إدارة التشييد

Construction Management

الفصـل الأول

مقـدمـــة إلـــى إدارة المشـــاريـــع

Introduction to Project Management

مقدمة:

- يزخر قطاع الأعمال بالمشاريع **فالمشاريع هي الذراع الاستثماري الأساسي للحكومات** وللشركات ومنظمات الأعمال وغالبا ما تكون الفرص الأستثمارية المتاحة هي على هيئة مشاريع.
- إن **فعالية المشروع** (الجدوى التي يمكن قياسها من خلالها: مدة المشروع والكلفة والنوعية) تتوقف في كثير من الأحيان على مدى إدخال **علم تنظيم المشروعات وإدارتها** في الممارسات والتطبيقات العملية من جهة وعلى مدى تطور علم إدارة المشروعات ومدى استخدام **الأساليب التقنية والعلمية** الحديثة من جهة أخرى.

تعريف المشروع Project

- المشروع هو عبارة عن جهد مؤقت يتم القيام به لإنشاء منتج أو نتيجة فريدة.

A project is a temporary endeavour undertaken to create a unique product, service, or result.

- هو مجموعة من الإجراءات اللازمة لإنجاز هدف معين، وإنجاز الهدف يتطلب تنفيذ أنشطة مترابطة، لها أمد محدد ببدايات ونهايات، وجميع المشاريع فريدة إلى حد ما.

تصنيف المشاريع *Classification of Projects*

تصنف المشروعات وفق عدة عوامل:

- طبيعة المشروع (تقنية، إدارية، تنموية، إنشائية، معلوماتية...).
- مجال المشروع (كامل، دراسة، تنفيذ، توريد...).
- حجم المشروع (كبير، متوسط، صغير).
- الجهة الموجه إليها المشروع (داخلية، خارجية).

أطراف المشروع *Project's Parties* :

- **المالك أو صاحب المشروع Owner** ويمكن أن يكون شخصا عاديا أو اعتباريا وهو الجهة التي تحثّ على قيام المشروع وتقوم بالتمويل خلال فترة إنشاء المشروع وتقوم باستلامه ومن ثم استثماره وصيانته .
- **الدارس أو المصمم Designer** وهو الشخص أو المكتب الاستشاري أو المهندس الذي يعهَد إليه بتقديم دراسة أو تصميم اقتصادي للمشروع.
- **المنفذ المقاول (Contractor)** ويمكن أن يكون شخص ما مؤسسة شركة حكومية أو خاصة كبيرة أو صغيرة .
- **المهندس المشرف أو الاستشاري Consultant engineer/ Supervisor** وهو الجهة التي يَعهد إليها المالك لمراقبة سير تقدم العمل في المشروع ومدى مطابقة المشروع للمخططات وللمواصفات الموضوعة له.

مدة المشروع وكلفته Project Coast & Duration

- **مدة المشروع:** ليست عملية تجميع حسابية بسيطة لأزمنة نشاطاته كلها بل تكون مساوية لمجموع مدد النشاطات الواقعة على **أطول مسار زمني** فيه وهو **أقل زمن ممكن لتنفيذ المشروع** والذي يسمى اصطلاحا **بالمسار الحرج Critical Path**وتسمى النشاطات الواقعة عليه بالنشاطات الحرجة critical activity.
- **تكلفة المشروع: مجموع تكاليف نشاطاته** كلها وتنتج من تخصيص المشروع أو نشاطاته بعدد محدد من الموارد التي تسمى موارد المشروع**project resources** .

الموارد في المشروع *Project Resources* :

- **العمال/العمالة Labor** :و تشمل العمال (المهَرة وغير المهَرة)، فنيين، كوادر إدارية، مشرفين ومهندسين وتسمى بالموارد البشرية. Human Resources/HR
- **الآليات والمعدات Equipment &Tools** :وتشمل جميع الآليات والمعدّات الهندسية المستخدمة في أعمال الإنشاء أو التنفيذ مثل: التركسات، الكريدر، بلدوزر، جبالة، رافعة، مضخة بيتون، قلابات، سيارات الخدمة . . و غيرها.
- **المواد /مواد البناء Material/Construction materials** :و تشمل جميع المواد التي تستخدم في تنفيذ المشروع: إسمنت، حديد، بحص رمل خشب ألمنيوم .. و غيرها.

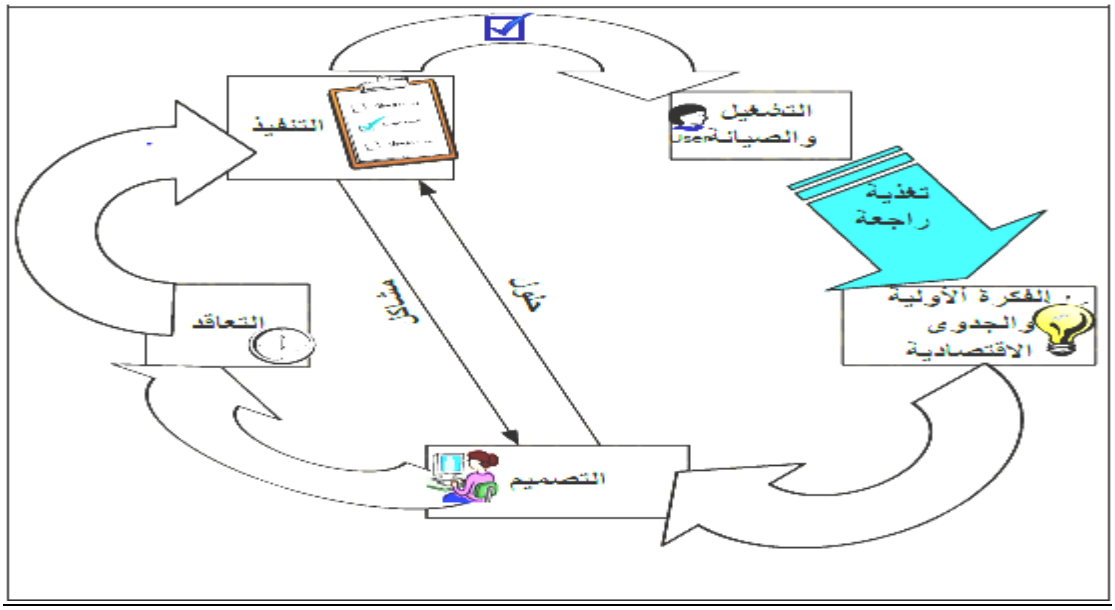
بسبب **محدودية الموارد** تنشأ الحاجة إلى وجود **إدارة لهذه الموارد**، وهدف إدارة الموارد هو **استثمار الموارد المتاحة بأفضل شكل** ممكن ولتحقيق **أكبر عائدية** من جراء هذا الاستثمار أو التشغيل.

مثلث قيود المشروع Project Constraint Tringle

- **الغاية Goals أو نطاق المشروع Project Scope** : إلى ماذا يرمي المشروع؟؛ وما الذي سيتم إنجازه؟
- **الزمن Time** كم من الزمن يلزم لتحقيق ذلك ؟(مدة إنجاز المشروع)
- **التكلفة Cost** كم سيكلف ذلك؟ (كلفة المشروع)

دورة حياة المشروع Project Life cycle :

- **الفكرة الأولية Concept**: من الحاجة إلى المشروع لدى الإدارة أو المالك وقد تكون الفكرة فردية أو جماعية .
- **مرحلة دراسة الجدوى Feasibility study**: تتم دراسة الفكرة و تقييمها study and evaluation بشكل موسع من حيث الكلفة والعائدية من تنفيذ المشروع



- **مرحلة التصميم Design phase** :يتم خلالها وضع تصور كامل عن المشروع توصيفا وتخطيطا
- **مرحلة التعاقد على تنفيذ المشروع *Contracting phase***
- **مرحلة التنفيذ/ الإنشاء Implementation/ Execution / Construction phase**
- **مرحلة التشغيل أو الاستثمار و الصيانة Operation Utilization and Maintenance phase**

مخرجات إدارة المشاريع PM الرئيسية

- وثائق العمل project charter
- نطاق العمل Scope Statement
- البنية التفصيلية للعمل WBS Work Breakdown Structure
- قائمة الأنشطة Activity List
- التخطيط الشبكيNetwork Diagram
- توقعات مدة النشاط Activity Duration Estimates
- الموارد المطلوبة Resource Requirement
- جدولة المشروع وتوقعات الكلفة

وظائف الإدارة

1- لتخطيط *Planning*:

يقرر التخطيط ماهية العمل، زمان تنفيذ العمل ومكانه وكيفته، فعلى المخطط أن يسأل نفسه باستمرار ماذا يجب أن نفعل أو باختصار ما العمل؟ متى؟ أين؟ كيف؟

مثلاً: في تنفيذ الأعمال الترابية على المخطط تحديد طريقة تنفيذ العمل هل هو يدوي أم آلي؟ كما أنه يحدد بدء العمل بحيث لا تؤثر ظروف الطقس على هذه العمليات وبالتالي يجب تجنب وضع العمليات الترابية في الخطة التنفيذية للمشروع من خلال موسم الأمطار حيث توضع إما قبل أو بعد وذلك لتجنب الفيضانات وما يتبعها من توقف أعمال الحفريات أو الردميات ومن البديهي أن الزمن اللازم للأعمال الترابية يتحدد بعد حساب حجوم هذه الأعمال وتقدير إنتاجية العامل أو الآلية حسب الحالة وإذا كانت الحفريات صخرية عندها يجب احتواء الخطة على الآلية الخاصة بحفر الصخور "نقار أو ريبير صخري" وبقدر ما تكون الخطة شاملة ودقيقة يكون من السهل تنفيذ عمليات المشروع خلال الزمن المقرر في الخطة.

2- التنظيم *Organizing*:

تحقق الإدارة هذه الوظيفة من خلال تكوين هيئات تنظيمية (هياكل إدارية) قادرة ومسؤولة لتنفيذ النشاطات أو العمليات المبرمجة (المخطط لها) سابقاً.

3- الإشراف والتوجيه *Direction*:

وتنجز الإدارة هذه الوظيفة من خلال قيادة وتوجيه والإشراف على عمل المستخدمين في الإدارة أو المؤسسة ويتم ذلك من خلال تفعيل الاتصالات بين المستخدمين العاملين والإدارة (كمديرين) لتوليد الحافز لديهم لتنفيذ الخطة المطلوبة.

4- المراقبة والمتابعة *Controlling and Tracking*:

تنجز الإدارة هذه الوظيفة من خلال مقارنة الخطة الموضوعة مع ما يتم تنفيذه واقعياً في المشروع ويتم تعيين أماكن القصور والنقص في تنفيذ البرنامج الزمني للمشروع.

5- التنسيق *Coordinating*:

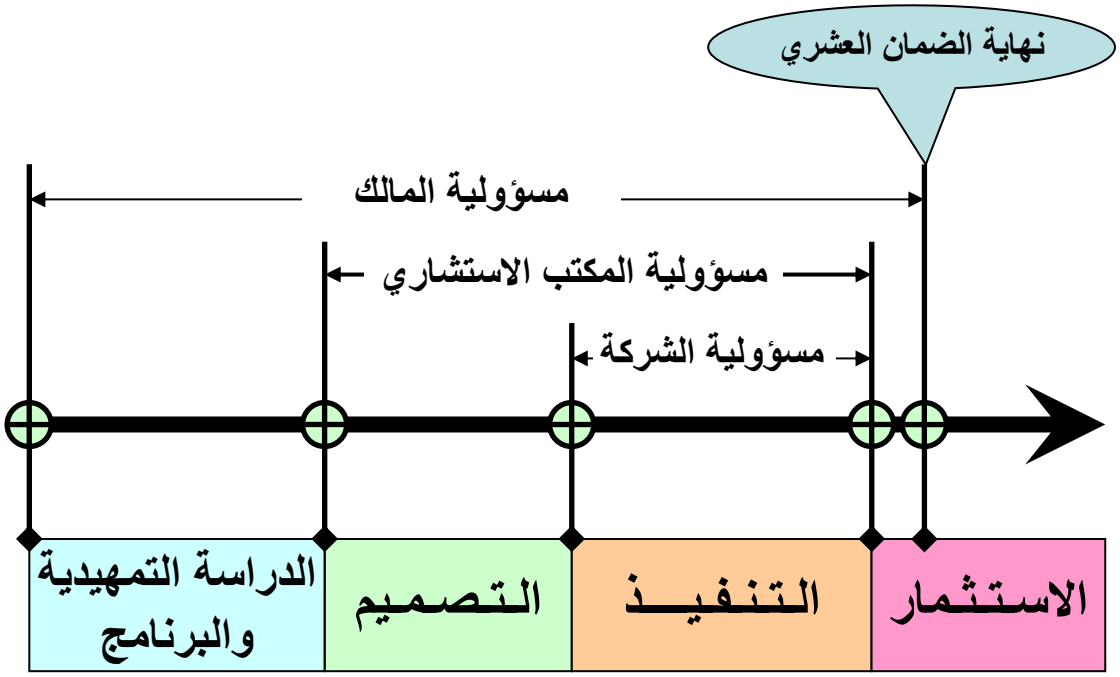
من وظائف الإدارة أيضاً التنسيق بين مختلف أطراف المشروع والتنسيق ضمن الفريق الواحد المشرف على المشروع.

الفصل الثاني

تنظيم المشاريع : مفاهيم أساسية

2 – 1 تنظيم المشاريع وتنظيم الانتاج :

نظراً للعدد الكبير من المعنيين بعملية البناء فإنّ تنظيم المشـــاريع يُمكن أن يُرى من زوايا مُختلفة. بالنســـبة لمالك المشروع، يبدأ تنظيم المشروع مع وضـع البرنامج وينتهي مع نهاية الضـمان العشري. بالنسبة للمكتب الاســتشــاري، يبدأ مع بداية التصــميم وينتهي مع نهاية التنفيذ، أما بالنســبة للشــركة المنفذة فيقتصــر تنظيم المشـاريع على فترة تدخلها ضـمن اطار التنفيذ ويُشـكل بذلك جزءً من تنظيم الانتاج والخاص بكل شـركة من الشركات.

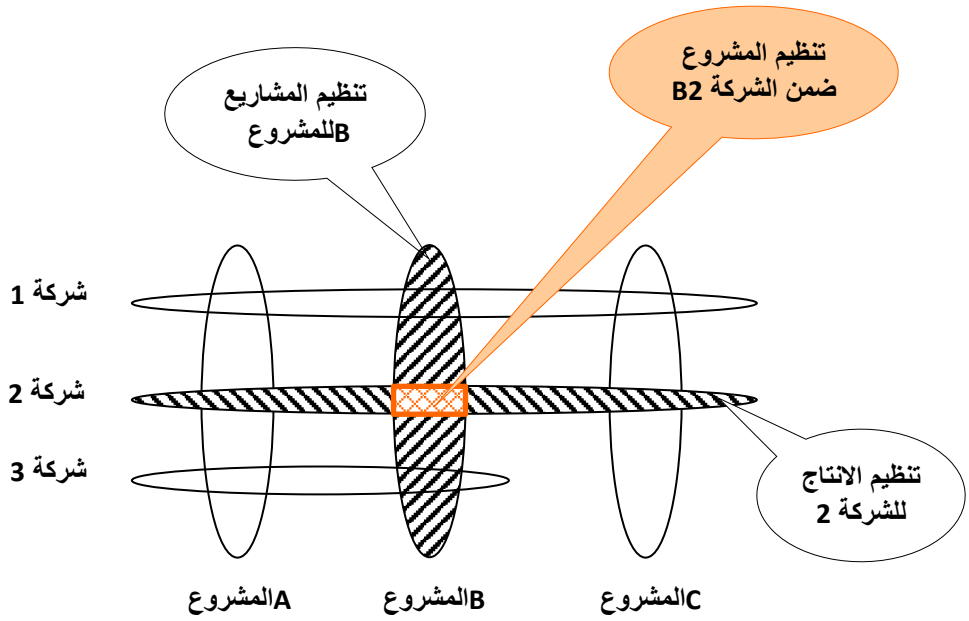


ينص **تنظيم المشاريع** على اعطاء المشروع مجموعة الخصائص الكاملة والدقيقة وعلى وضع نظام للمراقبة واتخاذ القرار والتأكد من حسن عمل هذا النظام وخاصة فيما يتعلق بتوزيع وسائط الانتاج وأمثلتها وذلك حتى

ينم انجاز المشـــروع. يخص تنظيم المشـــاريع مشـــروعاً واحداً بالمقابل فهو يرتبط بعدة شـــركات والتي يجب التنسيق بين تدخلاتها على نفس المشروع وذلك بهدف أمثلة كلفة وزمن تنفيذ المشروع.

يرتبط **تنظيم الانتاج** بشـــركة واحدة وينص بالنســـبة لهذه الشـــركة على أمثلة اســـتخدام وســـائط الانتاج التي تحشدها من أجل تنفيذ عدد من المشاريع التي تشارك هذه الشركة بتنفيذها. إذن بالنسبة لهذه الشركة يجب أن تُجيب على الأسئلة التالية : كيف يتم الانتاج، متى وبأي كلفة ؟؟؟

بالنتيجة يُمثل تنظيم الانتاج سوية أكثر دقة من تنظيم المشاريع.



شكل 2 – 1 : مفهوم تنظيم المشروع وتنظيم الانتاج

التقاطع بين المحور الأفقي X (الشركة) والمحور Y (المشروع) يُمثل ضرورة ايجاد تسوية بين مصالح الشركة التي تُنفذ مشاريع مُتعددة وبين حسن سير المشروع الذي يتم تنفيذه من قبل عدة شركات.

2 – 2 العناصر الأساسية لتنظيم المشاريع :

تعريف تنظيم المشاريع ليس جامداً إنما يتغير بحسب كل مُمثل من مُمثلي المشروع وبحسب نوع المشروع ومضمونه. بشكل أساسي يرتكز تنظيم المشروع على الركائز الثلاث التالية :

- تنظيم الزمن : أمثلة زمن انجاز المشروع.
- تنظيم الموارد : أمثلة الموارد التي يتم حشدها لانجاز المشروع.
- ضبط الكلفة : معالجة المشاكل المُتعلقة بالمغلف المالي، الميزانية، تمويل الأعمال.

بالإضافة إلى هذه الركائز الثلاث :

- تنظيم وثائق المشروع : تنظيم اصدار هذه الوثائق، تصنيفها، التجديد الدوري لها، تحديد آلية انتقالها بين مُختلف المعنيين.
- التحقق من الجودة : وصف التجارب, تنظيم الجودة، تنظيم تسليم مختلف الأعمال.
- تحليل البدائل المُقترحة من قبل شركات التنفيذ.

2 – 2 – 1 تنظيم الزمن وتنظيم الموارد :

يتم تعريف المشروع عبر مُختلف مراحل التصميم، ثم تقسيمه إلى مجموعة من الأعمال التي يؤدي تنفيذها إلى إنجاز المشروع. يتم تقسيم هذه الأعمال إلى مجموعة من العمليات وإلى مجموعة من مناطق التنفيذ. أي بتعبير آخر تقسيم الأعمال إلى عدد من **المهام**.

من خلال التخطيط (تنظيم الزمن وتنظيم الموارد) يتم تحديد خصائص هذه المهام (استهلاك موارد، موقع، مدة، روابط،...)، وباستخدام إحدى تقنيات التنظيم الزمني، يُمكن تنفيذ هذه المهام بطريقة تؤدي إلى أمثلة الزمن الكلي للمشروع بالإضافة إلى الاستخدام الأمثل لوسائط الإنتاج (الموارد). يتم تمثيل نتيجة التخطيط الزمني على شكل مُخططات زمنية (plannings). وجرت العادة على اعتماد أربعة مستويات مُميزة وهي :

1) المستوى 0 أو العام.
2) المستوى 1 أو المُغلف.
3) المستوى 2 أو المفصل.
4) المستوى 3 أو المفصل جداً (أو المفصل التنفيذي).

يخص كل مستوى من هذه المستويات الأربعة مرحلة من مراحل المشروع، يسمح الجدول (2 – 1) بتحديد سوية التخطيط الزمني الموافقة لكل مرحلة من مراحل المشروع والمعنيين بإنجاز هذه المُخططات :

سوية التخطيط الزمني	مراحل المشروع	المعنيين بإنجاز المخططات الزمنية			
		مالك المشروع	المكتب الاستشاري	شركات التنفيذ	المُتعهدين
0	البرنامج	x	x		
1	ماقبل المشروع		x	x	
2	المشروع			x	x
3	التنفيذ			x	x

جدول 2 – 1 : أهم المُخططات الزمنية ومراحل إعدادها.

2 – 2 – 2 ضبط الكلفة :

لايُمكن مُقاربة ضبط الكلفة بطريقة مُستقلة عن تنظيم الزمن و تنظيم الموارد.

يُمكن تقدير الكلفة باستخدام إحدى الطريقتين التاليتين :

- **الطريقة الأولى (الطريقة العامة)** : عبارة عن تقدير عام للكلفة يتم بمساعدة مايُسمى بالأسعار المُختزلة. يتم اسناد الكلفة إلى بُعد مُميز للمشروع (كلفة 1 م^2 من المبنى، كلفة سرير واحد بالنسبة لمشاريع المشافي، كلفة تلميذ بالنسبة لمشاريع المدارس،...).
- **الطريقة الثانية (الطريقة الدقيقة)** : عبارة عن تقدير مُفصل للكلفة يتم انطلاقاً من معلومات دقيقة للمشروع (دفاتر المساحة، المخططات الدقيقة بمُختلف أنواعها،...) بإحدى الأسلوبين التاليين :
  - **ينص الأسلوب الأول** على نسب الكلفة إلى الكميات (يتم تحويل المشروع إلى لائحة كميات بمقابل كل كمية هناك كلفة محددة).
  - **بينما ينص الأسلوب الآخر** على تحليل الكلفة إلى عناصرها الأساسية (كلفة اليد العاملة، كلفة الآليات، كلفة المواد الأولية).

يتعلق استخدام الطريقة العامة أو الطريقة المُفصلة بالدقة المطلوبة والسرعة المطلوبة لتقدير الأسعار كما يتعلق بحجم ونوع المُعطيات المتوفرة.

سنسعرض فيما يلي ضبط الكلفة بحسب مُختلف المعنيين بالمشروع :

بالنسبة لمالك المشروع : ينص ضبط الكلفة على تقدير أول مغلف مالي متوقع. يتم انجاز المُغلف المالي المُتوقع، ضمن إطار انجاز البرنامج، بحسب الطريقة العامة.

بالنسبة للمكتب الاستشاري : يباشر المكتب الاستشاري بانجاز الموازنة المتوقعة وذلك من أجل التحقق من المُغلف المالي الذي كان قد أنجزه مالك المشروع.

في المرحلة المُتقدمة للتصميم، يقوم المكتب الاستشاري بإنجاز الكشوف التقديرية الواجب دفعها للشركات المُنفذة وذلك من أجل توقع توزيع النفقات أثناء انجاز المشروع. تجدر الإشارة إلى أنّه يتم انجاز الكشوف التقديرية بناءً على المخططات الزمنية لهذه المرحلة.

يتدخل المكتب الاستشاري، أثناء التنفيذ، من أجل تقييم حالة المشروع وذلك لتحديد المدفوعات الحقيقية ومُقارنتها مع الكشوف التقديرية التي تم وضعها سابقاً.

بالنسبة للشركة المُنفذة : يتم مُقاربة ضبط الكلفة بطرق مُختلفة حسب المراحل المُختلفة للمشروع. تقوم الشركة بإجراء تقدير سريع للكلفة وذلك بهدف معرفة فيما إذا كانت المُناقصة تمثل أهمية أم لا. يتم هذا التقدير السريع للكلفة بحسب الطريقة العامة وبالإعتماد على بعض المُعطيات (مساحة البلاطة، مجموع أطوال الواجهات،...).

المرحلة اللاحقة بالنسبة للشركة هي انجاز دراسة الأسعار(أثناء الرد على المناقصة) وهو عبارة عن تقدير مُفصل يتم بحسب الطريقة الدقيقة وبالاستناد إلى ملف المناقصة.

بعد دراسة الأسعار وبعد فوز الشركة بالمناقصة، يتم البدء بما يُسمى دراسة الأعمال وذلك استناداً إلى مُخططات أكثر دقة للمشروع.

2 – 2 – 3 تنظيم الموارد :

ينص تنظيم الموارد مُعالجة المحاور التالية :

- **الآليات** : يتم من خلال أمثلة استخدام الآليات الغالية والنادرة (الرافعة، المجبل البيتوني، القوالب المعدنية،...)
- **توزيع العمال** : أمثلة استخدام اليد العاملة من خلال صقل هذا النوع من الموارد. يُقصد بالصقل، استخدام مُنتظم قدر الإمكان لليد العاملة طيلة فترة تنفيذ المشروع.
- **تنظيم المخزون** : توقع تواريخ طلب، استلام وتخزين المواد الأولية.
- **تنظيم المُسبق الصنع** : توقع تواريخ طلب العناصر المُسبقة الصُنع مع الأخذ بعين الإعتبار مُدد الدراسة والتصنيع لهذه العناصر.

2 – 2 – 4 تنظيم الملفات :

يندرج ضمن هذا الإطار الجوانب التالية :

- **تنظيم انتاج الملفات** : يتضمن انتاج الوثائق والمُستندات على اختلاف أنواعها (مُخططات معمارية، نوطات حسابية، مُخططات التسليح، مُخططات زمنية،...) كما يتضمن ايصال هذه المُستندات من الشركة المُنفذة ومن المكتب الدارس على الورشة.
- **التعديل الدوري للمُخططات** : يجب، في حال حدوث تعديلات أثناء التنفيذ، التأكد من تعديل الوثائق والمستندات الموافقة. وعند اللزوم، تصميم مُستندات ووثائق إضافية تسمح بتضمين التعديلات التي تم اجراءها.

2 – 2 – 5 مراقبة الجودة :

يتضمن الجوانب التالية :

- **تقديم العينات** : توقع تواريخ تقديم العينات التي تضمن مراقبة الجودة وبحسب ملف ضمان الجودة الذي تم تعريفه مُسبقاً.
- **ضمان الجودة** : تحديد الإختبار أو التحقق الذي يجب القيام به ضمن الورشة أو خارجها من أجل ضمان جودة تنفيذ مُختلف الأعمال.
- **الاستلام** : القيام بالمراقبة التي تسبق عملية استلام مُختلف الأعمال.

2 – 3 الترابط مابين التصميم والتنفيذ :

حتى لو أنّ التنفيذ يأتي (من ناحية تسلسل مراحل المشروع) بعد التصميم، يجب أن تؤخذ بعين الإعتبار بعضاً من خصائصه منذ المراحل المُبكرة للتصميم وذلك نظراً لما له من تأثير على تصميم المشروع.

وهكذا فإنّ اختيار وسائط الانتاج يُمكن أن يُلغي بعض الحلول الممكنة تقنياً (من وجهة نظر التصميم). كمثال على ذلك، عدم توفر بعض وسائط الإنتاج مثل الرافعة (بمعنى عدم مقدرة الشركة الحصول على رافعة أو عدم إمكانية تركيب الرافعة ضمن الورشة) يلغي كل الحلول من نوع مُسبق الصُنع، كونها عناصر ثقيلة ولايُمكن تنفيذها بدون روافع.

أيضاً، بعض القيود المُتعلقة بالكلفة أو بالزمن (ضرورة التقيد بميزانية محدودة أو ضرورة انجاز المشروع بزمن مُحدد) يُمكن أن تلغي حلولاً وتفرض حلول أخرى بسبب أنّ زمن تنفيذها أو كلفة تنفيذها ستكون أكبر من الزمن المطلوب أو من المكلفة الممكن حشدها لتنفيذ المشروع.

أخيراً، يتم ترجمة المعوقات التي تعترض التنفيذ (صعوبة الوصول إلى الورشة، الحدود مع الجوار، المناخ،...) من خلال تنظيم مُعين للورشة والذي قد تصل آثاره إلى تحديد الخيارات التقنية الخاصة بتصميم المشروع. على سبيل المثال، تفرض المعوقات المناخية الخاصة بالورش الواقعة في مناطق جبلية، استخدام منشآت من البيتون المُسبق الصُنع (نظراً لاستحالة تصلب البيتون المصبوب بالمكان خلال فصل الشتاء بالطرق العادية). هذا الخيار، يجب أن يؤخذ بعين الإعتبار خلال مرحلة التصميم من خلال تصميم الهيكل على أساس أنّه مؤلف من عناصر مُسبقة الصُنع.

الفصل الثالث
التنظيم الزمني لمشاريع التشييد باستخدام الطرق الشبكية

المُخطط الزمني هو أداة لتوقع زمن تنفيذ المشروع مبنية على أساس فرضية مُعينة.

الغاية من وضع المُخططات الزمنية :

يُمكن تحديد خمس غايات أساسية لوضع المُخطط الزمني :

- التوقع : انجاز برنامج النشاطات وإسقاطها زمنياً.
- التنظيم : توفير الوسائط الضرورية للتنفيذ كما تم توقعه.
- إصدار الأوامر : بدء التنفيذ لمُختلف الأعمال وتقييم تأثير ترابط هذه الأعمال مع بعضها البعض.
- التنسيق : بين مُختلف الأطراف وبين مُختلف الأعمال وذلك خلال مُختلف المراحل.
- المُراقبة : التأكد من أنّ التنفيذ يُطابق التوقعات وأخذ الإجراءات اللازمة لتصحيح التجاوزات الحاصلة.

في البداية، يكون المُخطط الزمني عبارة عن مدة تنفيذ تُحدد الإطار الذي يجب أن تدور ضمنه العمليات التنفيذية للمشروع، بعدها يتحول المُخطط الزمني إلى مُخطط يتضمن أزمنة مُحددة للتنفيذ.

عناصر المُخططات الزمنية :

يتألف المُخطط الزمني من عنصرين أساسيين : المهام والروابط.

المهام :

تُشكل المهام العنصر الأساسي للمخطط الزمني وتمثل العمل المنجز ضمن منطقة محددة وباستخدام موارد معينة.

خواص المهام :

بحسب الهدف وبحسب المضمون (تنظيم مشاريع، تنظيم انتاج)، يُمكن أن تُعطى للمهمة الخواص التالية :

الموقع :

يسمح بربط المهمة بفضاء مُعين، هذا الفضاء يوافق منطقة من المُنشأ. ينص الموقع على إيجاد مرجعية بين المهمة وبين منطقة وحيدة وبالتالي، لايُمكن للمهمة أن تُنفذ ضمن أكثر من منطقة.

المُدة :

يُمكن التعبير عنها مع وحدة زمنية مُعرفة مُسبقاً بحسب مستوى التخطيط والتصميم، يُمكن أن تتراوح مدة تنفيذ المهمة من الدقيقة إلى الشهر. غالباً مايُعبر عن مدة المهمة على شكل مجال زمني يتغير بين قيمة مُتفائلة وبين قيمة مُتشائمة وذلك للأخذ بعين الإعتبار كل المُصادفات المُمكنة الحدوث والتي من شأنها تأخير التنفيذ لهذه المهمة.

الموارد :

يُمكن التمييز بين نوعين من الموارد :

- الموارد المُتجددة : هي الموارد التي يُمكن استخدامها أكثر من مرة مثل العمال والآليات.
- الموارد المُستهلكة : الموارد التي تُستخدم مرة واحدة فقط مثل المواد الأولية.

الموارد لها علاقة وثيقة بمستوى التخطيط الزمني : من أجل مُخطط عام، يتم تمثيل الموارد اللازمة للمشروع على شكل موارد مالية في حين أنّه من أجل المُخططات المُفصلة يتم التمييز بين مُختلف أنواع الموارد من مواد أولية، آليات ويد عاملة.

الروابط :
هناك أنواع مُختلفة من الروابط والتي سنأتي على ذكرها لاحقاً.

الروابط بين المهام :

الرابطة هي التعبير العام الذي يُعبر عن علاقة بين أثنين أو عدة عناصر قابلة للتفاعل مع بعضها البعض.
يُمكن التمييز بين عدة أنواع من الروابط نذكر منها :

رابطة التسلسل :
تُعبر عن ضرورة بدء أو إنهاء مهمة مع فاصل زمني بالمُقارنة مع بداية أو نهاية مهمة أخرى.
مثال :
في منطقة مُعينة، لاتبدأ أعمال الأساسات إلا بعد الإنتهاء من أعمال الحفر.
في منطقة مُعينة، لايمكن أن تبدأ مهمة تثبيت الموكيت إلا بعد الانتهاء من أعمال الدهان.

رابطة التفريق :
تُترجم عدم تزامن مهمتين. تُستخدم، على سبيل المثال، عندما نفرض على مهمتين مُختلفتين أن لاتُنفذا بنفس الوقت وضمن نفس المنطقة.
مثال : لايُمكن أن تُنفذ ضمن نفس المنطقة أعمال الطينة وأعمال البلاط.

رابطة الزمن :
المقصود هو التواريخ الثابتة (الحدود الزمنية المُعرّفة مُسبقاً) والمربوطة مع حوادث تُحدد النهاية المُتأخرة لمهمة.
مثال : إذا توجب تسليم جزء من المشروع بتاريخ مُعين، يجب أن تنتهي كل العمليات المُرتبطة بهذا الجزء قبل هذا التاريخ.
يُمكن أن يُحدد أيضاً هذا النوع من الروابط تاريخ اجباري مُبكر للبدء.
مثال : تاريخ توريد مادة لازمة لإنجاز مهمة ما هو تاريخ البدء المُبكر لهذه المهمة.

رابطة الموارد المُتجددة :
وهي الروابط المُتعلقة بالموارد المتجددة من عمال وآليات.
تُترجم أزمنة توفر أو عدم توفر الموارد، محدودية الموارد، ضرورة أمثلة الموارد مع أفضلية للبعض منها.
الأخذ بعين الاعتبار لرابطة محدودية الموارد غالباً مايُسمى " تسوية الموارد ".
رابطة أمثلة استخدام الموارد والتي تنص على استهلاك مستوى مُنتظم قدر الإمكان من الموارد طيلة فترة تنفيذ المشروع، تُسمى " صقل الموارد ".

رابطة الموارد المُستهلكة :
تُترجم أزمنة وفترات توفر الموارد المُستهلكة، مقدرة وكلفة تخزين هذه الموارد.

طرق تمثيل المُخططات الزمنية :

يجب أن يتحلى المُخطط الزمني بعدد من الميزات وهي :

- سهولة القراءة.
- السماح بالمراقبة المُستمرة.
- قابلية التعديل الدوري بحيث يتم اجراء التعديلات اللازمة.

من خلال استعراضنا لماهية المُخطط الزمني، هناك عنصرين بارزين أثناء وضع المُخطط الزمني :

1) زمن تنفيذ مُختلف المهام.
2) الروابط المنطقية التي تربط المهام مع بعضها البعض.

كل الطرق التي تسمح بتمثيل المُخططات الزمنية، يجب أن تأخذ بعين الاعتبار هذين العنصرين. لاتوجد طريقة مثالية، لكل طريقة حسناتها وسيئاتها.

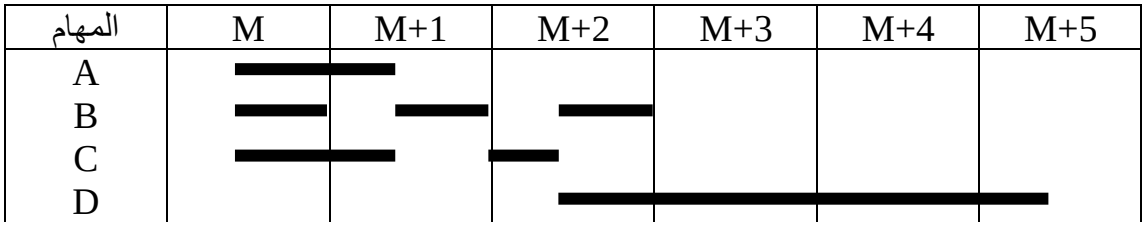
بشكل عام، يُمكن التمييز بين مجموعتين من طرق تمثيل المُخططات الزمنية :

1) المُخططات الزمنية التي من خلالها يتم التركيز على الأزمنة أو التواريخ (وهي الأقدم والأكثر شيوعاً)، حيث تُمثل هذه الأزمنة على محور الفواصل.
2) المُخططات الزمنية التي تركز بشكل أساسي على الروابط المنطقية بين المهام وذلك بدون إغفال المدة والتي تُعطى المقام الثاني من الاهتمام.

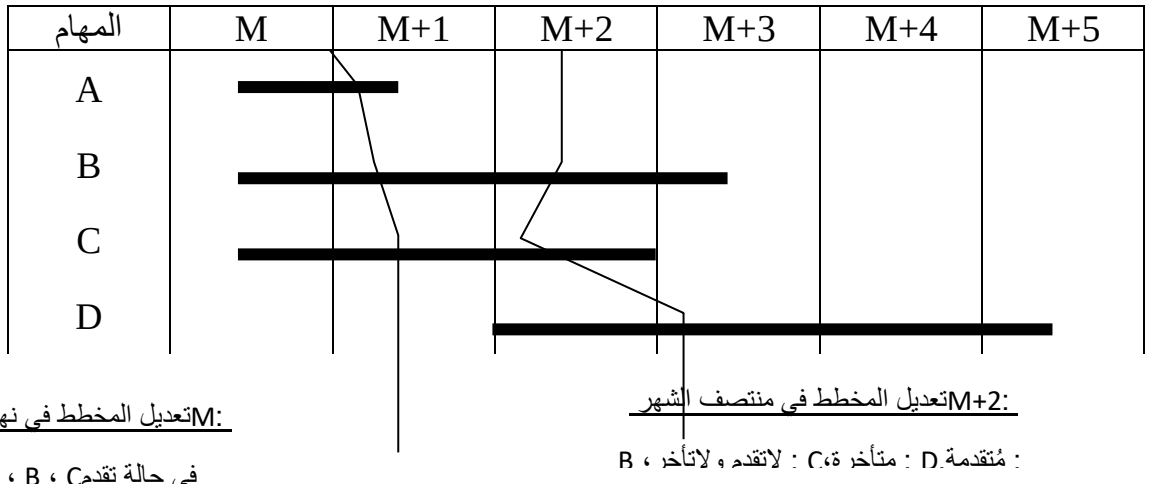
المُخططات التي تُركز في المقام الأول على الزمن :

يُمكن التميز بين نوعين شهيرين من هذه المُخططات :

المُخططات القضبانية أو مُخططات (Gantt) : هي الأكثر شيوعاً حيث يُمثل الزمن على محور الفواصل بينما يتم تمثيل المهام أو العمليات على محور التراتيب.



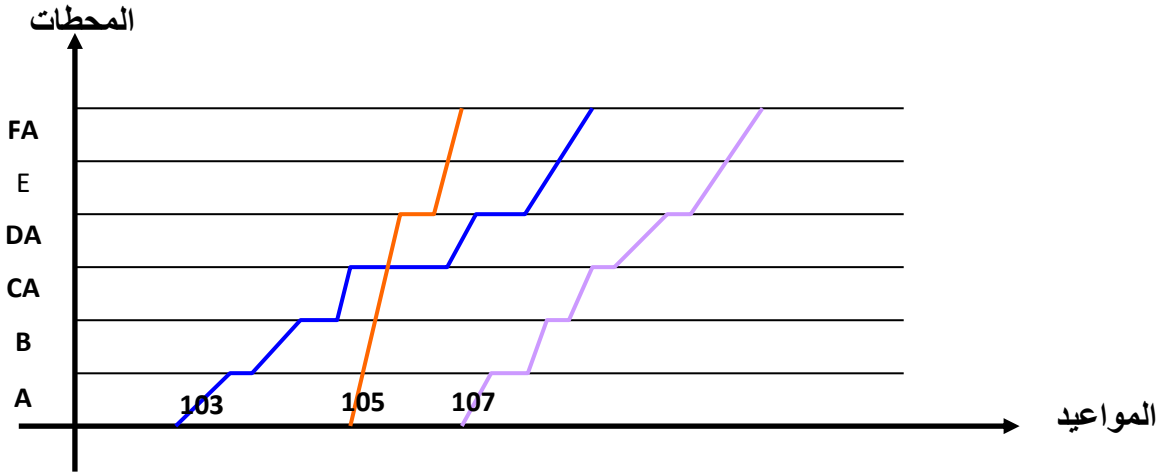
يقوم هذا النوع من المُخططات بدوره كاملاً من ناحية التعبير عن أزمنة ومُدد المهام المُختلفة للمشروع بالإضافة إلى سهولة استخدامه كأداة للمراقبة.

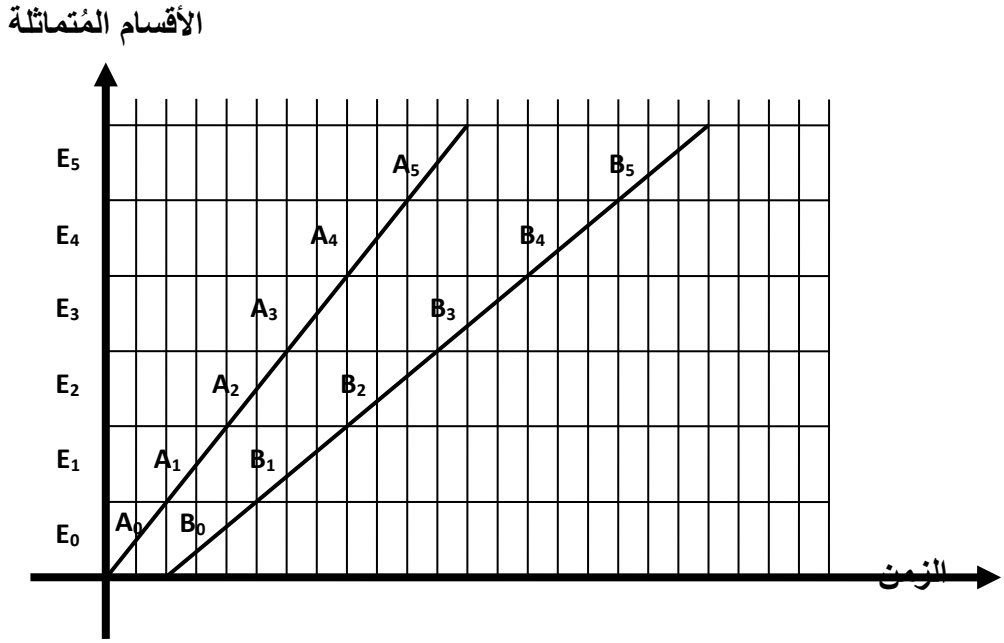


من المآخذ على المُخططات القضبانية

صعوبة تعديلها وفي حال تكررت التعديلات الدورية عدة مرات، يُصبح المُخطط غير مقروء الأمر الذي يستدعي إعادة صياغته مُجدداً.
من ناحية أخرى هناك صعوبة بإظهار الروابط المنطقية بين المهام والتي في حال الاضطرار إلى تمثيلها وفي حال التعديل الدوري لعدة مرات تؤدي إلى تحويل المُخطط إلى مُخطط صعب القراءة والاستخدام.

مُخططات السكك الحديدية : التسمية جاءت بسبب أن مؤسسات السكك الحديدية كانت أول من توصل إلى وضع هكذا مُخططات زمنية لتنظيم حركة القطارات بين مُختلف المحطات حيث كانت تُمثل هذه المواعيد على محور الفواصل بينما تُمثل المحطات على محور التراتيب كما هو مُبين على المُخطط التالي :





يُستخدم مُخطط السكك الحديدية في حال المنشآت التي تتضمن أعمال متكررة مثل مشاريع الطرق ومشاريع الأبنية.

يُمثل محور الفواصل محور الزمن (بشكل عام يؤخذ اليوم كواحدة للزمن) ويُمثل الأجزاء المُتشابهة للمنشأة (طابق بناء مؤلف من عدد من الطوابق المُتشابهة).
نفترض أنّ سرعة تنفيذ المهمة ثابتة من أجل كل وحدة متكررة, ينتج لدينا قطعة مستقيمة تُشكل زاوية مع محور الفواصل.

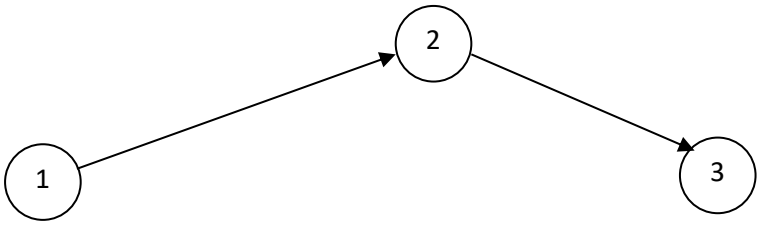
المُخططات التي تُركز في المقام الأول على الروابط (المُخططات الشبكية) :

تتألف الشبكة من أضلاع ومن عقد، تُسمى العقد بالرؤوس بينما تُسمى الأضلاع بالأقواس. بما أنّ المُخطط الزمني أو الشبكة تُمثل عنصرين أساسيين : المهام والروابط، إذن هناك إمكانيتان للتمثيل :

- نسب الأقواس إلى المهام والرؤوس إلى الحوادث التي توافق بدايات ونهايات هذه المهام وهكذا نحصل على المخطط الشبكي السهمي.
- نسب الرؤوس إلى المهام والأقواس إلى الروابط وبالتالي يتم الحصول على المُخطط الشبكي العُقدي.

التمثيل الشبكي السهمي :

في هذا النوع من المُخططات يتم تمثيل المهمة بواسطة قوس موجه (جهة القوس مُحددة من خلال سهم)، تجدر الإشارة إلى أنّ طول القوس مُستقل عن المدة الزمنية للمهمة التي يُمثلها.
يتم فصل المهام عن بعضها البعض من خلال رؤوس (عقد) مرقمة تُمثل الحوادث.



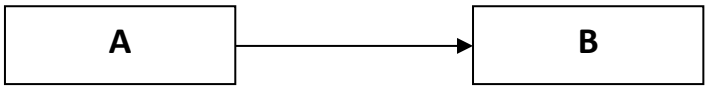
غالباً مايتم تمثيل الحادثة على شكل دائرة أو أي شكل آخر، داخل الدائرة يُمكن أن نُسجل حرف أو رقم (رمز الحادثة).
يُمكن قراءة المُخطط السابق على النحو التالي :
المهمة A : تبدأ عند الحادثة 1 (الجهة المُعاكسة للسهم) وتنتهي عند الحادثة 2.
المهمة B : تعقب المهمة A ، تبدأ عند الحادثة 2 (نهاية المهمة A) وتصل إلى الحادثة 3 (نهاية المهمة B).

لقواعد الأساسية للتمثيل الشبكي السهمي :

- المهمة ليس لها مقياس.
- لكل مهمة بداية ونهاية.
- رقم البداية أقل من رقم النهاية.
- اتجاه القوس من اليسار إلى اليمين.
- لايجوز أن يكون لمهمتين نفس البداية ونفس النهاية.
- يُرمز للمهمة إما بحرف أو برقم بداية مع رقم نهاية مفصولين بخط أو باسم المهمة.
- تُمثل المهمة الوهمية بخط مُتقطع.
- يُمكن للقوس أن يكون مستقيماً أو منحنياً أو منكسراً.
- يتم تجميع حوادث البداية كما يتم تجميع حوادث النهاية.

التمثيل الشبكي العُقدي :

في هذا النوع من المُخططات تمثل العقد أو الرؤوس المهام وتكون على شكل دوائر أو مستطيلات بينما تُمثل الأقواس التي تصل بين عقد الشبكة الروابط الموجودة بين المهام.
يُمكن على سبيل المثال تمثيل المخطط الزمني الجزئي التالي باستخدام التمثيل الشبكي العقدي :



المهمة B تلي المهمة A.
يُشير اتجاه السهم إلى الرابطة الموجودة بين A و B.
لايوجد أي مقياس يُشير إلى قيمة الزمن.

مراحل انجاز المخطط الزمني بحسب الطرق الشبكية :

يمر المخطط الزمني بمجموعة من المحطات التي تبدأ مع بناء الشبكة (تعريف المهام والروابط) وصولاً إلى الحسابات الشبكية ومروراً بتحديد خصائص المهام (موارد، مدة، ...).

بناء الشبكة :

المقصود ببناء الشبكة هو اجراء مونتاج لمُختلف المهام والروابط المؤلفة للمشروع.

إذن يتم بناء الشبكة بعد تقسيم المشروع إلى عدد مُعين من المهام وبعد إيجاد مُختلف الروابط الموجودة بين هذه المهام.

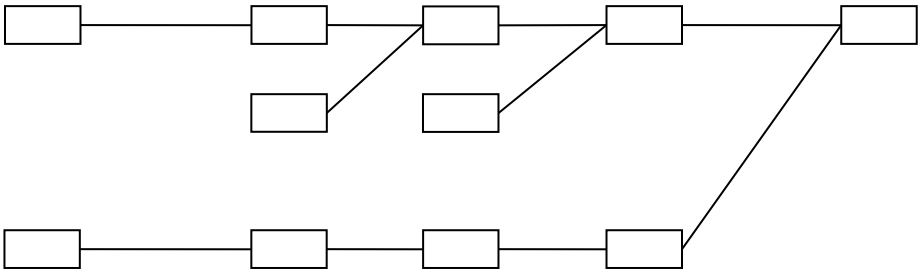
يجب أن ترضي المهام الشرطين التاليين :

- أن تكون مُعرفة بشكل تام وخاصة فيما يتعلق بمدتها وبماهيتها.
- أن لاتملك عنصر مُشترك مع مهمة أخرى.

إيجاد لائحة المهام :

يجب أن تكون كاملة كما يجب تلافي تكرار مهمة من المهام. يسمح التحليل الصحيح للمشروع من خلال تقسيم المشروع إلى أعمال والتي بدورها تُقسم إلى عمليات ومناطق بالتوصل إلى تعريف كامل لمهام المشروع. يساعد اعتماد عدة سويات للتخطيط الزمني من التقليل من الأخطاء الممكنة الحدوث والخاصة بتعريف مهام المشروع.

نظرياً، يُمكن التأكد من عدم إهمال مهمة من المهام، أي التأكد من أنّ الشبكة سليمة، من خلال التحقق من إمكانية الوصول من نقطة إلى أخرى من الشبكة وذلك بسلوك طريق مُعين بغض النظر عن اتجاه الأسهم.



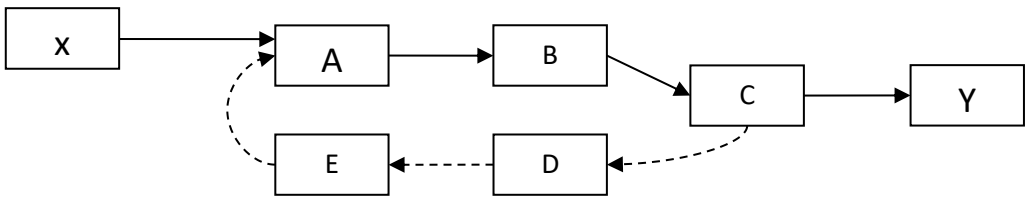
إيجاد لائحة الروابط :

من أجل تحقيق الاستمرارية بين مُختلف المهام المؤلفة للمشروع يجب أن يتم ربط كل مهمة برابطة وحيدة على الأقل مع مهمة أخرى. إذا لم يتحقق هذا الشرط، معنى هذا أنّ هناك مهمة مُستقلة وبالتالي يجب مُعالجتها بشكل مُستقل عن المشروع.

يجب الانتباه إلى أنّ زيادة الروابط أو إغفال الروابط قد يُنتج شبكة مُمكنة الاستثمار ولكن ذات نتائج مغلوطة.

ملاحظات :

إذا أظهرت الشبكة بعد بناءها حالة كالحالة التالية :



في هذه الحالة تُشكل المهام A , B , C , D , E حلقة مُغلقة، أي بالانطلاق من مهمة ما نعود إلى نفس المهمة بعد المرور بعدد من المهام. هذه الحالة غير ممكنة الحل وتنتج :

- إما عن خطأ أثناء وضع لائحة المهام والروابط.
- وإما عن خطأ أثناء تمثيل المهام والروابط عند تمثيل وبناء الشبكة.

يؤشر وجود هكذا حلقات مُغلقة إلى وجود خطأ ما ارتكبه المُخطط ومن الضروري تداركه قبل متابعة الدراسة.

تزويد الشبكة (تقدير مدد المهام) :

بالنسبة لتقدير مدة المهمة، يُمكن التمييز بين حالتين :

الحالة الأولى : المهمة المطلوب تقدير مدتها معرّفة بشكل تام (حالة المهام التي سبق لنا التعامل مع مهام مُماثلة لها). ضمن هذه الظروف لاتوجد صعوبات كبيرة في تقدير مدة تنفيذ المهمة :

- إما أن تُعطى المهمة مدة مُحددة
- أو تُعطى المهمة مدة متوسطة يتم حسابها انطلاقاً من الحدود القصوى (الصُغرى والعُظمى) والتي تتراوح المدة بينهما.

$$D = \frac{a + b}{2}$$

a : المدة المُتفائلة،

b : المدة المُتشائمة.

الحالة الثانية : المهمة التي نود تقدير مدتها معروفة بشكل ضعيف، في هذه الحالة، يجب تحليل ودراسة هذه المهمة بشكل مُعمق من خلال دراسة ميدانية لدى مختلف الاخصائيين حيث يتم توجيه الأسئلة الثلاثة التالية :

- ماهي المدة الأكثر تفاؤلاً (a) والتي يُمكن تنفيذ المهمة ضمنها ؟
- ماهي المدة الأكثر تشاؤماً (b) ؟
- ماهي المدة الأكثر احتمالاً (p) ؟

المعلومات هنا هي ذات طبيعة احتمالية ويُمكن معالجتها بتطبيق قوانين التوزيع الاحتمالي. بشكل عام تُعطى المهمة المدروسة المدة التالية :

$$D = \frac{a + 4p + b}{6}$$

تمثيل الشبكة بعد تزويدها :

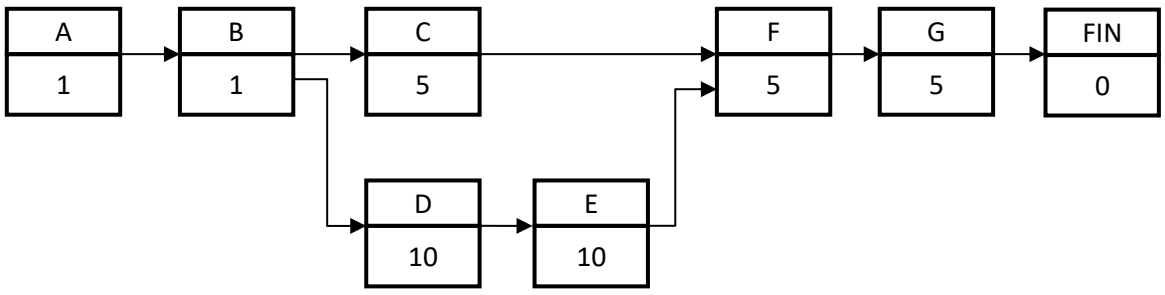
بعد إيجاد لائحة المهام المؤلفة للمشروع وتعريف مُختلف الروابط مابين هذه المهام، يجري تقدير مدة كل مهمة من المهام والتي تعتبر إحدى الخصائص الأساسية المُميزة للمهمة. يتم بعد ذلك بناء شبكة المشروع ويراعى تزويد هذه الشبكة بمدد المهام التي تم تقديرها، يتم وضع المدة ضمن المستطيل المُمثل لكل مهمة (حالة التمثيل الشبكي العُقدي) بينما يتم وضع المدة تحت القوس (حالة التمثيل الشبكي السهمي).

يُفضل اختيار أبعاد للمستطيلات أو أطوال للأقواس بحيث تسمح بكتابة اسم المهمة بشكل واضح الأمر الذي يسمح بالاستغناء عن استشارة كاتالوج المهام (عبارة عن جدول يُمثل اسماء المهام ورموزها) في كل مرة. في حال تعذر ذلك يُمكن الاستعاضة عن اسم المهمة برمزها وتنظيم كاتالوج مُرافق.

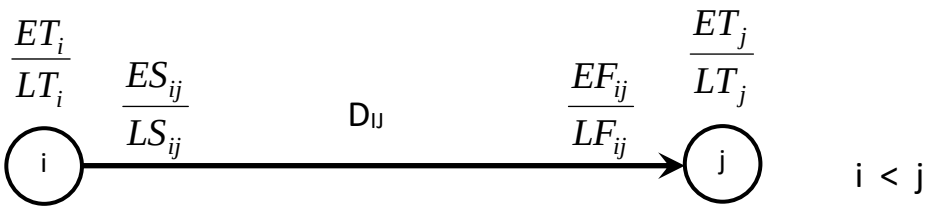
مثال : يتألف مشروع طريق من المهام التالية :

كاتالوج المهام	
اسم المهمة	رمز المهمة
تركيب مباني العمال والجهاز الإداري	A
نقل الآليات والمُعدات اللازمة للتنفيذ	B
هدم مبنى موجود ضمن حرم الطريق	C
حفر الطريق	D
تنفيذ طبقة الأساس	E
رص الطريق	F
تنفيذ طبقة التغطية	G

اسم المهمة	رمز المهمة	المهام السابقة	مدة المهمة (يوم)
تركيب مباني العمال والجهاز الإداري	A	-	1
نقل الآليات والمُعدات اللازمة للتنفيذ	B	A	1
هدم مبنى موجود ضمن حرم الطريق	C	B	5
حفر الطريق	D	B	10
تنفيذ طبقة الأساس	E	D	10
رص الطريق	F	C , E	5
تنفيذ طبقة التغطية	G	F	5



حسابات الشبكة :



ES_{ij} : زمن البداية المبكرة للمهمة (i – j)

LS_{ij} : زمن البداية المتأخرة للمهمة (i – j)

EF_{ij} : زمن النهاية المبكرة للمهمة (i – j)

LF_{ij} : زمن النهاية المتأخرة للمهمة (i – j)

D_{ij} : مدة تنفيذ المهمة (i – j)

ET_i : الزمن المبكر للحادثة i

LT_i : الزمن المُتأخر للحادثة i

يتم إجراء الحسابات الشبكية على مرحلتين :

1) المسار الأمامي (روزنامة البدء المبكر) :

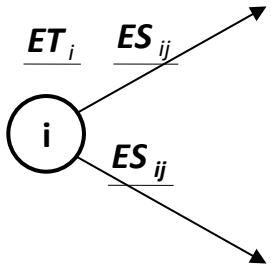
يتم خلال هذه المرحلة حساب أزمنة البداية المبكرة والنهاية المبكرة للمهام إضافة إلى حساب الأزمنة المبكرة للحوادث.

نبدأ الحساب من الحوادث (العقد) الواقعة في بداية الشبكة والتي تُعطى زمن مُبكر يساوي الصفر :

$$ET_s = 0$$

أزمنة البداية المُبكرة للمهام التي تنطلق من حادثة (عقدة) ما (i) تساوي الزمن المبكر لهذه الحادثة :

$$ES_{ij} = ET_i$$

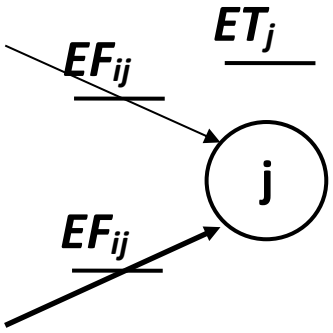


زمن النهاية المُبكرة للمهمة i – j يساوي الزمن المُبكر لها مضافاً إلية مدة تنفيذ هذه المهمة

$$EF_{ij} = ES_{ij} + D_{ij}$$

الزمن المبكر للحادثة (للعقدة) j والتي تُمثل حادثة النهاية لواحدة أو أكثر من المهام، يســـاوي الزمن الأكبر للنهاية المبكرة للمهام الداخلة لهذه العقدة :

$$ET_j = MAX(EF_{ij})$$



نتابع الحســـاب بذات الطريقة لباقي المهام والحوادث وباتجاه الأمام حتى الوصـــول إلى الحادثة (العقدة) الأخيرة والتي يكون الزمن المبكر لها هو زمن المشروع :

$$D_p = ET_n$$

2) <u>المسار الخلفي (روزنامة البدء المُتأخر)</u> :

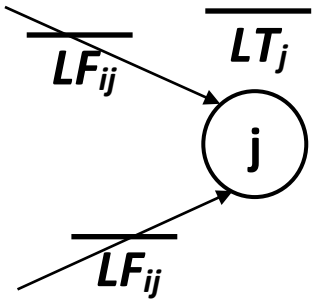
يتم خلال هذه المرحلة حساب أزمنة النهاية المتأخرة والبداية المُتأخرة للمهام إضافة إلى حساب الأزمنة المُتأخرة للحوادث.

نبدأ الحساب من الحادثة (العقدة) الأخيرة والتي تُعطى زمن متأخر يساوي الزمن المُبكر لها والذي تم حسابه من خلال المسار الأمامي :

$$LT_n = ET_n = D_p$$

أزمنة النهاية المُتأخرة للمهام الواصلة إلى حادثة (عقدة) ما j يساوي الزمن المتأخر لهذه الحادثة :

$$LF_{ij} = LT_j$$

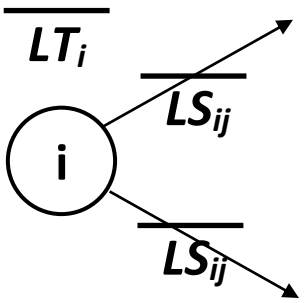


البداية المتأخرة للمهمة i – j يساوي النهاية المتأخرة لها مطروحاً منها مدة المهمة i – j :

$$LS_{ij} = LF_{ij} - D_{ij}$$

الزمن المتأخر لحادثة (عقدة) i والتي تُمثل حادثة البداية لأكثر من مهمة، يساوي أصغر زمن بداية مُتأخرة للمهام المُنطلقة من هذه الحادثة :

$$LT_i = MIN(LS_{ij})$$



نتابع بنفس الطريقة لباقي المهام والحوادث باتجاه الخلف حتى الوصول إلى بداية المشروع.

العوم أو الهامش الزمني لمهام المشروع :

هو المدة التي يُمكن اســـتخدامها لإطالة مدة تنفيذ مهمة من المهام أو تأخير زمن البدء لها من أن يؤثر ذلك على تأخير تنفيذ المشروع ككل.

يُمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من العوم : العوم الكلي (TF)، العوم الحر (FF) والعوم التفاضلي (IF).

العوم الكلي : هو الفترة التي يُسمح للمهمة أن تتأخرها من دون أن يؤثر ذلك على الزمن الكلي للمشروع.

يُحسب العوم الكلي لمهمة i – j (TF_{ij}) من العلاقة التالية :

$$TF_{ij} = LS_{ij} - ES_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij}$$

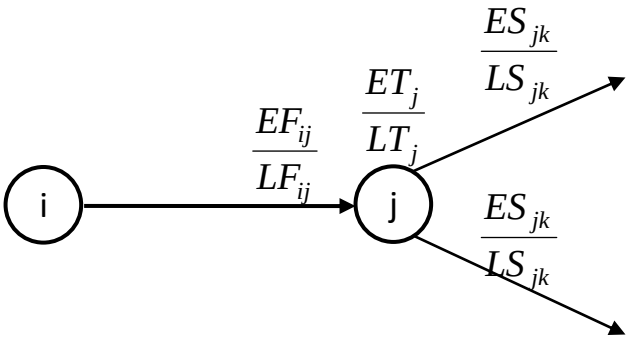
تُدعى المهام التي عومها الكلي يساوي الصفر ($TF = 0$) بالمهام الحرجة ويُسمى المسار المار من هذه المهام بالمسار الحرج.

العوم الحر : هو الفترة التي يُســـمح للمهمة أن تتأخرها من دون أن يؤثر ذلك على البداية المبكرة للمهام اللاحقة.

يُحسب العوم الحر لمهمة i – j (FF_{ij}) من إحدى العلاقتين التاليتين :

$$FF_{ij} = MIN(ES_{jk}) - EF_{ij}$$

$$FF_{ij} = ET_j - EF_{ij}$$



تملك المهام الحرجة عوماً حراً يساوي الصفر (FF = 0) غير أنّ العكس غير صحيح (المهام التي عومها الحر يساوي الصفر ليست بالضرورة حرجة).

العوم التفاضلي : الفرق بين العوم الكلي والعوم الحر.

يُحسب العوم التفاضلي لمهمة i – j (IF_{ij}) من العلاقة التالية :

$$IF_{ij} = TF_{ij} - FF_{ij}$$

تحديد المسار الحرج :

بانتهاء الحسابات الشبكية يتم التوصل إلى حساب، لكل مهمة من المهام، زمن بدء مبكر، زمن بدء متأخر، زمن انتهاء مبكر، زمن انتهاء متأخر بالإضافة إلى حساب العوم على اختلاف أنواعه.

بمُلاحظة الشبكة بعد الانتهاء من روزنامتي البدء المُبكر والمُتأخر، يُمكن تقسيم المهام إلى نوعين :

- مهام يختلف زمن البدء المُبكر عن زمن البدء المُتأخر أو مايُصطلح على تسميتها مهام غير حرجة. من أجل هذه المهام يُمكن زيادة مدتها أو تأخير زمن البدء لها من دون أن يؤدي ذلك إلى تأخير زمن تنفيذ المشروع.
- مهام يكون زمن البدء المُبكر هو نفسه زمن البدء المُتأخر أو مايُصطلح على تسميتها بالمهام الحرجة. بالنسبة لهذه المهام يجب ايلاءها قدر كبير من الأهمية لأن أي تأخير يصيب واحدة من هذه المهام سينعكس سلباً على مدة تنفيذ المشروع.

ندعو المسار الحرج للمشروع سلسلة المهام الحرجة. يسمح ايجاد المسار الحرج لمشروع من المشاريع بـ :

- حساب المدة الأصغرية التي لا يُمكن انجاز المشروع بأصغر منها،
- تحديد المهام التي سيولد تأخر تنفيذها تأخراً للمشروع،
- تحديد المهام التي يُسمح بتأجيل زمن بدءها من دون أن يؤدي ذلك إلى تأخر المشروع وهذا ماسيتم الاستفادة منه عند معالجة تنظيم الموارد.