لجميع الأنشطة او الفعاليات
2- تحديد المسار الحرج وحساب الزمن المتوسط للمشروع (T)
3- حساب الانحراف المعياري أو القياسي (S) وقيمة التفاوت في المدة (V) على التوالي لكل نشاط حرج
4- حساب مقدار التفاوت للمسار الحرج(Vcp)
5- حساب الانحراف المعياري للمسار الحرج (Scp)
6- أيجاد احتمالية المشروع في زمن معين وكالاتي:
a. حساب قيمة Z للزمن المراد إيجاد الاحتمالية عنده $=T_s$
b. استخراج قيمة الاحتمالية المقابلة لقيمة Z من جدول الاحتمالية
7- القيمة المناظرة ل Z هي ال (P) : احتمالية تنفيذ النشاط في الزمن المطلوب .

قوانين:

$$t = \frac{a + 4m + b}{6} \quad , \quad S = \frac{(b - a)}{6} , \quad V = (S)^2$$

$$T = \sum t \text{ critical} \ , \quad V_{cp} = \sum V \ , S_{cp} = \sqrt{\sum V} , \quad Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}},$$

حيث أن :

a → Optimistic Activity Duration
أقل زمن يمكن تنفيذ النشاط خلاله علي أساس أن جميع الأمور سوف تسير علي ما يرام.
b → Pessimistic Activity Duration
أطول زمن يستغرقه تنفيذ البند وذلك بفرض وجود عقبات قد تعترض أعمال التنفيذ.
m → Most Likely Activity Duration. الزمن الأكثر احتمالا لتنفيذ البند

t : الزمن المتوقع او القيمة المتوسطة للفعاليات (Activity mean time)

T : الزمن المتوسط للمشروع (Critical Path mean time)

S : الانحراف المعياري او القياسي للنشاط او الفعالية (Activity standard deviation)

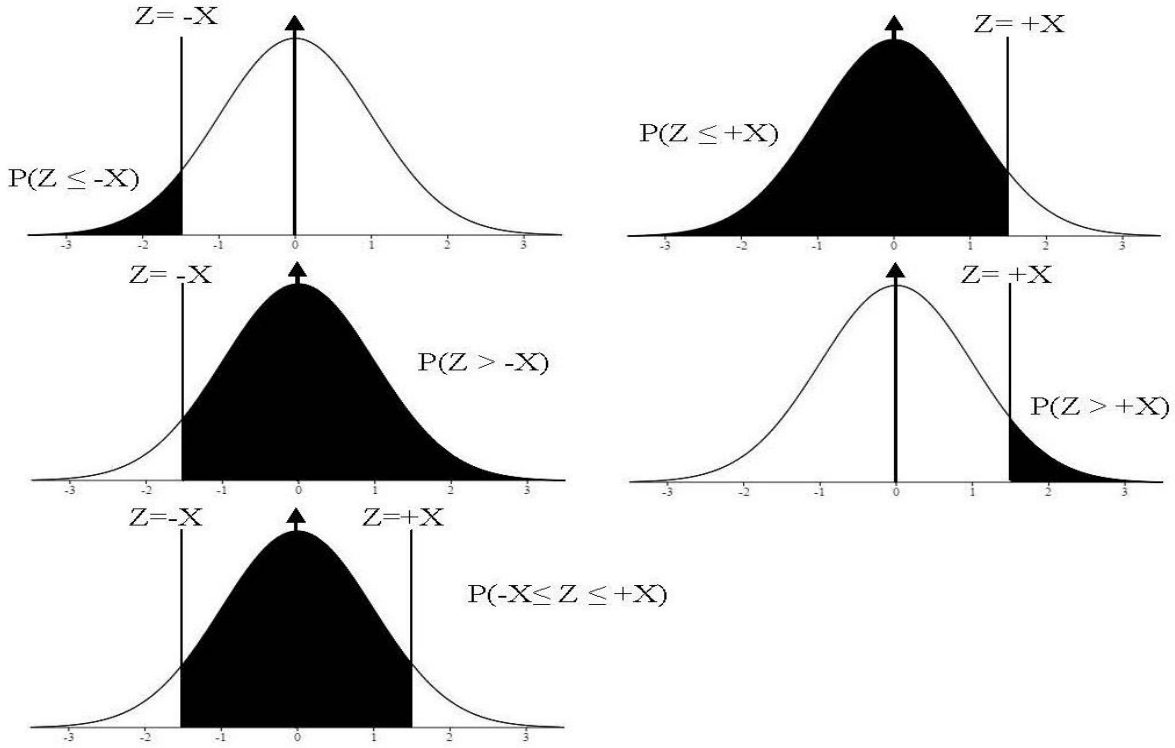
V: قيمة التفاوت في المدة لكل فعالية (Activity variation)

V_{cp} : مقدار التفاوت للمسار الحرج (Critical path variation)

S_{cp} : الانحراف المعياري للمسار الحرج *(Critical path standard deviation)*

Z: الانحراف المعياري عن المتوسط *(NO. of standard deviation from Mean)*

Ts*: any time you choose*



Z	P	Z	P	Z	P	Z	P
-3	0	-0.9	0.18	0.1	0.54	1	0.84
-2.5	0.01	-0.8	0.21	0.2	0.58	1.1	0.86
-2	0.02	-0.7	0.24	0.3	0.63	1.2	0.88
-1.5	0.07	-0.6	0.27	0.4	0.66	1.3	0.9
-1.4	0.08	-0.5	0.31	0.5	0.69	1.4	0.92
-1.3	0.1	-0.4	0.34	0.6	0.73	1.5	0.93
-1.2	0.12	-0.3	0.38	0.7	0.76	2	0.98
-1.1	0.14	-0.2	0.42	0.8	0.79	2.5	0.99
-1	0.16	-0.1	0.46	0.9	0.82	3	1
		0	0.5				

مثال 1: الجدول التالي يبين عدد من الفعاليات لاحد المشاريع الانشائية وعلاقة كل منها بالأنشطة الأخرى وقيم كل من ال a,m,b .المطلوب تخطيط المشروع بطريقة برت PERT بعدها اجب عن الاسئلة التالية:

Activity	a	m	b	Preceded by
A	6	8	10	-
B	1	7	12	A
C	5	6	7	A
D	5	5	12	B
E	2	4	8	B
F	1	5	7	D
G	6	7	7	F

1. إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 32.5 أسبوع ؟
2. إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 33 أسبوع ؟
3. إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 38 أسبوع ؟
4. إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 36 أسبوع ؟
5. أوجد زمن انتهاء المشروع باحتمالية 93% ؟

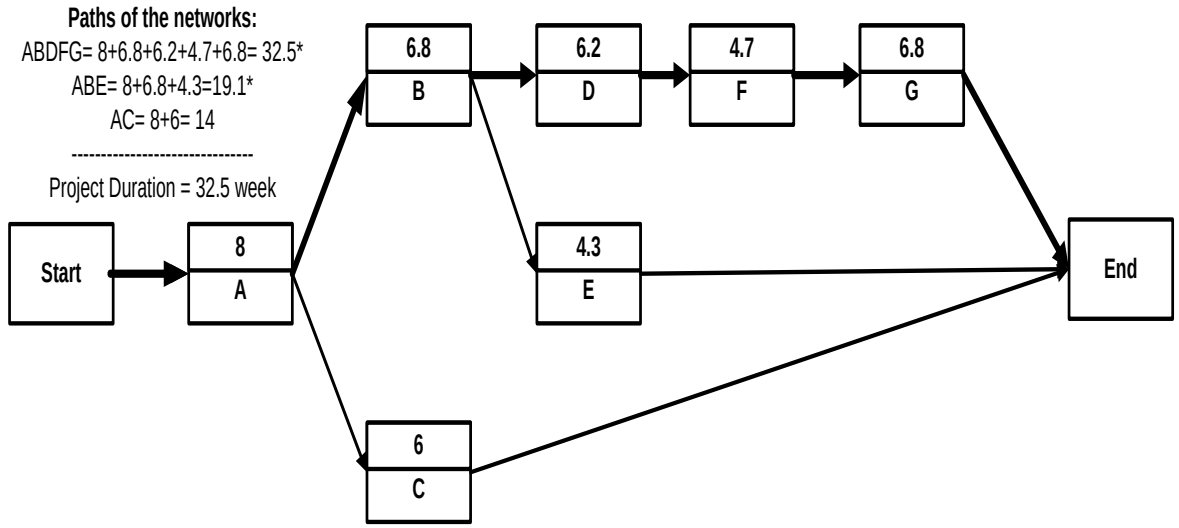
Solution

نقوم بحساب t لجميع الأنشطة حيث:

$$t = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Activity	a	m	b	t
A	6	8	10	8.00
B	1	7	12	6.83
C	5	6	7	6.00
D	5	5	12	6.17
E	2	4	8	4.33
F	1	5	7	4.67
G	6	7	7	6.83

نحدد الأنشطة الحرجة:



نقوم بحساب V , S للأنشطة الحرجة حيث :

$$S = \frac{(b-a)}{6}, \qquad V = (S)^2$$

Critical Activity	a	m	b	t	S	V
A	6	8	10	8.00	0.67	0.44
B	1	7	12	6.83	1.83	3.36
D	5	5	12	6.17	1.17	1.36
F	1	5	7	4.67	1.00	1.00
G	6	7	7	6.83	0.17	0.03
المجموع				32.50		6.19

نقوم بحساب

$$T = \sum t = 32.5, \qquad S_{cp} = \sqrt{\sum V \text{ critical}} = \sqrt{6.19} = 2.49$$

إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 32.5 أسبوع ؟

$$Z_{32.5} = \frac{Ts - T}{Scp} = \frac{32.5 - 32.5}{2.49} = 0$$

$P_{32.5}$ = 50 % from the Table

إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 33 أسبوع ؟

$$Z_{33} = \frac{Ts - T}{Scp} = \frac{33 - 32.5}{2.49} = 0.2$$

P_{33} = 58 % from the Table

إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 38 أسبوع ؟

$$Z_{38} = \frac{Ts - T}{Scp} = \frac{38 - 32.5}{2.49} = 2.21$$

Find P for Z= 2.21 (from the Z-Table)

Z	P
2	0.98
2.21	x
2.5	0.99

$$\frac{0.99 - 0.98}{2.5 - 2} = \frac{x - 0.98}{2.21 - 2} \Rightarrow x = 0.984$$

P_{38} = 0.984 = 98.4% from the Z-Table

إيجاد احتماليه إنهاء المشروع في زمن 36 أسبوع ؟

$$Z_{36} = \frac{Ts - T}{Scp} = \frac{36 - 32.5}{2.49} = 1.41$$

Find P for Z= 1.41 (from the Z-Table)

Z	P
1.4	0.92
1.41	x
1.5	0.93

$$\frac{0.93 - 0.92}{1.5 - 1.4} = \frac{x - 0.92}{1.41 - 1.4} \Longrightarrow x = 0.921$$

P_{36} = 0.921 = 92.1 % from the Z-Table

أوجد الزمن الذي ينتهي فيه المشروع باحتمالية علي الأقل 93% ؟

من الجدول نجد أن قيمة Z عند 0.93 ← from table, when P = 0.93 → Z = 1.5

$$Z_{P=0.93} = \frac{Ts - T}{Scp} = 1.5 \rightarrow 1.5 = \frac{\text{Ts} - 32.5}{2.49} \rightarrow \text{Ts} = 36.24 = 37 \text{ weeks}$$

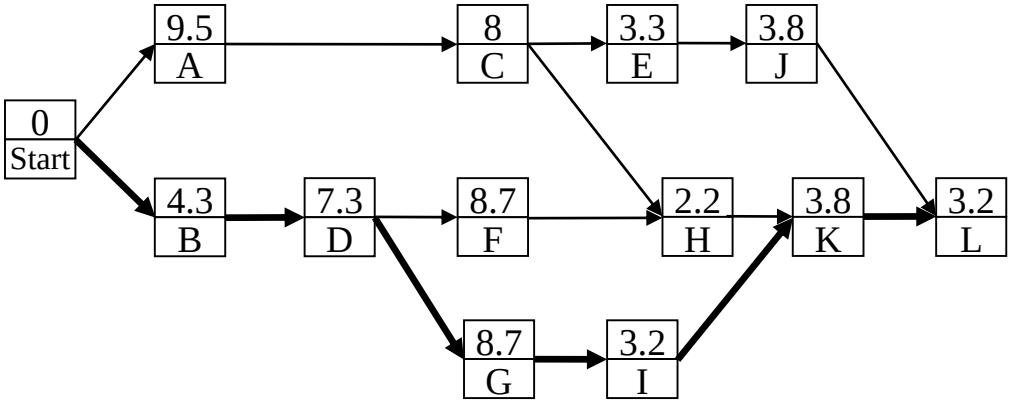
مثال 2: للمشروع التالي اوجد ما يلي: -

1- احتمال انجاز المشروع في 27 يوم أو اقل
2- احتمال انجاز المشروع في أكثر 27 يوم
3- احتمال تأخر انجاز المشروع إلى فترة أكثر من 35 يوم
4- احتمال انجاز المشروع في فترة 35 أقل يوم

Act.	Preceded by	a	m	b
A	-	6	9	15
B	-	2	4	8
C	A	6	8	10
D	B	4	7	12
E	C	2	3	6
F	D	4	7	9
G	D	5	9	11
H	F, C	1	2	4
I	G	2	3	5
J	E	1	4	6
K	H, I	2	4	5
L	K, J	2	3	5

الحل: -

Act.	Preceded by	a	m	b	t	V
A	-	6	9	15	9.5	2.25
B	-	2	4	8	4.3	1
C	A	6	8	10	8	0.448
D	B	4	7	12	7.3	1.76
E	C	2	3	6	3.3	0.448
F	D	4	7	9	8.7	1
G	D	5	9	11	8.7	1
H	F, C	1	2	4	2.2	0.25
I	G	2	3	5	3.2	0.25
J	E	1	4	6	3.8	0.25
K	H, I	2	4	5	3.8	0.25
L	K, J	2	3	5	3.2	0.25



Paths:

A C E J L = 9.5 + 8 + 3.3 + 3.8 + 3.2 = 27.8

A C H K L = 9.5 + 8 + 2.2 + 3.8 + 3.2 = 26.7

B D F H K L = 4.3 + 7.3 + 8.7 + 2.2 + 3.8 + 3.2 = 29.5

B D G I K L = 4.3 + 7.3 + 8.7 + 3.2 + 3.8 + 3.2 = 30.5 (Critical Path)

T = 30.5

V_{cp} = 1 + 1.76 + 1 + 0.25 + 0.25 + 0.25 = 4.51

$$S_{cp} = \sqrt{V_{cp}} = \sqrt{4.51} = 2.12$$

1- Probability for T_s=27 day

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{27 - 30.5}{2.12} = -1.65$$

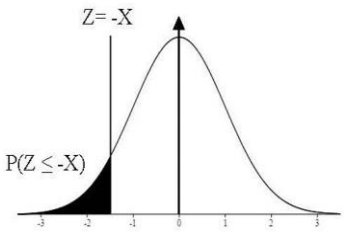
For Z= –1.65. find P

Z	P
–2	0.02
–1.65	X
–1.5	0.07

$$\frac{-1.5-(-2)}{0.07-0.02} = \frac{-1.65-(-2)}{x-0.02} \Rightarrow x = 0.0549$$

For $T_s \leq 27$ day, P = 0.0549 = 5.49% for Z = –1.65 (From Z-table)

2- For $T_s > 27$ day, P = 1 – 0.0549 = 100–5.49 = 0.945=94.51%



3- For $T_s = 35$ day

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{35 - 30.5}{2.12} = 2.12$$

For $T_s \leq 35$ day, P = 0.982 = 98.2% for Z = 2.12 (From Z-table)

4- For $T_s > 35$ day, P = 1 – 0.982 = 100 – 98.2 = 0.018 = 1.8%

$a_T = T - 3\ S_{cp} = 30.5 - 3\ (2.12) = 24.14$ الوقت المتفائل لإنجاز المشروع

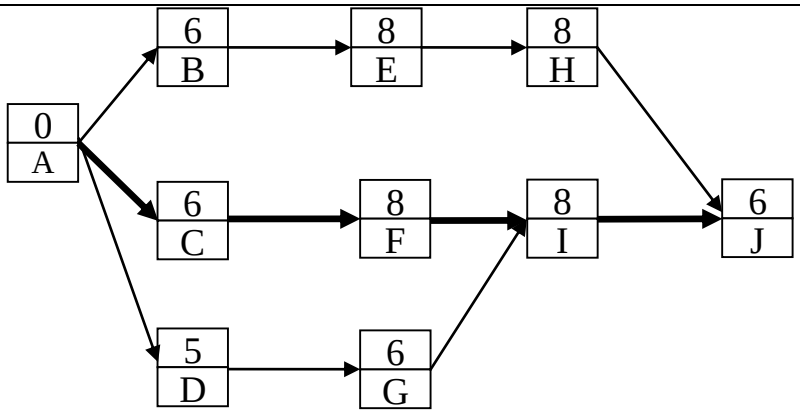
$b_T = T + 3\ S_{cp} = 30.5 + 3\ (2.12) = 36.86$ الوقت المتشائم لإنجاز المشروع

مثال 3: أوجد احتمال انجاز المشروع في 30 يوم أو اقل واحتمال انجازه في فترة أكثر

Act.	Preceded by	a	m	b
A	1	3	6	9
B	A	5	6	7
C	A	4	6	8
D	A	4	5	6
E	B	7	8	9
F	C	6	8	10
G	D	5	6	7
H	E	7	8	9
I	F, G	6	8	10
J	H, I	4	8	8

الحل: -

Act.	Preceded by	a	m	b	t	V
A	1	3	6	9	6	1
B	A	5	6	7	6	0.11
C	A	4	6	8	6	0.44
D	A	4	5	6	5	0.11
E	B	7	8	9	8	0.11
F	C	6	8	10	8	0.44
G	D	5	6	7	6	0.11
H	E	7	8	9	8	0.11
I	F, G	6	8	10	8	0.44
J	H, I	4	8	8	6	0.44



Paths

A B E H J = 6 + 6 + 8 + 8 + 6 = 34 (V = 1.78)

A C F I J = 6 + 6 + 8 + 8 + 6 = 34 (V = 2.78)

A D G I J = 6 + 5 + 6 + 8 + 6 = 31

V_{cp}= 1 + 0.44 + 0.44+ 0.44 + 0.44 =2.76

$$S_{cp} = \sqrt{V_{cp}} = \sqrt{2.78} = 1.66$$

Critical path is the longest path and generally will have the lowest probability of being completed by the desired time. The noncritical paths should have a higher probability of being completed on time.

It may be desirable to consider the probability calculation for a noncritical path if the path activities have little slack, if the path completion time is almost equal to the critical path completion time, or if the path activity times have relatively high variances. When all of these situations occur, the noncritical path may have a probability of completion on time that is less than the critical path.

1- Probability for T_s=30 day

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{30 - 34}{1.66} = -2.41$$

For $T_s \leq 30$ day, P = 0.012 = 1.2 % for Z = –2.40 (From Z-table)

For $T_s > 30$ day, P = 1 – 0.012 = 100 – 1.2= 0.988 = 98.8%

2- Probability for T_s=36 day

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{36 - 34}{1.66} = 1.20$$

For $T_s \leq 36$ day, P = 0.88 = 88% for Z = 1.20 (From Z-table)

For $T_s > 36$ day, P = 1 – 088 = 100 – 88 = 0.12 = 12%

Find T_s for P=100% أحسب الزمن الأكثر احتمالا لإنجاز المشروع

Z= 3 for P=100% or P=1 (from Z-Table)

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} \quad \Rightarrow \quad 3 = \frac{T_s - 34}{1.66} \Rightarrow \quad T_s = 38.98 = 39\ day$$

$a_T = T - 3\ S_{cp} = 34 - 3\ (1.66) = 29$ الوقت المتفائل لإنجاز المشروع

$b_T = T + 3\ S_{cp} = 34 + 3\ (1.66) = 39$ الوقت المتشائم لإنجاز المشروع

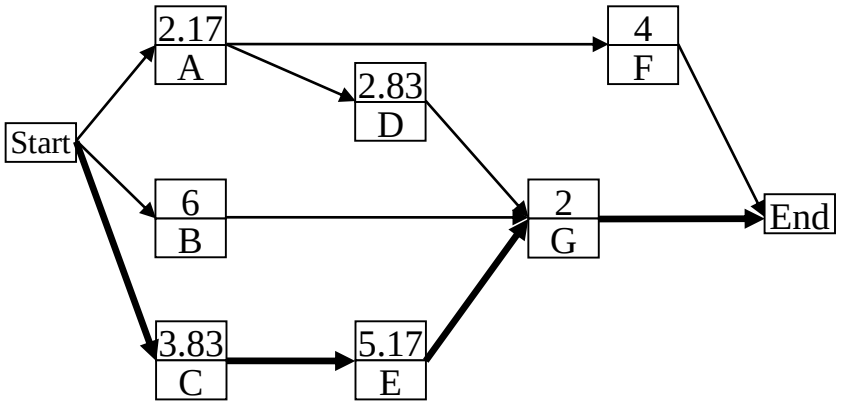
مثال 4: أوجد الاتي للمشروع الموضحة تفاصيله في الجدول ادناه:

1- احتمال انجاز المشروع في 10 يوم أو اقل
2- احتمال انجاز المشروع في 13 يوم أو اقل
3- احتمال انجاز المشروع في ضمن الفترة الزمنية بين 9 و 11.5يوم

Activity	Predecessor	a	m	b
A	-	1	2	4
B	-	5	6	7
C	-	2	4	5
D	A	1	3	4
E	C	4	5	7
F	A	3	4	5
G	B, D, E	1	2	3

الحل:-

Activity	Predecessor	a	m	b	t	V
A	-	1	2	4	2.17	0.25
B	-	5	6	7	6.00	0.11
C	-	2	4	5	3.83	0.25
D	A	1	3	4	2.83	0.25
E	C	4	5	7	5.17	0.25
F	A	3	4	5	4.00	0.11
G	B, D, E	1	2	3	2.00	0.11



Paths

A F = 2.17 + 4 = 6.17
A D G = 2.17 + 2.83 + 2= 7
B G = 6 + 2 = 8
C E G = 3.83 + 5.17 + 2 = 11 (critical path)

$V_{cp} = 0.25 + 0.25 + 0.11 = 0.61$

$$S_{cp} = \sqrt{V_{cp}} = \sqrt{0.61} = 0.78$$

Probability of Ending before 10

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{10 - 11}{0.78} = -1.282$$

For $T_s \leq 10$ day, P = 0.10 = 10% for Z = –1.282 (From Z-table)

Probability of Ending before 13

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{13 - 11}{0.78} = 2.564$$

For $T_s \leq 13$ day, P = 0.991 = 99.1% for Z = 2.564 (From Z-table)

Probability of Ending between 9 and 11.5

P (9 ≤ Ts ≤ 11.5) = P (Ts ≤ 11.5) – P (Ts ≤ 9)

$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{11.5 - 11}{0.78} = 0.641$$

For $T_s \leq 11.5$ day, P = 0.742 = 74.2% for Z = 0.641 (From Z-table)

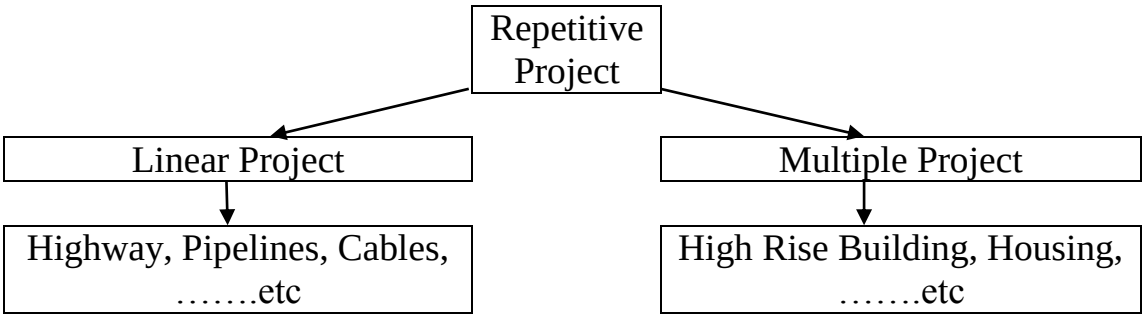
$$Z = \frac{T_s - T}{S_{cp}} = \frac{9 - 11}{0.78} = -2.564$$

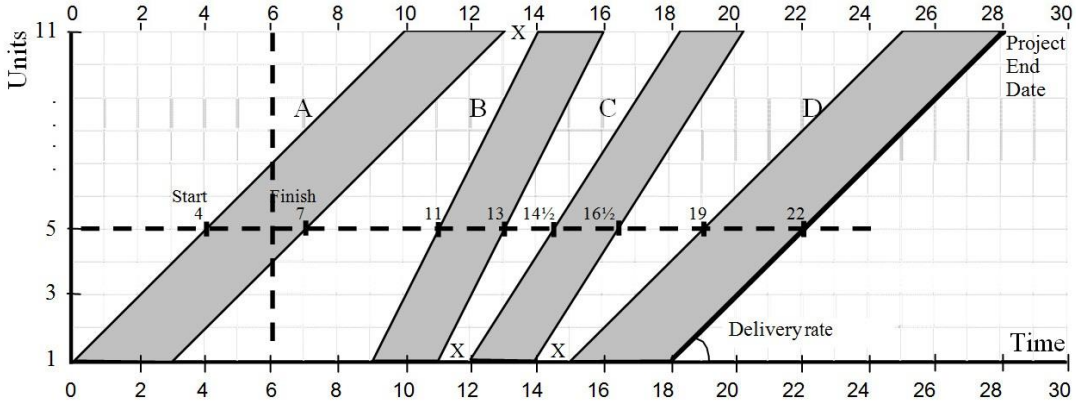
For $T_s \leq 9$ day, P = 0.009 = 0.9% for Z = – 2.564 (From Z-table)

P (9 ≤ Ts ≤ 11.5) = P (Ts ≤ 11.5) – P (Ts ≤ 9)

= 0.742 – 0.009 =74.2 – 0.9 =73.3%

5. Line of Balance (LOB) or Scheduling of Repetitive Projects





The LOB representation shows the following information:

1- Each slope bar represents one activity (A, B, or C) in the project and the width of the bar is the activity duration of one unit, which is uniform along all units.
2- A horizontal line at one unit intersects with the activity bars at the planned start and finish times of the work in that unit.
3- A vertical line at any date (time) shows the planned work that should be completed/started before and on that date
4- The slope of each activity represents its planned rate of progress and this is function of the number of crews involved in the activity.
5- The slope of the last activity is the rate of delivery of the various unit.
6- The finish time of the last activity represent the end date of the project.
7- Changing the production rate (slope) of an activity changes the project duration.
8- If relaxing an activity may result in a delay in the project, while speeding an activity may result bring forward in the project
9- A good scheduling strategy is to schedule the activities as parallel as possible to each other and also parallel to desired project delivery.
10- To prevent interference among sequential tasks of the LOB schedule in case an activity is slightly delayed a buffer time (X) may be introduced as shown, to act as a float time.

11- When a slower activity is to follow a faster activity (Ex: C follow B) the activity C can schedule starting from unit (1) immediately following the predecessor B. Since interference can be happen at unit (1), buffer time may be added to start of unit (1)

12- When a faster activity is to follow a slower activity (Ex: B follow A) the activity B reads to be scheduled starting at the top unit. If the buffer time is to be added at top

معادلات حساب LOB

$$\boldsymbol{D = \frac{M}{H \cdot D_h}} \quad \text{also, } \boldsymbol{M = H * D * Dh}$$

$$G = \frac{R_o}{W_d} \cdot \frac{M}{D_h} \text{ or } G = M * \frac{R_o}{W_h}$$

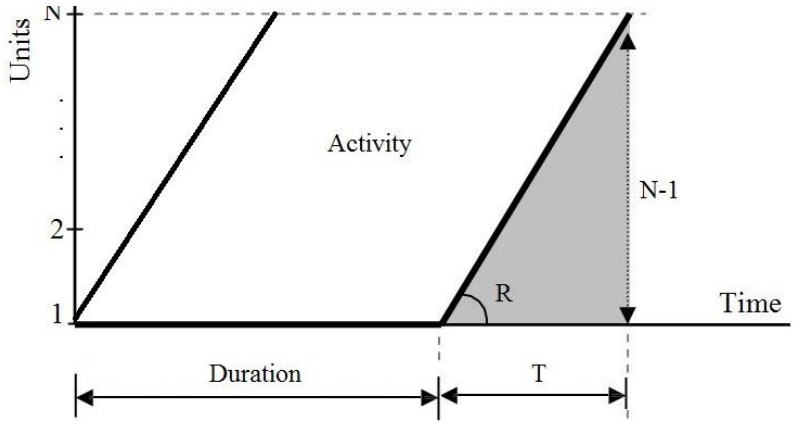
$$S = H, 2H, 3H, \ldots\ldots\ldots \geq G$$

$$\boldsymbol{R = R_o * \frac{S}{G}} \quad \text{Or } \boldsymbol{R = \frac{H}{D_o}}$$

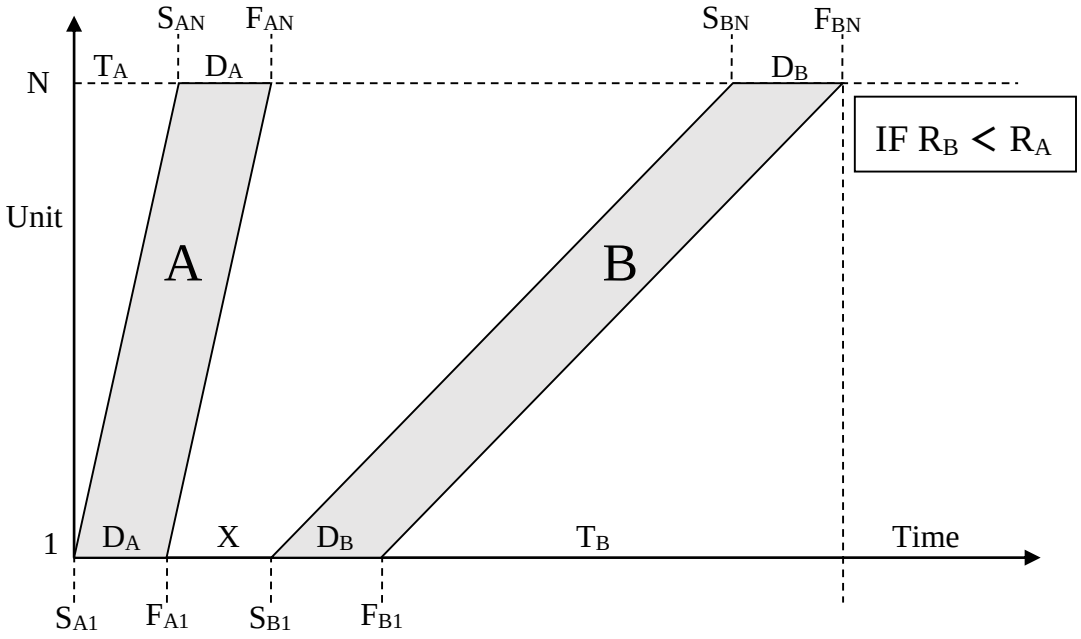
$$\boldsymbol{T_o = \frac{(N-1)*W_d}{R}} \quad \text{Or } \boldsymbol{T_o = \frac{(N-1)*D_o}{H}}$$

NB: Use W_d when R is Unit per Week not unit per Day

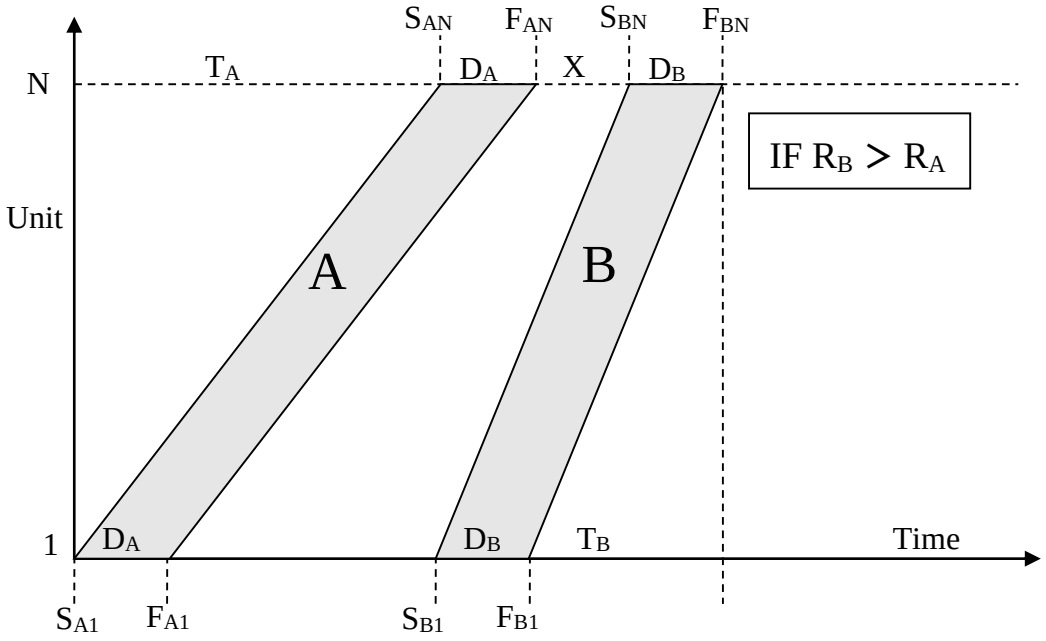
R = المعدل الفعلي لإنجاز الفعالية (بالاسبوع)
R_o = المعدل النظري لإنجاز الفعالية (بالاسبوع)
H = الحد الأدنى لحجم فريق العمل (طاقم العمل)
G = الحجم النظري لفريق العمل (طاقم العمل)
S = الحجم الفعلي لفريق العمل (طاقم العمل) وهو أكبر او يساوي G ومن مضاعفات H
D = زمن تنفيذ الفعالية
D_h = عدد ساعات العمل اليومي (في اليوم)
W_d = عدد أيام العمل الأسبوعية (في الاسبوع)
W_h = عدد ساعات العمل الأسبوعية (في الاسبوع)
M = الجهد العملي لتنفيذ الفعالية (man-hour)
T = الفارق الزمني في تنفيذ الفعالية بين الوحدة رقم 1 والوحدة الأخيرة رقم N



$$\boldsymbol{T = \frac{W_d}{R} \cdot (N-1) \text{ or } T = \frac{(N-1)*D_o}{H}}$$



$S_{A1}=0$	$S_{B1}=F_{A1}+X$
$F_{A1}=S_{A1}+D_A$	$F_{B1}=S_{B1}+D_B$
$S_{AN}=S_{A1}+T_A$	$S_{BN}=S_{B1}+T_B$
$F_{AN}=S_{AN}+D_A$	$F_{BN}=S_{BN}+D_B$



$S_{A1}=0$	$S_{BN}=F_{AN}+X$
$F_{A1}=S_{A1}+D_A$	$F_{BN}=S_{BN}+D_B$
$S_{AN}=S_{A1}+T_A$	$S_{B1}=S_{BN}-T_B$
$F_{AN}=S_{AN}+D_A$	$F_{B1}=S_{B1}+D_B$

Man-hours, or labour hours, are the number of hours it takes for a labourer to complete a unit of production. The total man hours per activity is obtained by multiplying the number of people assigned to an activity by the total time it takes to complete it.

مثال: - احسب Man–hour لفعالية يتم انجازها بواسطة فريق عمل يتكون من 4 عمال خلال 5 ايام عمل اذا كان معدل عدد ساعات العمل اليومي هو 6 ساعات . ؟

Solution: -

$$\boldsymbol{M=H*D*Dh}$$

Man–hour = 4 × 5 × 6 = 120

Example 1: Repetitive housing project

The following example illustrates the application of line of balance to a housing project where a contactor requires a programme for the construction of ten house units. The five operations that occur in the construction sequence are shown below:

Code	Operation	Dependency	Duration per unit in week (D)	Number of gangs or Crew (C)
A	Foundations	-	2	2
B	External walls	A	4	3
C	Roof Construction	B	1	1
D	Internal finishes	C	4	3
E	External works	D	2	2

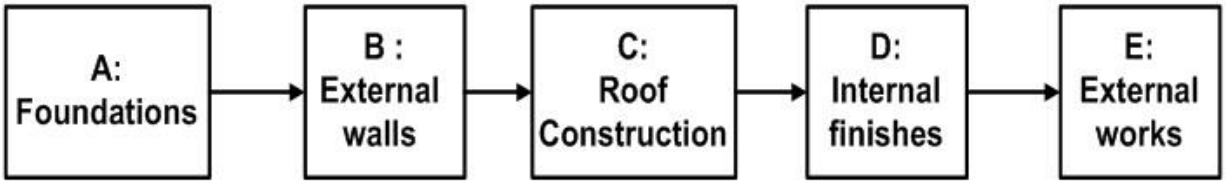
Allow a minimum Buffer (X) of 1 week between one operation and the next.

Required:

1. Draw the line of Balance Schedule for the project and find its duration.
2. Draw the progress chart (control chart) after 14 week.

Solution:

1. drawing the precedence diagram



2. Calculate the start and finish date of each operation in the construction sequence for the first and last units. This enables the balance lines to be plotted.

For operation A (Foundation)

$$R = \frac{C}{D} \qquad \Rightarrow \qquad R_A = \frac{2}{2} = 1 \text{ per week}$$

$$T = \frac{D}{C}(N-1) \qquad \Rightarrow \qquad T_A = \frac{2}{2}(10-1) = 9 \text{ weeks}$$

Start of Activity A in Unit 1 (S_{A1}) = 0

Finish of Activity A in Unit 1 (F_{A1}) = S_{A1} + Duration of Activity A (D_A) = 0 + 2 = 2

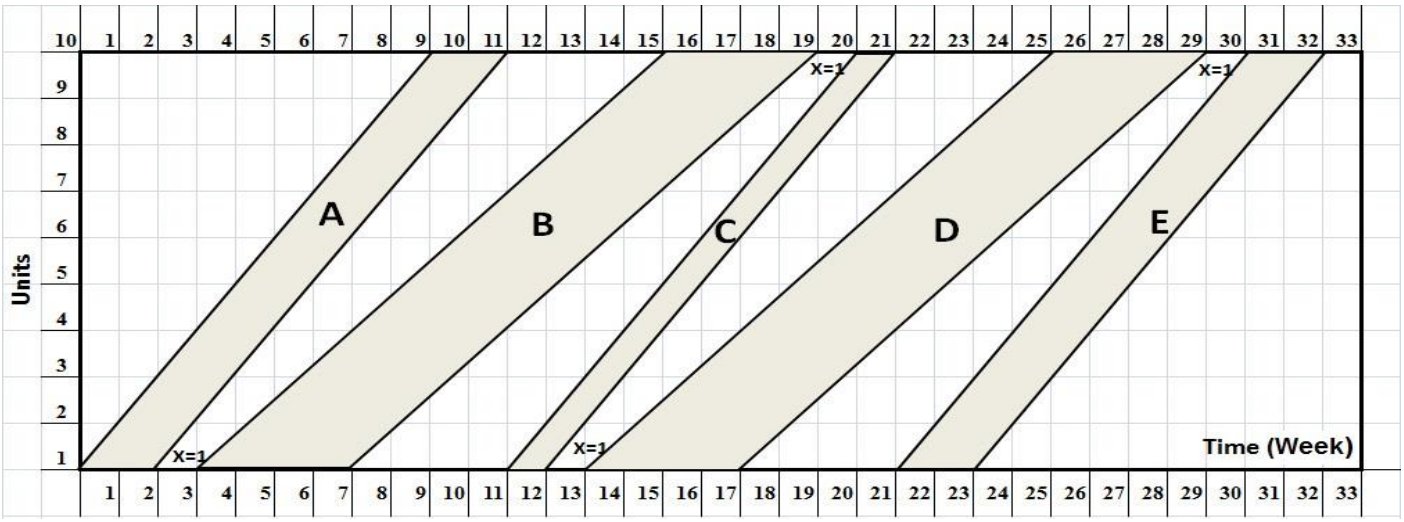
Start of Activity A in Unit N (S_{AN}) = S_{A1} + T_A = 0 + 9 = 9

Finish of Activity A in Unit N (F_{AN}) = S_{AN} + D_A = 9 + 2 = 11 (or = F_{A1}+T_A=2+9=11)

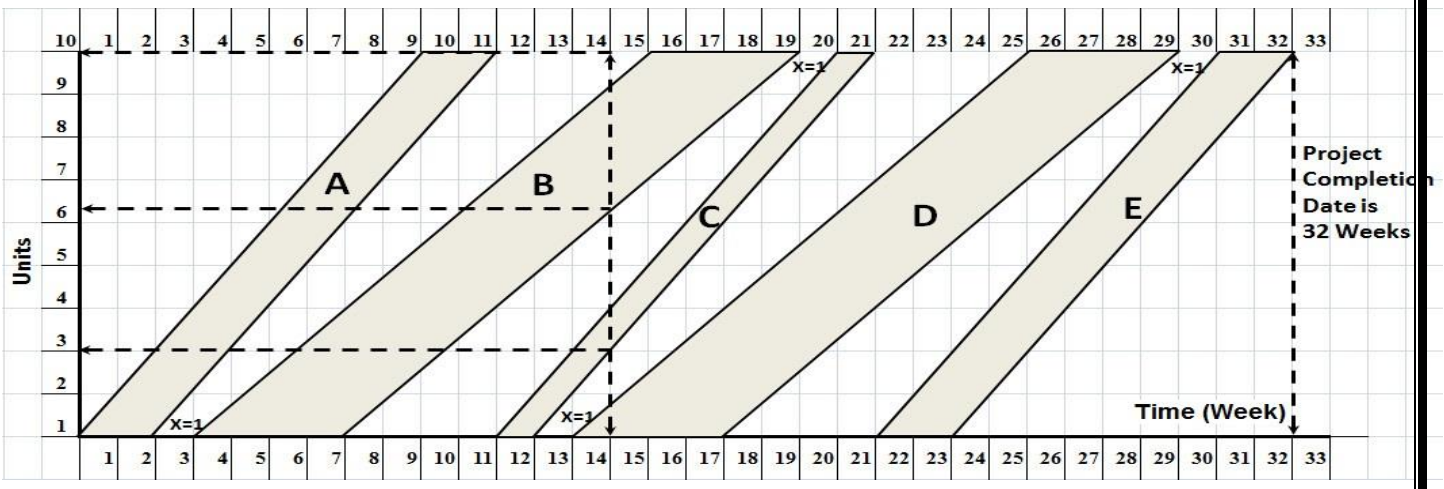
For operation B (External walls) $R_B = \frac{3}{4} = 0.75$ ∵R_B<R_A then the line will be plotted from the bottom $T_B = \frac{4}{3}(10-1) = 12$ Start of Activity B in Unit 1 (S_{B1}) = F_{A1} + X = 2 + 1 = 3 Finish of Activity B in Unit 1 (F_{B1})= S_{B1} + D_B = 3 + 4 = 7 Start of Activity B in Unit N (S_{BN})=S_{B1}+ T_B = 3 + 12 = 15 Finish of Activity B in Unit N (F_{BN})=S_{BN}+D_B=15+ 4 = 19	For operation C (Roof Construction) $R_C = \frac{1}{1} = 1$ ∵R_C>R_B then the line will be plotted from the top $T_C = \frac{1}{1}(10-1) = 9$ Start of Activity C in Unit N (S_{CN})=F_{BN}+ X = 19 + 1 = 20 Finish of Activity C in Unit N (F_{CN})=S_{CN}+D_C =20+1= 21 Start of Activity C in Unit 1 (S_{C1})=S_{CN} – T_C = 20 – 9 = 11 Finish of Activity C in Unit 1 (F_{C1})=S_{C1}+D_C= 11 + 1 = 12
For operation D (Internal finishes) $R_D = \frac{3}{4} = 0.75$ ∵R_D<R_C then the line will be plotted from the Bottom $T_D = \frac{4}{3}(10-1) = 12$ Start of Activity D in Unit 1 (S_{D1})=F_{C1} + X = 12 + 1 = 13 Finish of Activity D in Unit 1 (F_{D1})=S_{D1}+D_D=13 + 4 = 17 Start of Activity D in Unit N (S_{DN})=S_{D1}+T_D=13+ 12 = 25 Finish of Activity D in Unit N (F_{DN})=S_{DN}+D_D=25 +4= 29	For operation E (External works) $R_E = \frac{2}{2} = 1$ ∵R_E>R_C then the line will be plotted from the top $T_C = \frac{2}{2}(10-1) = 9$ Start of Activity E in Unit N (S_{EN})=F_{DN} + X = 29 + 1 = 30 Finish of Activity E in Unit N (F_{EN})=S_{EN}+D_E =30+2 = 32 Start of Activity E in Unit 1 (S_{E1})=S_{EN} – T_E = 30 – 9 = 21 Finish of Activity E in Unit 1 (F_{E1})=S_{E1}+D_E = 21 + 2 = 23

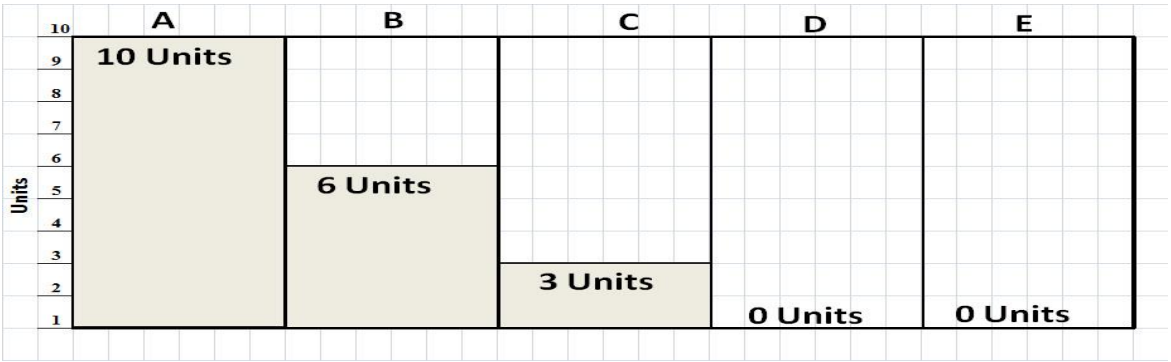
Act.	D	C	R = C/D	T = 9 (D/C)	S1	F1	SN	FN
	week	No.	unit /week	week	week	week	week	week
A	2	2	1	9	0	2	9	11
B	4	3	0.75	12	3	7	15	19
C	1	1	1	9	11	12	20	21
D	4	3	0.75	12	13	17	25	29
E	2	2	1	9	21	23	30	32

3. Drawing the line of Balance Schedule



4. Drawing the progress chart (control chart) at week 14





احسب زمن تسليم الوحدة الخامسة (متى يتم تسليم الوحدة الخامسة)

$$T_5 = \left[\frac{(32-23)}{(10-1)} \times (5-1)\right] + 23 = \left[\frac{9}{9} \times 4\right] + 23 = 4 + 23 = 27$$

احسب زمن تسليم الوحدة السابعة (متى يتم تسليم الوحدة السابعة)

$$T_7 = \left[\frac{(32-23)}{(10-1)} \times (7-1)\right] + 23 = \left[\frac{9}{9} \times 6\right] + 23 = 6 + 23 = 29$$

احسب زمن انتهاء الفعالية B في الوحدة السادسة

$$F_{B6} = \left[\frac{(19-7)}{(10-1)} \times (6-1)\right] + 7 = \left[\frac{12}{9} \times 5\right] + 7 = 6.67 + 7 = 13.67$$

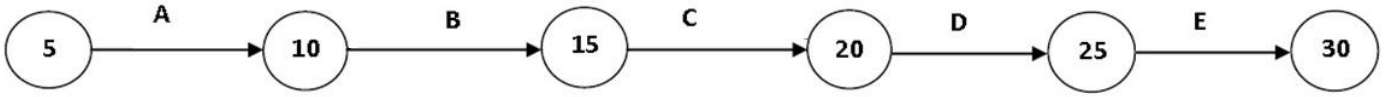
احسب زمن انتهاء الفعالية C في الوحدة الثالثة

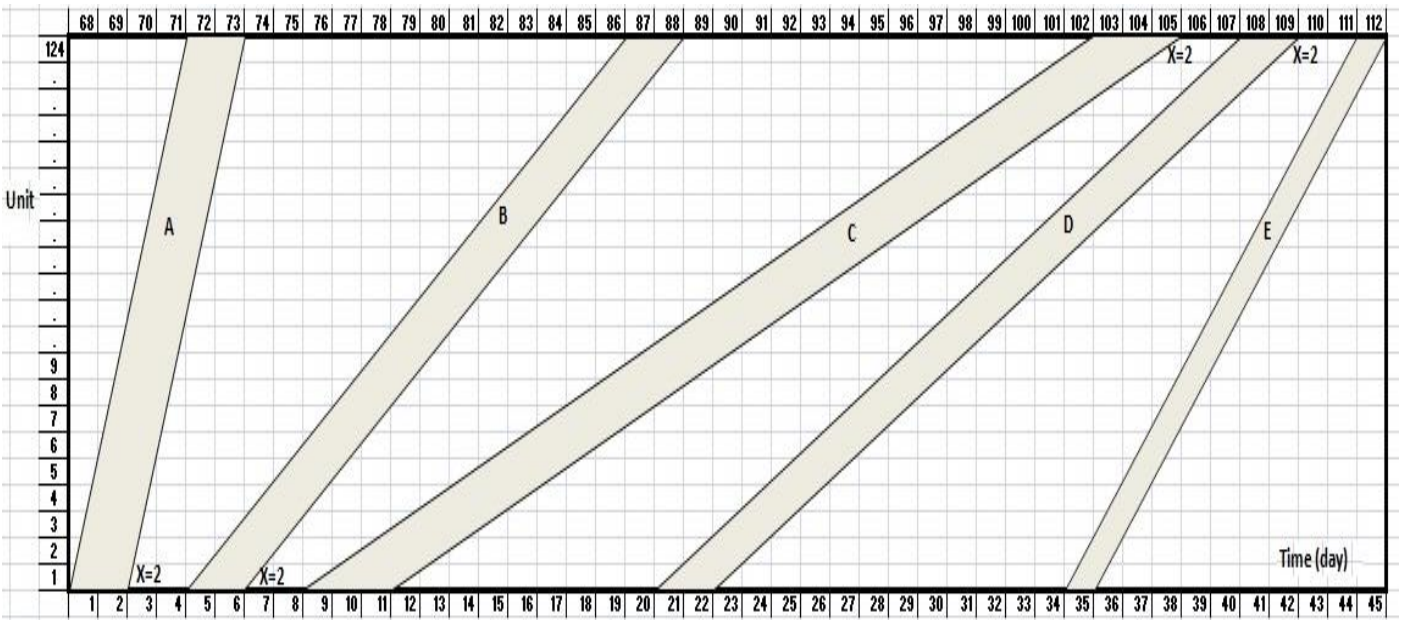
$$F_{C3} = \left[\frac{(21-12)}{(10-1)} \times (3-1)\right] + 12 = \left[\frac{9}{9} \times 2\right] + 12 = 2 + 12 = 14$$

مثال (2) المعلومات التالية لتنفيذ 124 دار سكنية متشابهة التصميم، الهدف انجاز 6 دور لكل أسبوع وكان العمل 5 أيام في الأسبوع وبمعدل 8 ساعات، الاحتياطي بين فعالية وأخرى يومان وكان الجهد العملي للفعالية والحد الأدنى لمجموعة العمل كما في الجدول أدناه: - (R_o = 6 unit/week, W_d = 5 day, D_h = 8 hr, X = 2 day, N = 124)

رمز الفعالية	الجهد العملي للفعالية M (man-hour)	الحد الأدنى لفريق العمل H (man)	الحجم النظري لفريق العمل G (man)	الحجم الفعلي لفريق العمل S (man)	المعدل الفعلي للانجاز الأسبوعي R (unit/week)	زمن الفعالية (day) D	التفاوت الزمني للفعالية (day) T
			$G = \frac{R_o M}{W_d D_h}$	S = H, 2H, 3H, …≥ G	$R = R_o \frac{S}{G}$	$D = \frac{M}{H\ D_h}$	$T = (N-1)\frac{W_d}{R}$
A	55	4	8.25	12	8.7	1.7 ≈ 2	70.69 ≈ 71
B	64	4	9.6	12	7.5	2	82
C	145	8	21.75	24	6.6	2.26 ≈ 3	93.18 ≈ 94
D	90	8	13.5	16	7.1	1.41 ≈ 2	86.6 ≈ 87
E	25	5	3.75	5	8	0.63 ≈ 1	76.5 ≈ 77

الاحتياطي بين فعالية وأخرى هو Min. Buffer Time X = 2 وهو عدد من الوحدات الزمنية وتمثل الحد الأدنى للعازل الزمني يتم اختياره من قبل المخطط لتوفير مرونة في الفعاليات وتحاشي تداخلها في حالات التأخير

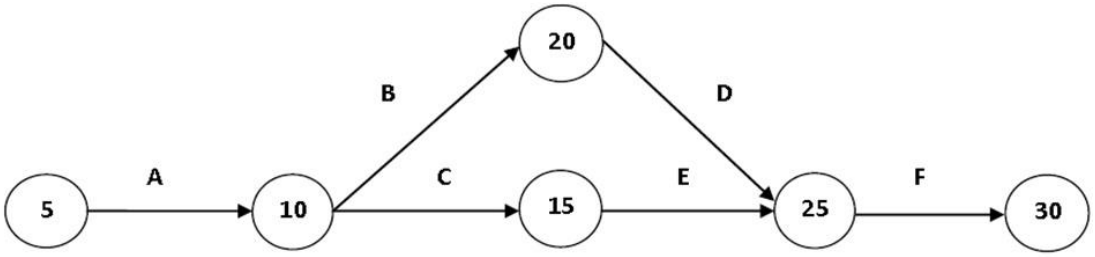




Activity	D (day)	R (unit /week)	T (day)	S_1	F_1	S_N	F_N
A	2	8.7	71	0	2	71	73
B	2	7.5	82	4	6	86	88
C	3	6.6	94	8	11	102	105
D	2	7.1	87	20	22	107	109
E	1	8	77	34	35	111	112

Example 3: Prepare a time schedule for the construction for 80 houses using line of balance technique according to the data shown below assuming a rate of built = 5 house/week and buffer time between activities equal = 3 days. 6 day/week and 8hrs/day

Operation	Man-Hour (M)	H
A	100	4
B	80	3
C	60	2
D	120	3
E	180	5
F	250	6

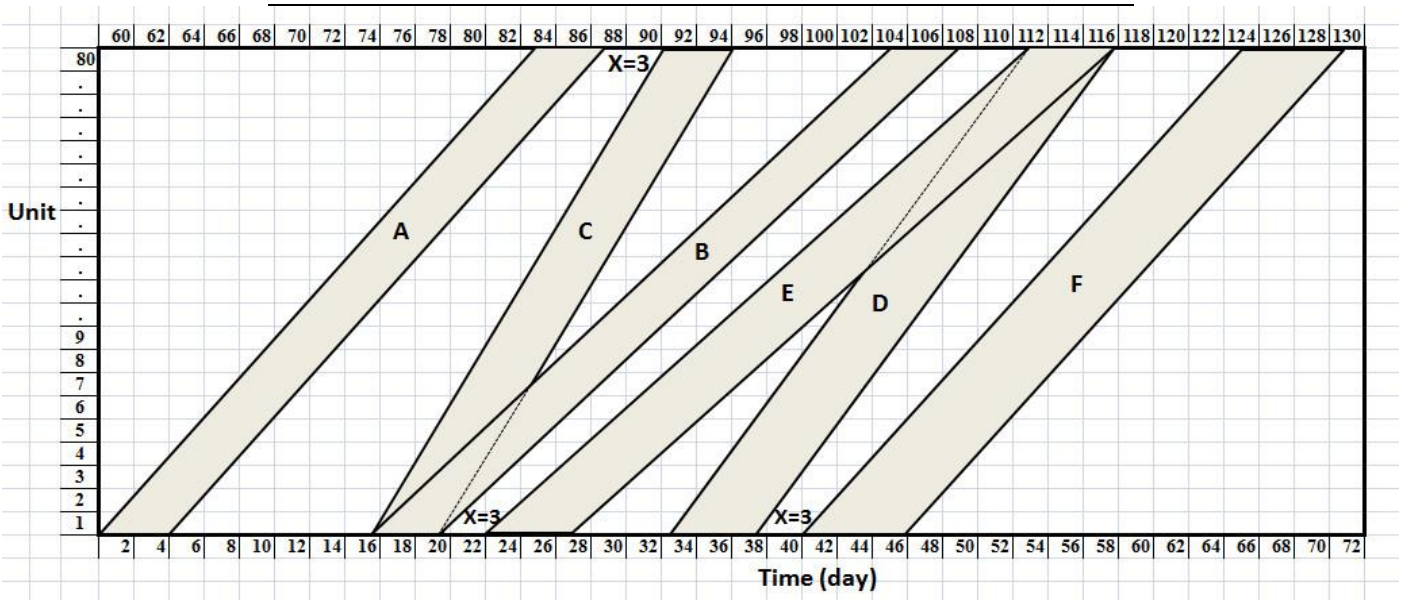


(N = 80, R_o = 5 house/week, X= 3 day, W_d = 6 day, D_h = 8 hrs)

الحل:

التفاوت الزمني للفعالية T (day)	زمن الفعالية D (day)	المعدل الفعلي للانجاز الأسبوعي R (unit/week)	الحجم الفعلي لفريق العمل S (man)	الحجم النظري لفريق العمل G (man)	الحد الأدنى لفريق العمل H (man)	الجهد العملي للفعالية M (man-hour)	رمز الفعالية
$T = (N-1)\frac{W_d}{R}$	$D = \frac{M}{H\ D_h}$	$R = R_o\frac{S}{G}$	S = H, 2H, 3H, …≥ G	$G = \frac{R_o M}{W_d D_h}$			
82.1 ≈ 83	3.13 ≈ 4	5.76	12	10.42	4	100	A
87.8 ≈ 88	3.34 ≈ 4	5.4	9	8.34	3	80	B
74.1 ≈ 75	3.75 ≈ 4	6.4	8	6.25	2	60	C
79	5	6	15	12.5	3	120	D
88.8 ≈ 89	4.5 ≈ 5	5.34	20	18.75	5	180	E
82.5 ≈ 83	5.2 ≈ 6	5.75	30	26.1	6	250	F

Activity	D (day)	R (unit /week)	T (day)	S_1	F_1	S_N	F_N
A	4	5.76	83	0	4	83	87
B	4	5.4	88	15	19	103	107
C	4	6.4	75	15	19	90	94
D	5	6	79	32	37	111	116
E	5	5.34	89	22	27	111	116
F	6	5.75	83	40	46	123	129



موقع الفاصل الزمني Buffer Time X (هل هو في الأسفل عند الوحدة رقم 1 أو في الأعلى عند الوحدة رقم N)
يعتمد على ميل الفعالية السابقة (A) والفعالية اللاحقة (B)

1- في الأسفل أذا كان ميل الفعالية اللاحقة اقل من ميل الفعالية السابقة
2- في الأعلى أذا كان ميل الفعالية اللاحقة أعلى من ميل الفعالية السابقة

الاشتراك في البداية

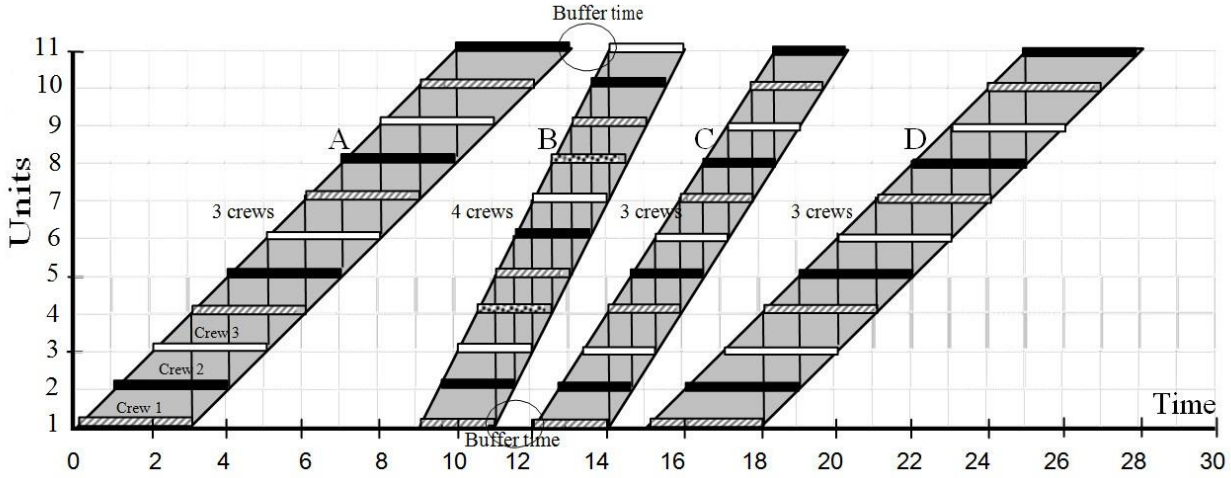
1- نحدد أي من الفعالتين المشتركتين تكون اقرب إلى الفعالية السابقة وهي الفعالية التي لها أعلى ميل أي معدل تقدم
2- نحدد موقع قيمة X بالاعتماد على ميل هذه الفعالية نسبة إلى الفعالية السابقة

الاشتراك في النهاية

1- نحدد أي من الفعالتين المشتركتين تكون اقرب إلى الفعالية السابقة وهي الفعالية التي لها أقل ميل أي معدل تقدم
2- نحدد موقع قيمة X بالاعتماد على ميل هذه الفعالية نسبة إلى الفعالية السابقة

5.1 Crew Synchronization

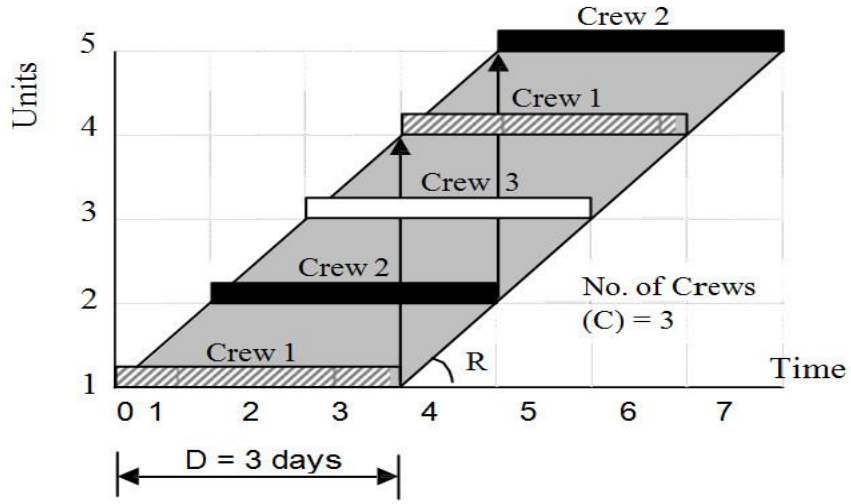
1- The number of crews employed in each task is graphically represented with each crew indicated by a different pattern. As such, the movement of the crews from one unit to the other is shown;



2- The three crews employed in activity (A) have different work assignments.

- Crew 1 works in four units (numbers 1, 4, 7, and 10) and leaves site on day 12.
- Crew 2 works in four units (numbers 2, 5, 8, and 11) and leaves site on day 13.
- Crew 3 works in three units (numbers 3, 6, and 9) and leaves site on day 11;

3- Each crew moves to a new unit as soon as it finishes with the previous one, without interruption. As such, work continuity is maintained and the learning phenomenon can lead to some savings in cost and time;



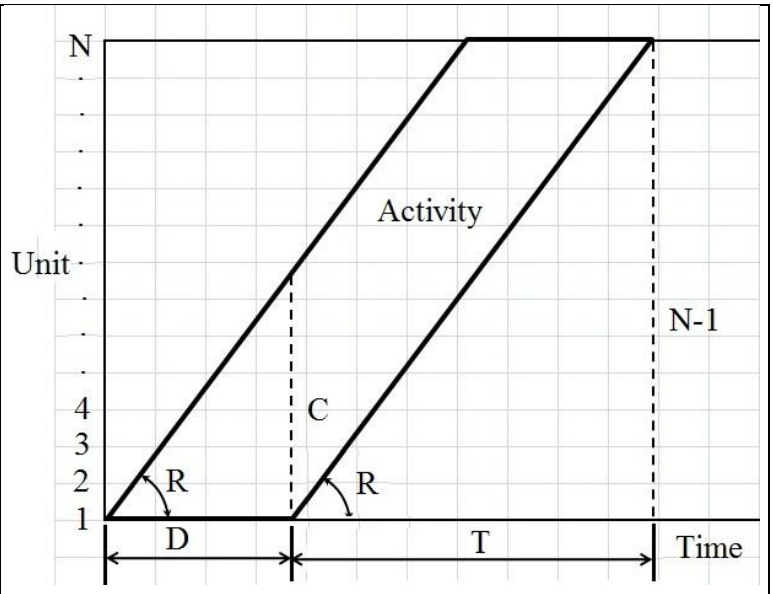
In the example shown, C = 3; D = 3 days; then, R becomes 1 unit/day
if crews available was 4, C = 4; D = 3 days; then, R becomes 1.25 unit/day
C = Number of Crews
R = Work Progress Rate
D = Activity Duration

$$R \propto \frac{C}{D} \quad \Longrightarrow \quad R = \frac{C}{D}$$

$$\because R = \frac{(N-1)}{T} \cdot$$

$$\therefore \frac{C}{D} = \frac{(N-1)}{T} \cdot$$

$$T = \frac{D}{C} \cdot (N-1)$$



Ex. 1: W_d = 5 day

Activity	D (day)	R (unit /week)	T (day)	C = R × D	C
A	2	8.7	71	3.48	4
B	2	7.5	82	3	3
C	3	6.6	94	3.96	4
D	2	7.1	87	2.84	3
E	1	8	77	1.6	2

Ex. 2 : W_d = 6 day

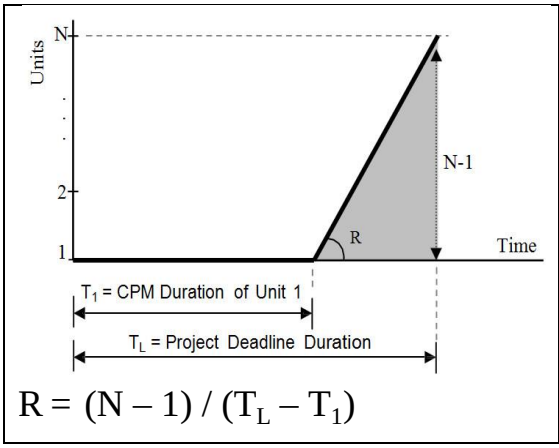
Activity	D (day)	R (unit /week)	T (day)	C = R × D	C
A	4	5.76	83	3.84	4
B	4	5.4	88	3.6	4
C	4	6.4	75	4.27	5
D	5	6	79	5	5
E	5	5.34	89	4.45	5
F	6	5.75	83	5.75	6

5.2 Meeting a Deadline Duration

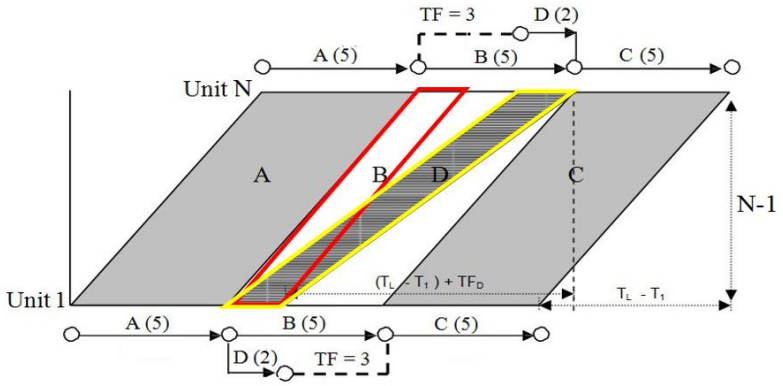
Integrated CPM-LOB Calculations

- It is possible to formulate a strategy for meeting the deadline by calculating a desire rate of delivery (R_d) for the units, as follows

Activity	A	B	C	D
Duration	5	5	5	2
Dependency	-	A	B	A



$$R = (N - 1) / (T_L - T_1)$$



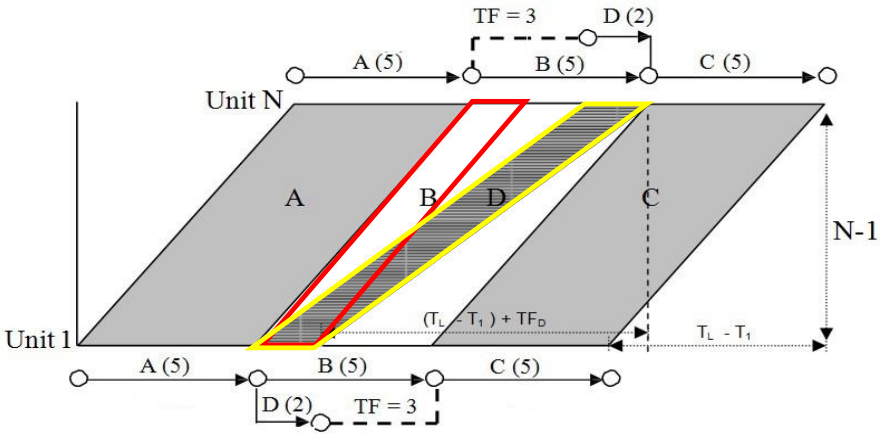
T_L is the deadline duration of the project

T_1 is the CPM duration of the first unit.

R_d is the minimum rate required to meet the desired deadline.

- Any higher rate can expectedly produce shorter project duration, however, more crews may need to be used and the schedule can be more costly.
- Once a minimum delivery rate (R_d) is calculated, it is desirable to enforce this rate on the schedule of the repetitive activities to determine the resources needed to complete the project on time.
- Therefore, The above equation needs to be applied particularly to the critical activities, which are the sequential tasks that take the longest path in the CPM network of each unit.
- Non-critical activities, on the other hand, have float (TF) times and as such, we can afford to relax them according to their float times to reduce cost. It is, therefore, possible to modify the above equation and generalize it to determine a desired rate (R_i) for any repetitive task (i), as follows:

$$R_i = (N - 1) / (T_L - T_1) + TF_i$$



- In the above Figure, a 5-unit project is shown with each unit consisting of a simple 4-activity network.

- Three of the four activities A, B, and C are sequential and each has 5-days duration.
- The fourth activity D runs parallel to B and has a duration of 2 days only.
- Accordingly, A, B, and C are critical activities while activity D is non-critical with Total Float (TF) of 3 days.
- The slopes of activities A, B, and C are the same and are steep up.
- The slope of activity (D) has been relaxed by simply starting unit 1 of task D as early as possible while starting the last unit as late as possible (notice the difference in the CPM networks of the first and the last units).
- Using this approach, the relaxation of non-critical activities can be performed without violating any logical relationships or crew work continuity requirements.
- With the desired rates calculated for the individual activities can be used to determine the necessary number of crews (C_i) to use in each activity (i), as follows:

$$C_i = D \times R_i$$

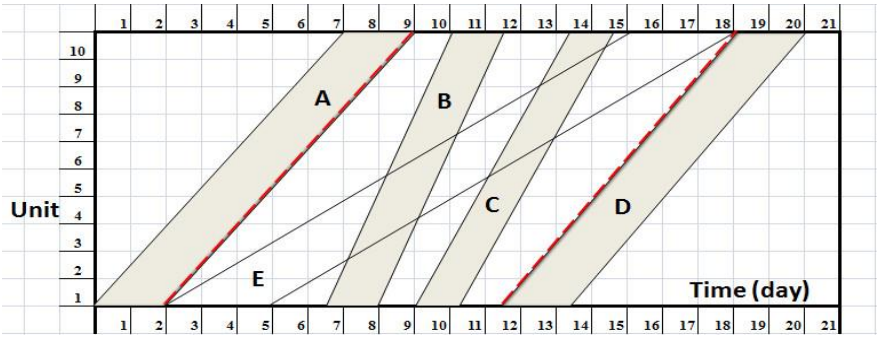
- The number of crews C_i should be an integer value. If it was a fraction of a crew is not possible, the number of crews (C_i) has to be rounded up to determine the actual number of crews (C). As a consequence to that, the actual rates of progress in the activities (R) need to be adjusted, as follows:

$$C = \text{Round Up } (C_i)$$

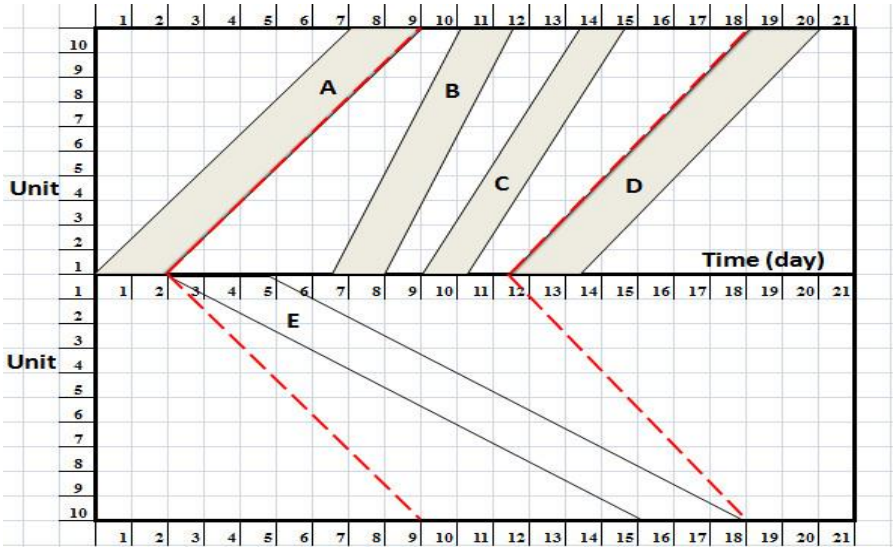
$$R = C / D$$

- Two interesting approaches can be used to circumvent this problem to represent the critical (A, B, C, D) and non-critical (E) activities on the LOB schedule.

1- One approach is to draw the critical and non-critical activities on one grid



2- The second approach is to extend the LOB representation to show the non- critical activities on a mirrored grid.

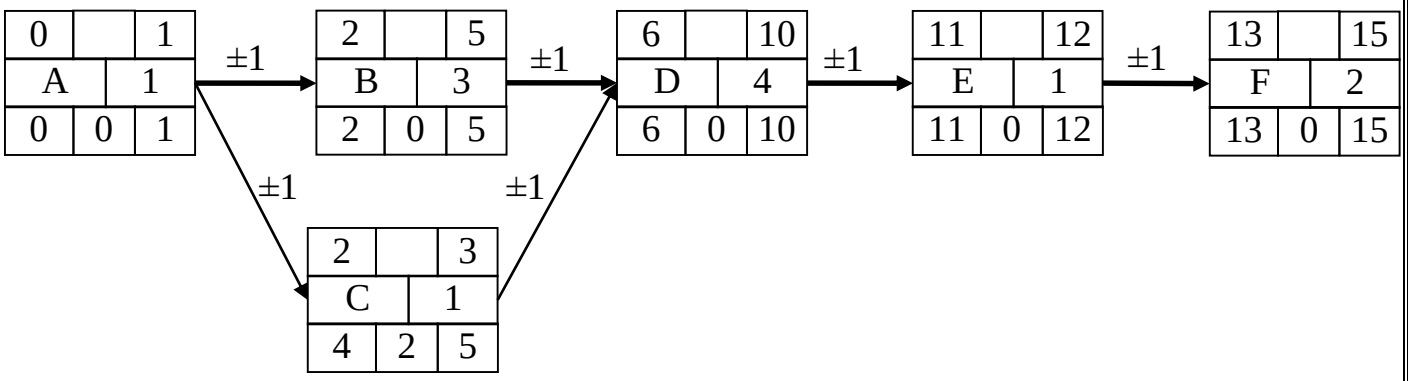


Example 4: The activities involved in the construction of one kilometer of a pipeline are given together with their estimated durations in the table below. The project consists of 10 similar kilometers. Calculate the number of crews needed for each activity if the deadline for completing the project is 40 days and draw the LOB schedule. Assume one day buffer time between activities.

Activity	Activity name	Duration (days)	Preceding activities
A	Locate and clear	1	-
B	Excavate	3	A
C	String pipe	1	A
D	Lay pipe	4	B,C
E	Pressure test	1	D
F	Backfill	2	E

Solution:

The first step, we determine the duration of a single unit of the project and identify the critical path by the CPM calculations. Note that the one-day buffer time is set as a lag between activities.

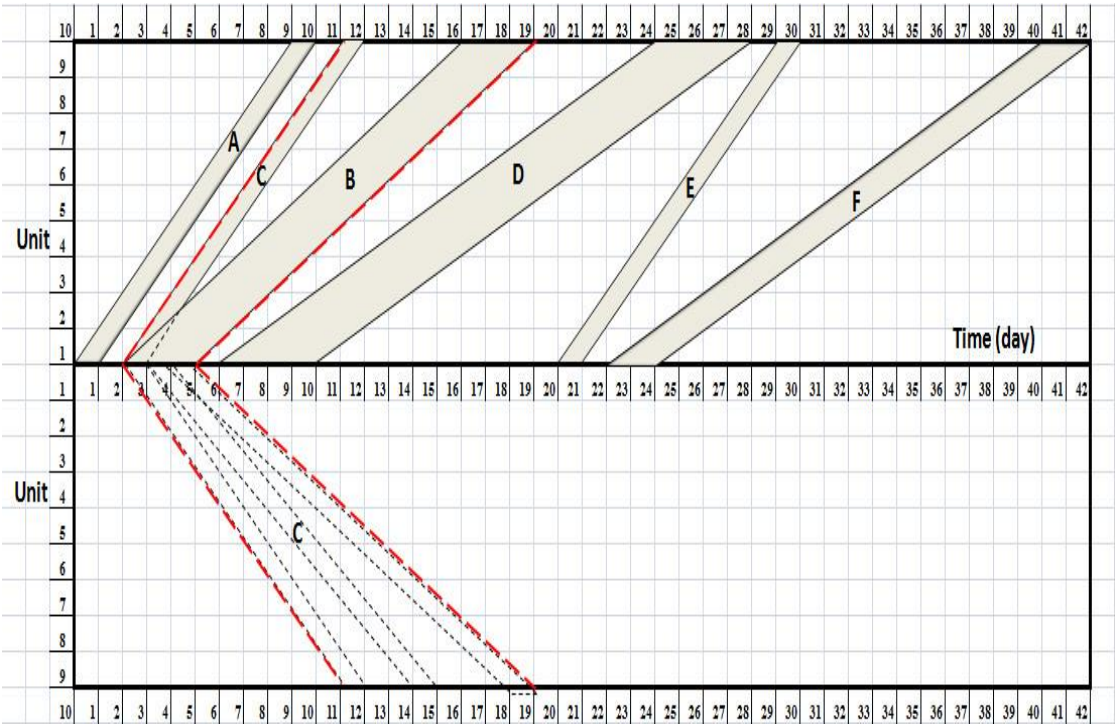


T_1 = 15 day T_L= 40 day N = 10 units

$R_i = (N-1) / (T_L - T_1 + TF_i) = 9 / (25 + TF_i)$

Act.	Duration D_i	Total Float TF_i	R_i = $9 / (25+TF_i)$	C = D × R	C = Round up C_i	R = C / D
A	1	0	0.36	0.36	1	1
B	3	0	0.36	1.08	2	0.667
C	1	2	0.333	0.333	1	1
D	4	0	0.36	1.44	2	0.5
E	1	0	0.36	0.36	1	1
F	2	0	0.36	0.72	1	0.5

Act.	D	C	R (unit /day)	$T = \frac{(N-1)*D}{C}$	S_1	F_1	S_N	F_N
A	1	1	1	9	0	1	9	10
B	3	2	0.667	14	2	5	16	19
C	1	1	1	9	2	3	11	12
D	4	2	0.5	18	6	10	24	28
E	1	1	1	9	20	21	29	30
F	2	1	0.5	18	22	24	40	42



اذا تم جعل قيمة R=1 للفعالية الاخيرة F فقط هذا سوف يترتب عليه تعديل قيمة عدد فرق العمل لها C=2

Act.	D	C	R (unit /day)	$T = \frac{(N-1)*D}{C}$	S_1	F_1	S_N	F_N
A	1	2	1	9	0	1	9	10
B	3	2	0.667	14	2	5	16	19
C	1	1	1	9	2	3	11	12
D	4	2	0.5	18	6	10	24	28
E	1	1	1	9	20	21	29	30
F	2	(2)	(1)	9	22	24	31	32

اذا تم جعل قيمة R=1 للفعالية D فقط هذا سوف يترتب عليه تعديل قيمة عدد فرق العمل لها C=4

Act.	D	C	R (unit /day)	$T = \frac{(N-1)*D}{C}$	S1	F1	SN	FN
A	1	1	1	9	0	1	9	10
B	3	2	0.67	14	2	5	16	19
C	1	1	1	9	2	3	11	12
D	4	(4)	(1)	9	6	10	15	19
E	1	1	1	9	11	12	20	21
F	2	1	0.5	18	13	15	31	33

اذا تم جعل الفعاليات متوازية بميل قيمة R=1 هذا سوف يترتب عليه تعديل قيمة عدد فرق العمل C لبعض الفعاليات

Act.	D	C	R (unit /day)	$T = \frac{(N-1)*D}{C}$	S_1	F_1	S_N	F_N
A	1	1	1	9	0	1	9	10
B	3	(3)	(1)	9	2	5	11	14
C	1	1	1	9	2	3	11	12
D	4	(4)	(1)	9	6	10	15	19
E	1	1	1	9	11	12	20	21
F	2	2	1	9	13	15	22	24

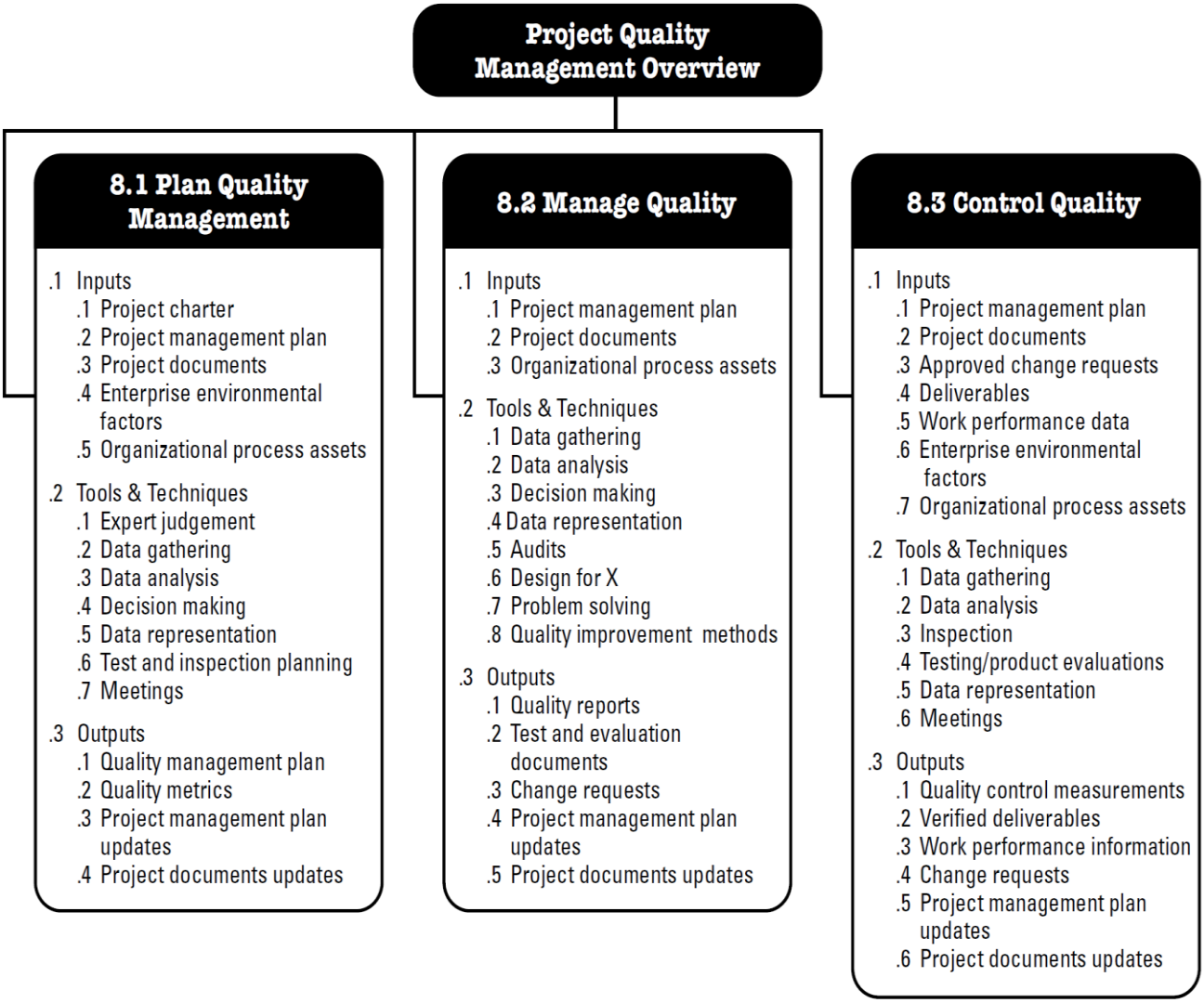
H.W. : Solve the above example when a 5 Km pipeline project, X=2 day and T_L = 30 day ?

7. Quality Management

Plan Quality Management is the process of identifying quality requirements and/or standards for the project and its deliverables, and documenting how the project will demonstrate compliance.

The Quality Management Plan, which is an output of this process, describes how the project management team will implement the quality policy and meet the quality requirements

The figure below summaries the main processes, tools and techniques and outputs of this management area



8. References

- Project Management Institute (PMI) (2017) A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide) 6th Edition.
- Elbeltagi, E. (2009) 'Lecture notes on construction project management'.
- Pilcher, R. (1992) Principles of construction management. McGraw-Hill Berkshire, UK.
- Construction management by: Robert Hares & Frank Hares
- Russell, R.S. and Taylor-Iii, B.W. (2008) Operations management along the supply chain - Chapter 9: Project management. John Wiley & Sons.