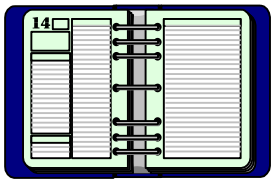
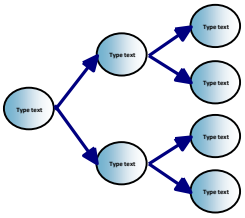
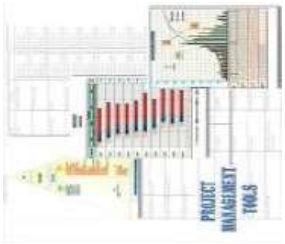
CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT

PROJECT PLANNING AND SCHEDULING







Four Project Management Goals... أهداف إدارة المشروع

Projects Should Be Completed:

1. On schedule
2. Within budget
3. With acceptable quality
4. With zero accident

التخطيط و الجدولة Planning & Scheduling

- هو عملية رسم خارطة طريق للمستقبل تبين ما الذي سيتم عمله وكيف ومتى و من سيقوم بهذا العمل و كم سيكلف. بالتالي تتضمن الخطة تحديد الأهداف ورسم الطرق والخطوات اللازمة لبلوغها ، و يتطلب التخطيط قدرا كبيرا من وضوح الرؤية، والدقة في التنبؤ بما ستكون عليه الأمور في المستقبل.
- هو جسر يربط ما بين الحاضر والمستقبل أو ما بين ما نحن عليه الآن وما نريد أن يتحقق مستقبلا.
- هو اتخاذ قرار حاضر بما سيتم في المستقبل وكيف سيتم وما هو وقت إتمامه ومن سيقوم به.

التخطيط و الجدولة Planning & Scheduling

تخطيط التشييد
Construction Planning:

هي عملية اختيار طريقة و ترتيب العمل، عن طريق دراسة كل الظروف المتعلقة بالمشروع من أجل إيجاد أفضل طريقة لتحقيق الهدف، وهو انهاء العمل المطلوب (مجال العمل) ضمن فترة زمنية محددة (جدولة) وتكاليف مقدرة مسبقا (موازنة) ، مع تحقيق المخططات التنفيذية و المواصفات والشروط الفنية فيما يتعلق بالمواد وطرائق التشييد (الجودة).

التخطيط و الجدولة Planning & Scheduling

الجدولة:Scheduling

هي عملية تحديد علاقات و توقيت عمليات المشروع و تجميعها لتعطي الزمن الكلي لتنفيذ المشروع، و هي انعكاس للخطة التي يجب أن تأتي أولاً، و الجدولة جزء من الخطة و ترجمة محسوسة للأفكار الواردة فيها.

- a concise description of the plan
- The process of converting a general or outline plan for a project into a time-based graphic presentation using information on available resources and time constraints

مراحل التخطيط في عملية التشييدPhases of Planning in Construction

مراحل التخطيط في عملية التشييد Phases of Planning in Construction

- **المرحلة الأولى – التخطيط ما قبل العرض**

يتعلق التخطيط في هذه المرحلة بعملية التقدير و إقرار العرض اللتان تسبقان عملية تقديم العرض.

يتم في هذه المرحلة من التخطيط تحديد الطرائق المقترحة للتشييد حيث تكون التفاصيل عامة و يتم تقدير الزمن اللازم لإنجاز العمل و توصيف و تحديد الموارد.

مراحل التخطيط في عملية التشييد Phases of Planning in Construction

- **المرحلة الأولى – التخطيط ما قبل العرض**

١. سياسة العرض ← قرار المشاركة في تقديم العرض.
٢. الاجتماع الأولي لما قبل العرض ← تقرير ما قبل العرض.
٣. زيارة الموقع ← تقرير زيارة الموقع.
٤. الأستفسارات الموجهة إلة المقاولين الثانويين و الموردين ←للحصول على عروض أسعار.
٥. عرض طرائق التنفيذ.
٦. مصادر معلومات التقدير ←تطوير معدلات التقدير.
٧. تطوير برنامج ما قبل العرض .
٨. بدء الأعمال التحضيرية.
٩. تطوير التقدير.
١٠. اقرار التقدير.
١١. تحليل الأداء و النتائج.

مراحل التخطيط في عملية التشييد Phases of Planning in Construction

المرحلة الأولى – التخطيط ما قبل العرض

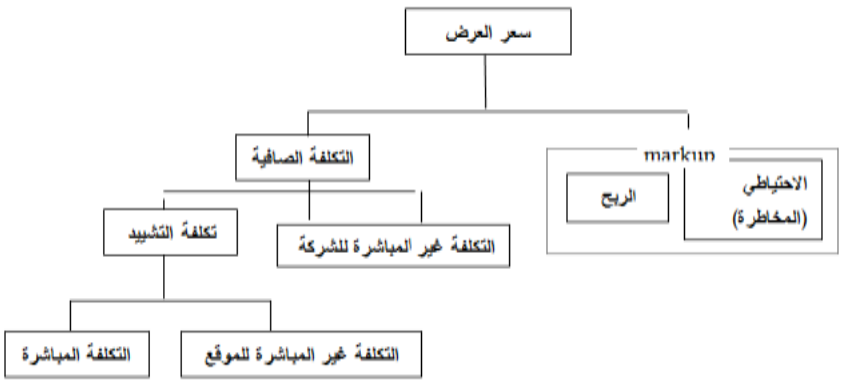
سياسة العرض:

- العمل الحالي الفعلي أي الألتزامات نحو العقود التي هي قيد التنفيذ.
- العمل الحالي الفعلي في أقسام المسح و التقدير.
- رأس المال المتوفر لتمويل المشاريع الجديدة وتأثير ذلك على الالتزامات المالية للمشاريع الحالية.
- توفر الموارد البشرية لكلاً من الكادر الإداري و العمالة.
- نوع العمل و موقع المشروع.
- حجم وقيمة المشروع.
- درجة المنافسة وعدد المتنافسين.
- ظروف وشروط العقد : مدة العقد، مجال تعويضات التصفية، مجال التوقيفات، فترة المسؤولية القانونية عن العيوب، نوع العقد .
- توافر العمالة و مواصفاتها في المنطقة المجاورة لموقع المشروع المقترح.
- الوقت المتاح لتحضير العرض.
- شروط السوق في زمن تقديم العرض :توفر التمويل و معدل الفائدة المالية.

مراحل التخطيط في عملية التشييد Phases of Planning in Construction

المرحلة الأولى – التخطيط ما قبل العرض

تطوير التقدير:



مراحل التخطيط في عملية التشييد Phases of Planning in Construction

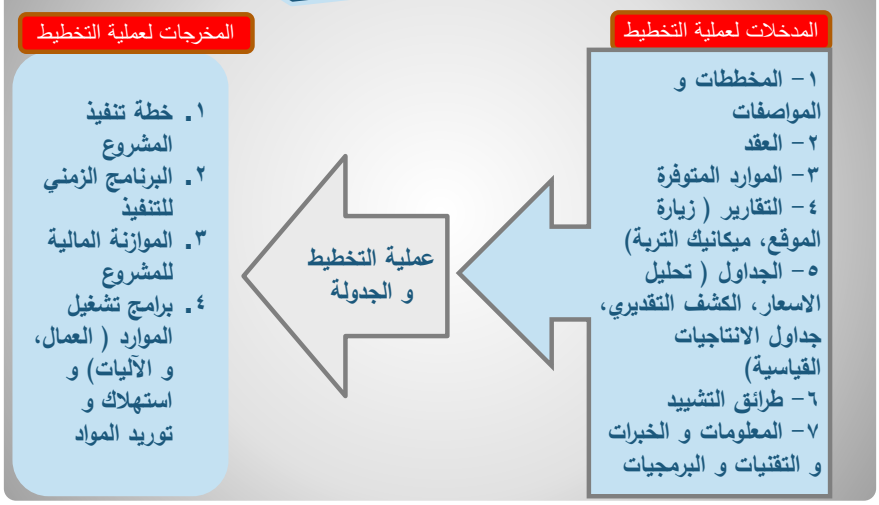
المرحلة الثانية – التخطيط ما قبل التشييد

يتم هذا التخطيط بعد تحديد العرض الفائز وقبل البدء بأعمال تنفيذ المشروع ويؤخذ المشروع بشكل كامل يشمل التخطيط في هذه المرحلة على برنامج إجمالي للاعمال في المشروع لذلك يتطلب معلومات مفصلة و أمور تنظيمية كجزء من أعمال التخطيط لهذه المرحلة.

المرحلة الثالثة – تخطيط التشييد

لإعداد هذا التخطيط يتم الاستفادة من تخطيط المرحلة السابقة، يكون التخطيط في هذه المرحلة أكثر تفصيلاً من المرحلة السابقة و يتم تقسيم البرنامج الاجمالي للأعمال إلى مجموعة من البرامج الجزئية المفصلة. ويبين هذا التخطيط مسؤولية المقاول في إنهاء العقد ضمن المدة الزمنية المحددة في العقد. يعتبر تخطيط التشيد موجه يتم على أساسه متابعة ومراقبة الأعمال خلال فترات زمنية منتظمة أثناء التنفيذ.

إعداد البرنامج الزمني



إعداد البرنامج الزمني

١- التعرف على المشروع.

٢- تقسيم المشروع بهدف الحصول على العمليات المكونة له WBS.

٣- تحديد الكادر الرئيسي المسؤول عن تنفيذ المشروع (البنية التنظيمية للمشروع OBS.)

٤- تحديد تكنولوجيا وطرائق التشييد باستخدام ما يسمى عرض الطرائق(Method Statement).

٥- تحديد الترابطات بين العمليات.

٦- تقدير زمن استمرار العمليات:

إعداد البرنامج الزمني

٧- اختيار واحدة من تقنيات الجدولة و تمثيل البرنامج باستخدام هذه التقنية و إجراء برمجة الموارد.

8-Revise and adjust: Scheduling is an iterative process: the result of step 7 is only the beginnig.

٨- مراجعة و تعديل الخطة: الجدولة هي عملية تكرارية .

9- Monitor and control: The optimum schedule is the baseline or target schedule For the project and defines when work begins

٩- المراقبة و التحكم.

١-التعرف على المشروع:

- ان الغاية من التعرف على المشروع هي الاطلاع على المشروع و تكوين أفكار محددة عن مميزات المشروع و البيئة المحيطة به و شروط العمل في منطقة المشروع و جمع البيانات اللازمة، يعتمد التعرف على المشروع على مصدرين أساسين هما: اضبارة المشروع، و زيارة موقع المشروع .

- أ- الدراسة الأولية لإضارة المشروع:
  - وصف موجز و كامل للمشروع يتضمن وصف الأعمال و الموقع و مدة العمل.
  - الأمور المميزة في المشروع و الأعمال غير المألوفة.
  - النقاط التي تحتاج إلى دراسة تفصيلية.
  - ملائمة المشروع لنشاط المقاول.

ب- تقرير زيارة موقع المشروع:

للتعرف على المشروع لابد من زيارة موقع المشروع من قبل المهندس لمعرفة ظروف العمل والظروف المحيطة التي سيتم فيها العمل وأيضا معرفة الظروف الطبيعة للموقع والمرافق العامة التي يمكن أن تخدم المشروع وأيضا دراسة الكادر البشري والأنظمة والقوانين في منطقة المشروع. بشكل عام يحتوي تقرير زيارة الموقع ما يلي:

- دراسة ظروف العمل في منطقة المشروع.
- و دراسة موقع المشروع.

٢ – تقسيم المشروع باستخدام WBS

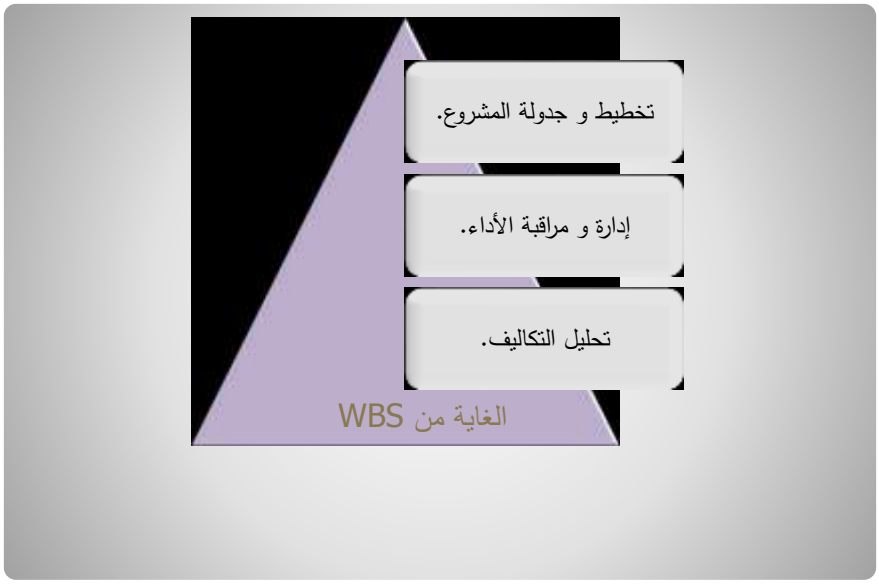
- الطريقة النموذجية المستخدمة لتقسيم المشروع من خلال إعداد بنية تقسيم العمل أو ما يسمى(work break-down structure WBS:) تبين الترتيب أو التدرج التسلسلي للمشروع، حيث على المستوى الأعلى توجد المنشأة المطلوب إنجازها وعلى المستوى الأدنى توجد حزم العمل. وهو مدخل بنيوي(هيكلي) يبين التدرج التسلسلي للمشروع و ذلك بتفكيك العمل إلى الأجزاء المكونة له،

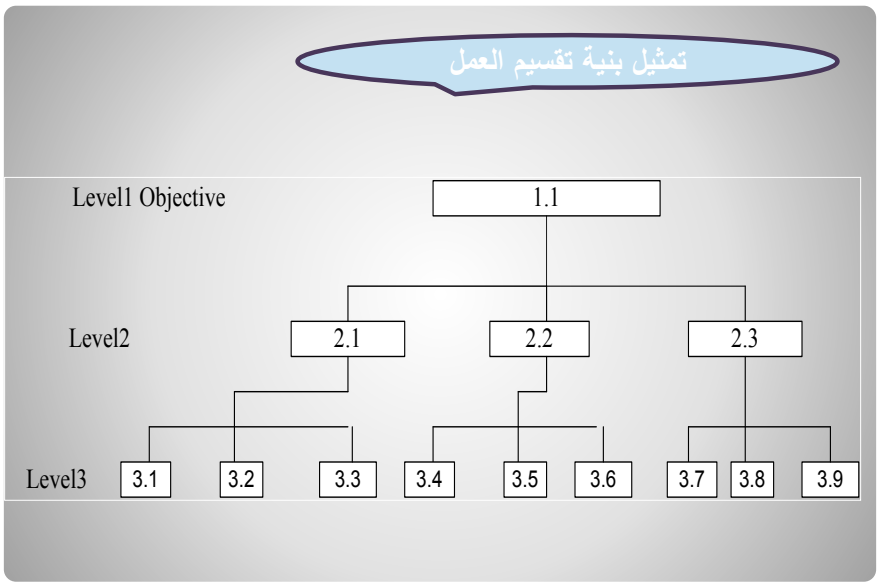
ماهية WBS

- يعرف معهد إدارة المشاريع (WBS): " مجموعة من عناصر المشروع و التي تنظم و تعرف المجال الكلي للمشروع، ويمثل كل مستوى نازل درجة محددة من التفصيل لأعمال المشروع.

- بينما يعرف فيجن بام (WBS):بأنه " مخطط تسلسلي يبين كيف أن كل جزء من المشروع يتبع جزء أكبر وهكذا حيث تشكل هذه الأجزاء المشروع بالكامل".

- (WBS):" عبارة عن نظام تسلسلي يبين مشروع التشييد في مستويات متزايدة من التفاصيل و التي تعرف و تنظم و تظهر العمل في المشروع بشكل أجزاء قابلة للقياس و يمكن ادارتها و التحكم بها".


تخطيط و جدولة المشروع.
إدارة و مراقبة الأداء.
تحليل التكاليف.
الغاية من WBS


تمثيل بنية تقسيم العمل
Level1 Objective
1.1
Level2
2.1
2.2
2.3
Level3
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5
3.6
3.7
3.8
3.9

تحديد رزم العمل استنادا الى بعض القواعد المبنية على الخبرة (rule of thump) :

- يمكن ملاحظة و قياس التقدم بالمشروع.
- تمثل وحدات العمل على المستوى التنفيذي وبالتالي هي أقل مستوى ضمن WBS
- يمكن تطوير تقدير دقيق للتكاليف.
- يمكن جدولة رزمة العمل ببداية و نهاية محددتين.
- نشاطات رزمة العمل تخص مهنة واحدة و ليس هناك تداخل في المهن.
- لا تتغير الموارد المطلوبة بشكل ملحوظ حتى الانتهاء من العمل.

تمثل رزمة العمل المستوى الأدنى في بنية تقسم العمل، ويتم فيها:

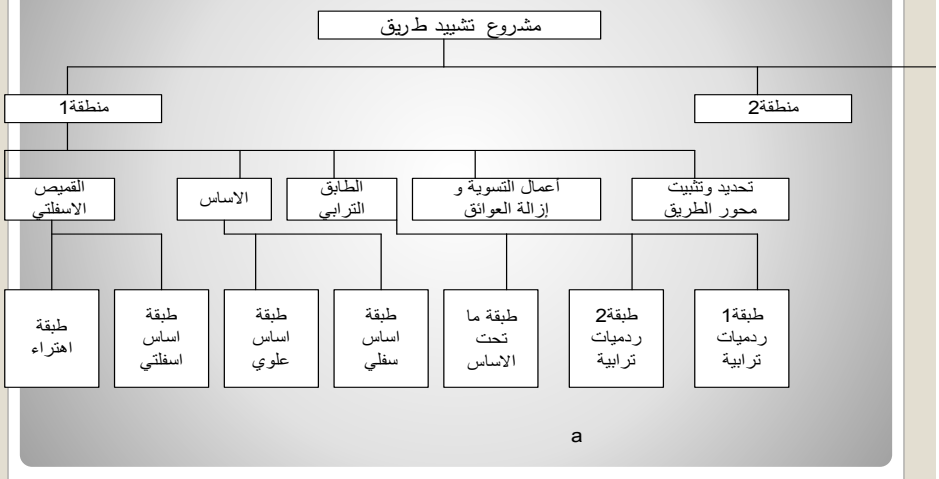
- تحديد العمل المطلوب
- تقديرالزمن اللازم لإنهاء العمل في رزمة العمل
- تقدير الكلفة المرتبطة مع الزمن لإنهاء العمل (الموازنة)
- تقدير الموارد اللازمة لإنهاء العمل في رزمة العمل
- تحديد الشخص المسؤول عن العمل
- تعريف نقاط المتابعة (نقاط العلام) من أجل قياس الأداء.

طرائق تقسيم المشروع:

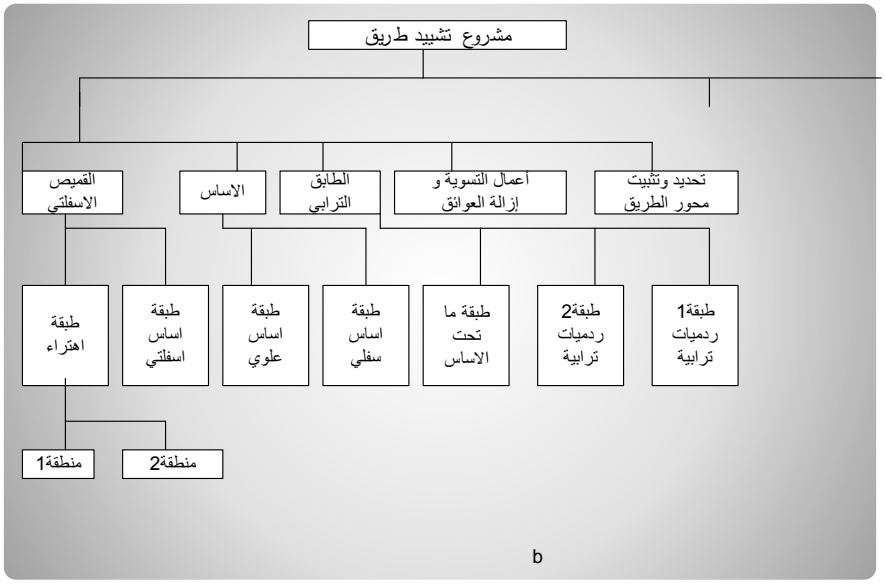
- التقسيم إلى مناطق عمل:
- تقسيم المشروع طبقا لنوع العمل.
- تقسيم المشروع إلى مراحل عمل.

تمثيل بنية تقسيم العمل : يوجد طريقتين للتعبير عن بنية تقسيم العمل:

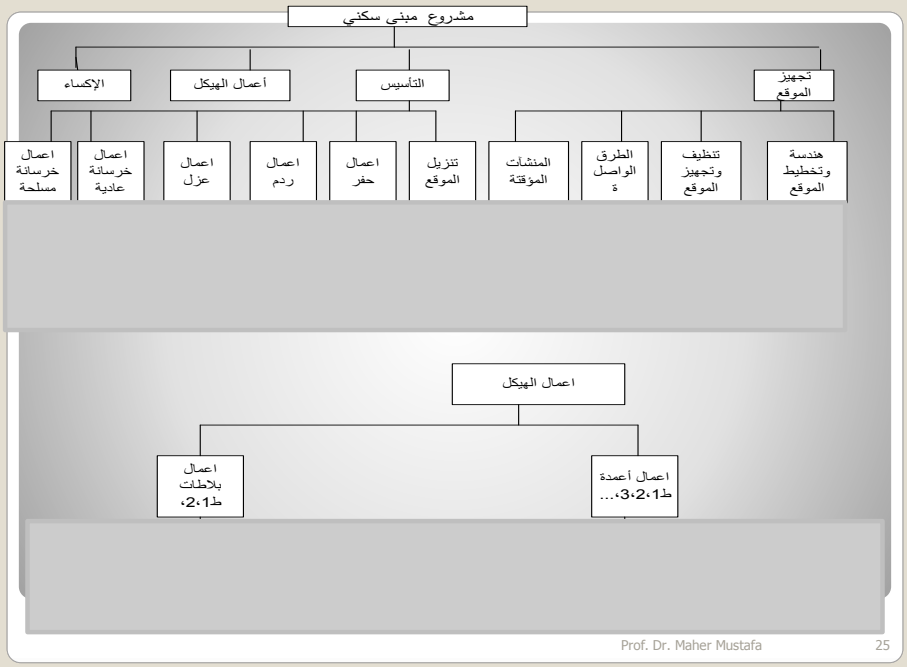
١- الطريقة التخطيطية



a

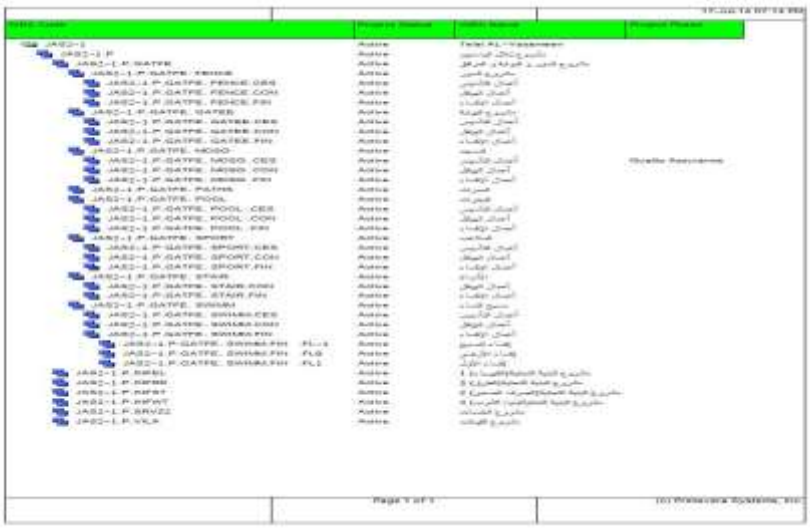


b



d

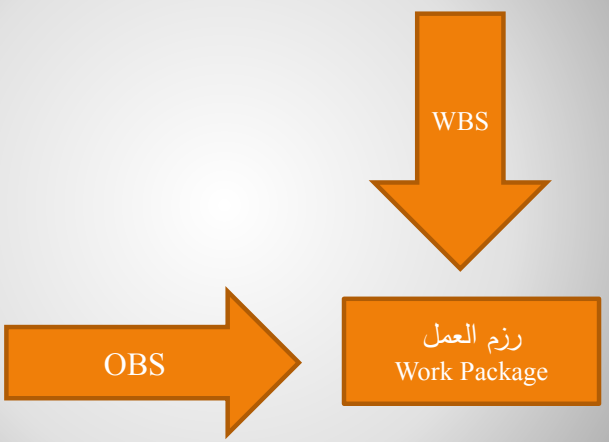
تمثيل بنية تقسيم العمل : ٢- طريقة القائمة



٣- تحديد الكادر الرئيسي المسؤول عن تنفيذ المشروع OBS :

- في هذه المرحلة من التخطيط من الضروري الاهتمام بنوع البنية التنظيمية التي ستستخدم في المشروع عند الفوز بالعقد، وهذه الضرورة تكون من أجل أشخاص محددين والذين يمكن اعتبارهم مراكز هامة في هذه البنية، وبالتالي فإن المقدر يستطيع أن يأخذ بعين الاعتبار ضمن العرض الرواتب والمستحقات المرتبطة مع هؤلاء الأشخاص في التنظيم.

العلاقة بين WBS و OBS



٤- تحديد تكنولوجيا وطرق التشييد باستخدام ما يسمى عرض الطرائق (Method Statement):

- كما في حالة إيجاد الخيارات المناسبة من أجل تصميم المنشآت فإن الخيارات التكنولوجية المناسبة وطرائق التشييد تشكل عادة عناصر حرجة في نجاح المشروع. القرار بين الخيارات يجب أن يأخذ بعين الاعتبار التكاليف المرتبطة معها والكفاءة وتوفر الآليات.

- عند الاختيار بين الطرائق البديلة فإنه يمكن أن يكون من الضروري إعداد عدد من خطط التشييد المعتمدة على الطرائق البديلة والفرضيات، وعند توفر الخطة الكاملة يتم بعد ذلك مراجعة تأثير التكاليف والزمن والكفاءة على أسس محددة من أجل التقويم وتحديد الخيار المناسب.

٥- تحديد الترابطات بين العمليات:

بعد تحديد العمليات المكونة للعمل فإنه يجب تعيين الارتباط بين هذه العمليات، إن الارتباط بين العمليات يدل ضمنا أنه يجب أن تأخذ هذه العمليات مكانا ضمن تسلسل محدد، وغالبا ما يكون هذا التسلسل في السياق الطبيعي لعمليات التشييد والمحدد وفق المتطلبات التقنية والقوانين اللازمة (أو ما يسمى الترابط الزمني والمنطقي) لإنجاز المشروع.

يتم التعبير عن الترابطات بين العمليات من خلال الجدولة وباستخدام تقنيات متعددة.

٦- تقدير زمن استمرار العمليات:

- احد اهم المدخلات للعملية هو الزمن المقدر لتنفيذها، و تستخدم هذه الأزمنة في تحضير الجدولة ويتم تقدير زمن استمرار مختلف عمليات المشروع بعد تحديد كمية الاعمال فيها و تحديد طريقة التنفيذ و الموارد المطلوبة.

- يجب الأخذ بعين الاعتبار أن زمن استمرار العملية غير ثابت وهو عبارة عن متغير عشوائي يخضع لتوزيع احتمالي معين، ولكن ما يستخدم في الجدولة هو زمن الاستمرار الأكثر احتمالا أو الأكثر توقعا. عمليا لا يمكن بشكل سابق لإنجاز العمل في العملية المدروسة تحديد الزمن اللازم لهذه العملية بدقة.

$$D_{ij} = \frac{A_{ij}}{P_{ij} * N_{ij}}$$

٦- تقدير زمن استمرار العمليات:

إن حساب الزمن اعتمادا على المعادلة السابقة هو عملية تقريب الزمن المقدر من الزمن الفعلي لإنجاز العملية ويعود ذلك لعدة أسباب:

- بسبب خصوصية المشروع قد يكون إنجاز العملية أقل أو أكثر صعوبة، وبالتالي لابد من تعديل الزمن وذلك اعتمادا على الخبرة، وخصوصية المشاريع الهندسية.
- تأثير الطقس على زمن استمرار العملية.
- اختلاف المهارات الفردية.
- الأحداث غير المتوقعة.
- القيود الفيزيائية على الموقع مثل الوصول إليه، و مساحته، الجوار.
- حجم المشروع.
- طول الإجازات و العطل.
- يمكن أن تختلف معدلات الإنتاج بشكل نظامي عن المتوسط نتيجة التعود على أداء نفس العمل.

٧- أدوات الجدولة الزمنية و تمثيل البرنامج:

- **أ- أدوات الجدولة البيانية:** تستخدم التمثيل البياني لإظهار البرنامج الزمني، منها: مخططات التسارع، مخططات القضبان، خطوط التوازن.

- **ب- أدوات الجدولة التحليلية:**
- **يتم استخدام** التمثيل البياني و التحليل الرياضي لإظهار البرنامج الزمني، منها: المخططات الشبكية: CPM, PERT, PDM, GERT….

منحنيات التسارع أو منحني S

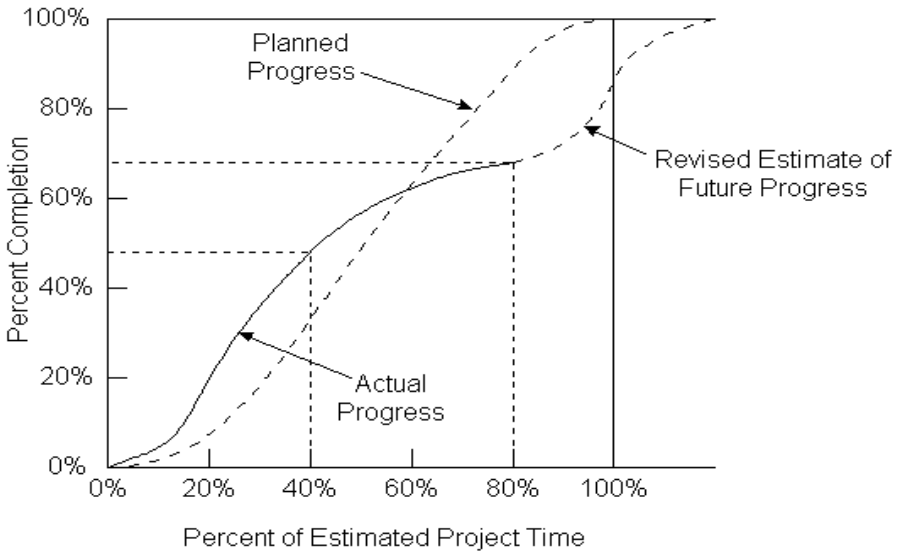
- ظهرت منحنيات التسارع قبل الكثير من أدوات الجدولة وبرغم ذلك فهي قليلة الاستخدام نسبيا.
- تناسب هذه المنحنيات المشاريع ذات الطبيعة الخطية، مثل: مشاريع تمديد خطوط الانابيب و مشاريع الطرق و مشاريع اقنية الري وغيرها.
- يتم تمثيل مخرجات المشروع المختلفة على المحور الشاقولي إما على شكل نسبة مئوية أو حجم أعمال التشييد. أما المحور الأفقي فيمثل محور الزمن.
- ويمثل ميل المنحني معدل تقدم الأعمال أو تسارع تقدم الأعمال .
- يتم تحديث منحني التسارع أثناء المراقبة وذلك برسم منحني جديد يمثل التنفيذ الفعلي وبالتالي يمكن التعرف على الموقف في المشروع و اتخاذ القرارات المناسبة

منحنيات التسارع أو منحني S

- يمكن لمستخدم منحنيات التسارع بمجرد النظر إلى المخطط معرفة ما إذا كان المشروع يسير وفق البرنامج المخطط له أو أنه يعاني شيئاً من البطء أي أنه يتقدم بانتظام ليلحق بالخطة أو أنه يتراجع متأخراً أكثر.

- إن استخدام الرسم كأداة للتخطيط والبرمجة هي التي جعلت من منحنيات التسارع طريقة منفردة أستحقت مكانة خاصة، تبين معدل تقدم أعمال التنفيذ بميل الخط (المنحني).

منحنيات التسارع أو منحني S



مخططات القضبان

- يعود تاريخ مخططات القضبان إلى مخططات Gantt Charts والموضوعة من قبل العالم الأمريكي هنري غانت Henry L. Gantt في بداية القرن الماضي. تستخدم مخططات القضبان بشكل واسع كمخططات (برامج) لتنفيذ المشاريع.
- يتألف مخطط القضبان من:
  - قسم تحليلي
  - وقسم بياني
  - وقسم تمويل او تحقق يحتوي على المخططات المشتقة.

مخططات القضبان

مخططات القضبان

- تصف مخططات القضبان بشكل تخطيطي مجموعة معرّفة جيداً من العمليات اللازمة لتنفيذ المشروع، يمكن أن تكون العملية النموذجية الممثلة في مخططات القضبان من أجل أي مشروع عامة مثل الأساسات أو تكون أكثر تفصيلاً مثل: الحفر، بيتون النظافة، بيتون مسلح، ردم، بمعنى آخر يمكن أن تكون العمليات مركبة أو بسيطة أو جزئية أو مجموعة من النشاطات.

- إن مخططات القضبان لا تفيد في إيضاح الارتباط المنطقي بين العمليات المختلفة والتي تتحكم في السيطرة على تقدم سير التنفيذ بشكل واضح، لكن تبين الارتباط الزمني فقط بين هذه العمليات.

مخططات القضبان

- تستخدم مخططات القضبان بصورة موسّعة في المراحل الأولية للمشروع .

- وأسباب الاستخدام تعزى إلى أن المالك والجهة الاستشارية يحاولان قبل البدء بتنفيذ الأعمال وضع تصور لبرنامج التنفيذ حتى يتمكنا من وضع تقدير واقعي لتاريخ إنهاء المشروع. تتطلب الكثير من المواصفات من المقاول تقديم مخططات على شكل مخططات القضبان بعد ترسية العقد عليه مباشرة. وتعد مخططات القضبان الأكثر شيوعاً من بين المخططات البيانية.

- تتصف مخططات القضبان بالوضوح في القراءة والتحليل والبساطة في الإعداد والسهولة في الاستخدام بخاصة من قبل أولئك الذين ليس لهم معرفة فنية أو لأولئك المتخصصين الراغبين في معرفة فقط تقدم سير العمل، مخططات القضبان في هذه الحالة خير وسيلة لتوصيل المعلومات بشكل واضح.

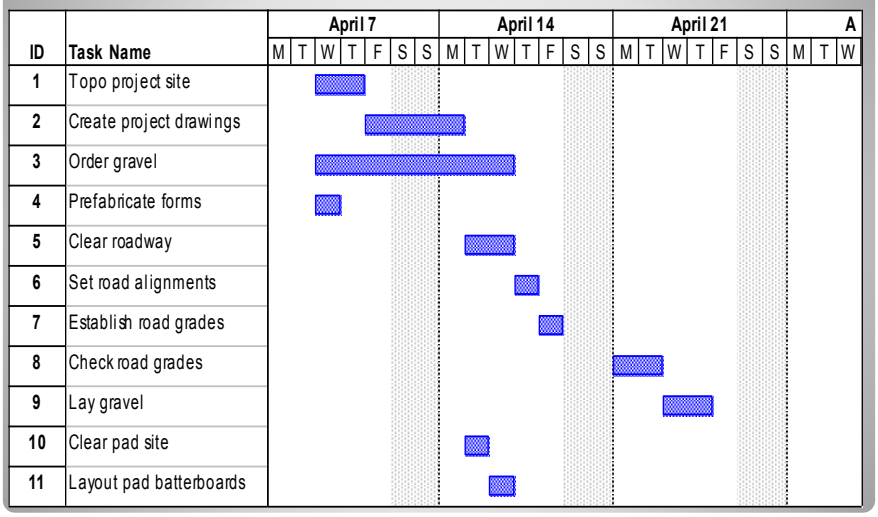
مخططات القضبان

- تتألف مخططات القضبان من مجموعة من العمليات اللازمة لتنفيذ المشروع والمتوضعة ضمن حقل عمودي على يسار المخطط وأيضاً الزمن الممثل على مقياس أفقي يظهر زمن البدء والانتهاء المخطط لكل عملية: أي الزمن اللازم للتنفيذ (زمن الاستمرار). ومجموعة من الخطوط الأفقية . القطع المستقيمة .، إن طول القطعة المستقيمة يمثل الزمن اللازم لتنفيذ العملية ويتم ترتيب العمليات ضمن تسلسل يأخذ في الحسبان زمن بدء كل عملية من هذه العمليات.

لإعداد القسم البياني يتم اختيار التالي:

- اختيار مقياس الرسم المناسب.
- كيفية اظهار العمليات المخططة.
- كيفية اظهار العمليات التي تم تنفيذها.

مخططات القضبان: القسم البياني



مخططات القضبان: القسم التحليلي

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
الرقم المتسلسل	بيان الاعمال	الواحدة	الكمية	طريقة التنفيذ	الانتاجية اليومية للمجموعة	زمن التنفيذ	عدد مجموعات التنفيذ	عدد أيام العمل	الانتاجية اليومية

يتم إعداد مخطط القضبان وفق الخطوات البسيطة التالية:

خ١: تحديد العمليات التي سيتم وضعها ضمن جدول.

خ٢: تقدير زمن الاستمرار لكل عمليات المشكلة للمشروع ويكون ذلك بعد تحديد مجموعة التنفيذ.

خ٣: يحدد واضع المخطط ترتيب العمليات ويرسم القضبان ضمن المخطط.

مخططات القضبان

تعطي مخططات القضبان فكرة قبل التنفيذ أو خلاله عن:

. كيفية تقسيم العمل إلى أقسام عمل وعمليات.

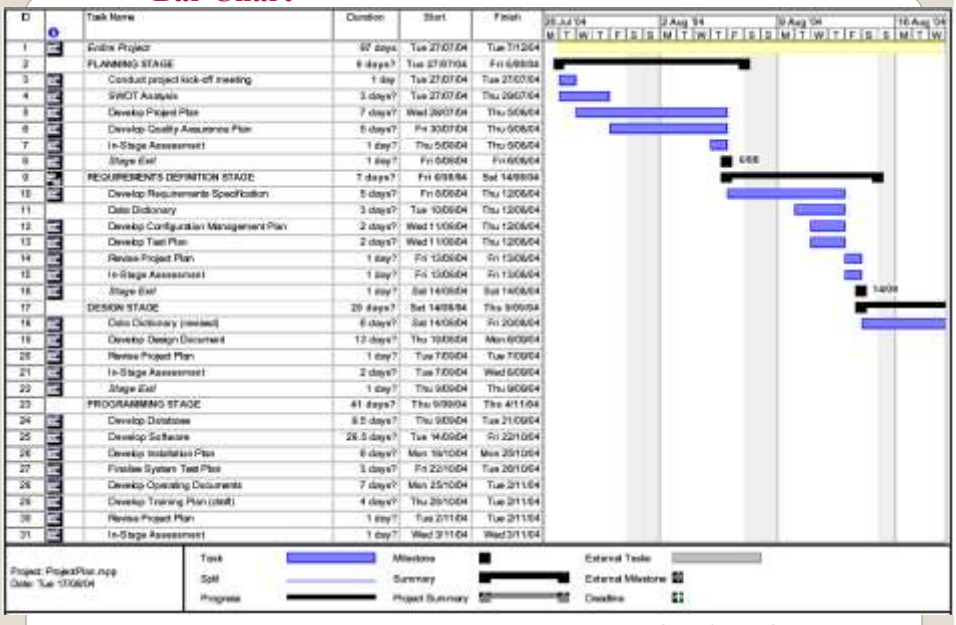
. تسلسل تنفيذ أقسام المشروع المختلفة ونوع الأعمال المطلوب تنفيذها ضمن هذه الأقسام.

. الزمن اللازم لتنفيذ كل قسم وكل عملية.

. الموارد اللازمة للتنفيذ.

. الترابط الزمني بين مختلف العمليات في المشروع

Bar Chart



المخططات الشبكية: ١- طريقة المسار الحرج CPM

- **التخطيط الشبكي:** هو إحدى الأدوات التحليلية و البيانية التي تستخدم في إظهار البرنامج الزمني و تسمى كذلك بسبب الشكل الشبكي للخطوط المتشابكة و المترابطة.

- ظهر هذا الأسلوب عام ١٩٥٧ على يد كلٍ من J.E Kelly و MR Walker في USA ، بغرض المساعدة في جدولة عمليات التعطل بسبب الصيانة في مصانع المواد الكيماوية، وذاع صيته بسبب نجاحه في تخفيض وقت الأعطال اللازمة لعمل برنامج الصيانة من /١٢٥/ ساعة إلى /٧٨/ ساعة.

١ – طريقة المسار الحرج CPM تمثيل العمليات على أسهم (AOA):

إن طريقة المسار الحرج هي أكثر الطرائق استخداماً في التخطيط الشبكي وذلك في أعمال التشييد، والفكرة الأساسية لتحليل المخططات الشبكية هو بيان توقيت البدء للعمليات واعتمادها على انتهاء عمليات أخرى سابقة لها، وكيف أن توقيت الإنتهاء منها يقيد البدء بالعمليات اللاحقة. إذ كثيراً ما تشمل عقود التسييد بنداً خاصاً بالمواصفات تطلب فيه من المقاول استخدام طريقة المسار الحرج للتخطيط والإشراف على المشروع أثناء التنفيذ.

تعد طريقة المسار الحرج أسلوباً لإدارة المشاريع، وتساعد على اتخاذ القرارات عن طريق توجيهها للمقاول لاختيار أفضل الطرق لتسريع العمل في التنفيذ، كما وأنها تمكن من التنبؤ بالاحتياجات من الكادر البشري بالإضافة لاستخدامها كأداة من أجل المتابعة بحيث تساعد المقاول على كشف نقاط الضعف في التنفيذ وتفادي ذلك.

١ – طريقة المسار الحرج CPM - العمليات Project activities

تعرف العملية في مجال التخطيط الشبكي على أنها عمل واحد مميز من أعمال المشروع، بحيث تكون ١) عملاً تنفيذياً أو ٢) عملاً إدارياً أو ٣) عملية شراء أو نقل أو أي عمل آخر، وبشكل آخر إن العملية هي أي عمل يستهلك زمناً وموارد أو زمناً فقط وتكون محددة بشكل تام من خلال نقطتي بدئها وانتهائها بشكل واضح.

بعد الانتهاء من تحديد العمليات في المشروع نحدد الترتيب التتابعي أو التسلسل/ الارتباط المنطقي لها.

بعد تحديد التسلسل المنطقي لا بد من النظر في الظروف والعوامل المقيدة لتنفيذ بعض عمليات المشروع وهذه القيود تؤثر في بدء هذه العمليات أو انتهائها. على سبيل المثال صب البيتون لا يمكن البدء فيه حتى يتم وصول الحديد للموقع وتجهيزه وتركيبه، ولا يمكن تركيب حديد التسليح قبل الانتهاء من عملية تجهيز مخططات الورشة والموافقة عليها وتجهيز الحديد.

١ – طريقة المسار الحرج - CPM Project activities

1. Production activities

- have a certain quantity of work, resource needs, costs, and duration.
- Examples: (excavation, formwork, reinforcement, concreting, etc)

2. Procurement activities

- For specifying the time for procuring materials or equipment that are needed for a production activity.
- Examples: (brick procurement, boiler manufacturing and delivery, etc.)

3. Management activities

- It related to management decisions such as (approvals, vacations, etc.)

١ – طريقة المسار الحرج CPM تمثيل العمليات على أسهم (AOA):

تجاوزت طريقة المسار الحرج مساوئ طريقة مخطط القضبان بما يلي:

- الأرتباط المنطقي بين العمليات.
- اعطاء المهندس و المنفذ الحرية للبدء بتنفيذ بعض العمليات.
- معرفة أثر التأخيرات الجزئية في بعض العمليات على كامل المشروع.
- معرفة العمليات الحرجة التي لا يمكن تأخيرها.

خطوات إعداد المخطط الشبكي :

١ – تحديد العمليات المكونة للمشروع.

٢ – تحديد التسلسل المنطقي بين العمليات.

٣- تقدير زمن استمرار العمليات و الموارد المطلوبة.

١ – طريقة المسار الحرج CPM تمثيل العمليات على أسهم (AOA):

خطوات إعداد المخطط الشبكي:

٤ – رسم المخطط وفق القواعد.

٥ – تحليل المخطط:

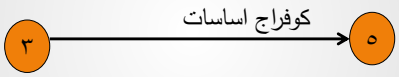
- ترقيم الحوادث.
- حساب التوقيت المبكر و المتأخر للحوادث.
- حساب توقيت البدء و الإنهاء الأكثر ابكارا و الأكثر تأخرا للعمليات.
- تحديد الحوادث و العمليات الحرجة و تحديد المسار الحرج.
- تحديد العوم الكلي و الحر للعمليات غير الحرجة.
- تحديد مدة المشروع.

١ – طريقة المسار الحرج CPM العمليات على أسهم (AOA):

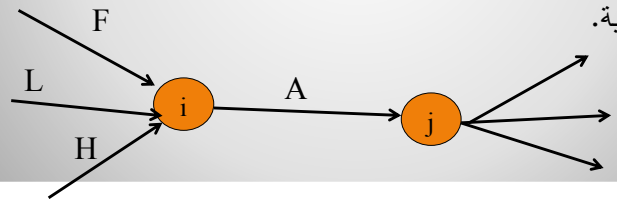
قواعد رسم المخطط الشبكي:

١. يبدأ كل مخطط بحادثة بداية واحدة و ينتهي بحادثة نهاية واحدة.

٢. كل عملية يجب أن تبدأ بحادثة (عقدة/دائرة) بداية و تنتهي بحادثة نهاية.



٣. كل حادثة ينطلق منها سهم أو أكثر ويصل إليها سهم أو أكثر إلا حادثة البداية و حادثة النهاية.



١ – طريقة المسار الحرج CPM العمليات على أسهم (AOA):

قواعد إنشاء المخطط الشبكي:

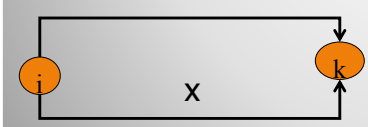
٤. حادثة البدء لعملية هي حادثة انتهاء لعملية أو أكثر و حادثة الانتهاء لها هي حادثة بدء لعملية أو أكثر .

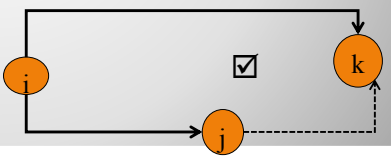
٥. تتجه الأسهم من اليسار لليمين لأنها تمثل الزمن و بالتالي المخطط الشبكي وحيد الاتجاه، ولا يجوز أن يشكل المخطط أو جزء منه حلقة مغلقة.

٦. لا يتعلق طول السهم بمقدار الزمن أو الموارد المطلوبة.

٧. تزيد أرقام حوادث النهاية على أرقام حوادث البدء.

٨. لا يمكن لعمليتين أو أكثر أن يشتركا بنفس حادث البدء و الإنتهاء.





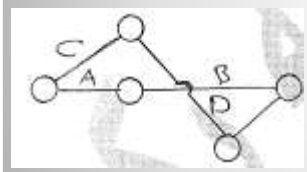
١ – طريقة المسار الحرج CPM العمليات على السهم (AOA):

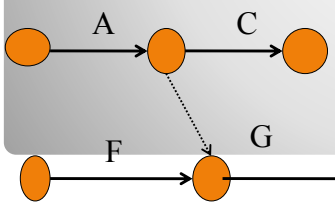
قواعد إنشاء المخطط الشبكي:

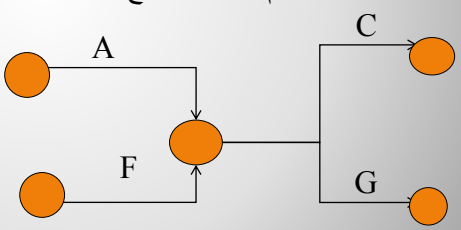
9. تستخدم العمليات الوهمية فقط عند الحاجة (الحفاظ على صحة العلاقات المنطقية و الحفاظ على وحدانية الرموز).

10. يتم كتابة اسم العملية على السهم من الاعلى.

11. يفضل عدم حدوث تقاطع بين العمليات.





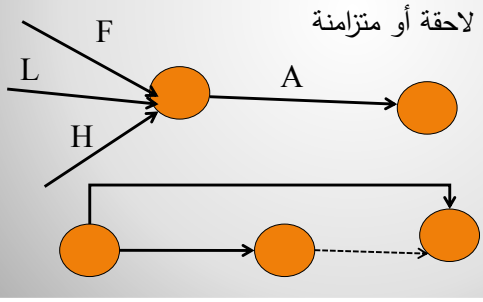


١- طريقة المسار الحرج CPM العمليات على السهم (AOA):

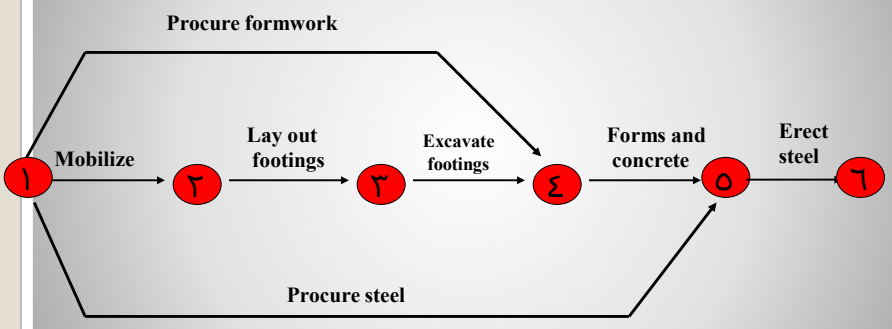
العمليات المستخدمة:

- عمليات تستهلك زمن و موارد.
- عمليات تستهلك زمن فقط.
- عمليات لا تستهلك زمن و لا موارد (الوهمية).

العمليات قد تكون سابقة أو لاحقة أو متزامنة



١- طريقة المسار الحرج CPM العمليات على السهم (AOA):

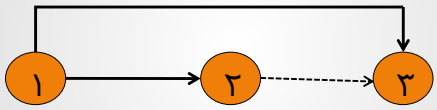


Activity on arrow notation

١- طريقة المسار الحرج CPM العمليات على السهم (AOA):

العمليات الوهمية:

لا تحتاج العمليات الوهمية لعناصر الإنتاج، و تستخدم فقط لتسهيل مهمة على الترميز و للحفاظ على سياق التسلسل المنطقي للعمليات.



ترقيم الحوادث:

لا بد أن يكون لكل عملية ترقيمها المميز، و أن يكون رقم حادثة النهاية أكبر من رقم حادثة البداية.

- الطريقة الأفقية.
- الطريقة الشاقولية

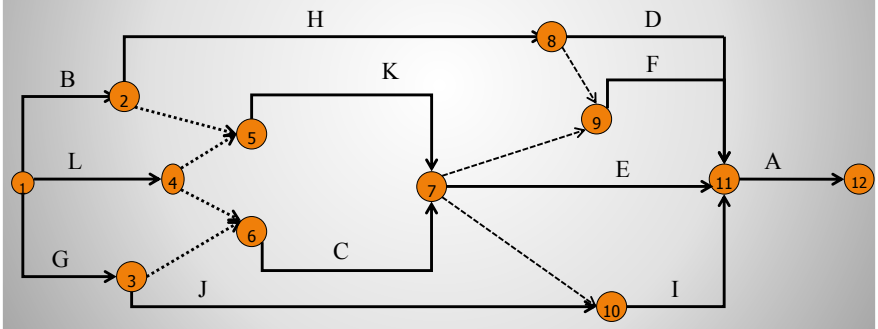
١- طريقة المسار الحرج CPM العمليات على السهم (AOA):

أرسم المخطط الشبكي للمشروع الموضحة عملياته في الجدول التالي وحلله وحدد مساره الحرج ثم بين مخطط القضبان الموافق.

العملية	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
العملية السابقة	D,E F,I	-	L, G	H	C, K	H,C, K	-	B	J,C, K	G	L,B	–
الزمن	12	11	8	10	10	8	4	8	7	9	7	15

١- طريقة المسار الحرج CPM

العمليات على السهم (AOA):



أرسم المخطط الشبكي للمشروع الموضحة عملياته في الجدول التالي وحلله وحدد مساره الحرج.

العملية	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
العملية السابقة	H,B G,F,I	J,C L	E	F	-	J	L	G	J	K,E	-	-
الزمن	12	11	8	10	10	8	4	8	7	9	7	15

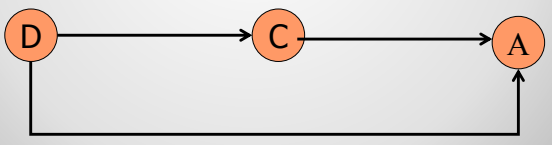
أرسم المخطط الشبكي للمشروع الموضحة عملياته في الجدول التالي وحلله وحدد مساره الحرج.

العملية	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
العمليـــــة السابقة	**F,J**	E,H	-	I,L	-	B, K	D,F	-	C, H	K,L	H,E	H,C
الزمن	6	9	10	5	7	10	9	9	8	7	11	15

طريقة المسار الحرج CPM

العمليات على العقد (AON):

في هذه الطريقة يتم تمثيل العمليات بالعقد بدلا من الاسهم، أما الأسهم فتستخدم للربط بين العقد و لإظهار الترابط المنطقي بين العمليات.
من أشهر طرق التخطيط التي تستخدم تمثيل العمليات على عقد هي طريقة المسار الحرج (CPM) وطريقة الأسبقية (precedence).



تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

إن تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج يعني العمل الحسابي الذي يتم على عمليات المخطط الشبكي و حوادثه من أجل تحديد تواريخ البدء و الإنتهاء المبكر و المتأخر لكل عمليات المخطط الشبكي و من ثم تحديد المسار الحرج.

- تحديد التوقيت الأكثر إبكارا و الأكثر تأخرا للحوادث.
- تحديد قيمة التباطؤ في الحوادث.
- تحديد توقيت البدء و الإنهاء الأكثر إبكارا و الأكثر تأخرا للعمليات.
- تحديد مقدار العوم للعمليات.
- تعيين المسار الحرج.

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

- تحديد التوقيت الأكثر إبكارا و الأكثر تأخرا للحوادث.

يمكن الوصول للتوقيت الأكثر إبكارا أو المبكر Earliest Time أو ET للحادثة بمسار الذهاب بأطول مسار للوصول لهذه الحادثة بدءا من حادثة البداية، وفق العلاقة التالية: $ET_j = \max(ET_i + t_{ij})$

و يتم حساب التوقيت الأكثر تأخرا أو المتأخر Latest Time أو LT للحادثة بمسار الإياب و ذلك بعد تحديد توقيت حادثة نهاية المشروع بأطول مسار للوصول لهذه الحادثة بدءا من حادثة النهاية و السير بالإتجاه المعاكس للزمن، وفق العلاقة التالية: $LT_i = \min(LT_j - t_{ij})$

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

- تحديد قيمة التباطؤ في الحوادث.

التباطؤ في الحادثة = الزمن المتأخر – الزمن المبكر

الحادثة الحرجة: التباطؤ في الحادثة = ٠

- تحديد توقيت البدء و الإنهاء الأكثر إبكارا و الأكثر تأخرا للعمليات.

توقيت البدء الأكثر إبكارا للعملية EST (Earliest Starting Time)

و هو أبكر توقيت يمكن أن تبدأ به العملية و يساوي للتوقيت المبكر لحادثة البدء

$$EST(ij) = ETi$$

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

- تحديد توقيت البدء و الإنهاء الأكثر إبكارا و الأكثر تأخرا للعمليات.

توقيت البدء الأكثر تأخرا للعملية LST (Latest Starting Time)

و هو التوقيت المتأخر الذي يجب أن تبدأ به العملية و يساوي للتوقيت المتأخر لحادثة النهاية مطروحا منه مدة العملية

$$LST_{(ij)} = LT_j - t_{ij}$$

- توقيت الإنهاء الأكثر إبكارا للعملية EFT (Earliest Finishing Time)

و هو أبكر توقيت يمكن أن تنتهي به العملية و يساوي توقيت البدء الأكثر إبكارا للعملية مضافا إليه مدة العملية

$$EFT_{(ij)} = EST_{(ij)} + t_{ij}$$

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

- تحديد توقيت البدء و الإنهاء الأكثر إبكارا و الأكثر تأخرا للعمليات.

توقيت الإنهاء الأكثر تأخرا للعملية LFT (Latest Finishing Time)

و هو التوقيت المتأخر الذي يجب أن تنتهي به العملية و يساوي للتوقيت المتأخر لحادثة النهاية

$$LFT_{(ij)} = LT_j$$

تحديد مقدار العوم للعمليات:

١- العوم الكلي: TF (Total Float)

هو المرونة الزمنية الكلية التي يمكن أن تنفذ بها العملية المدروسة دون أن تؤثر في زمن تنفيذ كامل المشروع، أي عند تنفيذ العملية بين توقيت البدء الأكثر إبكارا للعملية و التوقيت الأكثر تأخرا لإنهائها

١- تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

تحديد مقدار العوم للعمليات:

١- العوم الكلي: TF (Total Float)

$$TF_{(ij)} = LFT_{ij} - EST_{(ij)} - t_{ij}$$

٢- العوم الحر: FF (Free Float)

هو الاحتياطي الزمني (المرونة الزمنية) الذي يمكن أن تنفذ به العملية المدروسة فيما لو تمت جميع العمليات الاخرى في توقيتها المبكر، أي الزمن الذي يمكن أن تتأخر به العملية المدروسة دون أن تؤخر أي عملية أخرى لاحقة بها. أي الفرق بين توقيت الإنهاء الأكثر إبكارا للعملية و التوقيت المبكر للبدء بالعملية اللاحقة

$$FF_{(ij)} = ET_j - ET_i - t_{ij}$$

١- تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

المسار الحرج :هو سلسة من العمليات الحرجة التي تبدأ من الحادثة الأولى للمشروع و تنتهي بحادثة نهاية المشروع، و يمثل أطول مسار زمني في المشروع يصل بين حادثتي البدء و الإنتهاء أي زمن كامل المشروع.

العملية الحرجة يجب أن تحقق الشرطين التاليين:

- العملية محصورة بين حادثتين حرجتين.
- الفرق بين توقيتي البدء و الإنتهاء من العملية يساوي زمن العملية.

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

أرسم المخطط الشبكي للمشروع الموضحة عملياته في الجدول التالي وحلله وحدد مساره الحرج.

العملية	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
العملية السابقة	H,B G,F,I	J,C L	E	F	-	J	L	G	J	K,E	-	-
الزمن	12	11	8	10	10	8	4	8	7	9	7	15

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

أرسم المخطط الشبكي للمشروع الموضحة عملياته في الجدول التالي وحلله وحدد مساره الحرج.

العملية	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
العمليـــــة السابقة	**F,J**	E,H	-	I,L	-	B, K	D,F	-	C, H	K,L	H,E	H,C
الزمن	6	9	10	5	7	10	9	9	8	7	11	15

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

أرسم المخطط الشبكي للمشروع الموضحة عملياته في الجدول التالي وحلله وحدد مساره الحرج.

العملية	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
العملية السابقة	D, I,J	-	E	K, M, N	L	D, J	-	C, I	K, O	M	B	-	G	B, G	B, L
الزمن	7	12	11	9	11	11	10	10	5	13	6	9	7	8	8

تحليل المخطط الشبكي بطريقة المسار الحرج CPM

أرسم المخطط الشبكي للمشروع الموضحة عملياته في الجدول التالي وحلله وحدد مساره الحرج.

العملية	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
العمليـــــة السابقة	G,K ,I	-	G	-	I	-	L,J	B,D	H, L	F,B,D	H,L	B
الزمن	10	10	6	5	9	7	15	8	12	9	8	7