المحاضرة التاسعة: طريقة المسار الحرج – Critical Path Method - CPM

أهداف المحاضرة

نقدم من خلال هذه المحاضرة طريقة المسار الحرج والتي تعد امتدادا للتطورات والتوسعات التي أجريت على الأساليب السابقة، مثل مخططات غانت Gantt Chart، ولقد ظهر أسلوب المسار الحرج في عام 1957 على يد كل من J.E Kelly في شركة Remington-Rand وM. R Walker في شركة Dupont بغرض المساعدة في جدولة عمليات التعطل بسبب الصيانة في مصانع المواد الكيماوية. ولقد ذاع صيت هذا الأسلوب الذي أطلق عليه اسم أسلوب المسار الحرج بسبب المزايا التي تحققت من استخدامه، فقد أدى استخدام هذا الأسلوب في أحد مصانع شركة Dupont في مدينة Louisville بالولايات المتحدة الأمريكية إلى تخفيض وقت الصيانة من 125 إلى 78 ساعة. وقد جنو منها فائضا قدره 1 مليون دولار.

من خلال نموذج المسار الحرج CPM فإن المخطط يرغب في تقليص تكاليف إنجاز المشروع، كما من الممكن تقليص الوقت لمعظم الأنشطة باستخدام موارد إضافية (رجال، آلات، رأس، مال...إلخ) هذا التقليص يرافقه عادة، ارتفاع في التكاليف، أيضا قد يبحث عن التكلفة الدنيا التي يمكن أن يقلص بها المشروع وبأقل تكلفة ممكنة، حيث يجدر الإشارة لوجود حلول عديدة تسمح بإنجاز المشروع بأقل وقت، وتقليص الوقت يكون بتقليص وقت إحدى الأنشطة الحرجة.

إن تكلفة مشروع لا تعتمد فقط على التكاليف المباشرة للمهام، بل يوجد أيضا تكاليف غير مباشرة، فمثلا إجمالي المصاريف العامة (مثل: مصاريف إدارة المشروع، الفوائد المستحقة على رأس المال ،...إلخ) تعتمد عادة على مدة المشروع، كما ويوجد بالموازنات مع هذا في عقد المشروع بعض الشروط توجب عقوبات بغرامات لكل يوم تأخير، ومنح على التسليم قبل المهلة.

خطة المحاضرة

مفهوم شبكات الأعمال

رسم الشبكة بأسلوب المسار الحرج

أولا: مفهوم شبكات الأعمال

تسمى الشبكة المستخدمة لتمثيل المشروع بشبكة المشروع. تتكون شبكة المشروع من عدد من العقد (تظهر عادةً على شكل دوائر صغيرة أو مستطيلات) وعدد من الأقواس (تظهر على شكل أسهم) تصل العقد بعضها ببعض.

كما يشير المثال السابق المتعلق بخريطة Gantt، فنحن بحاجة للمعلومات التالية لوصف المشروع:

1. معلومات النشاط: قسّم المشروع إلى أنشطته الفردية (على مستوى التفاصيل المطلوب)؛
2. علاقات الأسبقية: تحديد النشاط السابق المباشر لكل نشاط؛
3. معلومات الوقت: تقدير مدة كل نشاط

من أجل عرض كل هذه المعلومات. يتوفر نوعان بديلين من شبكات المشروع للقيام بذلك.

أحد الأنواع هو شبكة مشروع "النشاط على السهم" أو ما يعرف باللغة الإنجليزية "Activity on arc (AOA)" ، حيث يتم تمثيل كل نشاط بسهم. تُستخدم العقدة لفصل نشاط (سهم صادر) عن كل من سابقيه المباشرين (سهم قادم). وبالتالي يوضح تسلسل الأسهم علاقات الأسبقية بين الأنشطة.

النوع الثاني هو شبكة مشروع "النشاط على العقدة" أو ما يصطلح عليه في اللغة الإنجليزية" Activity on node (AON) " ، حيث يتم تمثيل كل نشاط بواسطة عقدة. ثم يتم استخدام الأسهم فقط لإظهار علاقات الأسبقية بين الأنشطة. على وجه الخصوص ، فإن العقدة الخاصة بكل نشاط مع سابقيه المباشرين لها سهم قادم من كل من هذه العناصر السابقة.

استخدمت الإصدارات الأصلية من PERT و CPM شبكات مشروع AOA ، لذلك كان هذا هو النوع التقليدي لعدة سنوات. ومع ذلك ، تتمتع شبكات مشروع AON ببعض المزايا المهمة على شبكات مشروع AOA لنقل نفس المعلومات بالضبط.

1. شبكات مشروع AON أسهل بكثير في البناء من شبكات مشروع AOA.
2. شبكات مشروع AON أسهل في الفهم من شبكات مشروع AOA للمستخدمين عديمي الخبرة ، بما في ذلك العديد من المديرين.
3. شبكات مشروع AON أسهل في المراجعة من شبكات مشروع AOA عندما تكون هناك تغييرات في المشروع.

لهذه الأسباب ، أصبحت شبكات مشروع AON شائعة بشكل متزايد بين الممارسين. يبدو من المحتمل إلى حد ما أنها ستصبح النوع الشائع للاستخدام.

ثانيا: رسم الشبكة بأسلوب المسار الحرج

يستخدم هذا الأسلوب لأغراض تخطيط ورقابة الزمن اللازم لتنفيذ مشروع معين وذلك عن طريق:

1- تحديد النشاطات المختلفة المكونة للمشروع:

وهذا للوصول إلى نشاطات محددة ومميزة مع بيان العلاقة بينها عن طريق بيان خطوات تنفيذ النشاطات، حتى يتم تنفيذ المشروع ككل.

2- تحديد التتابع الفني:

وذلك عن طريق إعداد شبكة الأعمال «Network» التي توضح نشاطات تنفيذ المشروع والعلاقات بينها في صورة متتابعة منطقية، هذه الشبكة لها بداية ونهاية، وتعبر عن تسلسل نشاطات المشروع، في مثل هذه الشبكات سنجد:

التمثيل بطريقة AOA

a. **الحدث event:** ويمثل بدائرة ◯ تعبر عن إنجاز معين يحدث في نقطة زمنية معينة، يمثل نقطة بداية أو نهاية لنشاط معين؛

b. **النشاط Activity:** ويمثل بسهم ⟵ يعبر عن عمل معين يتطلب توافر موارد ووقت لإنجازه.

التمثيل بطريقة AON

a. **الحدث event:** ويمثل بسهم ⟵ يعبر عن إنجاز معين يحدث في نقطة زمنية معينة، يمثل نقطة بداية أو نهاية لأنشطة متزامنة؛

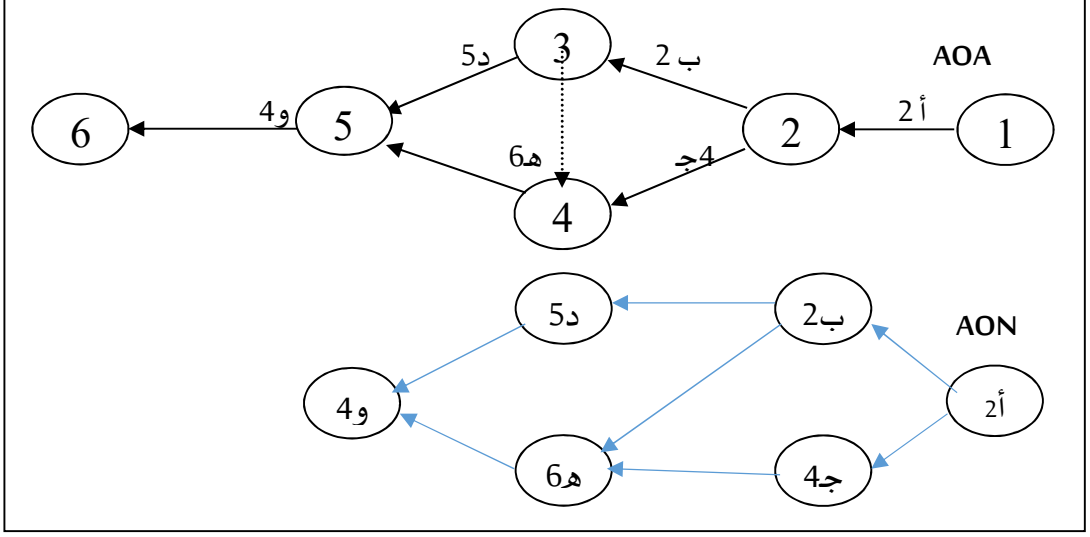
b. **النشاط Activity:** ويمثل بدائرة ◯ تعبر عن عمل معين يتطلب توافر موارد ووقت لإنجازه.

مثال 02: فيما يلي نستعرض أنشطة مشروع:

الجدول رقم (02): تفاصيل أنشطة مشروع

الأنشطة	أ	ب	ج	د	هـ	و
زمن النشاط	2	2	4	5	6	4
النشاط السابق	/	أ	أ	ب	ب،ج	د،هـ

شكل (20): تمثيل التتابع الفني باستخدام خارطة الأعمال بطريقتي AOA و AON



ففي طريقة AOA تمثل الدائرة الأولى الحدث الأول الانطلاق في المشـــروع أما الثاني فيعبر عن إنجاز النشاط (أ)، كما نجد الحدث الثاني ينتج عنه نشاطين ينتجان حدثين، حدث ينتج عن النشاط (ب) وحده، و آخر ينتج عن النشاطين معا (ج، ب)، هذا النشاط الوهمي نتج لأن النشاطين (ج،ب) لهما نفس حدث البداية فمن غير الممكن أن نشكل لهما حدث نهاية موحد ، لهذا نجد نشاطا وهميا من أجل فصل العلاقة .

بينما في طريقة AON تمثل الدائرة الأولى النشاط الأول السابق لكل الأنشطة الأخرى أما الأسهم فهي تعبر عن العلاقة التسلسلية بين الأنشطة فنجد أن النشاط (ب) مرتبط بسهم بالنشاط (أ) لأنه لا يمكن الشروع فيه إلا بعد انقضاء النشاط (أ) ونفس العلاقة بين النشاط (ج) و النشاط (أ) وكذلك النشاط (د) والنشاط (ب) لكن الأمر مختلف بالنسبة للنشاط (هـ) فهو مرتبط بالنشاطين (ب) و(جـــ) وهذا ما يفسر وجود سهمين يعبران عن ضرورة وجود حدثين وهما انتهاء الأشـغال من (ب) و(جـــ) للتمكن من الانطلاق في النشـاط (هـ)، ونفس الحالة للنشاط (و) التي تتطلب الانتهاء من النشاطين (جـ) و(د).

3- تحديد المسار الحرج:

إن حصولنا على شبكة بهذا الشكل لا يجدي نفعا بل نحتاج إلى مرحلة أخرى يتم فيها إيجاد المسار الحرج وهذا بأحد الطريقتين:

أ. **الطريقة الأولى:**

وتكون عن طريق تحديد المسارات فالمسارات المتوفرة لدينا وبجمع قيم الأوقات اللازمة لكل نشاط الموجودة على نفس المسار على النحو التالي:

- (أ، ب، د، و) 2+2+5+4=13
- (أ، ب، هـ، و) 2+2+4+6=14
- (أ، جـ، هـ، و) 2+4+6+4=16

بما أن المسار الأطول في الشبكة هو الذي يتحكم في مدة إنجاز المشروع، بالتالي فهو يشكل المسار الحرج.

ب. **الطريقة الثانية:**

ويكون ذلك عن طريق تحديد أوقات البدء والانتهاء المبكرة والمتأخرة:

- **أزمنة البداية و النهاية المبكرة:**

إذا أخذنا الصفر كزمن بداية المشروع، عندئذ سيكون لكل نشاط بداية مبكرة «ES» متناسبة مع زمن بداية المشروع و هو أقل زمن يمكن أن يبدأ فيه النشاط و ذلك بافتراض أن جميع الأنشطة السابقة قد بدأت في زمنها المبكر « ES » و بناءا عليه – و بالنسبة لكل نشاط – فإن النهاية المبكرة « EF » هي ببساطة حاصل جمع البداية المبكرة « ES » و زمن النشاط .

- **أزمنة البداية و النهاية المتأخرة:**

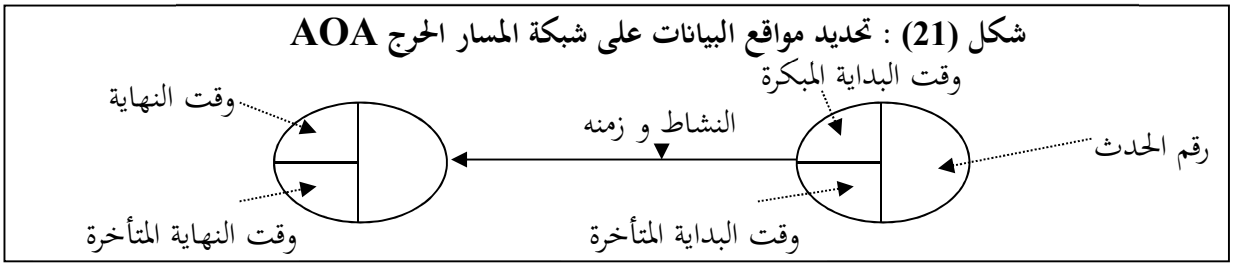
ويعني الزمن الذي يستطيع أن يتأخر إليه النشاط دون أن يؤخر الحدث الذي يليه ، و يكون زمن البداية المتأخر « LS » هو الزمن النهائي الذي يمكن البدء فيه بنشاط ما إذا أردنا الاحتفاظ بالهدف أو بالجدول ،لهذا فإن زمن البداية المتأخر « LS » لنشاط ما يساوي زمن النهاية المتأخرة مطروحا منه زمن النشاط ، و لما كان النشاط المنتهي يتطلب زمن قدره صفر فإن زمن البداية المتأخرة يساوي زمن النهاية المتأخرة « LS=LF » .

- **الفائض الحر (الزمن الراكد) :**

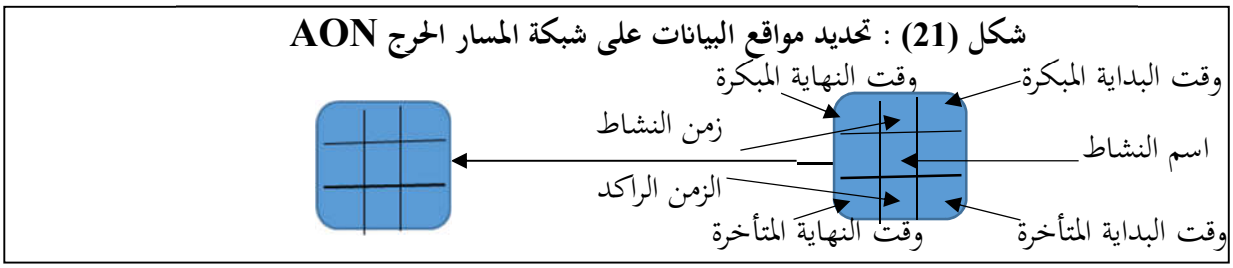
إن مجموع الوقت الراكد لنشـــاط م هو ببســـاطة الفرق بين زمن البداية المتأخرة و زمن البداية المبكرة « LS_i-ES_i » أو الفرق بين زمن النهاية المتأخرة و زمن النهاية المبكرة « LF_i-EF_i » و تنبع أهمية مجموع الوقت الراكد « TS » في أنها تحدد أقصـــى زمن يمكن أن يتأخر نشـــاط ما بين تأخير زمن إتمام المشروع.

كل هذه الأرقام يمكن تلخيصها في الشكل السادس عشر المعروض أسفله:

شكل (21) : تحديد مواقع البيانات على شبكة المسار الحرج AOA

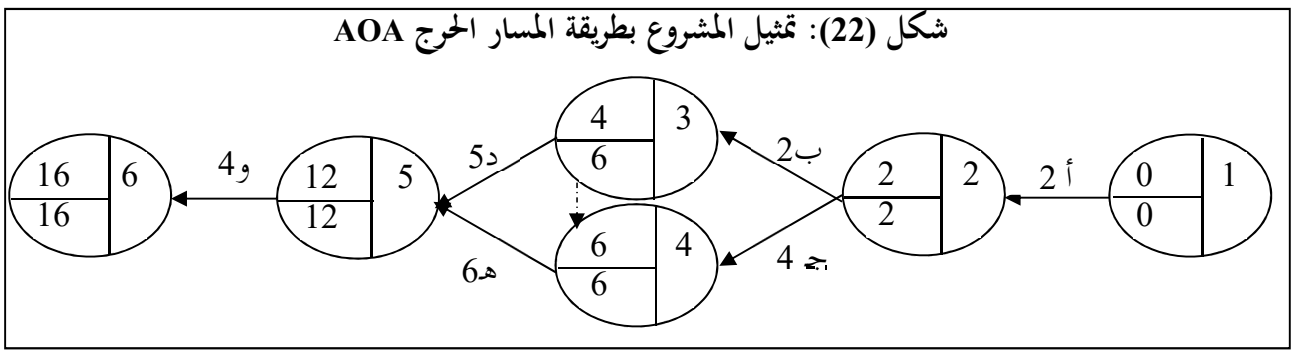


شكل (21) : تحديد مواقع البيانات على شبكة المسار الحرج AON

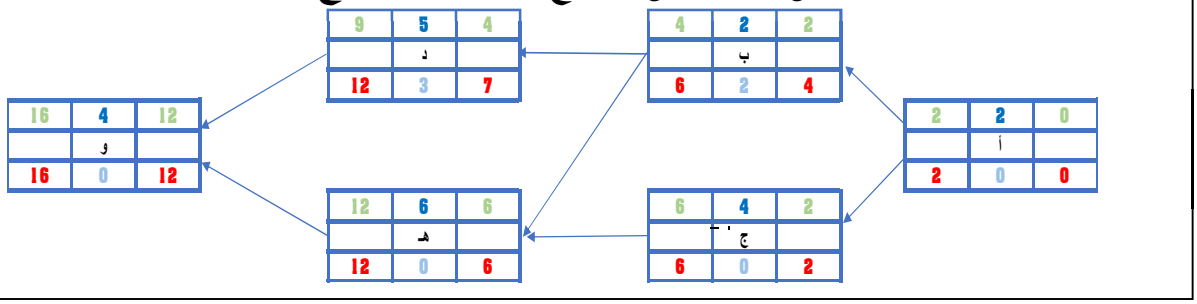


و مما سبق نحصل على الشبكة التالية :

شكل (22): تمثيل المشروع بطريقة المسار الحرج AOA



شكل (22): تمثيل المشروع بطريقة المسار الحرج AON



المسـار الحرج هو المسـار الذي تتسـاوى فيه البدايات المبكرة للأنشـطة مع البدايات المتأخرة، ونهاياتها المبكرة مع نهاياتها المتأخرة.

بعد إيجادنا للمسار الحرج يتبقى علينا حساب الفائض الحر والذي يحسب كما يلي:

الفائض الحر للنشاط = البداية المتأخرة للنشاط – البداية المبكرة

= النهاية المتأخرة للنشاط – النهاية المتأخرة

حيث يسـتخرج من خلال جدول يسـتنتج فيه البداية المبكرة ، و النهاية المتأخرة من الشـبكة أما البداية المتأخرة والنهاية

و النهاية المبكرة ، فنستنتج بالقانون التالي : - البداية المبكرة + زمن النشاط = نهاية مبكرة.

- النهاية المتأخرة – زمن النشاط = البداية المتأخرة .

بالتالي نحصل على الجدول التالي :

الجدول رقم (03): حل المثال رقم 02

النشاط	الزمن	ES_i	LS_i	LF_i	EF_i	MT
أ	2	0	0	2	2	**0**
ب	2	2	4	6	4	**2**
ج	4	2	2	6	6	**0**
د	5	4	7	12	9	**3**

هـ	6	6	6	12	12	**0**
و	4	12	12	16	16	**0**

يفيد تحديد الفائض الإجمالي و الفائض الحر في تقدير درجة المرونة المتاحة أمام مدير المشـــروع في جدولة النشـاط ، فعندما يكون لنشـاط وقت فائض إجمالي قدره صـفر فإن ذلك يعني أن جدول هذا النشـاط لا يمكن تأخيره ، فأي تأخير في وقت البدء المحسوب سوف يترتب عليه تأخير المشروع ككل ، أما الأنشـطة التي لها فائض إجمالي فإنها تتيح للقائمين على جدولة الأنشـطة نوعا من المرونة في تحديد تاريخ البدء لهذا النشـاط و ذلك يفيد في إمكانية تسـوية Smoothing لمسـتويات الطاقة التي يتم اسـتخدامها ، فبدلا من أن يكون هناك ضـغط Peak على بعض الموارد المشـتركة لفترات محددة و تركها دون اسـتخدام في فترات أخرى ، يمكن تحقيق توزيع أمثل للموارد Load Levelingعن طريق إعادة جدولة الأنشـــطة الغير الحرجة ، أي التي يمكن تأخيرها في حدود وقت معين دون التأثير على وقت إتمام المشـــروع ، و يفيد ذلك في تفادي التكاليف الزائدة المترتبة عن عملية تغيير مسـتوى الطاقة المسـتخدمة ، فبدلا من العمل ورديات إضـافية في فترات محددة مما يترتب عليه تكاليف أعلى ، يمكن العمل على ورديات أصلية ولكن على فترات مختلفة إذا أمكننا إعادة جدولة الأنشـطة.