أسلوب المسار الحرج The Critical Path method

سنتعرف على مفهوم أسلوب المسار الحرج The Critical Path method والخطوات اللازمة لاستخدام أسلوب CPM وفوائد استخدامه

22 September 2024 | الكاتب: **د. محمد العامري** | المشاهدات: 5,101



إدارة المشاريع | حساب المدة والسماح

أيّ الأنشطة يحدّد زمن إنجاز المشروع؟

يشرح المقال طريقة المسار الحرج، وكيف تُحسب أوقات البدء والإتمام المبكرة والمتأخرة، وكيف يُستخدم الفائض الزمني لتحديد الأنشطة الحرجة.



مسار القراءة

01 · إعداد الشبكة

02 · الأوقات المبكرة
03 · الأوقات المتأخرة
04 · الفائض الزمني
05 · التطبيق

أسلوب المسار الحرج
The Critical Path method

مقدمة

ظهر هذا الأسلوب في عام 1957 في شركة Du pont، بغرض المساعدة في جدولة عمليات التعطل بسبب الصيانة في مصانع المواد الكيماوية.

وقد ذاع صيت هذا الأسلوب -الذي أطلق عليه أسلوب المسار الحرج critical Path Meethod- بسبب المزايا التي تحققت من استخدامه. فقد أدى استخدام هذا الأسلوب في أحد مصانع شركة De pont في مدينة Louisville بالولايات المتحدة الأمريكية إلى تخفيض وقت الأعطال اللازمة لعمل برنامج الصيانة من 125 ساعة إلى 78 ساعة.

الخطوات اللازمة لاستخدام أسلوب (CPM)

ويمكن إيجاز الخطوات اللازمة لاستخدام أسلوب CPM فيما يلي:

1- حدد كل الأنشطة التي سوف تستخدم في المشروع وعرفها بدقة، وتتضمن هذه الخطوة أيضًا إعطاء حرف (أو رقم) مختلف لكل نشاط.

2- حدد التتابع الفني اللازم والذي يحكم العلاقة بين الأنشطة، ويكون ذلك عن طريق تحديد النشاط أو الأنشطة السابقة مباشرة لكل نشاط.

ثانيًا: الحسابات الخلفية Backword Computations

تنفذ هذه الحسابات لغرض حساب الأوقات المتأخرة، وتبدأ من حيث تنتهي الحسابات الأمامية، أي بعبارة أدق من الحدث الأخير في الشبكة وتنزل بشكل تراجعي إلى الحدث الأول.

ملاحظة:
يمكن أن يظهر في عملية حساب النشاطات الحرجة أكثر من مسار حرج واحد. إلا أنه يؤخذ بنظر الاعتبار أطول المسارات أو بعبارة أخرى يؤخذ بنظر الاعتبار ذلك المسار الحرج الذي يكون فيه الوقت مساويًا لما هو موجود في الحدث الأخير في المخطط الشبكي من أزمته.

ولإيضاح كيفية القيام بهذه الخطوات سوف نعرض المثال التالي:

مثال:

فيما يلي مجموعة الأنشطة اللازمة لإتمام مشروع معين وتتابعها الفني، وكذلك الوقت اللازم لإتمام كل النشاط.

المطلوب:

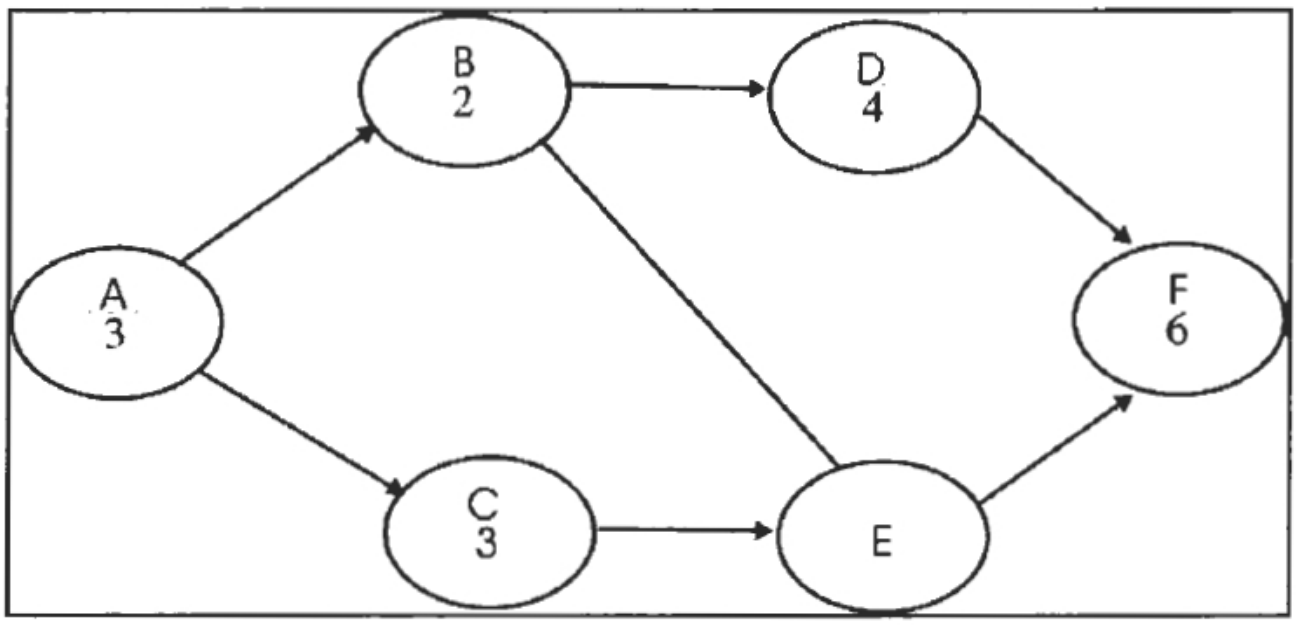
رسم شبكة العمل، وبيان تتابعها الفني والوقت اللازم لإتمام المشروع.

التسلسل	النشاط	النشاط السابق عليه مباشرة	الوقت بالأيام
1	A	-	3
2	B	A	2
3	C	A	4
4	D	B	5
5	E	C, D	2
6	F	D, C	4

الحل:

الخطوة الأولى:

هي رسم الشبكة باستخدام أسلوب CPM على النحو التالي:



الشكل (18)

الخطوة الثانية:

تحديد أقل وقت يلزم لإتمام المشروع.

يمكن تحديد أقل وقت باستخدام أسلوبين كالتالي:

الأسلوب الأول:

فهو تحديد المسارات التي تبدأ من نقطة بداية المشروع وتنتهي عند نهايته، ثم اختيار أطول مسار ليمثل أقل وقت لازم لإتمام المشروع.
ولكن هذا الأسلوب يمكن استخدامه في حالة الشبكات المحدودة الأنشطة.

الأسلوب الثاني:

ويقوم هذا الأسلوب بعدة خطوات نظامية محددة للتوصل إلى أقل وقت ممكن. وسوف نقوم بعرض الأسلوبين المذكورين أعلاه بالتطبيق على هذا المثال:

أولًا: الأسلوب الأول

المسارات على الشبكة هي:

المسار الأول هو يوم

A → b → d → f

وطوله (يوم) 3 + 2 + 5 + 4 = 14

المسار الثاني هو يوم

A → b → e → f

ويساوي (يوم) 3 + 2 + 2 + 4 = 11

المسار الثالث: هو

A → c → e → f

ويساوي (يوم) 3 + 4 + 2 + 4 = 13

وفي هذه الحالة وحسب هذا الأسلوب يتم اختيار المسار الأطول وهو المسار الأول، وهو الذي يحدد أقل وقت لازم لإتمام المشروع وهو (14) يوم ويلاحظ هنا على أنه على الرغم أننا نبحث عن أقل وقت ممكن لإتمام المشروع، إلا أننا اخترنا أطول مسار في الشبكة، وعلى الرغم من أن هناك تناقض ظاهري في تلك العبارة إلا أنها صحيحة تمامًا، فإتمام المشروع سوف يرتبط بأبطأ مسار وفي هذه الحالة نختار المسار الأول.

ثانيًا: أو الأسلوب الثاني: وهو عن طريق تحديد أوقات البدء والانتهاء. على الرغم من سهولة الأسلوب الأول إلا أنه لا يصلح إلا في حالة الشبكات البسيطة، كذلك فأنه لا يخدم الغرض الأساسي من تحليل مثل هذه الشبكات وهو تحديد جدول لوقت البدء ووقت الإتمام لكل نشاط.

فغالبًا ما يحتاج المسؤول عن المشروع (مدير المشروع) إلى وضع جدول زمني محدد للحظة البدء والإتمام لكل نشاط حتى يمكن إتمام المشروع في موعده، كما أن هذا الجدول يكون أساسًا له لتحديد موعد احتياج المواد والمستلزمات اللازمة لإتمام كل نشاط.

ولذلك فإن التحليل الأكثر فائدة هو الذي يعتمد على هذا الأسلوب الثاني.

ويبدأ هذا الأسلوب. بحساب (4) أوقات أساسية لكل نشاط وهي:

1- أول وقت بدء ممكن (و ب) Earliest Start (ES)

2- أول وقت إتمام ممكن (وت) Earliest Finish (EF)

3- آخر وقت بدء مسموح به (خ ب) Latest Start (Ls)

4- آخر وقت إتمام مسموح به (خ ت) Latest Finish (LF)

ويعرف أول وقت بدء ممكن (Es)، بأنه اللحظة التي يمكن للمسؤولين عن النشاط البدء فيه فورًا دون تأخير، وبمجرد أن تسمح بذلك الظروف الفنية الخاصة بتتابع الأنشطة.

وعلى ذلك فأن أول وقت إتمام ممكن (EF) يكون هو لحظة إتمام النشاط، إذا لم يكن هناك تأخير في لحظة البدء، أو في وقت إنجاز النشاط، ولذلك فأن معادلة أو وقت إتمام ممكن هي كالآتي:

أول وقت إتمام ممكن = أول وقت بدء ممكن + الوقت اللازم لإتمام النشاط وحسب المعادلة التالية أيضًا:

المعادلة (1) EF = ES+ duration

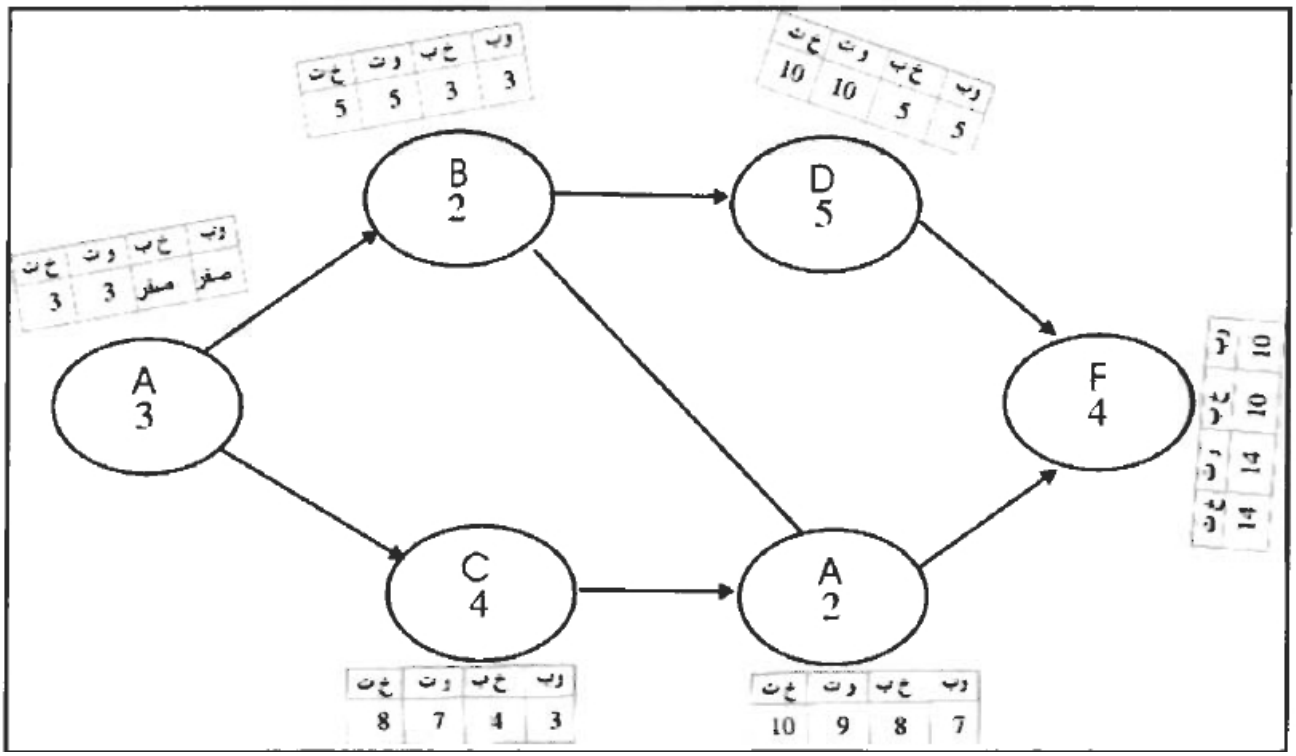
 أما آخر وقت إتمام مسموح (LF) فهو عبارة عن آخر لحظة مسموح للمسؤولين عن النشاط فيها بإتمام هذا النشاط، ويعني ذلك أن يقوموا بتسليم النشاط المسند إليهم بعد أن تم إنجازه بالكامل.

 وعلى ذلك فإن آخر وقت بدء مسموح (LS) يكون هو آخر وقت يُسمح للمسؤولين عن النشاط بالتأخير إليه في البدء حتى يكون ذلك قبل آخر وقت إتمام مسموح (LF) بوقت كافٍ لإنجاز النشاط ويتضح ذلك في العلاقة التالية أو المعادلة التالية:

آخر وقت بدء مسموح = آخر وقت إتمام مسموح - الوقت اللازم لإنجاز النشاط.

المعادلة (2) Ls = LF- Duration

دعنا نقوم بتطبيق هذه المفاهيم والحسابات والتي تسمح (بالحسابات الأمامية) على المثال الذي يبين أيدينا والذي يمكن أن نتبع خطواته حسب الشكل التالي والذي يلاحظ عليه أننا قمنا بعمل مستطيل لكل نشاط مكون من (4) أجزاء يُمثل الأول منها أول وقت بدء ممكن (وب) والثالث منها يمثل أول وقت وإتمام ممكن (وت) كذلك فأن الثاني منها يمثل آخر وقت بدء مسموح (خ ب) والرابع منها يُمثل آخر وقت إتمام مسموح (خ ت) ويتم حساب هذه القيم أو الأوقات على النحو التالي:



الشكل (19)

بالنسبة للنشاط A

نظرًا لأن النشاط (a) هو أول الأنشطة في المشروع ولا يستلزم القيام به إتمام أي نوع آخر من النشاط قبله، فأن أول وقت بدء ممكن (وب) بالنسبة له يكون هو لحظة بدء المشروع. وطالما أننا لم نحدد ذلك التاريخ أو الوقت من الآن، فإن ذلك يرجع إلى من سوف يقوم بتنفيذ الخطة. فإننا نستطيع القول أن البدء اللحظي يعني أن (النشاط a) سوف يبدأ في الوقت صفر وعند تحديد موعد فعلي لبدء المشروع ككل قد يكون هذا الصفر معناه الخامس عشر من يناير أو أول فبراير أو أي تاريخ معين.

وينبني على ذلك أن أول وقت إتمام ممكن (و ت) (للنشاط a) حسب المعادلة (1) هو

Zero (0)+3 = 3

ويعني ذلك أن (النشاط a) يمكن إتمامه بعد (3) فترات زمنية (أيام، أو ساعات) من بدء المشروع ككل وهنا سيكون بعد ثلاثة أيام في هذا

المثال وذلك بفرض أن هناك بدء فوري وإتمام النشاط في الوقت المحدد، ولذلك أطلق عليه أول وقت إتمام ممكن.

بالنسبة للنشاط (b)

نظرًا لأنه لا يمكن البدء في هذا النشاط إلا بعد إتمام النشاط (a) والانتهاء منه، فأن أول وقت بدء ممكن له هو مجرد الانتهاء من النشاط (a) ويكون ذلك هو (3) أيام من بدء المشروع ككل. وحيث أن الوقت اللازم له هو (2) يوم فأن أول وقت إتمام له بفرض عدم تأخر البدء أو إنجاز النشاط يكون هو يوم 3+ 2= 5.

حسب المعادلة (1)

بالنسبة للنشاط (C)

باستخدام نفس المنطق المتبع للنشاط (b) نجد أن أول وقت بدء ممكن للنشاط (C) هو 3 أيام (و ب) وأن أول وقت إتمام له هو

3 + 4 = 7 يوم.

حسب المعادلة (1)

أي بعد 7 أيام من بدء المشروع ككل.

بالنسبة للنشاط (d):

بتأمل الشبكة نجد أن النشاط (d) يتوقف على إتمام النشاط (b) لذلك فإن أول وقت بدء له (وب) هو (5) أيام، وأن أول وقت إتمام له هو

5+ 5 = 10 أيام.

بالنسبة للنشاط (e):

بالنظر إلى التتابع الوارد في الشبكة، نجد أن مجرد البدء في النشاط (e) يتوقف على إتمام كلا من النشاطين (c و b) وحيث أن أول وقت إتمام للنشاط (b) هو (5) وأول وقت إتمام للنشاط (c) هو (7)، فإن أول وقت بدء ممكن للنشاط (e) يكون أكبر هذين الرقمين هو (7) أيام، ويرجع ذلك إلى الاستجابة الفعلية للبدء له إلا بعد انتهاء النشاط الأكثر تأخيرًا ووقتًا. ولذلك فإن أول وقت بدء (و ب) للنشاط (e) هو (7) أيام وأن أول وقت إتمام (و ت) له هو.

7 + 2 = 9 أيام.

حسب المعادلة (1)

بالنسبة للنشاط (F):

وهو النشاط الذي يعد آخر نشاط لازم للمشروع فمقارنة أول وقت إتمام (وت) لكل من النشاطين (e و d) وهي (9) أيام للنشاط (e) و(10) أيام للنشاط (d)، نجد أن أول وقت بدء (و ب) لهذا النشاط (f) هو (10) أيام لذلك فإن أول وقت إتمام للنشاط (f).

10 +4 = 14يوم.

ويعني ذلك أن أول وقت ممكن فيه إتمام النشاط وهو بعد (14) يوم من بداية المشروع.

نود هنا أن نوضح أن هذا التحليل قد حدد فقط الوقت اللازم للمشروع دون تحديد لنفس المسار الحرج. وتحديد هذا المسار يقتضي تحديدًا لمجموعة الأنشطة الحرجة كما سنرى في الخطوة الثالثة التالية:

الخطوة الثالثة: تحديد المسار الحرج:

في بعض الشبكات البسيطة يمكن التوصل كما ذكرنا سابقًا إلى المسار الحرج بمجرد النظر إلى الشبكة فهو أطول المسارات على الشبكة، وعلى ذلك فهو المسار A b fd

ولكن في الشبكات الأكثر تعقيدًا وباستخدام الكمبيوتر يتم الاعتماد على أسلوب تحديد أوقات البدء والانتهاء وفي تحديد النشاط الحرج.

> بمعنى آخر يجب تحديد الحسابات الكمية الخلفية ففي المثال الحالي يتم تحديد قيم كل من آخر وقت بدء ممكن (خ ب)، وآخر وقت إتمام ممكن (خ ت) الخاصة بكل نشاط ويتم ذلك بدءًا من آخر نشاط لازم لإتمام المشروع وهو النشاط (F) في المثال الحالي. وتحديد المسار الحرج والأنشطة الحرجة. والمقصود بالأنشطة الحرجة بأنها الأنشطة التي إذا تأخرت ترتب على ذلك تأخير في إتمام المشروع ككل.

إن هناك تاريخ محدد للانتهاء من المشروع، أي أن هناك ما يشابه العقد الذي تم توقيعه بين الشركة المنفذة والجهة المستفيدة من المشروع (العميل) والذي ينص على تاريخ انتهاء محدد وطالما أن أقرب وقت يمكن للشركة المنفذة أن تعد به (العميل) المستفيد من المشروع هو (14) يوم حسب الحسابات الأمامية السابقة لقيم أول وقت إتمام للمشروع وللأنشطة، فإن ذات الرقم يستخدم كأنه نهاية لا يجب تجاوزها ويوضع في خانة (ح ث) للنشاط (f).

بالنسبة للنشاط (f): طالما أن آخر وقت مسموح به للانتهاء من المشروع هو (14) يوم من البدء، فإن آخر وقت بدء للنشاط (F) هو

> 14- 4= 10.

حسب المعادلة (2) خ ب = 10 يوم.

بالنسبة للنشاط (d)

إذا كان من المفروض أن آخر وقت مسموح به لآن يبدأ النشاط (f) هو 10 أيام فأن النشاط (d) يجب أن لا يتأخر إتمامه في أي حال من

الأحوال عن هذه اللحظة. ولذلك فأن آخر وقت بدء للنشاط (F) هي التي تحكم قيمة آخر وقت إتمام (خ ت) في النشاط (d) وعلى ذلك فإن (خ ب) للنشاط (d) هي:

> 10- 5= 5.

حسب المعادلة (2)

بالنسبة للنشاط (e):

بنفس المنطق المستخدم في النشاط (d) فإن موعد النشاط (f) يحكم آخر وقت للانتهاء من النشاط (e)، وبذلك فإن قيمة (خ ت) للنشاط (e) هي 10 أيام، وبطرح الوقت اللازم للنشاط (e) من هذه القيمة نصل إلى (خ ب) للنشاط (e) وهو

> 10- 2= 8 أيام.

حسب المعادلة (2).

بالنسبة للنشاط (b):

نظرًا لأن بدء الأنشطة (e و d) تتوقف على إتمام النشاط (b) وأن آخر موعد مسموح للنشاط (d) للبدء هو (5) أيام بينما هو (8) أيام للنشاط (e) فإن آخر وقت يسمح فيه لإتمام (خ ت) للنشاط (b) يكون هو أقل الرقمين وهو (5) أيام، وعلى ذلك فإن (خ ب) للنشاط (b) تكون كالتالي:

> 5- 2 = 3 أيام

حسب المعادلة (2)

بالنسبة للنشاط (c):

نظرًا لارتباط النشاط (c) بالنشاط (e) فإن آخر وقت إتمام للنشاط (c) هو آخر وقت بدء (خ ب) للنشاط (e) وهو (8) أيام. وبذلك يكون (خ ب) للنشاط (c) هو:

8 - 4 = 4 أيام.

حسب المعادلة (2)

بالنسبة للنشاط (a):

بمقارنة (خ ب) للنشاط (ب) و (خ ب) للنشاط (c) يتم التوصل إلى (خ ت) للنشاط (a) وهو أقل الرقمين وهو (3) أيام وبالتالي فإن (خ ب) للنشاط (a) هو

3- 3 = صفر (zero).

حسب المعادلة (2).

ويمكن الآن إيجاد هذه القيم في الجدول التالي:

جدول (6)

النشاط	أول وقت بدء (و ب)	آخر وقت بدء (خ ب)	أول وقت إتمام (و ت)	آخر وقت إتمام (خ ت)	الفائض الإجمالي الوقت الزائد الإجمالي
a	Zero صفر	Zero صفر	3	3	Zero صفر
b	3	3	5	5	Zero صفر
c	3	4	7	8	1
d	5	5	10	10	Zero صفر
e	7	8	9	10	1
f	10	10	14	14	Zero صفر

ومن هذا الجدول يمكن تحديد ما يسمى بالوقت الزائد أو الفائض الإجمالي Total Slack لكل الأنشطة كما هو موضح في العمود الأخير بالجدول.

والفائض الإجمالي: هو عبارة عن أقصى من الوقت يمكن أن يتأخر به إتمام النشاط دون أن يُسبب تأخيرًا في وقت إتمام المشروع ككل.
ويمكن التوصل إليه بأي من الطريقتين التاليين:

- الفائض الإجمالي = آخر وقت بدء مسموح - أول وقت بدء ممكن

Total Slack= LS-ES

- الفائض الإجمالي = آخر وقت إتمام مسموح - أول وقت إتمام ممكن

Total Slack= LF-EF

ويجب أن تكون دائمًا النتيجة واحدة في الحالتين بالنسبة لذات النشاط.

فعلى سبيل المثال بالنسبة للنشاط (a) الفائض الإجمالي له هو:

(Zero -Zero = Zero (0

(0) (0)

وهو تمامًا يعادل

```
Zero 0= 3-3
```

كذلك فإن الفائض الإجمالي للنشاط (C) هو

```
1=4-3
```

```
1=8-7
```

ويلاحظ أيضًا أن قيمة الفائض الإجمالي في هذه الحالات سوف تكون دائمًا رقم موجب أو صفر. فلا يمكن أن يمكن أن يكون رقم سالب إلا إذا كان هناك خطأ حسابيًا، أو في حالة أن يبدأ المشروع كله متأخرًا عن موعده.

أما القيم الموجبة: فتعني أن يمكن تأخر المشروع في حدود تلك القيمة دون أن يُسبب ذلك تأخيرًا للمشروع ككل. فالنشاط (C) على سبيل المثال يمكن أن يتأخر إتمامه يومًا كاملاً دون التأثير على إتمام المشروع في (14) يوم أما إذا تأخر بمقدار يومين أو أكثر فأنه بالتأكيد سوف يؤدي إلى تأخير المشروع، وقد يكون هذا التأخير في صورة تأخير البدء أو استغراق وقت أطول في تنفيذ النشاط عما كان مقررًا له، وقد يكون سبب ذلك تأخر ورود الموارد والأدوات اللازمة أو العمالة غير الكافية.

أما القيم الصفرية للفائض الإجمالي تعني أنه ليس هناك مجال لتأخير هذا النشاط فأي تأخير فيه سوف يؤثر على المشروع ككل ولذلك تسمى الأنشطة ذات الفائض الإجمالي الذي قيمته (صفر) بالأنشطة الحرجة Critical Activities، وتمثل الأنشطة الحرجة التي تقع على مسار معين ما يُسمى بالمسار الحرج والذي يعد أطول مسار على الشبكة وهو الذي يُعبر أيضًا عن أقل وقت لازم لإتمام المشروع.

وفي المثال الحالي فإن الأنشطة الحرجة هي:

a), b, d ,f)

وأن المسار الحرج هو

A → b → d → f

والذي طوله هو (14) يوم.

وهو مجموع وقت الأنشطة على المسار الحرج.

ويفيد تحديد المسار الحرج في أمرين هما:

الفائدة الأول: فهو تحديد للأنشطة الحرجة التي يجب أن تتم ملاحظة عملية تنفيذها بعناية كاملة. فهي ستحتاج إلى عملية إشراف إداري خاصة للتأكد من أن يتم البدء في التاريخ المحدد وأن يتم التنفيذ خلال المدة المحددة.

الفائدة الثانية: فهي تحديد أوجه النشاط التي يجب تقليل فترة إنجازها إذا كان هناك رغبة في تخفيض وقت إتمام المشروع بقدر معين من الوقت.

المرجع:

كتاب : إدارة المشاريع Project Management ، من تأليف د. أحمد يوسف دودين، من إصدار دار اليازوري ، الطبعة العربية لعام 2012.