جامعة البصرة – كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

# Engineering Economy

# Text Book

# For

# Civil Engineering Department

اعداد

أ.د. عبدالحسين عبدالكريم عباس

م.د. خلدون شهاب أحمد

شباط 2023

# Engineering Economy Course

**Course Content:**

1. Project Selection Process
2. Estimation of Construction Cost
3. Cash Flow of Project
4. Project Evaluation by Earned Value management
5. Reducing Project Duration by Crashing Management
6. The Basis of construction contracts
7. Linear Programming (Operation Research)
8. Planning for Risk Management
9. References

# Project Selection Process
# عملية اختيار المشاريع

عملية اختيار المشروع المناسب تتم من خلال أجراء دراسة الجدوى الاقتصادية للمشاريع

- **دراسة الجدوى (Feasibility Study)**

الهدف من هذه الخطوة هو معرفة قدرة الشركة المالية والفنية على تنفيذ مشروع معين وتحديد مدى الفوائد المالية والفنية من تنفيذ هذا المشروع من خلال مدى توافق أهداف المشروع مع الخطة الاستراتيجية للشركة. ودراسة الجدوى تتضمن تحديد المشاكل التي قد تعترض المشروع مع بيان طرق معالجتها بشكل فعال وقد ينتج عن دراسة الجدوى أكثر من حل لمعالجة هذه المشاكل مما يتطلب عمل مفاضلة بين هذه الحلول للوصول الى أفضل الحلول على اساس ما يسمى بتحليل الكلفة والفائدة (Cost – Benefit Analysis)

- **دراسة الكلفة مقابل الفائدة (Cost – Benefit Analysis)**

هي دراسة تحليلية حسابية لأموال المشروع تتضمن حساب المصاريف والعائدات المالية للمشروع ثم اتخاذ قرار بشأن تنفيذه أذا كان مفيد أو مربح عندما تكون الفائدة أكبر من الكلفة وبعكسه يعتبر المشروع غير مربح أو غير مفيد للشركة

- **Future Value (FV)**: compounding or growth over time. القيمة المستقبلية: تنمو خلال الزمن
- **Present Value (PV)**: discounting to today's value خصم القيمة اليوم (القيمة الحالية)
- **Interest (INT):** الفائدة
- **Discount Rate or Interest Rate (r):** نسبة الفائدة

- **Simple and Compound Interest: الفائدة البسيطة والمركبة**

الفائدة البسيطة المودع لا يكسب فائدة على الفائدة بينما الفائدة المركبة المودع يكسب فائدة على الفائدة

**مثال:** إذا أودعت 100 دولار في بنك يدفع فائدة 5% سنويا كم سيكون لديك بعد 5 سنوات أذا كانت الفائدة بسيطة أو مركبة؟

1- With simple interest, you do not earn interest on interest. لا تكسب فائدة على الفائدة

| |
|---|
| • Year 1: 5% of $100 = $5 + $100 = $105 |
| • Year 2: 5% of $100 = $5 + $105 = $110 |
| • Year 3: 5% of $100 = $5 + $110 = $115 |
| • Year 4: 5% of $100 = $5 + $115 = $120 |
| • Year 5: 5% of $100 = $5 + $120 = $125 |
| • $FV_1 = PV + INT = PV + PV(r) = PV(1+r) = 100(1+0.05) = \$105$ |
| • $FV_2 = FV_1 + INT = PV(1+r) + PV(r) = PV(1+2r) = 100(1+2\times0.05) = \$110$ |
| • $FV_n = PV(1+nr) = 100(1+5\times0.05) = 100(1+0.25) = \$125$ |

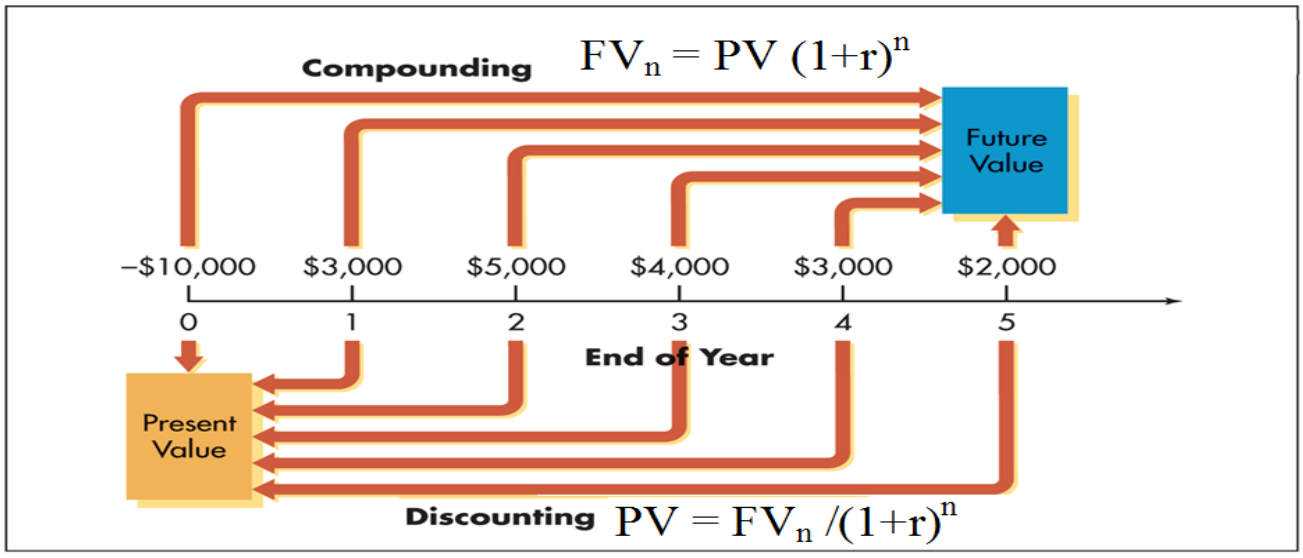
2- With compound interest, a depositor earns interest on interest! المودع يكسب فائدة على الفائدة

| |
|---|
| • Year 1: 5% of $100.00 = $5.00 + $100.00 = $105.00 |
| • Year 2: 5% of $105.00 = $5.25 + $105.00 = $110.25 |
| • Year 3: 5% of $110.25 = $5.51 + $110.25 = $115.76 |
| • Year 4: 5% of $115.76 = $5.79 + $115.76 = $121.55 |
| • Year 5: 5% of $121.55 = $6.08 + $121.55 = $127.63 |
| • $FV_1 = PV + INT = PV + PV(r) = PV(1+r) = 100(1+0.05) = \$105$ |
| • $FV_2 = FV_1 + FV_1 r = FV_1(1+r) = PV(1+r)(1+r) = PV(1+r)^2 = 100(1+0.05)^2 = \$110.25$ |
| • $FV_n = PV(1+r)^n = 100(1+0.05)^5 = 127.63$ |

- $FV_n = PV(1+r)^n$ or $PV = FV_n/(1+r)^n$

**Compounding and Discounting**

Time line showing compounding to find future value and discounting to find present value




مثال: ما هي القيمة المستقبلية بعد سنتين على اساس الفائدة المركبة لمبلغ مقداره 5000 دولار تم ايداعه في مصرف يدفع فائدة سنوية مقدارها 10%؟

الحل:

$$FV = PV\ (1+r)^n = 5000\ (1+0.10)^2 = 6050\ \$$$

**مقاييس الجدوى الاقتصادية للمشروع**

**1- صافي القيمة الحالية Net Present Value (NPV)**

صافي القيمة الحالية Net Present Value NPV هي إحدى الأدوات التي تستخدمها الشركات لتقييم المشروعات الاستثمارية (مشروعات طويلة الأجل)؛ تعتمد طريقة عمل صافي القيمة الحالية على التأكد من أن المشروع محل التقييم يحقق تدفقات نقدية تزيد عن القيمة المستثمرة في المشروع. صافي القيمة الحالية لمشروع هو الفرق بين القيمة المستثمرة في المشروع (II) والقيمة الحالية لجميع التدفقات النقدية (∑PV) المتوقعة خلال عمر المشروع.

$$FV = PV\ (1+r)^n \Rightarrow PV = \frac{FV}{(1+r)^n}$$

$$\sum PV = \sum_{t=1}^{n} \left[\frac{FV}{(1+r)^t}\right]$$

$$NPV = \sum PV - II = \sum_{t=1}^{n} \left[\frac{FV}{(1+r)^t}\right] - II$$

Where: - FV = Future value of an investment
PV = Present value
r = Investment interest rate
n = Number of years
II = initial investment

**قبول المشروع** متى كانت صافي القيمة الحالية أكبر من الصفر (قيمة موجبة)، **ورفض المشروع** متى كانت صافي القيمة الحالية أصغر من الصفر (قيمة سالبة).

أما في حالة إننا نقيم عدة بدائل استثمارية وكانت صافي القيمة الحالية موجبة لهذه المشروعات فإننا نختار المشروع ذو أعلى صافي قيمة حالية.

**مثال 1 –تدفق نقدي متساوي خلال فترة الاستثمار.**

تدرس الشركة أحد المشروعات التي تحقق صافي تدفق نقدي سنوي 15,000 دولار لمدة 5 سنوات، وكانت القيمة الاستثمارية للمشروع 50,000 دولار. فهل تقبل الشركة هذا المشروع أم لا إذا كانت نسبة الفائدة هي 12%؟

الحل:

$FV = 15\,000, n = 5, r = 12\% = 0.12, II = 50\,000$

$$\sum PV = PV_1 + PV_2 + PV_3 + PV_4 + PV_5$$

$$= \frac{FV_1}{(1+r)^1} + \frac{FV_2}{(1+r)^2} + \frac{FV_3}{(1+r)^3} + \frac{FV_4}{(1+r)^4} + \frac{FV_5}{(1+r)^5} =$$

$$= \frac{15000}{(1+0.12)^1} + \frac{15000}{(1+0.12)^2} + \frac{15000}{(1+0.12)^3} + \frac{15000}{(1+0.12)^4} + \frac{15000}{(1+0.12)^5} = 54071.64$$

$$NPV = \sum PV - II$$

NPV = 54071.64 – 50000 = 4071.64 صافي القيمة الحالية للمشروع

بعد حساب صافي القيمة الحالية للمشروع نجد أنها قيمة موجبة وبالتالي تُنصح الشركة بقبول هذا المشروع لأن القيمة الحالية لصافي التدفقات النقدية للمشروع تزيد عن القيمة الاستثمارية للمشروع.

**لنفترض أن** القيمة الاستثمارية للمشروع بلغت 55,000 بدلاً من 50,000 دولار؛ حينها ستكون صافي القيمة الحالية للمشروع هي صافي القيمة الحالية = 54071.64 – 55000 = – 928.36 دولار وبالتالي يتم رفض المشروع.

**مثال 2 –تدفق نقدي غير متساوي خلال فترة الاستثمار**

تدرس الشركة أحد المشروعات الاستثمارية والذي سيتكلف 75000 دولار في بداية السنة الأولى، ويتوقع أن تكون صافي التدفقات النقدية في نهاية كل سنة كالتالي (10000 و23000 و 35000 و 30000)، وبفرض أن معدل الخصم لهذا المشروع 8%. هل تنصح الشركة في الاستثمار في هذا المشروع ام لا؟

الحل:- $FV_1 = 10\,000, FV_2 = 23\,000, FV_3 = 35\,000, FV_4 = 30\,000,$

$n = 4 , r = 8\% = 0.08 , II = 75\,000$

$$\sum PV = PV_1 + PV_2 + PV_3 + PV_4 = \frac{FV_1}{(1+r)^1} + \frac{FV_2}{(1+r)^2} + \frac{FV_3}{(1+r)^3} + \frac{FV_4}{(1+r)^4}$$

$$= \frac{10000}{(1+0.08)^1} + \frac{23000}{(1+0.08)^2} + \frac{35000}{(1+0.08)^3} + \frac{30000}{(1+0.08)^4} = 78813.08$$

$$NPV = \sum PV - II$$

NPV = 78813.08 – 75000 = 3813.08 صافي القيمة الحالية للمشروع

صافي التدفق هي قيمة موجبة لذلك تُنصح الشركة بالاستثمار في هذا المشروع.

**مثال 3 –اختيار من عدة بدائل (بدائل متساوية في القيمة الاستثمارية)**

ترغب شركة في تحديد أنسب البدائل الاستثمارية من ضمن البدائل التالية:

| | المشروع ١ | المشروع ٢ | المشروع ٣ |
|---|---|---|---|
| معدل الخصم | 7% | 10% | 12% |
| تكلفة المشروع | 100,000 | 100,000 | 100,000 |
| صافي التدفقات النقدية | | | |
| السنة ١ | 50,000 | 32,000 | 37,000 |
| السنة ٢ | 28,000 | 37,000 | 52,000 |
| السنة ٣ | 44,000 | 39,000 | 40,500 |

الحل

| | المشروع 1 | المشروع 2 | المشروع 3 |
|---|---|---|---|
| معدل الخصم % (r) | 7 | 10 | 12 |
| تكلفة المشروع (II) | 100,000 | 100,000 | 100,000 |
| التدفقات النقدية (FV) | | | |
| السنة 1 | 50,000 | 32,000 | 37,000 |
| السنة 2 | 28,000 | 37,000 | 52,000 |
| السنة 3 | 44,000 | 39,000 | 40,500 |
| القيمة الحالية للمشروع $PV=FV\div(1+r)^n$ | | | |
| السنة 1 | 46,729 | 29,091 | 33,036 |
| السنة 2 | 24,456 | 30,579 | 41,454 |
| السنة 3 | 35,917 | 29,301 | 28,827 |
| | | | |
| صافي القيمة الحالية للمشروع $NPV=\sum PV-II$ | 7,102 | – 11,029 | 3,317 |

القرار: الاستثمار في المشروع الذي يحقق أعلى صافي قيمة حالية موجبة وهو المشروع 1 والذي تقدر صافي القيمة الحالية له بـ 7102 دولار

**لاحظ أن** :في حالة أن الشركة لديها القدرة على الاستثمار في أكثر من مشروع فتُنصح بالاستثمار في المشروع 3 أيضاً لأنه يحقق صافي قيمة حالية موجبة.

### 2- فترة الاسترداد Payback Period (PP)

تهدف هذه الطريقة حساب الفترة التي تحتاجها الشركة لاسترداد المبلغ الذي تم استثماره في المشروع المعني. تحسب فترة الاسترداد بقسمة الاستثمار المبدئي على التدفق السنوي وهذا في حال كانت التدفقات النقدية متساوية ومنتظمة

Payback period = Initial Investment (II) / Annual Future Value (FV)

Example:- If 12 million is invested to earn 3 million every year the PP will be

PP= II / FV = 12 000 000 / 3000 000 = 4 years

أما أذا كانت التدفقات النقدية غير متساوية تحسب فترة الاسترداد بجمع التدفقات النقدية إلى أن تصبح مساوية لمبلغ الاستثمار المبدئي. أما في حالة إننا نقيم عدة بدائل استثمارية يقبل المشروع الأقل فترة استرداد.

### 3- نسبة الفائدة إلى الكلفة Benefit Cost Ratio (BCR) أو دليل الربحية Profitability Index (PI)

نسبة المنافع إلى التكاليف = القيمة الحالية لإجمالي المنافع / إجمالي التكاليف

$$BCR = \frac{\sum PV}{II}$$

أذا كانت $BCR > 1$ فأن المشروع يعتبر مجدي اقتصاديا.

أما أذا كانت $BCR < 1$ فأن المشروع يعتبر غير مجدي اقتصاديا

### 4- العائد على الاستثمار Return On Investment (ROI)

$$ROI = \frac{\sum PV - II}{II} = BCR - 1$$

### 5- نسبة العائد الداخلي Internal Rate of Return (IRR)

هذه الطريقة يستفاد منها لمعرفة نسبة العائد الداخلي (نسبة الأرباح) التي ستتمتع به الشركة جراء استثمار مبلغها في المشروع المقترح. بالتالي ستكون الشركة على دراية إنها تستطيع قبول القيام بأي مشروع تكون فيه نسبة العائد الداخلي IRR اعلى من نسبة الاستثمار المفروضة.

IRR is the discount rate when r = IRR →NPV = Zero. Mathematically

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \left[\frac{FV}{(1+IRR)^{t}}\right] - II = 0$$

نسبة العائد الداخلي هو سعر الخصم الذي يجعل القيمة الحالية للمنافع يساوى القيمة الحالية للتكاليف. ويعرف سعر الخصم هذا بنسبة العائد الداخلي. وهو يمثل أقصى فائدة يمكن أن يدفعها المشروع، ويحقق التعادل بين الإيرادات والتكاليف للمشروع. أذا كان مشروع معين على سبيل المثال يحقق نسبة عائد داخلي 25% هذا يعني أن المشروع يستطيع استرداد رأس المال وتكاليف الإنتاج وتكاليف التشغيل التي أنفقت علية بالإضافة إلى تحقيق عائد قدرة 25 % على استخدام أموال صاحب المشروع. فإذا كان صاحب المشروع قد اقترض كل أموال المشروع بسعر فائدة 18 % فأنه يغطى فائدة الاقتراض ويحقق الفرق 7 % ربح لصاحب المشروع.

### 6- معدل العائد المحاسبي(ARR)Accounting Rate of Return

هذه الطريقة لا تعتمد على نسبة الفائدة

- **في حالة عدم وجود كلفة مستردة من قيمة الخردة (S) Salvage value**

معدل العائد المحاسبي على كلفة الاستثمار = (متوسط صافي الدخل المحاسبي ÷ كلفة الاستثمار)

معدل العائد المحاسبي على كلفة الاستثمار =

[متوسط التدفق النقدي السنوي – (كلفة الاستثمار ÷ عمر المشروع)] ÷ كلفة الاستثمار

$$\mathrm{ARR1} = \left[\frac{\frac{\sum \mathrm{FV}}{\mathrm{n}} - \frac{\mathrm{II}}{\mathrm{n}}}{\mathrm{II}}\right] = \frac{\sum \mathrm{FV} - \mathrm{II}}{\mathrm{n} \times \mathrm{II}}$$

- **اما في حالة وجود كلفة مستردة من قيمة الخردة (S) Salvage value**

$$\mathrm{AII} = \mathrm{II} - \mathrm{S}$$

$$\mathrm{ARR2} = \left[\frac{\frac{\sum \mathrm{FV}}{\mathrm{n}} - \frac{\mathrm{AII}}{\mathrm{n}}}{\mathrm{AII}}\right] = \frac{\sum \mathrm{FV} - \mathrm{AII}}{\mathrm{n} \times \mathrm{AII}}$$

AII = كلفة الاستثمار المعدلة = كلفة الاستثمار (II) – كلفة الخردة (S)

n = عمر المشروع بالسنوات

∑FV = مجموع التدفقات النقدية لجميع سنوات عمر المشروع

مثال: تمتلك احدى الشركات مبلغ 500,000 دينار وترغب باستثماره في أحد المشروعين اللذان توفرت عنهم المعلومات المبينة في الجدول ادناه. قيم المشروعين وفق معدل العائد المحاسبي على كلفة الاستثمار

| | المشروع الاول | المشروع الثاني |
|---|---|---|
| ∑FV | 800,000 | 800,000 |
| ∑FV−II | 300,000 | 300,000 |
| ARR1 | 0.075 | 0.15 |

| | المشروع الاول | المشروع الثاني |
|---|---|---|
| كلفة الاستثمار | 500,000 | 500,000 |
| التدفق النقدي | | |
| 1 | 100,000 | 300,000 |
| 2 | 100,000 | 250,000 |
| 3 | 100,000 | 150,000 |
| 4 | 100,000 | 100,000 |
| 5 | 100,000 | |
| 6 | 100,000 | |
| 7 | 100,000 | |
| 8 | 100,000 | |

**<u>مثال 2</u>**: شركة طباعة كتب وترغب في شراء طابعة جديدة وتدرس المفاضلة بين نموذجين لهذه الطابعة والآتي أهم بيانات التدفقات النقدية التي توفرت لك. فإذا علمت أن تكلفة رأس المال 11% وان قيمة الخردة للنموذجين أ ، ب هي 8000 ،24000 والمبلغ المستثمر هو 160000 و 300000 على التوالي

| Salvage Value (S) | 8000 | 24000 |
|---|---|---|
| II | 160000 | 300000 |
| السنة | النموذج أ | النموذج ب |
| 1 | 40000 | 40000 |
| 2 | 42000 | 40000 |
| 3 | 44000 | 55000 |
| 4 | 38000 | 58000 |
| 5 | 35000 | 60000 |
| 6 | 35000 | 80000 |
| 7 | 35000 | 100000 |
| 8 | 28000 | 100000 |
| 9 | - | 80000 |

| السنة | النموذج أ | النموذج ب |
|---|---|---|
| | | |
| ∑FV | 297000 | 613000 |
| AII=II−S | 152000 | 276000 |
| ∑FV−AII | 145000 | 337000 |
| ARR2 | 0.11924 | 0.13567 |

مثال عملي: أمام إحدى الشركات فرصة الاستثمار في أحد المشروعين A أو B ويبين الجدول التالي البيانات الخاصة بكل استثمار:

| | المشروع A | المشروع B |
|---|---|---|
| تكلفة الاستثمار المبدئي | 200000 | 300000 |
| معدل تكلفة رأس المال او نسبة الفائدة | 10% | 10% |
| العمر الإنتاجي | 5 | 5 |
| التدفقات النقدية المتوقعة /السنة | المبلغ | المبلغ |
| 1 | 80000 | 120000 |
| 2 | 60000 | 60000 |
| 3 | 60000 | 20000 |
| 4 | 60000 | 100000 |
| 5 | 10000 | 80000 |

- المطلوب: تقييم المشروعين السابقين وفقاً لطرق التقييم المختلفة وبيان قبول المشروع من عدمه

| | المشروع A | المشروع B |
|---|---|---|
| II | 200,000- | 300,000- |
| r | 10% | 10% |
| n | 5 | 5 |
| PV | | |
| 1 | 72,727 | 109,091 |
| 2 | 49,587 | 49,587 |
| 3 | 45,079 | 15,026 |
| 4 | 40,981 | 68,301 |
| 5 | 6,209 | 49,674 |
| NPV | 14,583 | 8,321- |
| IRR | 0.13 | 0.09 |

| | المشروع A | المشروع B |
|---|---|---|
| II | 200,000 | 300,000 |
| r | 10% | 10% |
| n | 5 | 5 |
| FV | | |
| 1 | 80,000 | 120,000 |
| 2 | 60,000 | 60,000 |
| 3 | 60,000 | 20,000 |
| 4 | 60,000 | 100,000 |
| 5 | 10,000 | 80,000 |
| ∑FV | 270,000 | 380,000 |
| ARR | 0.070 | 0.053 |
| | | |
| PP | | |
| | 200,000- | 300,000- |
| 1 | 120,000- | 180,000- |
| 2 | 60,000- | 120,000- |
| 3 | - | 100,000- |
| 4 | 60,000 | - |

Calculation of IRR for the two projects

$$\sum_{t=1}^{n}\left[\frac{FV}{(1+IRR)^{t}}\right]-II=0$$

First trial use, IRR=0.1

Second trial, $\quad IRR = 0.1\left[1+\left(\frac{LHS-RHS}{RHS}\right)\right]$

Project A

$$\left[\frac{80}{(1+IRR)^{1}}+\frac{60}{(1+IRR)^{2}}+\frac{60}{(1+IRR)^{3}}+\frac{60}{(1+IRR)^{4}}+\frac{10}{(1+IRR)^{5}}\right]=200$$

$$\left[\frac{4}{(1+IRR)^{1}}+\frac{3}{(1+IRR)^{2}}+\frac{3}{(1+IRR)^{3}}+\frac{3}{(1+IRR)^{4}}+\frac{0.5}{(1+IRR)^{5}}\right]=10$$

Project A, IRR = 0.1 (1 + ((10.7 − 10) ÷ 10) = 0.11 → Final IRR = 0.12

Project B

$$\left[\frac{120}{(1+IRR)^{1}}+\frac{60}{(1+IRR)^{2}}+\frac{20}{(1+IRR)^{3}}+\frac{100}{(1+IRR)^{4}}+\frac{80}{(1+IRR)^{5}}\right]=300$$

$$\left[\frac{6}{(1+IRR)^{1}}+\frac{3}{(1+IRR)^{2}}+\frac{1}{(1+IRR)^{3}}+\frac{5}{(1+IRR)^{4}}+\frac{4}{(1+IRR)^{5}}\right]=15$$

Project B, IRR = 0.1 (1 + ((14.6 − 15) ÷ 15) = 0.10 → Final IRR = 0.10

مثال1:استثمرت احدى الشركات مبلغا مقداره 900 الف دولار لتنفيذ احد المشاريع وكانت العائدات المتوقعة من هذا المشروع (بالالاف) خلال فترة 7 سنوات كالاتي:

| Year | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cash flow ($) | 200 | 250 | 300 | 450 | 400 | 200 | 150 |

احسب الاتي:

A. Payback Period
B. NPV اذا كانت r = %23
C. استخرج قيمة ال IRR. وهل تنصح الشركة بتنفيذ هذا المشروع اذا كانت نسبة الاستثمار المفروضة هي 26؟ ولماذا؟

الحل:

A- Payback Period هي الفترة التي يسترد خلالها المبلغ المستثمر بالكامل لقيمة Initial Investment II=900 من الجدول التراكمي نجد ان المبلغ يسترد بعد ال 3 سنوات اي

| Year | Cash flow (+) | II=(-900) |
|---|---|---|
| 1 | 200 | -700 |
| 2 | 250 | -450 |
| 3 | 300 | -150 |
| 4 | 450 | 300 |
| 5 | 400 | 700 |
| 6 | 200 | 900 |
| 7 | 150 | 1050 |

} Payback in the 4th year (X)

$$\frac{300-(-150)}{4-3}=\frac{0-(-150)}{X-3}\Longrightarrow X-3=\frac{150}{450}\Longrightarrow X=3.33=3year+4month$$

| | |
|---|---|
| 3 | -150 |
| X | 0 |
| 4 | 300 |

B- The Net present Value (NPV) can be obtained from the following equation (r = 23%)

| Year (n) | Cash flow (FV) | Present Values (PV) $PV = \frac{FV}{(1+r)^n} = \frac{FV}{1.23^n}$ |
|---|---|---|
| 1 | 200 | 162.6 |
| 2 | 250 | 165.25 |
| 3 | 300 | 161.22 |
| 4 | 450 | 196.605 |
| 5 | 400 | 142.08 |
| 6 | 200 | 57.76 |
| 7 | 150 | 35.22 |
| Total Present Values ($\sum PV$) | | 920.735 |

$$NPV = \sum PV - II = 920.735 - 900 = 20.735 \text{ thousand dollars}$$

C- IRR is the discount rate when NPV $\simeq$ 0. Mathematically. The solution to problems involving IRR is by a trial-and-error solution

$$\sum_{t=1}^{n}\left[\frac{FV}{(1+IRR)^{t}}\right] - II = 0$$

$$\left[\frac{200}{(1+IRR)^{1}} + \frac{250}{(1+IRR)^{2}} + \frac{300}{(1+IRR)^{3}} + \frac{450}{(1+IRR)^{4}} + \frac{400}{(1+IRR)^{5}} + \frac{200}{(1+IRR)^{6}} + \frac{150}{(1+IRR)^{7}}\right] = 900$$

$$\left[\frac{2}{(1+IRR)^{1}} + \frac{2.5}{(1+IRR)^{2}} + \frac{3}{(1+IRR)^{3}} + \frac{4.5}{(1+IRR)^{4}} + \frac{4}{(1+IRR)^{5}} + \frac{2}{(1+IRR)^{6}} + \frac{1.5}{(1+IRR)^{7}}\right] = 9$$

Trial and Error:

Second trial, $\quad \text{IRR}_2 = \text{IRR}_1\left[1 + \left(\frac{LHS - RHS}{RHS}\right)\right]$

| $IRR_1$ | LHS | RHS | $IRR_2$ |
|---|---|---|---|
| 0.26 | 8.504 | 9 | 0.246 |
| 0.25 | 8.729 | 9 | 0.242 |
| 0.24 | 8.963 | 9 | 0.239 |
| 0.24 | | | |

IRR ≈ 24%

لا ينصح الشركة بتنفيذ هذا المشروع لأنه عندما تكون نسبة الاستثمار المفروضة (ال 26%) أكبر من معدل العائد الداخلي للمشروع (ال 24%) فانه سوف لا يتم استرداد المبلغ المستثمر فضلا عن تحصيل أي ربح

مثال2: استثمرت احدى الشركات مبلغا مقداره 85 الف دولار لتنفيذ احد المشاريع وكانت العائدات المتوقعة من هذا المشروع (بالألاف) خلال فترة 5 سنوات كالاتي:

احسب الاتي:

| Year | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Cash flow ($) | 10 | 25 | 35 | 45 | 30 |

A. Payback Period

B. NPV اذا كانت r = %17

C. استخرج قيمة ال IRR. وهل تنصح الشركة بتنفيذ هذا المشروع اذا كانت نسبة الاستثمار المفروضة هي 20؟ ولماذا؟

الحل

A- Payback Period هي الفترة التي يسترد خلالها المبلغ المستثمر بالكامل لقيمة Initial Investment II=85

| Year | Cash flow | II=(-85) + |
|---|---|---|
| 1 | 10 | -75 |
| 2 | 25 | -50 |
| 3 | 35 | -15 |
| 4 | 45 | 30 |
| 5 | 30 | 60 |

} Payback in the 4th year (X)

| | |
|---|---|
| 3 | -15 |
| X | 0 |
| 4 | 30 |

$$\frac{30-(-15)}{4-3}=\frac{0-(-15)}{X-3}\Longrightarrow X-3=\frac{15}{45}\Longrightarrow X=3.33=3year+4month$$

B- The Net present Value (NPV) can be obtained from the following equation (r = 17%)

| Year (n) | Cash flow (FV) | Present Values (PV) $PV=\frac{FV}{(1+r)^n}=\frac{FV}{1.17^n}$ |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 8.547 |
| 2 | 25 | 18.2625 |
| 3 | 35 | 21.854 |
| 4 | 45 | 24.0165 |
| 5 | 30 | 13.683 |
| Total Present Values $(\sum PV)$ | | 86.363 |

$$NPV=\sum PV-II==86.363-85=1.363\ thousand\ dollars$$

C- IRR is the discount rate when NPV $\cong 0$. Mathematically. The solution to problems involving IRR is by a trial-and-error solution

$$\sum_{t=1}^{n}\left[\frac{\mathrm{FV}}{(1+\mathrm{IRR})^{t}}\right]-\mathrm{II}=0$$

$$\left[\frac{10}{(1+IRR)^{1}}+\frac{25}{(1+IRR)^{2}}+\frac{35}{(1+IRR)^{3}}+\frac{45}{(1+IRR)^{4}}+\frac{30}{(1+IRR)^{5}}+\right]=85$$

Trial and Error:

Second trial, $\text{IRR}_2 = \text{IRR}_1 \left[1 + \left(\frac{LHS - RHS}{RHS}\right)\right]$

| $\text{IRR}_1$ | LHS | RHS | $\text{IRR}_2$ |
|---|---|---|---|
| 0.20 | 79.707 | 85 | 0.188 |
| 0.19 | 81.839 | 85 | 0.183 |
| 0.18 | 84.055 | 85 | 0.178 |
| 0.18 | | | |

IRR ≈ 18%

لا ينصح الشركة بتنفيذ هذا المشروع لأنه عندما تكون نسبة الاستثمار المفروضة (ال 20%) أكبر من معدل العائد الداخلي للمشروع (ال 18%) فانه سوف لا يتم استرداد المبلغ المستثمر فضلا عن تحصيل اي ربح

مثال: المطلوب عمل دراسة جدوى اقتصادية لمشروع بناء عمارة سكنية تتكون من عشرة وحدات سكنية إذا توفرت المعلومات التالية

1- تكلفة انشاء الوحدة السكنية = 100 ألف دولار
2- تكلفة صيانة الوحدة السكنية = 1000 دولار سنويا
3- قيمة ايجار الوحدة السكنية الواحدة بالشهر = 1000 دولار
4- نسبة اشغال المبنى = 90%
5- العمر الافتراضي للمبنى = 50 سنة

الحل

تكلفة انشاء المشروع = تكلفة الأنشاء × عدد الوحدات = 10 × 100 000 = 1000 000 $

تكلفة صيانة المبنى خلال عمر المشروع = كلفة الصيانة للوحدة × عدد الوحدات × العمر

= 1000 × 10 × 50 = 500 000 $

الكلفة الكلية = كلفة الإنشاء + كلفة الصيانة = 1000 000 +500 000 = 1 500 000 $

العائد المالي من المبنى خلال عمر المشروع = قيمة إيجار الوحدة × 12 ×عدد الوحدات × العمر × نسبة الأشغال

= 1000 × 12 × 10 × 50× 0.90 = 5 400 000 $

$$BCR = \frac{Benefit}{Cost} = \frac{5\ 400\ 000}{1\ 500\ 000} = 3.6 > 1 \ \therefore the\ project\ is\ profitable$$

في الحل التالي سوف نأخذ نسبة الفائدة بنظر الاعتبار من خلال فرضها تساوي r = 10% = 0.1

$PV = FV \div (1+r)^n$ , FV = العائدات السنوية = الايجار السنوي – الصيانة السنوية

الايجار سنويا = 1000 × 12 × 10 × 0.90 = 108000$

الصيانة سنويا = 1000 × 10 = 10000$

| Year | الإيجار سنويا | الصيانة سنويا | FV= الإيجار - الصيانة | PV= FV/ $(1+0.1)^n$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 108000 | 10000 | 98000 | 89090.91 |
| 2 | 108000 | 10000 | 98000 | 80991.74 |
| 3 | 108000 | 10000 | 98000 | 73628.85 |
| 4 | 108000 | 10000 | 98000 | 66935.32 |
| 5 | 108000 | 10000 | 98000 | 60850.29 |
| 6 | 108000 | 10000 | 98000 | 55318.45 |
| 7 | 108000 | 10000 | 98000 | 50289.5 |
| 8 | 108000 | 10000 | 98000 | 45717.72 |
| 9 | 108000 | 10000 | 98000 | 41561.57 |
| 10 | 108000 | 10000 | 98000 | 37783.24 |
| 11 | 108000 | 10000 | 98000 | 34348.4 |
| 12 | 108000 | 10000 | 98000 | 31225.82 |
| 13 | 108000 | 10000 | 98000 | 28387.11 |
| 14 | 108000 | 10000 | 98000 | 25806.46 |
| 15 | 108000 | 10000 | 98000 | 23460.42 |
| 16 | 108000 | 10000 | 98000 | 21327.66 |
| 17 | 108000 | 10000 | 98000 | 19388.78 |
| 18 | 108000 | 10000 | 98000 | 17626.16 |
| 19 | 108000 | 10000 | 98000 | 16023.78 |
| 20 | 108000 | 10000 | 98000 | 14567.08 |
| 21 | 108000 | 10000 | 98000 | 13242.8 |
| 22 | 108000 | 10000 | 98000 | 12038.91 |
| 23 | 108000 | 10000 | 98000 | 10944.46 |
| 24 | 108000 | 10000 | 98000 | 9949.509 |
| 25 | 108000 | 10000 | 98000 | 9045.008 |
| | | | $\Sigma PV$ | 971651.8 |

| Year | الإيجار سنويا | الصيانة سنويا | FV= الإيجار - الصيانة | PV= FV/ $(1+0.1)^n$ |
|---|---|---|---|---|
| 26 | 108000 | 10000 | 98000 | 8222.734 |
| 27 | 108000 | 10000 | 98000 | 7475.213 |
| 28 | 108000 | 10000 | 98000 | 6795.648 |
| 29 | 108000 | 10000 | 98000 | 6177.862 |
| 30 | 108000 | 10000 | 98000 | 5616.238 |
| 31 | 108000 | 10000 | 98000 | 5105.671 |
| 32 | 108000 | 10000 | 98000 | 4641.519 |
| 33 | 108000 | 10000 | 98000 | 4219.563 |
| 34 | 108000 | 10000 | 98000 | 3835.966 |
| 35 | 108000 | 10000 | 98000 | 3487.242 |
| 36 | 108000 | 10000 | 98000 | 3170.22 |
| 37 | 108000 | 10000 | 98000 | 2882.018 |
| 38 | 108000 | 10000 | 98000 | 2620.017 |
| 39 | 108000 | 10000 | 98000 | 2381.833 |
| 40 | 108000 | 10000 | 98000 | 2165.303 |
| 41 | 108000 | 10000 | 98000 | 1968.457 |
| 42 | 108000 | 10000 | 98000 | 1789.507 |
| 43 | 108000 | 10000 | 98000 | 1626.824 |
| 44 | 108000 | 10000 | 98000 | 1478.931 |
| 45 | 108000 | 10000 | 98000 | 1344.483 |
| 46 | 108000 | 10000 | 98000 | 1222.257 |
| 47 | 108000 | 10000 | 98000 | 1111.143 |
| 48 | 108000 | 10000 | 98000 | 1010.13 |
| 49 | 108000 | 10000 | 98000 | 918.2998 |
| 50 | 108000 | 10000 | 98000 | 834.818 |
| | | | | |

$$\text{BCR} = \frac{Benefit}{Cost} = \frac{971651.8}{1000000} = 0.97 < 1 \quad \Rightarrow \therefore the\ project\ is\ not\ profitable$$

غير رابح ولجعل المشروع رابح يتطلب ذلك ما يلي

1- زيادة قيمة الإيجار بصورة تدريجية سنويا
2- أو تقليل نسبة الفائدة
3- تقليل كلفة الانشاء

تقدير كلفة المشروع Project Cost Estimation

| كلفة التصميم | كلفة التنفيذ |
|---|---|
| 1- طريقة عدد ساعات العمل<br>2- طريقة عدد المخططات<br>3- طريقة المساحة<br>4- طريقة كلفة التنفيذ | 1- الطرق التقريبية وتشمل<br>❖ طريقة الوحدة و<br>❖ طريقة المساحة أو الحجم<br>2- الطرق التفصيلية |

**الطرق التقريبية لتقدير كلفة المشروع Approximate Methods**

وهي الطريقة التي يستخدمها المالك او من ينوب عنه في المراحل الأولية من دراسة الجدوى الاقتصادية ومن النادر جدا تتطابق هذه التقديرات مع الكلفة الحقيقة للمشروع ولكن كلما قل الفارق إلى اقل من (10%) يعبر ذلك عن الدقة في التقدير وعن مهارة من يقوم بالتقدير

الهدف من تقدير الكلفة هو ما يلي

- معاونة المالك في أخذ القرار المناسب في مرحلة دراسة الجدوى ومعاونته في سهولة اختيار المقاول الجاد في مرحلة فتح العطاءات ومساعدته في تدبير الموارد المالية للمشروع
- معاونة المقاول في طرح السعر المناسب لتقديم العطاء ومساعدته في تدبير الموارد المالية للمشروع
- مساعدة المهندس المصمم في اختيار أفضل البدائل للتصميم والتنفيذ

## 1- طريقة الوحدة Unit Method

مثال1 : عند تشييد أحد المستشفيات التي تتسع لعدد (100) سرير كانت التكلفة حوالي (1.25) مليون دولار. المطلوب حساب تكلفة بناء مستشفى جديد بنفس المواصفات لكن بسعة اكبر تصل إلى (125) سرير

الحل:

تكلفة السرير = 100 / 1000000 × 1.25 = 12500 دولار

تكلفة المستشفى الجديد = 125 × 12500 = 1562500

**ملاحظة :** لو فرضنا أن هناك تضخم في الأسعار بسبب الفرق الزمني بين تنفيذ كل من المشروعين يقدر بحوالي 5% فكم ستصبح كلفة المستشفى الجديد

التكلفة تصبح = 1562500 × 1.05 = 1640625 دولار

## 2- طريقة المساحة او الحجم (Area or Space Method)

مثال 2 : المطلوب حساب تكلفة مبنى سكني يتكون من خمسة طوابق بالإضافة إلى الأساسات على مساحة ($300m^2$) أذا كانت المعلومات السابقة تبين إن تكلفة مبني مشابه بنفس المواصفات وعلى مساحة ($500m^2$) وبارتفاع ثلاثة طوابق بالإضافة إلى الأساسات قد كلف (0.5) مليون دولار

الحل:

أولا: طريقة المساحة

تكلفة الطابق الواحد على اعتبار الأساسات كطابق = (3+1) / 1000000 × 0.5 = 125000 دولار للطابق

تكلفة المتر المربع الواحد = 500 / 125000 = 250 دولار للمتر المربع

تكلفة المبنى الجديد = (5+1)× 300 × 250 = 450000 دولار

ثانيا : طريقة الحجم

نفرض أن ارتفاع الطابق الواحد هو 3m

ارتفاع المبنى القديم = 3 × (3+1) = 12m

حجم المبنى القديم = 500 × 12 = $6000m^3$

تكلفة المتر المكعب الواحد = 6000 / 1000000 × 0.5 = 83.333

ارتفاع المبنى الجديد = 3 × (5+1) = 18m

حجم المبنى الجديد = 300 × 18 = $5400m^3$

كلفة المبنى الجديد = 83.333 × 5400 = 450000 دولار

**الطرق التفصيلية لتقدير كلفة المشروع Details Method**

كلفة تنفيذ المشروع الإنشائي

| الكلف المباشرة Direct Cost | الكلف الغير مباشرة Indirect Cost |
|---|---|
| وهي كلفة المواد والعمال والمعدات والمقاول الثانوي اللازمة لتنفيذ فقرات المشروع | وهي الكلف التي تصرف على المشروع ككل ولا تخص فقرة معينة وإنما لها صفة العمومية على كل فقرات المشروع |

| كلفة أدارة المكتب | كلفة أدارة الموقع | كلفة الضرائب والتأمينات | كلفة المخاطر | الربح |
|---|---|---|---|---|
| Office Overhead | Site Overhead | taxes & insurance | Risk | Profit |
| تشمل أيجار المكتب وشراء مستندات العطاء والشروط والمواصفات وكلفة الاتصالات والمواصلات ورواتب الموظفين في المكتب | كلفة المنشآت المؤقتة في الموقع والتجهيزات من ماء وكهرباء وكلفة الاتصالات والمواصلات والإعاشة والضيافة في الموقع ورواتب الموظفين في الموقع | تشمل الضرائب المفروضة على المقاول من قبل الدولة والتأمينات المدفوعة على العمال وتشمل كلفة الضمان او خطاب الضمان الذي يدفع للبنك مقابل خطاب ضمان للمالك يؤكد بأن المقاول لديه السيولة النقدية الكافية لتنفيذ المشروع | وهي التباين بين الواقع والمخطط في الأسعار بسبب ظروف معينة مثل الكوارث الطبيعية أو الغلاء أو الحروب أو سوء الحالة الأمنية للبلد | نسبة ربح معينة للمقاول لا تتجاوز 20% |

**الطرق التفصيلية لتقدير كلفة المشروع Details Method** وهي الطرق التي تستخدم في تقدير كلفة بنود أو فقرات المشروع ومن ثم الكلفة الكلية بدقة كافية يمكن الاعتماد عليها في التعاقد بين المالك والمقاول ويتم فيها حساب ما يلي

1- كلفة المواد اللازمة لكل بند materials Cost
2- كلفة العمالة اللازمة لكل بند Labor Cost
3- كلفة المعدات اللازمة لكل بند Equipment Cost
4- كلفة المقاولين الثانويين
5- كلفة الضرائب والتأمينات والضمان والمخاطر
6- نسبة الربح

الكلفة الكلية = الكلفة المباشرة + الكلفة الغير مباشرة

خطوات حساب الكلفة التفصيلية

1- دراسة المخططات وزيارة الموقع وكتابة تقرير يوضح فيه طريقة الوصول إلى الموقع ومدى توفر المواد والخدمات الأخرى وتأمين الموقع وطبوغرافية الموقع وهل هناك عوائق أو أعمال مطلوب إزالتها
2- حساب الكميات مع تحديد وحدة القياس لكل بند او فقرة
3- حساب تكلفة المواد اللازمة لكل بند
4- حساب تكلفة العمالة اللازمة لكل بند
5- حساب تكلفة المعدات اللازمة لكل بند
6- حساب تكلفة المقاولين الثانويين لبعض البنود
7- حساب تكلفة الإدارة والضرائب والضمان والتأمينات والمخاطر وتقدير نسبة الربح

مثال 3 : أحسب التكلفة الكلية و تكلفة ($1m^3$) اللازمة لحفر ($500m^3$) إذا أعطيت البيانات التالية :

1- الحفر باستخدام الحفر الميكانيكي .
2- معدل الحفر اليومي = $50m^3/day$ .
3- المعدات : - حفار عدد 1 ، تكلفة الإيجار 800$/day .
4- العمالة : - عامل ماهر عدد 1 ، التكلفة 70$/day . وعامل عادي عدد 2 ، التكلفة 50$/day .
5- التكلفة الغير مباشرة تقدر بحوالي 30 % من التكلفة المباشرة .

الحل:

مدة الحفر = الكمية / الإنتاجية = 500/50 = 10 day

تكلفة المعدات = مدة العمل × إيجار اليوم الواحد = 10 day × 800$/day = 8000$

تكلفة العمال = مدة العمل × إيجار اليوم الواحد =

10 day × [(50 × 2) + (70 × 1)] = 1700$

التكلفة المباشرة = المواد+العمال+المعدات+المقاول الثانوي

0 + 8000 + 1700 + 0 = 9700$

الكلفة الغير مباشرة = 30% من الكلفة المباشرة = (30/100) × 9700$ = 2910$

الكلفة الكلية = الكلفة المباشرة + الكلفة الغير مباشرة = 2910 $ + 9700$ = 12610$

كلفة المتر المكعب الواحد للحفر = 12160$ / $500m^3$ = 25.22 $/m^3$

مثال 4 :أحسب التكلفة الكلية و تكلفة ($1m^3$) اللازمة لصب ($60m^3$) خرسانة مسلحة إذا أعطيت البيانات التالية :

أولا : المواد : -

1- تكلفة الحصى هي 50$/m^3$.
2- تكلفة الرمل هي 20$/m^3$
3- تكلفة الاسمنت هي 350$/ton
4- تكلفة الحديد هي 2500$/ton

ثانيا :المعدات :

1- رافعة عدد 1 ، تكلفة الإيجار 200$/day .
2- خلاط عدد 1 ، تكلفة الإيجار 300$/day .

ثالثا: العمالة :

1- عامل عادي عدد 5 ، تكلفة 50$/day .
2- عامل ماهر عدد 2 ، تكلفة 60$/day .

رابعا: إنتاجية للصب الخرسانة في اليوم $20m^3/day$ .

خامسا: التكلفة الغير مباشرة 25 % من التكلفة المباشرة .

الحل :

مدة الصب = الكمية ÷ الإنتاجية = $60m^3$ ÷ 20 $m^3/day$ = 3 day

حساب كلفة المواد:

نفرض أن نسبة الخلط للخرسانة هي (1:2:4)

كمية المواد الداخلة في ($1m^3$) من الخرسانة بدلالة كمية الاسمنت (X) و باستخدام معامل انكماش الخرسانة و هو 0.67 فتصبح حسب المعادلة التالية:

$1\ m^3$ of concrete = 0.67 (X+2X+4X) ⟷ حجم الاسمنت $X = 0.213\ m^3$

حجم الرمل = $2X = 0.426\ m^3$

حجم الحصى = $4X = 0.852\ m^3$

نفرض كثافة الاسمنت هي $1400\ kg/m^3$

وزن الأسمنت = كثافة الأسمنت × حجمه = $1400 \times 0.213 = 298.2\ kg = 300\ kg$

كمية الماء عادة تأخذ 50% من وزن الاسمنت = 150 L

كمية الحديد لكل متر مكعب صب تفرض 100 kg

كلفة الحصى = $0.852 \times 50 \times 60 = 2556$ $

كلفة الرمل = $0.426 \times 20 \times 60 = 512$ $

كلفة الاسمنت = $(300 \div 1000) \times 350 \times 60 = 6300$ $

كلفة الحديد = $(100 \div 1000) \times 2500 \times 60 = 15000$ $

كلفة المواد = $2556 + 512 + 6300 + 15000 = 24368$ $

كلفة المعدات = $3\ [(1 \times 200) + (1 \times 300)] = 1500$ $

كلفة العمال = $3\ [(2 \times 60) + (5 \times 50)] = 1110$ $

الكلفة المباشرة = المواد+ المعدات + العمال + المقاول الثانوي =

$0 + 1110 + 1500 + 24368 = 26978$ $

الكلفة الغير مباشرة = 25% من الكلفة المباشرة = $(25 \div 100) \times 26978 = 6745$ $

الكلفة الكلية = الكلفة المباشرة + الكلفة الغير مباشرة = $6745 + 26978 = 33723$ $

كلفة المتر المكعب الواحد من الخرسانة = $33723 \div 60 = 562$ $/m^3$

**ملاحظة** لحساب كمية حديد التسليح

بالنسبة للأعمدة تقريبا 120كغم للمتر المكعب و للجسور 90 كغم للمتر المكعب و المتوسط 100 كغم للمتر المكعب كافية أذا لم يكن هناك أحمال إضافية كبيرة

**مثال 5** :أحسب سعر العطاء الإجمالي وسعر الوحدة لكل بند علماً بأن :

** التكلفة الإضافية للموقع = 10 %

** الضرائب و التأمينات = 1 %

** هامش الربح = 10 %

** تكلفة خطاب الضمان = 1 %

| البند | الوحدة | الكمية | التكلفة المباشرة | | | | إجمالي التكلفة المباشرة | سعر العطاء | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | عمالة | معدات | مواد | م. ثانوي | | الإجمالي | سعر الوحدة |
| الحفر | م3 | 392 | 90 | 600 | - | - | 690 | 841.8 | 2.15 |
| ركائز خرسانية | م | 735 | 1305 | 3650 | 73500 | - | 78455 | 95715.1 | 130.22 |
| خ. مسلحة للقاعدة | م3 | 150 | 4200 | 934 | 79515 | - | 84649 | 103272 | 688.48 |
| عزل الخرسانة | م2 | 160 | - | - | - | 1900 | 1900 | 2318 | 14.49 |
| المجموع | | | | | | | 165694 | 202147 | |

إجمالي التكلفة المباشرة = عمالة+ معدات + مواد + مقاول ثانوي (م. ثانوي)

أجمالي سعر العطاء = إجمالي الكلفة المباشرة + إجمالي الكلفة الغير مباشرة

= إجمالي التكلفة المباشرة × (مجموع نسب الكلف الغير مباشر + 1)

= إجمالي التكلفة المباشرة × (1.22)

سعر الوحدة للبند = أجمالي سعر البند ÷ الكمية

**مثال 6**: أحسب سعر العطاء الإجمالي وسعر الوحدة. علماً بأن التكلفة الإضافية للموقع هي 18 % والضرائب والتأمينات هي 3 % وهامش الربح هو 15 % وتكلفة خطاب الضمان هي 1 %

| البند | الوحدة | الكمية | التكلفة المباشرة | | | | إجمالي التكلفة المباشرة | سعر العطاء | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | عمالة | معدات | مواد | م. ثانوي | | الإجمالي | سعر الوحدة |
| حفر في تربة عادية | م3 | 300 | 1500 | 3500 | - | - | 5000 | 6850 | 22.83 |
| خ. عادية | م3 | 100 | 1000 | 1000 | 8000 | - | 10000 | 13700 | 137.00 |
| خ. مسلحة | م3 | 300 | 6000 | 8000 | 22000 | - | 36000 | 49320 | 164.40 |
| أعمال المباني | م2 | 3000 | 3000 | 4000 | 26000 | - | 33000 | 45210 | 15.07 |
| أعمال البياض | م2 | 3000 | - | - | - | 12000 | 12000 | 16440 | 5.48 |
| الدهانات | م2 | 2500 | - | - | - | 18000 | 18000 | 24660 | 9.86 |
| الردم | م3 | 300 | 4000 | 2000 | - | - | 6000 | 8220 | 27.40 |
| المجموع | | | | | | | 120000 | 164400 | |

إجمالي التكلفة المباشرة = عمالة+ معدات + مواد + مقاول ثانوي (م. ثانوي)

أجمالي سعر العطاء = إجمالي الكلفة المباشرة + إجمالي الكلفة الغير مباشرة

= إجمالي التكلفة المباشرة × (مجموع نسب الكلف الغير مباشر + 1)

= إجمالي التكلفة المباشرة × (1.37)

سعر الوحدة للبند = أجمالي سعر البند ÷ الكمية

# Cost Management in Construction Projects

## التدفقات النقدية للمشروع الإنشائي Cash Flows for Construction Projects

من اجل تحديد الدفعات الشهرية للمقاول يجب اجراء التخطيط المالي للمقاولة هو تحديد التدفقات النقدية للمشروع الانشائي والتي تشمل ما يلي

1- **الكلفة Cost او التدفق النقدي السالب:** هي المبالغ المالية التي يصرفها المقاول شهريا خلال مدة المقاولة للمشروع

**الكلفة = الكلفة المباشرة**

2- **القيمة المخططة Value** : هي الكلفة مضافا اليها نسبة الربح (التي بضمنها الكلفة الغير مباشرة)

**القيمة = الكلفة + الربح**

3- **الدفعات المستلمة Payment** او **التدفق النقدي الموجب**: هي المبالغ المالية المستلمة في نهاية كل شهر عن قيمة العمل المنجز مطروحا منها نسبة الاستقطاعات الائتمانية (تعادل 5% من قيمة المقاولة) بموجب الشروط العامة للمقاولات على أن يطلق منها 2.5% عند اكتمال الأعمال للمشروع وتسليمه والباقي 2.5% يطلق بعد انتهاء فترة الصيانة للمشروع.

**صافي التدفق النقدي = التدفق النقدي الموجب (الواردات) – التدفق النقدي السالب (المصاريف)**

**Net Cash Flow= Cash in (Payment) – Cash Out (Cost)**

**التخطيط المالي الجيد للمقاولة** يهدف الى جعل الاموال المصروفة شهريا تتناسب مع حجم الأعمال المنجزة حتى تكون نسب الانجاز المالي واقعية وكذلك جعل مخطط التدفق النقدي التراكمي للمشروع على شكل حرف S (S- Curve) ويتم ذلك من خلال جعل الاعمال والاموال تتصاعد تدريجيا من بداية المشروع الى ان تصل الى اقصى قيم في الفترة الوسيطة من عمر المشروع ثم تبدأ بلانخفاض تدريجيا الى اقل قيمة في نهاية المشروع.

مثال :

| Time (month) | Value ($1000) | Cumulative Value |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 3 |
| 3 | 3 | 6 |
| 4 | 4 | 10 |
| 5 | 5 | 15 |
| 6 | 6 | 21 |
| 7 | 6 | 27 |
| 8 | 5 | 32 |
| 9 | 4 | 36 |
| 10 | 3 | 39 |
| 11 | 2 | 41 |
| 12 | 1 | 42 |

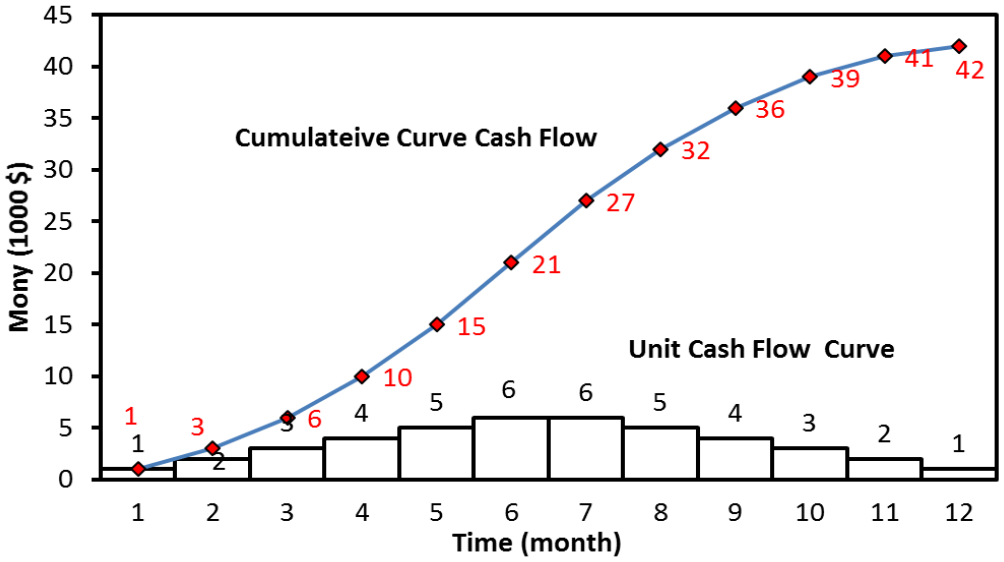
### مخططات التدفق النقدي Cash Flow Curve

1- **مخطط التدفق النقدي لوحدة الزمن Unit Cash Flow Curve**

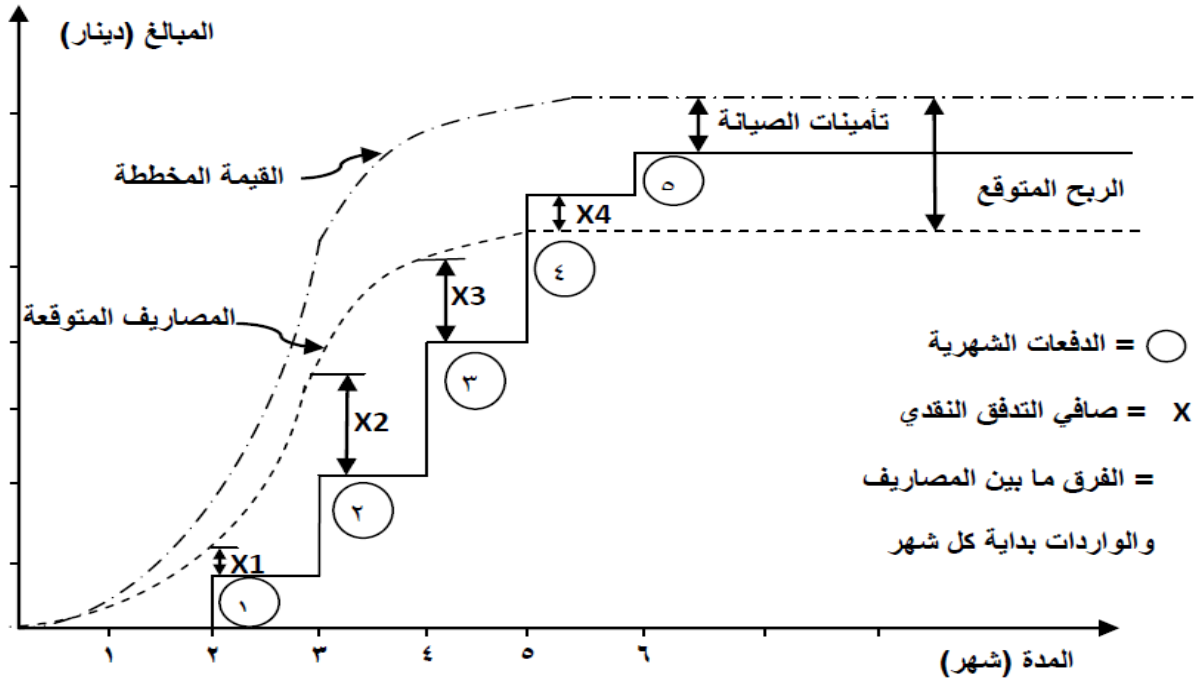
وهو مخطط يبين المبالغ المالية لكل شهر من عمر المشروع

2- **مخطط التدفق النقدي التراكمي Cumulative Cash Flow Curve**

وهو المخطط الذي يبين المبالغ المالية التراكمية من بداية المشروع إلى نهاية كل شهر من عمر المشروع




| Time (month) | Value ($1000) | Cumulative Value |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 3 |
| 3 | 3 | 6 |
| 4 | 4 | 10 |
| 5 | 5 | 15 |
| 6 | 6 | 21 |
| 7 | 6 | 27 |
| 8 | 5 | 32 |
| 9 | 4 | 36 |
| 10 | 3 | 39 |
| 11 | 2 | 41 |
| 12 | 1 | 42 |




منحني التدفق النقدي التراكمي (S-Curve)

**مثال (1):-** في مقاولة إنشائية محالة بعهدة احد المقاولين بلغ سعر المقاولة (قيمة المقاولة) هي $ 80 000 ومدة أكمال تنفيذها هي تسعة أشهر وقد نصت شروط عقد المقاولة على استقطاع مبلغا مقداره (5%) من قيمة الدفعات الشهرية على ان يطلق (يصرف للمقاول) منها (2.5%) عند أكمال التنفيذ واستلام (الاولي) المشروع أما الباقي (2.5%) يطلق (يصرف للمقاول) بعد انتهاء فترة الصيانة البالغة 12 شهر بعد استلام المشروع بشكل نهائي.

| Value ($) | 3000 | 7000 | 10000 | 12500 | 14500 | 13000 | 10000 | 7000 | 3000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

الحل:-

نفرض نسبة الربح هي 20%

المصاريف = القيمة ÷ 1.2

الدفعات تستلم في بداية الشهر التالي = 0.95 × القيمة للشهر الحالي

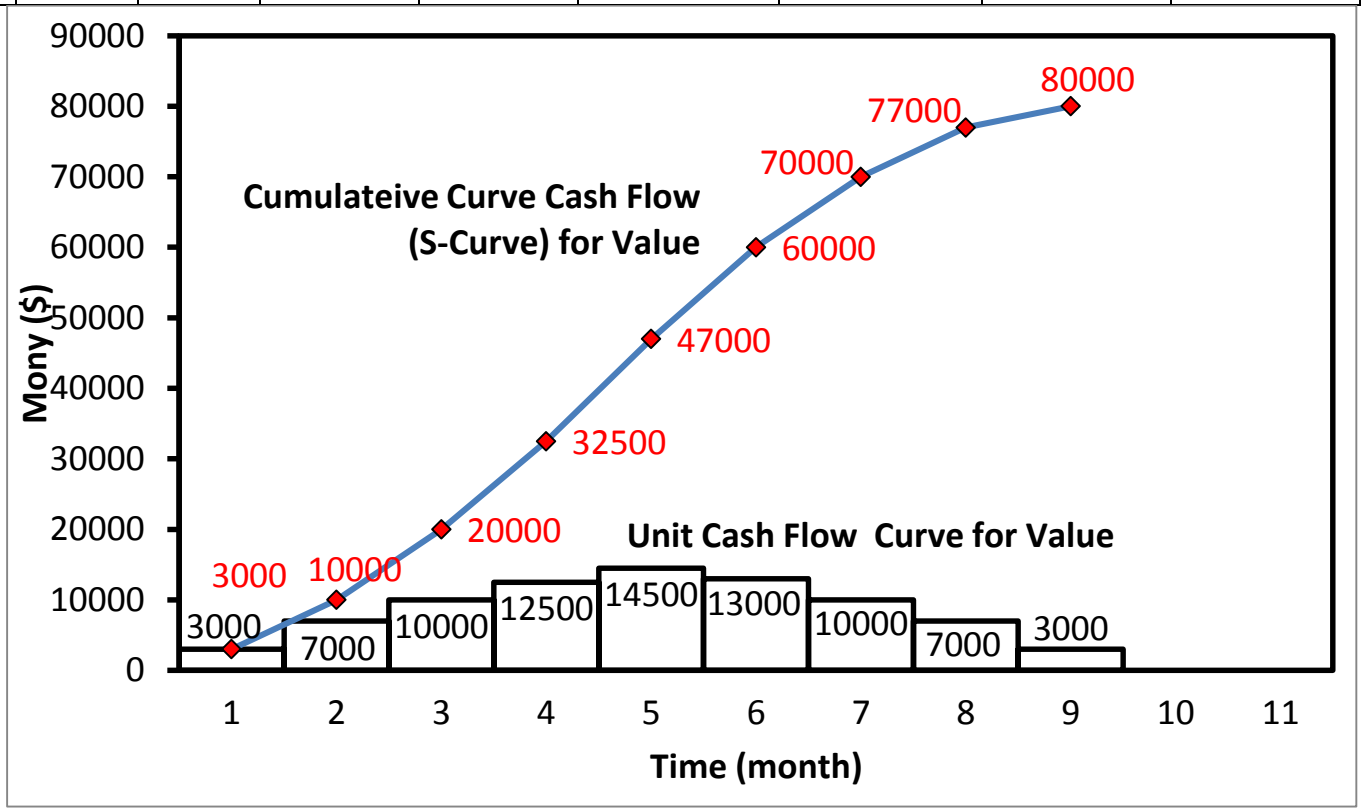
صافي التدفق النقدي = تراكم الدفعات – تراكم المصاريف

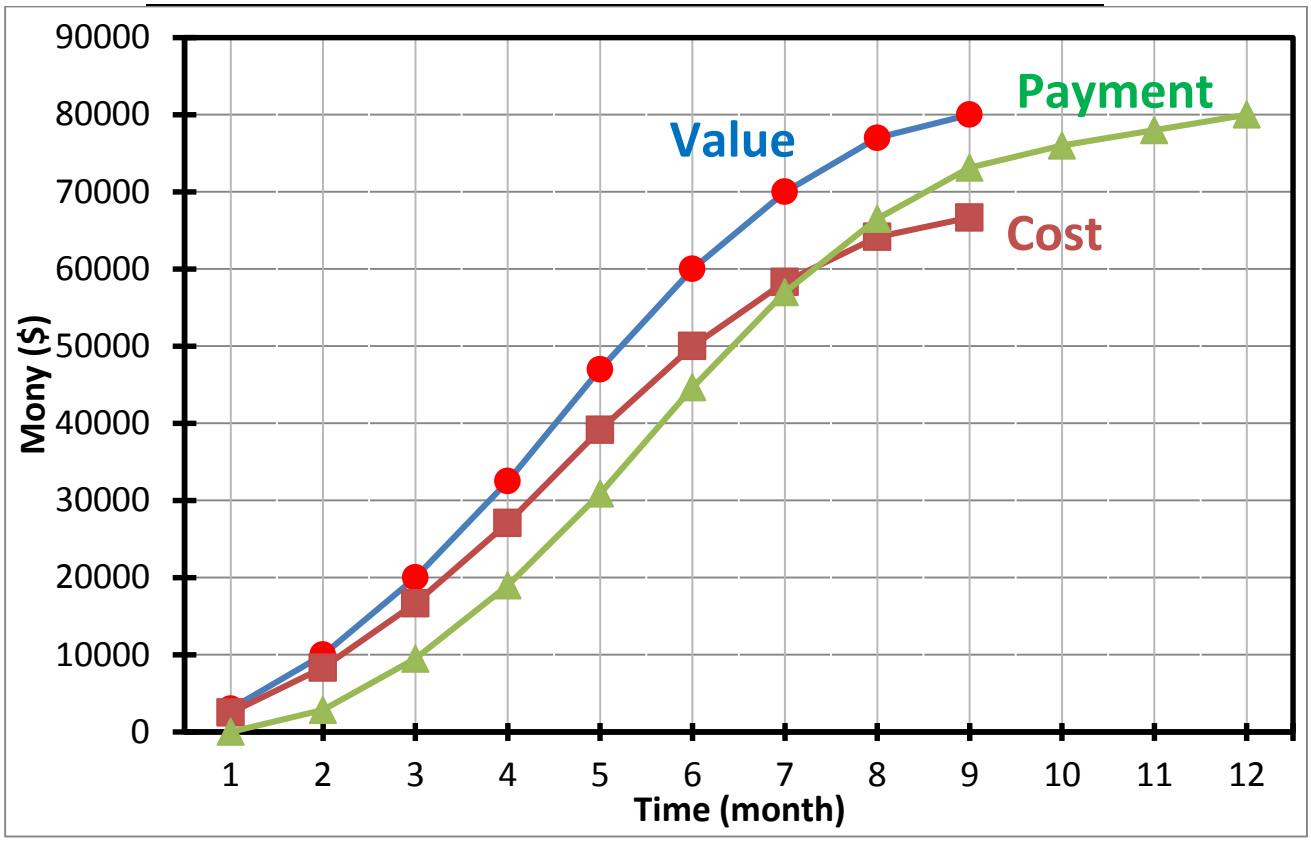
التمويل الشهري = صافي التدفق النقدي – قيمة الدفعة الشهرية

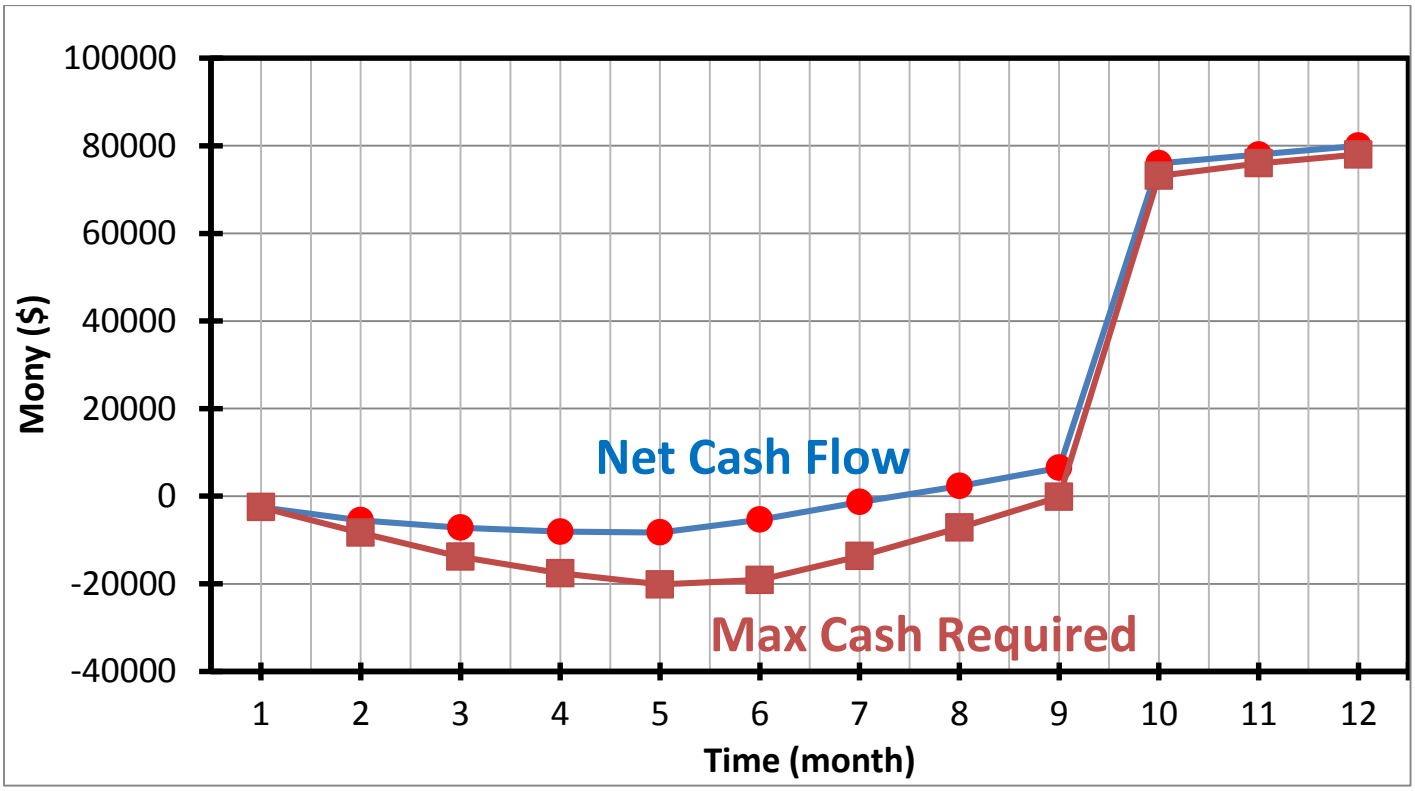
Contract Value = 80 000 $

2.5% Contract Value = 0.025 (80 000) = 2000 $

| Month | سعر المقاول Value | | المصاريف Cost | | الدفعات Payment | | صافي التدفق النقدي Net Cash Flow | التمويل الشهري Max Cash Required |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C=A/1.2 | D=B/1.2 | E = 0.95 A | F = 0.95 B | G=F–D | H=G–E |
| 1 | 3000 | 3000 | 2500 | 2500 | 0 | 0 | -2500 | -2500 |
| 2 | 7000 | 10000 | 5833 | 8333 | 2850 | 2850 | -5483 | -8333 |
| 3 | 10000 | 20000 | 8333 | 16667 | 6650 | 9500 | -7167 | -13817 |
| 4 | 12500 | 32500 | 10417 | 27083 | 9500 | 19000 | -8083 | -17583 |
| 5 | 14500 | 47000 | 12083 | 39167 | 11875 | 30875 | -8292 | -20167 |
| 6 | 13000 | 60000 | 10833 | 50000 | 13775 | 44650 | -5350 | -19125 |
| 7 | 10000 | 70000 | 8333 | 58333 | 12350 | 57000 | -1333 | -13683 |
| 8 | 7000 | 77000 | 5833 | 64167 | 9500 | 66500 | 2333 | -7167 |
| 9 | 3000 | 80000 | 2500 | 66667 | 6650 | 73150 | 6483 | -167 |
| 10 | | | | | 2850 + 2000 = 4850 | 78000 | 78000 | 73150 |
| 22 | | | | | 2000 | 80000 | 80000 | 78000 |




Payment
Value
Cost
Mony ($)
Time (month)
90000
80000
70000
60000
50000
40000
30000
20000
10000
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12


Net Cash Flow
Max Cash Required
Mony ($)
Time (month)
100000
80000
60000
40000
20000
0
-20000
-40000
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

**مثال (2):-** المعلومات في الجدول أدناه تبين كلف الفعاليات الخاصة بأحد المشاريع الإنشائية :

| Activity Code | Activity Duration (Weeks) | Dependency | Activity total Cost ($) |
|---|---|---|---|
| **A** | 4 | - | 5000 |
| **B** | 4 | - | 12000 |
| **C** | 6 | A | 21000 |
| **D** | 6 | B | 6000 |
| **E** | 8 | B | 20000 |
| **F** | 5 | D | 14000 |
| **G** | 6 | F | 30000 |
| **H** | 7 | E | 14000 |
| **I** | 5 | H | 16000 |
| **J** | 4 | I | 9000 |
| | | **Total Project Cost** | **147000** |

**المطلوب:**

A. أرسم ال Bar Chart وحساب مدة تنفيذ المشروع

B. حساب قيمة المقاولة (**Contract Value**) والقيمة الشهرية للعمل المخطط انجازه (**Budget/Value**) والمبالغ (الدفعات) الشهرية المتوقع استلامها (**Expected Payments**) أذا كانت نسبة الربح التي يرغب بها المقاول **20%** وان العقد الخاص بهذا النوع من المشاريع ينص على استقطاع مبلغ مقداره **5%** (**Retention rate**) من قيمة الدفعات الشهرية على أن يطلق **50%** من مجموع هذه الاستقطاعات عند اكتمال العمل ويطلق ال **50%** المتبقية بعد انتهاء فترة الصيانة البالغة **5** أشهر وان أول دفعة شهرية يتم استلامها بعد مضي شهر من بدأ المشروع.

C. أرسم منحنيات قيمة العمل المخطط انجازه و المصاريف والمبالغ المتوقع استلامها.

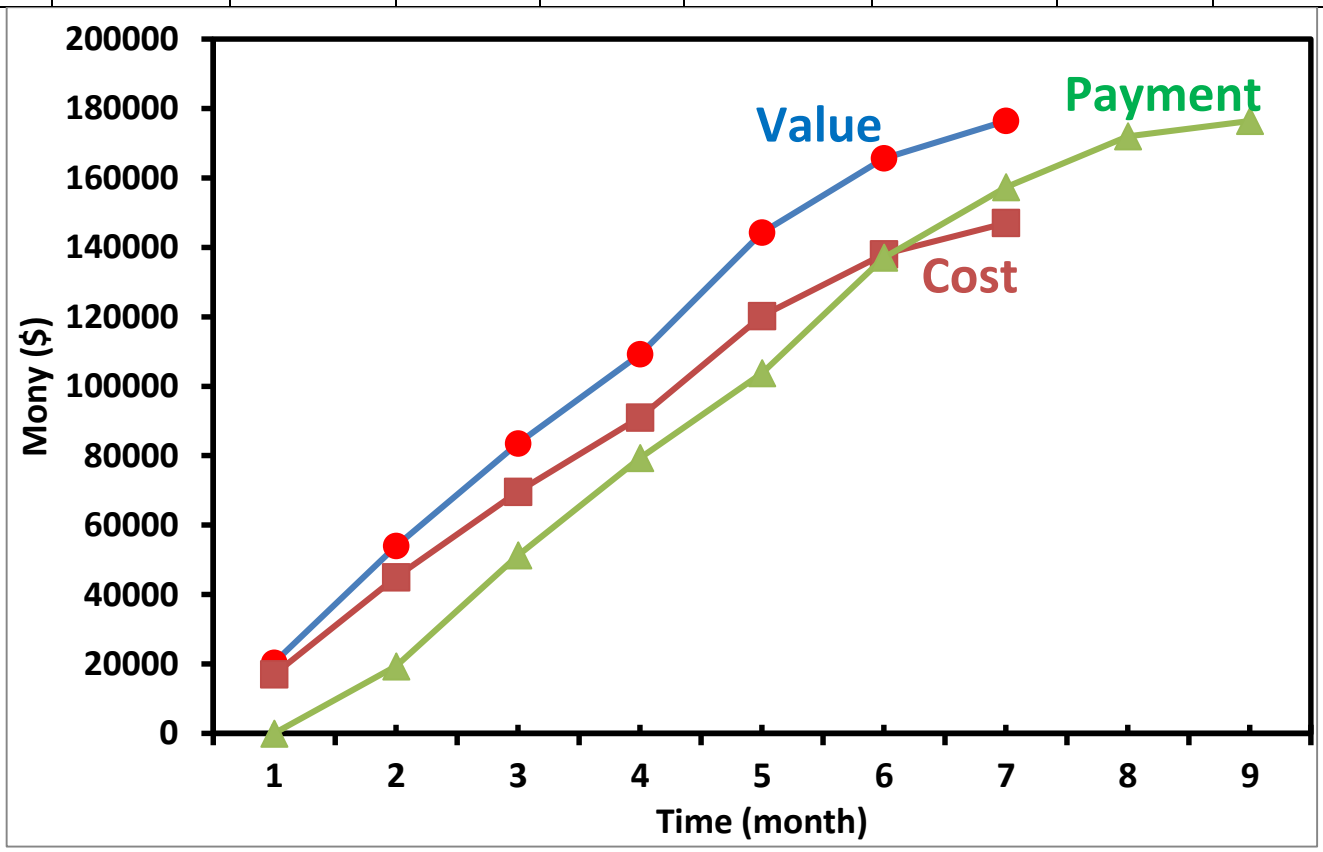
D. حساب ورسم صافي التدفق النقدي (**Net Cash flow**) والتمويل الشهري المطلوب (**Max. Cash required**) مع تحديد اكبر عجز مالي يواجه وفي اي شهر يحصل.

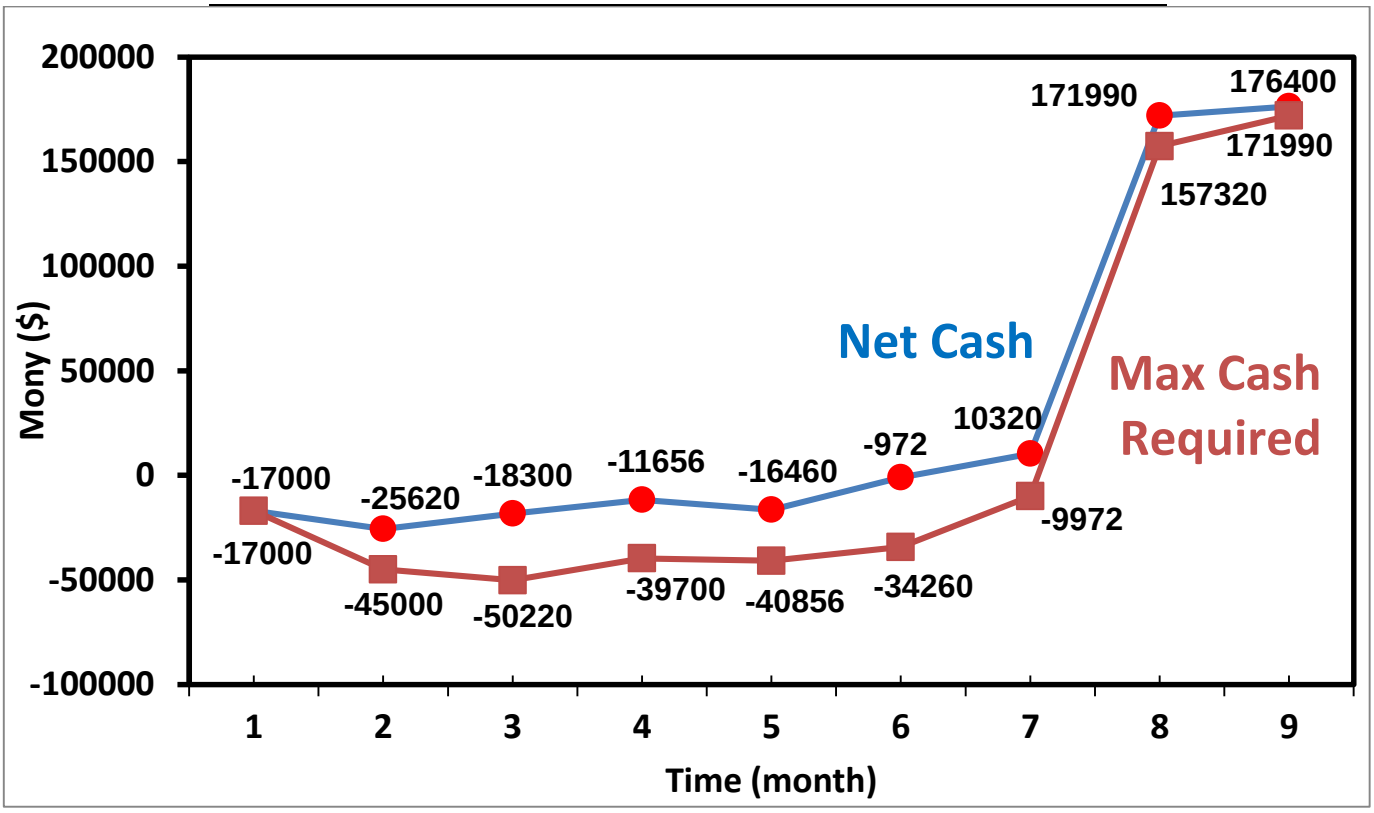
**الحل:**

| Act. | Cost ($) | Duration (Weeks) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 5000 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 12000 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 21000 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | 6000 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 20000 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | | | | | | | | | | | | | |
| F | 14000 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | | | | | | |
| G | 30000 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| H | 14000 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | | | | |
| I | 16000 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| J | 9000 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2.25 | 2.25 | 2.25 | 2.25 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Weekly Cost (1000 $) | | | 4.25 | 4.25 | 4.25 | 4.25 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5.3 | 5.3 | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8.2 | 8.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 2.25 | 2.25 | 2.25 | 2.25 |
| Monthly Cost (1000 $) | | | 17 | | | | 28 | | | | 24.6 | | | | 21.4 | | | | 29.2 | | | | | 17.8 | | | 9 | | | |
| Monthly Cost ($) | | | 17000 | | | | 28000 | | | | 24600 | | | | 21400 | | | | 29200 | | | | | 17800 | | | 9000 | | | |
| Month | | | Month 1 | | | | Month 2 | | | | Month 3 | | | | Month 4 | | | | Month 5 | | | | | Month 6 | | | Month 7 | | | |

2.5 % Contract Value = 0.025 (176400) = 4410

| Month | سعر المقاول Value | | المصاريف Cost | | الدفعات Payment | | صافي التدفق النقدي Net Cash Flow | التمويل الشهري Max Cash Required |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A=1.2 C | B=1.2 D | C | D | E=0.95 A | F=0.95 B | G=F–D | H=G–E |
| 1 | 20400 | 20400 | 17000 | 17000 | 0 | 0 | -17000 | -17000 |
| 2 | 33600 | 54000 | 28000 | 45000 | 19380 | 19380 | -25620 | -45000 |
| 3 | 29520 | 83520 | 24600 | 69600 | 31920 | 51300 | -18300 | -50220 |
| 4 | 25680 | 109200 | 21400 | 91000 | 28044 | 79344 | -11656 | -39700 |
| 5 | 35040 | 144240 | 29200 | 120200 | 24396 | 103740 | -16460 | -40856 |
| 6 | 21360 | 165600 | 17800 | 138000 | 33288 | 137028 | -972 | -34260 |
| 7 | 10800 | 176400 | 9000 | 147000 | 20292 | 157320 | 10320 | -9972 |
| 8 | | | | | 10260 + 4410 = 14670 | 171990 | 171990 | 157320 |
| 13 | | | | | 4410 | 176400 | 176400 | 171990 |






## نسبة الانجاز (المالية) على اساس نقدي او النسبة المئوية للقيمة المخططة (PV%)

$$PV\% = \frac{PV}{BAC} \times 100 = \frac{BCWS}{BAC} \times 100$$

PV = Planned Value القيمة المخططة التراكمية في شهر معين

BCWS = Budget Cost for Work Scheduled

BAC = Budget at Completion = القيمة المخططة التراكمية في نهاية المشروع (القيمة الكلية للمشروع)

| Month | سعر المقاول Value | | نسبة الانجاز المالية (PV%) | نسبة المبلغ المصروف من قيمة المقاولة (%) | نسبة المبلغ المتبقي من قيمة المقاولة (%) | نسبة الانجاز الزمنية (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | الشهري | التراكمي | $PV\% = \frac{PV}{BAC} \times 100$ | | | |
| | A | B = PV | | | | |
| 1 | 20400 | 20400 | 11.6 | 11.6 | 88.4 | 14.3 |
| 2 | 33600 | 54000 | 30.6 | 30.6 | 69.4 | 28.6 |
| 3 | 29520 | 83520 | 47.3 | 47.3 | 52.7 | 42.9 |
| 4 | 25680 | 109200 | 61.9 | 61.9 | 38.1 | 57.1 |
| 5 | 35040 | 144240 | 81.8 | 81.8 | 18.2 | 71.4 |
| 6 | 21360 | 165600 | 93.9 | 93.9 | 6.1 | 85.7 |
| 7 | 10800 | BAC = 176400 | 100 | 100 | 0 | 100 |

مثال : مشروع مدته سبعة أشهر أحيل بمقاولة قيمتها $ 180,000 حيث كانت نسبة الربح المتوقعة هي 20% ونسبة الاستقطاعات من الدفعات الشهرية هي 5% والنسبة المئوية للقيمة المخططة التراكمية (PV%) لكل شهر مبينة في الجدول أدناه. ما هي خطة تمويل المشروع والمبالغ الإضافية وفي أي شهر تنتفي الحاجة إلى الاقتراض على فرض أن المقاول يقترض كامل كلفة المشروع من البنك بفائدة قدرها 1%

| Month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV% | 12 | 31 | 47 | 62 | 82 | 94 | 100 |

$$\text{PV} = \text{Cumulative Planed Value for Each Month} = \frac{\text{PV\%}}{100} \times 180000 = \text{Col. B}$$

الجدول أدناه يبين انتفاء الحاجة إلى القرض في الشهر السابع أذا كانت نسبة الربح هي 20%

| Month | PV % | سعر المقاول Value | | المصاريف Cost | | الدفعات Payment | | صافي التدفق النقدي التراكمي | صافي التدفق النقدي الشهري | قيمة القرض السابق | قيمة القرض الحالي | مبلغ الفائدة | مجموع المبلغ المطلوب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $A=B-B_{m-1}$ | B | C=A/1.2 | D=B/1.2 | E=0.95A | F=0.95B | G=F–D | $H=G-G_{m-1}$ | $I=L_{m-1}$ | J=I–H | K=0.01J | L=K+J |
| 1 | 12 | 21600 | 21600 | 18000 | 18000 | 0 | 0 | -18000 | -18000 | 0 | 18000 | 180 | 18180 |
| 2 | 31 | 34200 | 55800 | 28500 | 46500 | 20520 | 20520 | -25980 | -7980 | 18180 | 26160 | 262 | 26422 |
| 3 | 47 | 28800 | 84600 | 24000 | 70500 | 32490 | 53010 | -17490 | 8490 | 26422 | 17932 | 179 | 18111 |
| 4 | 62 | 27000 | 111600 | 22500 | 93000 | 27360 | 80370 | -12630 | 4860 | 18111 | 13251 | 133 | 13384 |
| 5 | 82 | 36000 | 147600 | 30000 | 123000 | 25650 | 106020 | -16980 | -4350 | 13384 | 17734 | 177 | 17911 |
| 6 | 94 | 21600 | 169200 | 18000 | 141000 | 34200 | 140220 | -780 | 16200 | 17911 | 1711 | 17 | 1728 |
| 7 | 100 | 10800 | 180000 | 9000 | 150000 | 20520 | 160740 | 10740 | 11520 | 1728 | -9792 | -98 | -9890 |
| 8 | | | | | | 14760 | 175500 | 175500 | | | | | |
| 13 | | | | | | 4500 | 180000 | 180000 | | | | | |

الجدول أدناه يبين انتفاء الحاجة إلى القرض في الشهر السادس أذا كانت نسبة الربح هي 30%

| Month | PV % | سعر المقاول Value | | المصاريف Cost | | الدفعات Payment | | صافي التدفق النقدي التراكمي | صافي التدفق النقدي الشهري | قيمة القرض السابق | قيمة القرض الحالي | مبلغ الفائدة | مجموع المبلغ المطلوب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $A=B-B_{m-1}$ | B | C=A/1.3 | D=B/1.3 | E=0.95A | F=0.95B | G=F–D | $H=G-G_{m-1}$ | $I=L_{m-1}$ | J=I–H | K=0.01J | L=K+J |
| 1 | 12 | 21600 | 21600 | 16615 | 16615 | 0 | 0 | -16615 | -16615 | 0 | 16615 | 166 | 16781 |
| 2 | 31 | 34200 | 55800 | 26308 | 42923 | 20520 | 20520 | -22403 | -5788 | 16781 | 22569 | 226 | 22795 |
| 3 | 47 | 28800 | 84600 | 22154 | 65077 | 32490 | 53010 | -12067 | 10336 | 22795 | 12459 | 125 | 12584 |
| 4 | 62 | 27000 | 111600 | 20769 | 85846 | 27360 | 80370 | -5476 | 6591 | 12584 | 5993 | 60 | 6053 |
| 5 | 82 | 36000 | 147600 | 27692 | 113538 | 25650 | 106020 | -7518 | -2042 | 6053 | 8095 | 81 | 8176 |
| 6 | 94 | 21600 | 169200 | 16615 | 130154 | 34200 | 140220 | 10066 | 17585 | 8176 | -9409 | -94 | -9503 |
| 7 | 100 | 10800 | 180000 | 8308 | 138462 | 20520 | 160740 | 22278 | 12212 | | | | |
| 8 | | | | | | 14760 | 175500 | 175500 | | | | | |
| 13 | | | | | | 4500 | 180000 | 180000 | | | | | |

الجدول أدناه يبين انتفاء الحاجة إلى القرض في الشهر الرابع أذا كانت نسبة الربح هي 40%

| Month | PV % | سعر المقاول Value | | المصاريف Cost | | الدفعات Payment | | صافي التدفق النقدي التراكمي | صافي التدفق النقدي الشهري | قيمة القرض السابق | قيمة القرض الحالي | مبلغ الفائدة | مجموع المبلغ المطلوب |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $A=B-B_{m-1}$ | B | C=A/1.4 | D=B/1.4 | E=0.95A | F=0.95B | G=F–D | $H=G-G_{m-1}$ | $I=L_{m-1}$ | J=I–H | K=0.01J | L=K+J |
| 1 | 12 | 21600 | 21600 | 15429 | 15429 | 0 | 0 | -15429 | -15429 | 0 | 15429 | 154 | 15583 |
| 2 | 31 | 34200 | 55800 | 24429 | 39857 | 20520 | 20520 | -19337 | -3909 | 15583 | 19492 | 195 | 19687 |
| 3 | 47 | 28800 | 84600 | 20571 | 60429 | 32490 | 53010 | -7419 | 11919 | 19687 | 7768 | 78 | 7846 |
| 4 | 62 | 27000 | 111600 | 19286 | 79714 | 27360 | 80370 | 656 | 8074 | 7846 | -228 | -2 | -230 |
| 5 | 82 | 36000 | 147600 | 25714 | 105429 | 25650 | 106020 | 591 | -64 | | | | |
| 6 | 94 | 21600 | 169200 | 15429 | 120857 | 34200 | 140220 | 19363 | 18771 | | | | |
| 7 | 100 | 10800 | 180000 | 7714 | 128571 | 20520 | 160740 | 32169 | 12806 | | | | |
| 8 | | | | | | 14760 | 175500 | 175500 | | | | | |
| 13 | | | | | | 4500 | 180000 | 180000 | | | | | |

## مراقبة الكلف وتقييم المشاريع بطريقة القيمة المكتسبة Earned Value

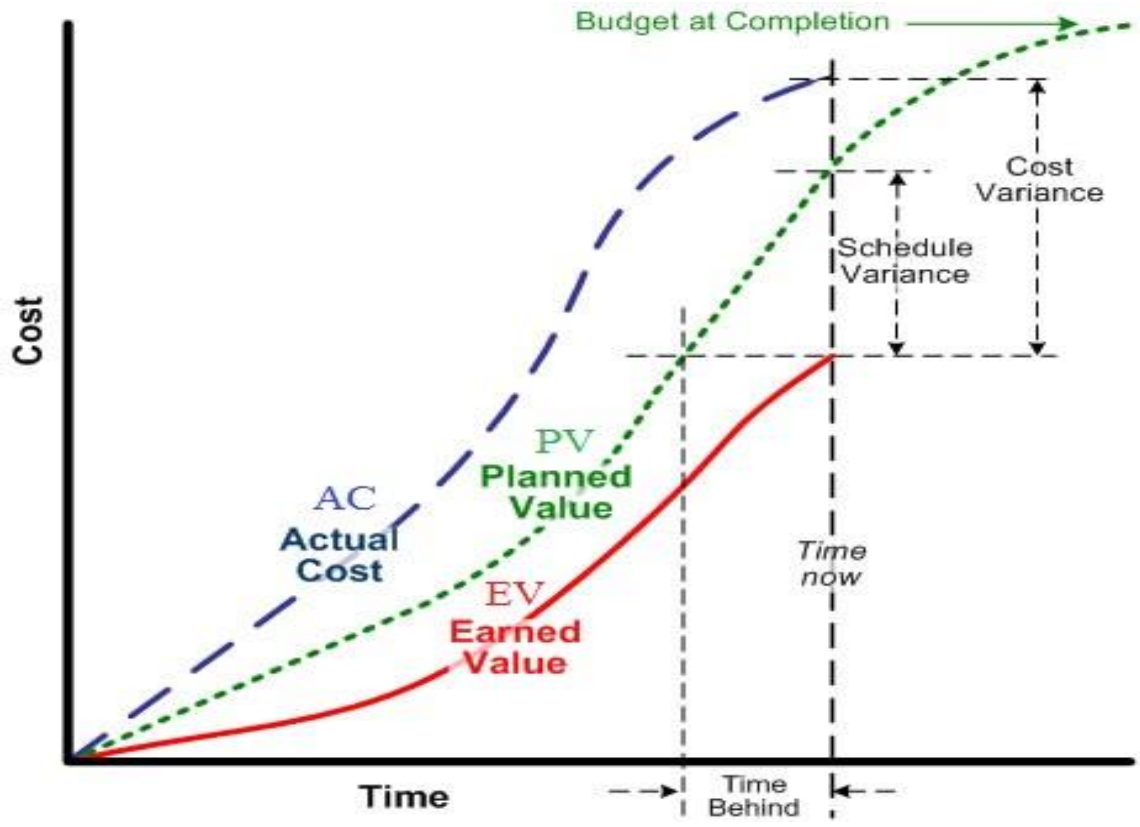
لو كانت التكلفة المخطط لها (Planned Value) في زمن معين من عمر المشروع هي $ 5250 = PV
وان التكلفة الفعلية (Actual Cost) هي$ 6000 = AC
سيتبادر إلى الذهن أن هذا المشروع سيئ لأن التكلفة الفعلية هي أكبر من المخطط بمقدار $ 750 لكن في الحقيقة قد يكون هذا المشروع ليس سيئ بل ربما جيد حيث انه من الممكن أن المشروع قد سبق البرنامج الزمني المخطط له ونفذ أنشطة أو فعاليات أكثر من المخطط وبالتالي من المنطقي أن عمل أكثر يتطلب كلفة أكثر. لذلك لغرض تقييم انجاز المشروع يجب حساب القيمة المادية لما تم انجازه فعلا من المشروع (Earned Value)

### القيمة المكتسبة (المستحقة) Earned Value EV

هي القيمة المادية (الكلفة) لما تم انجازه فعلا

The time and cost performance of a project in progress can be determined by comparing the three key parameters of an earned value management system, known as Planned Value (PV), Actual Cost (AC) and Earned Value (EV).

PV = Planned Value (Cumulative) = Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS)
EV = Earned Value (Cumulative) = Budgeted Cost of Work Performed (BCWP)
AC = Actual Cost (Cumulative) = Actual Cost of Work Performed (ACWP).
BAC = Budget at Completion, SAC = Schedule at Completion
PV = BAC × Planned Percentage of Completion (POC%)
EV = BAC × Actual Percentage of Completion (AOC%)



Schedule Variance, SV = EV – PV (Cost Unit)

In time unit, $SV = \frac{SAC}{BAC}(EV - PV)$

Schedule Variance Percent, SV% = SV ÷ PV

Schedule Performance Index,

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

| | | |
|---|---|---|
| SV < 0 | SPI < 1 | Project delay |
| SV = 0 | SPI = 1 | Project on schedule |
| SV > 0 | SPI > 1 | Project ahead of schedule |

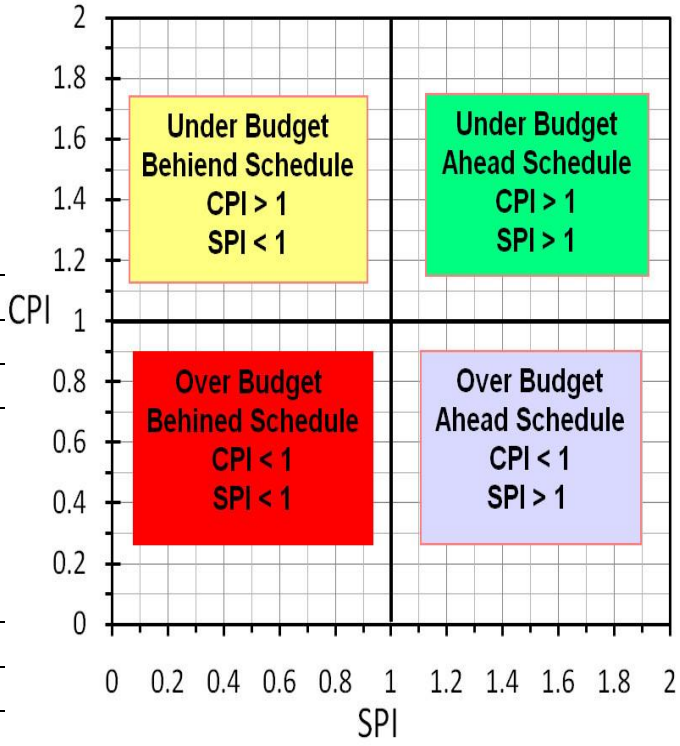
Cost Variance, CV = EV − AC

Cost Variance Percent, CV% = CV ÷ EV

Cost Performance Index,

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

| | | |
|---|---|---|
| CV < 0 | CPI < 1 | Project over budget |
| CV = 0 | CPI = 1 | Project on budget |
| CV > 0 | CPI > 1 | Project under budget |



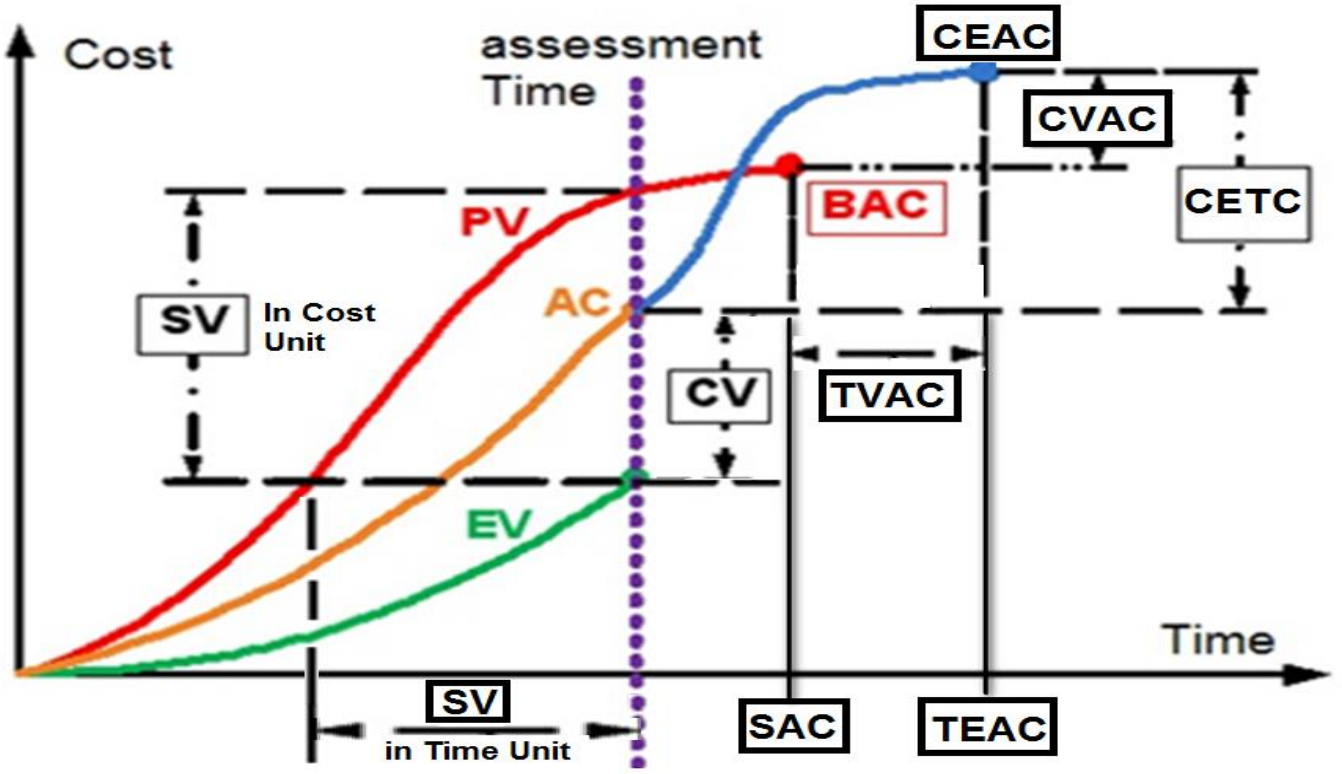

**مثال:** لدينا مشروع معمل لإنتاج طابوق. من المخطط أنتاج 200 طابوقة في الساعة الواحدة بكلفة 0.05 $ للطابوقة الواحدة. قيم المشروع أذا تم اكتشاف ان المشروع انتج فعلاً 150 طابوقة فقط في الساعة الواحدة (الباقي 50 طابوقة اعتبرت تالفة) وبكلفة 9 $

الحل:

| | |
|---|---|
| المخطط | PV = 200 × 0.05 = 10 $ |
| الفعلي | AC = 9 $ |
| الكلفة المستحقة لهذا الإنتاج (150 طابوقة) | EV = 150 × 0.05 = 7.5 $ |

| | |
|---|---|
| هناك زيادة بالكلفة بمقدار 1.5 | CV = EV – AC = 7.5 – 9= – 1.5 |
| نسبة الزيادة بالكلفة (17%) كفاء العملة النقدية (83%) | CPI = EV ÷ AC = 7.5 ÷ 9 = 0.83 |
| هناك تخلف عن الجدول الزمني | SV = EV – PV = 7.5 – 10 = – 2.5 |
| تعني إننا قد أنجزنا فقط 75% من المخطط<br>أي إننا متأخرين عن المخطط بنسبة 25% | SPI = EV ÷ PV = 7.5 ÷ 10 = 0.75 |

Note, SV = –2.5 (1 hour/10 $) = – 0.25 hour (in unit time)




Earned value Formula

| | | | |
|---|---|---|---|
| Time | Are we ahead or behind schedule? | Schedule Variance (SV) | $SV = EV - PV$ |
| | How efficiency are we using our time? | Schedule Performance Index (SPI) | $SPI = \frac{EV}{PV}$ |
| | When are we likely to finish work? | Time Estimate At Completion (TEAC ) | $TEAC = \frac{SAC}{SPI}$ |
| | Will we be ahead or behind schedule? | Time Variance At Completion (TVAC) | $TVAC = SAC - TEAC$ |
| Cost | Are we under or over budget? | Cost Variance (CV) | $CV = EV - AC$ |
| | How efficiency are we using our cost? | Cost Performance Index (CPI) | $CPI = \frac{EV}{AC}$ |
| | How efficiently must we use our remaining cost | To-Complete Cost Performance Index (TCPI) | $TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC}$ |
| | What is the project likely to cost? | Cost Estimate At Completion (CEAC) | $CEAC = \frac{BAC}{CPI}$ |
| | Will we be under or over budget? | Cost Variance At Completion (CVAC) | $CVAC = BAC - CEAC$ |
| | What will the remaining work cost? | Cost Estimate To Complete (CETC) | $CETC = CEAC - AC$ |

$$CETC = CEAC - AC = \frac{BAC}{CPI} - AC = \frac{BAC}{CPI} - \frac{EV}{CPI} = \frac{BAC - EV}{CPI}$$

$$AOC\% = \frac{EV}{BAC} = \frac{AC}{CEAC}$$

مثال 2 : قيم حالة المشروع التالي في الشهر الرابع باستخدام مؤشرات القيمة المكتسبة EV حيث كان المشروع يسير حسب المخطط لكن حصل توقف عمل في الشهر الرابع ورغم التوقف تم صرف كلفة فعلية في الشهر الرابع بمقدار 8000دولار عن تجهيز بعض الموارد:-

| Act. | Dur. month | Budget ($000) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 2 | 12 | 6 | 6 | | | | | | | | | | |
| B | 4 | 48 | | 8 | 12 | 16 | 12 | | | | | | | |
| C | 2 | 28 | | | | | 7 | 21 | | | | | | |
| D | 1 | 18 | | | | | | | 18 | | | | | |
| E | 4 | 28 | | | | | | | 4 | 8 | 10 | 6 | | |
| F | 2 | 16 | | | | | | | | | | | 8 | 8 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

**Solution:-**

| Act. | Dur. month | Budget ($000) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 2 | 12 | 6 | 6 | | | | | | | | | | |
| B | 4 | 48 | | 8 | 12 | 16 | 12 | | | | | | | |
| C | 2 | 28 | | | | | 7 | 21 | | | | | | |
| D | 1 | 18 | | | | | | | 18 | | | | | |
| E | 4 | 28 | | | | | | | 4 | 8 | 10 | 6 | | |
| F | 2 | 16 | | | | | | | | | | | 8 | 8 |
| BAC | 150 | PV (Monthly) | 6 | 14 | 12 | 16 | 19 | 21 | 22 | 8 | 10 | 6 | 8 | 8 |
| | | PV | 6 | 20 | 32 | 48 | 67 | 88 | 110 | 118 | 128 | 134 | 142 | 150 |
| | | POC% | 4 | 13.3 | 21.3 | 32 | 45 | 59 | 73 | 79 | 85 | 89 | 95 | 100 |
| | | **EV (Monthly)** | **6** | **14** | **12** | **0** | | | | | | | | |
| | | **EV** | **6** | **20** | **32** | **32** | PV = 48 , EV = 32 , AC = 40 | | | | | | | |
| | | **AC (Monthly)** | **6** | **14** | **12** | **8** | SAC = 12 month , BAC = 150 | | | | | | | |
| | | **AC** | **6** | **20** | **32** | **40** | | | | | | | | |

## Earned Value Calculations

### Schedule Analysis and Forecasting

Schedule Variance (Are we ahead or behind schedule?)

SV = EV – PV = 32 – 48 = – 16 (in Cost Unit)

SV = – 16 (12/150) = – 1.28 month (in time Unit)

يمكن التعبير عن SV بالنسبة المئوية

SV% = SV / PV = – 16 / 48 = –33%

و هذه القيمة تعني أن 33% من العمل المخطط له لم يتم إنجازه (لاحظ أن القيمة سالبه).

Schedule Performance Index (How efficiently are we using our time?

SPI = EV / PV = 32 / 48 = 0.67

و هذه القيمة تعني أن العمل يتم تنفيذه بقدرة 67% من قيمته الحقيقية أي أنه لو فرضنا أن عدد ساعات العمل اليومي 8 ساعات فإننا نعمل عدد ساعات = 0.67 × 8 = 5 ساعات و 20 دقيقة.

Estimate Time at Completion (When are we likely to finish?)

ETAC = SAC / SPI = 12 / 0.67 = 18

وهذه القيمة تعني أننا لو أستمرينا على نفس المعدل من العمل سننجز المشروع في 18 شهر بدلا من 12 شهر كما مخطط

**Cost Analysis and Forecasting**

Cost Variance (Are we under or over budget?)

CV = EV – AC =32 – 40 = – 8

يمكن التعبير عن CV كنسبة مئوية

CV% = CV / EV = – 8/32 = – 25%

وهذا الرقم يعني إن العمل الذي تم انجازه حتى هذا التاريخ قد تكلف 25% زيادة عن القيمة المخططة لها

Cost Performance Index (How efficiently are we using our resources?)

CPI = EV / AC=32/40= 0.80

وهذه القيمة تعني أن كفائة الدولار الواحد الذي تم صرفة تعادل 0.8 دولار

1 Dollar Efficiency = 0.8 Dollar

To-complete performance Index (How efficiently must we use our remaining resource القيمة s?)

TCPI = (BAC – EV) / (BAC – AC) = (150 – 32) / (150 – 40) = 1.07

وهذا يعني أن الأداء لابد أن يتحسن من قيمة للـ CPI=0.8 لقيمة TCPI = 1.07

Cost Estimate at completion (What is the Project likely to cost)

CEAC = BAC / CPI = 150 / 0.80 = 187.50 الكلفة الجديدة للمشروع

و هذه القيمة تعني أنه في حالة سير المشروع بنفس المعدلات فإنه سوف يكلف 187.50 بدلا من 150 القيمة المخططة.

Cost Variance at Completion (Will we be under or over budget)

CVAC = BAC–CEAC= 150–187.5= – 37.50

و هذه القيمة تعني أنه لو أستمر العمل بنفس معدل الأداء فإن المشروع سوف يتكلف قيمة إضافية على التكلفة المخطط لها بمقدار 37.5 و هند القيمة يمكن التعبير عنها بالنسبة المئوية

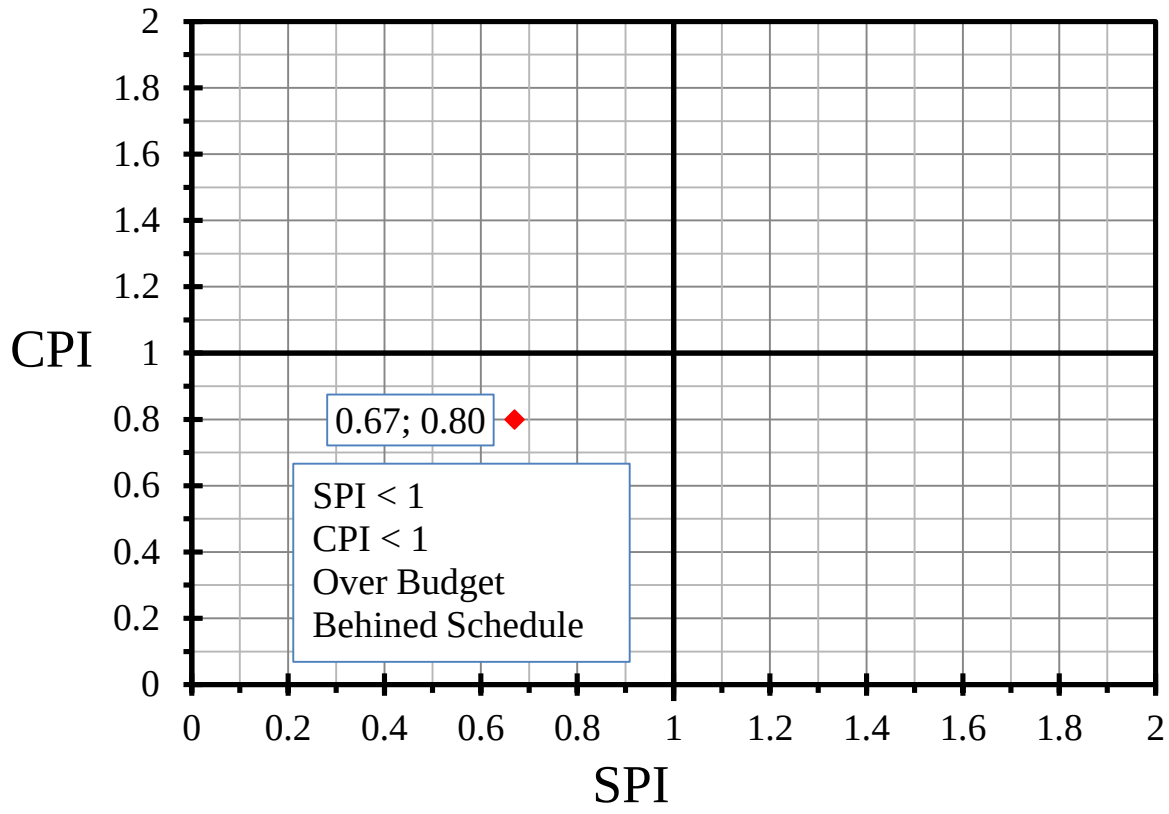
CVAC% = CVAC / BAC = – 37.50 / 150 = – 25%

Estimate To complete (What will the remaining work cost?)

CETC = CEAC – AC = 187.5 – 40 = 147.5

CETC = (BAC – EV) / CPI = (150 – 32) / 0.8 = 147.5 O.K.

مخطط كفاءة الجدولة والكلفة



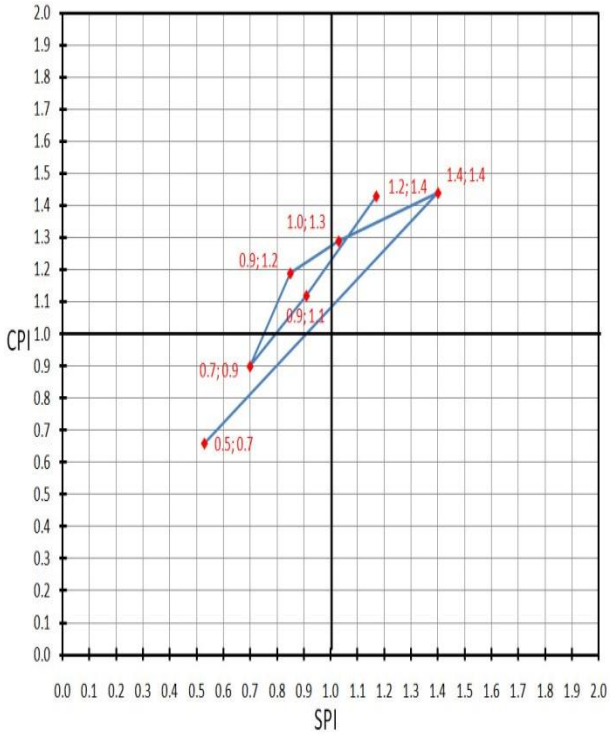
مثال 3 : قيم المشروع التالي في كل شهر من الأشهر السبعة الأولى من عمر المشروع

| Planned Value (PV) | | Time (Month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Task | Task Cost | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| A | 3500 | 1000 | 500 | 2000 | | | | | | | | | |
| B | 4200 | | 500 | 800 | 900 | 2000 | | | | | | | |
| C | 4500 | | | 700 | 2000 | 1000 | 800 | | | | | | |
| D | 3300 | | | 200 | 600 | 1000 | 1500 | | | | | | |
| E | 3000 | | | | | 700 | 500 | 1000 | 800 | | | | |
| F | 6700 | | | | | | | | 700 | 2000 | 1000 | 2000 | 1000 |
| BAC | 25200 | 1000 | 1000 | 3700 | 3500 | 4700 | 2800 | 1000 | 1500 | 2000 | 1000 | 2000 | 1000 |
| Cumulative Planned Value (PV) | | 1000 | 2000 | 5700 | 9200 | 13900 | 16700 | 17700 | 19200 | 21200 | 22200 | 24200 | 25200 |

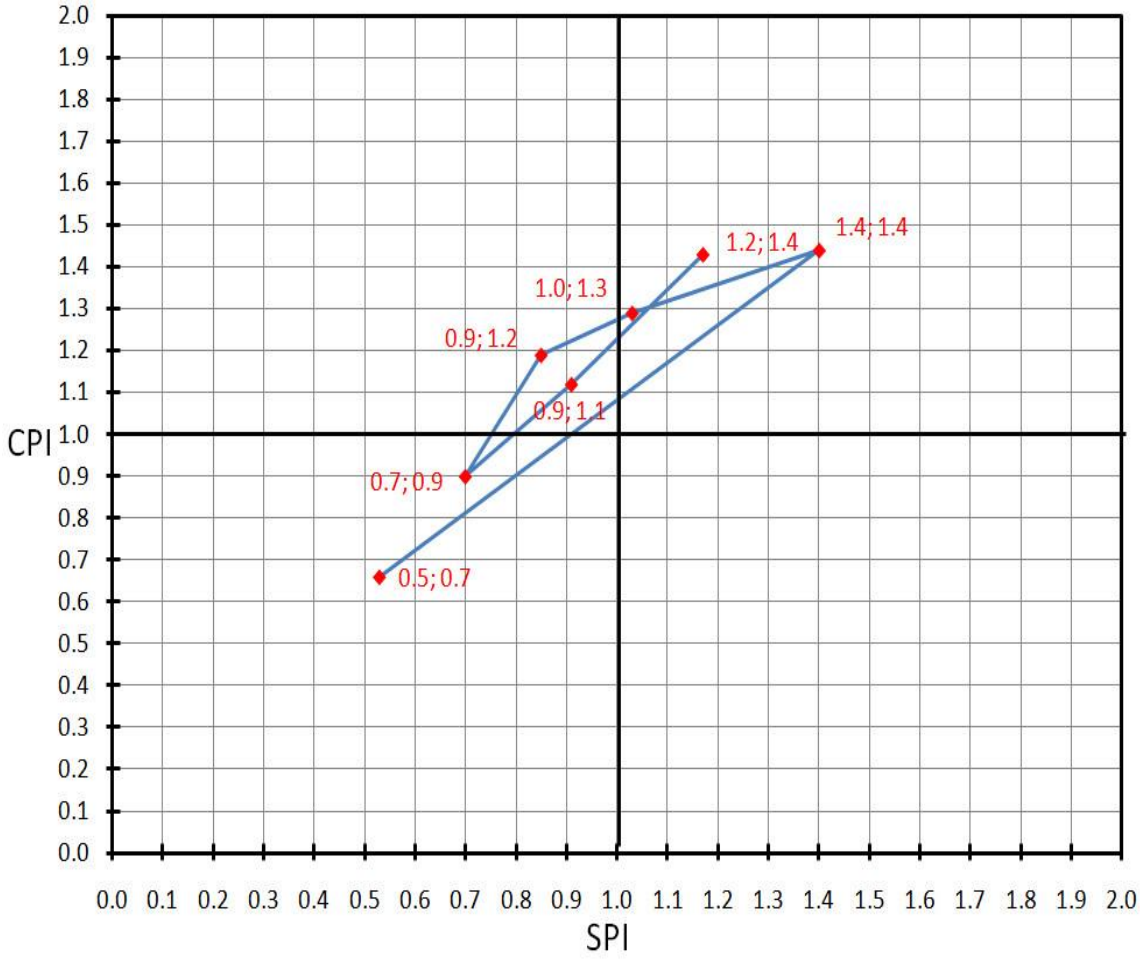
| Actual Cost (AC) | | Time (Month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Task | Task Cost | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| A | 2550 | 800 | 250 | 1500 | | | | | | | | | |
| B | 4500 | | 900 | 700 | 1200 | 1700 | | | | | | | |
| C | 3350 | | | 300 | 300 | 1250 | 1500 | | | | | | |
| D | 2600 | | | 100 | 500 | 900 | 700 | 400 | | | | | |
| E | 1500 | | | | | 400 | 600 | 500 | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | | |
| Total Actual Cost | | 800 | 1150 | 2600 | 2000 | 4250 | 2800 | 900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumulative Actual Cost (AC) | | 800 | 1950 | 4550 | 6550 | 10800 | 13600 | 14500 | 14500 | 14500 | 14500 | 14500 | 14500 |

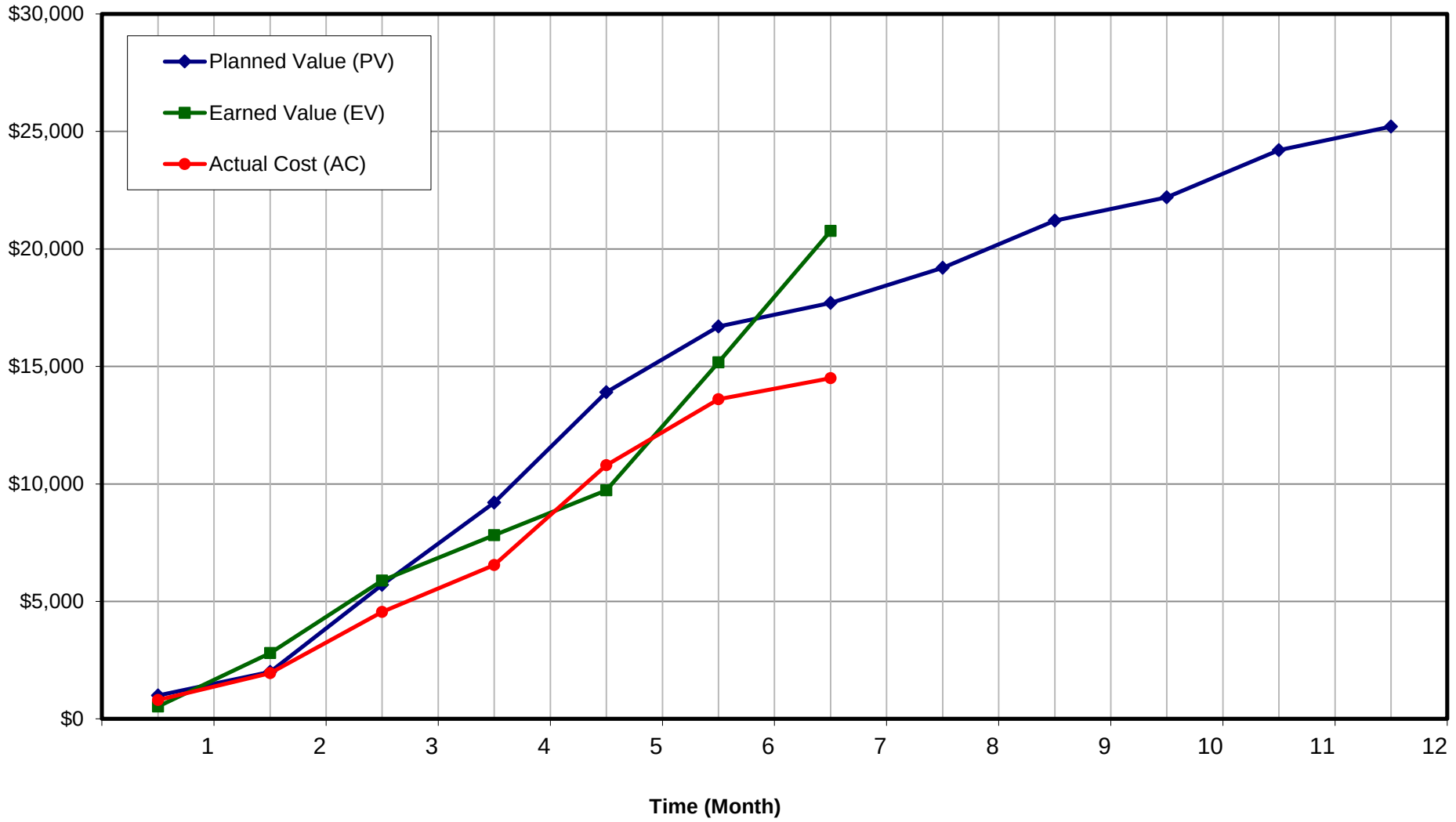
| Earned Value (EV) | | Time (Month) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Task | Task Cost | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| A | 3500 | 15% | 50% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | | | | | |
| B | 4200 | | 25% | 30% | 60% | 75% | 90% | 100% | | | | | |
| C | 4500 | | | 25% | 40% | 50% | 100% | 100% | | | | | |
| D | 3300 | | | | | 25% | 80% | 90% | | | | | |
| E | 3000 | | | | | | 25% | 75% | | | | | |
| F | 6700 | | | | | | | 50% | | | | | |
| Cumulative EV | | 525 | 2800 | 5885 | 7820 | 9725 | 15170 | 20770 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| Planned Value (PV) | | Time (**Month**) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Task** | **Task Cost** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** |
| A | 3500 | 1000 | 500 | 2000 | | | | | | | | | |
| B | 4200 | | 500 | 800 | 900 | 2000 | | | | | | | |
| C | 4500 | | | 700 | 2000 | 1000 | 800 | | | | | | |
| D | 3300 | | | 200 | 600 | 1000 | 1500 | | | | | | |
| E | 3000 | | | | | 700 | 500 | 1000 | 800 | | | | |
| F | 6700 | | | | | | | | 700 | 2000 | 1000 | 2000 | 1000 |
| **BAC** | **25200** | 1000 | 1000 | 3700 | 3500 | 4700 | 2800 | 1000 | 1500 | 2000 | 1000 | 2000 | 1000 |
| Cumulative Planned Value (PV) | | 1000 | 2000 | 5700 | 9200 | 13900 | 16700 | 17700 | 19200 | 21200 | 22200 | 24200 | 25200 |
| Cumulative Actual Cost (AC) | | 800 | 1950 | 4550 | 6550 | 10800 | 13600 | 14500 | | | | | |
| Cumulative Earned Value (EV) | | 525 | 2800 | 5885 | 7820 | 9725 | 15170 | 20770 | | | | | |
| **Project Performance Metrics** | | | | | | | | | | | | | |
| Cost Variance (CV = EV - AC) | | –275 | 850 | 1335 | 1270 | –1075 | 1570 | 6270 | | | | | |
| Schedule Variance (SV = EV - PV) | | –475 | 800 | 185 | –1380 | –4175 | –1530 | 3070 | | | | | |
| Cost Performance Index (CPI = EV/AC) | | 0.66 | 1.44 | 1.29 | 1.19 | 0.90 | 1.12 | 1.43 | | | | | |
| Schedule Performance Index (SPI = EV/PV) | | 0.53 | 1.40 | 1.03 | 0.85 | 0.70 | 0.91 | 1.17 | | | | | |
| Cost Estimated at Completion (CEAC=BAC/CPI) | | 38400 | 17550 | 19483 | 21107 | 27986 | 22592 | 17593 | | | | | |
| Time Estimated at Completion (TEAC=SAC/SPI) | | 23 | 9 | 12 | 15 | 18 | 14 | 11 | | | | | |

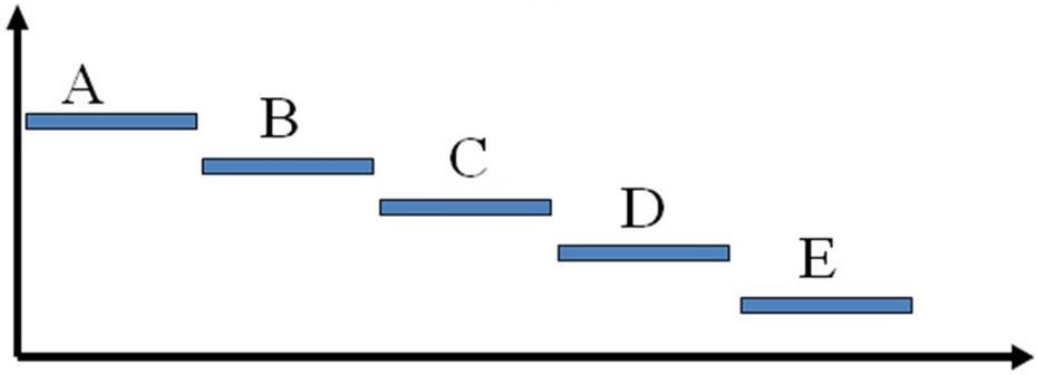


| Month | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cost Performance Index (CPI = EV/AC) | 0.66 | 1.44 | 1.29 | 1.19 | 0.90 | 1.12 | 1.43 |
| Schedule Performance Index (SPI = EV/PV) | 0.53 | 1.40 | 1.03 | 0.85 | 0.70 | 0.91 | 1.17 |




$30,000
$25,000
$20,000
$15,000
$10,000
$5,000
$0
Planned Value (PV)
Earned Value (EV)
Actual Cost (AC)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
Time (Month)

Example 4 EVM




| Activity | Cost | Duration (month) |
|---|---|---|
| A | 1500 | 1 |
| B | 2100 | 1 |
| C | 4000 | 1 |
| D | 2400 | 1 |
| E | 5000 | 1 |
| ميزانية المشروع | 15000 | |

بفرض انة تم إعادة التقييم في الزمن المبين وفق البيانات التالية

| Activity | Cost | Actual Cost | AOC% |
|---|---|---|---|
| A | 1500 | 1550 | 100% |
| B | 2100 | 2100 | 100% |
| C | 4000 | 4050 | 100% |
| D | 2400 | 0 | 0 |
| E | 5000 | 0 | 0 |

حساب معايير الكلفة و تقدم التنفيذ

PV = 1500 + 2100 + 4000 = 7600 ميزانية العمل المخطط

AC = 1550 + 2100 + 4050 = 7700 كلفة العمل المنفذ

EV = 1500 × 1 + 2100 × 1 + 4000 × 1 = 7600

ميزانية العمل المنفذ= مجموع ميزانية العمليات × نسبة الانجاز

SV = EV – PV = 7600 – 7600 = 0 فرق الجدولة

SPI = EV / PV = 7600 / 7600 = 1 معيار الجدولة

CV = EV – AC = 7600 – 7700 = – 100 فرق الكلفة

CPI = EV / AC = 7600 / 7700 = 0.987 معيار الكلفة

CEAC = BAC / CPI = 15000 / 0.987 = 15198 : كلفة المشروع الكلية المعدلة

CETC = CEAC – AC = 15198 – 7700 = 7498 : الكلفة المطلوبة لإنهاء المشروع

CETC = (BAC – EV) / CPI

CETC = (15000 – 7600) / 0.987 = 7498 O.K.

بفرض انة تم إعادة التقييم في الزمن المبين وفق البيانات التالية

| العملية | ميزانية العملية | الكلفة المدفوعة | نسبة الانجاز |
|---|---|---|---|
| A | 1500 | 1550 | 100% |
| B | 2100 | 2100 | 100% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| C | 4000 | 4050 | 100% |
| D | 2400 | 1500 | 50 % |
| E | 5000 | 0 | 0 |

PV = 1500 + 2100 + 4000 + 2400 = 10000 ميزانية العمل المخطط

AC = 1550 + 2100 + 4050 +1500 = 9200 كلفة العمل المنفذ

EV = 1500 × 1 + 2100 × 1 + 4000 × 1 + 2400 × 0.5 = 8800

مجموع ميزانية العمليات × نسبة الانجاز = ميزانية العمل المنفذ

SV = EV – PV = 8800 – 10000 = – 1200 فرق الجدولة

SPI = EV / PV = 8800 / 10000 = 0.88 معيار الجدولة

CV = EV – AC = 8800 – 9200 = – 400 فرق الكلفة

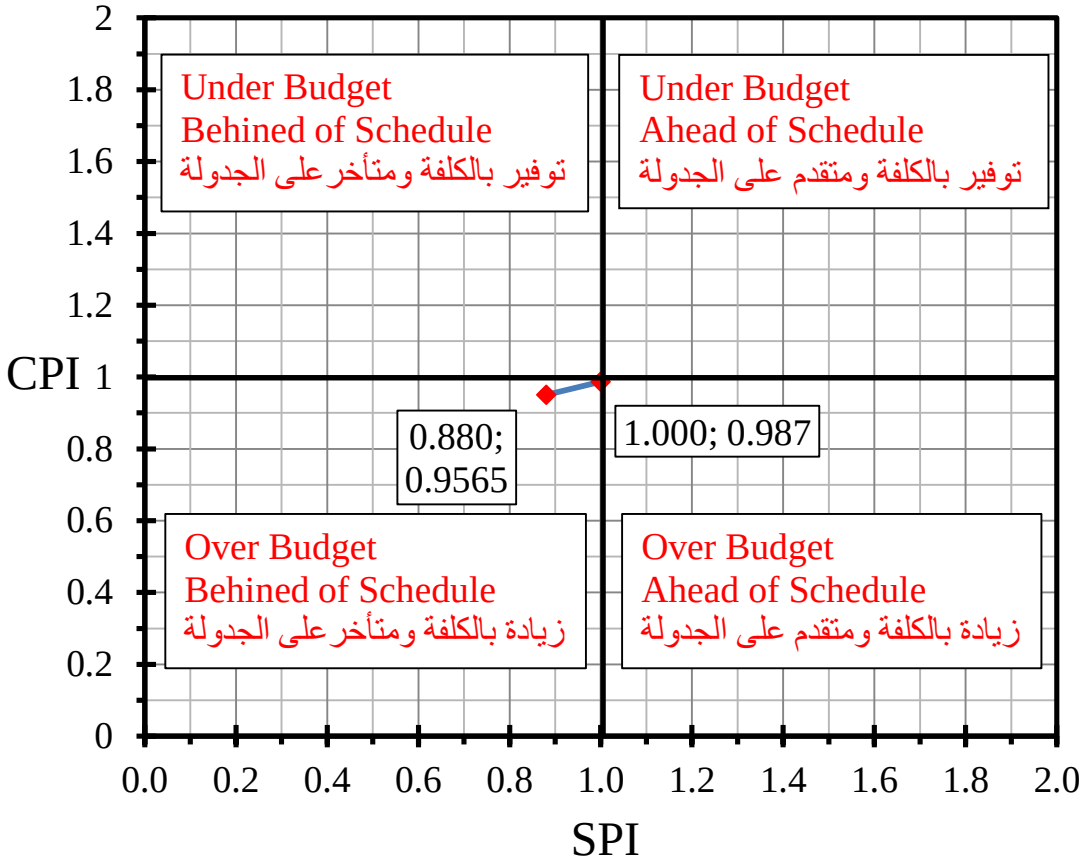
CPI = EV / AC = 8800 / 9200 = 0.9565 معيار الكلفة

CEAC = BAC / CPI = 15000 / 0.9565= 15682 : كلفة المشروع الكلية المعدلة

CETC = CEAC – AC = 15682 – 9200 = 6482 : الكلفة المطلوبة لإنهاء المشروع

CETC = (BAC – EV) / CPI

CETC = (15000 – 8800) / 0.9565= 6482 O.K.



## حساب نسبة الانجاز والانحراف للمشروع

### اوزان الفقرات (المعيارية) Weight

تعتبر اوزان الفقرات من اهم مايرتكز عليه حساب نسبة الانجاز المخطط ونسبة الانجاز الفعلي للمشروع حيث ان وزن الفقرة (Weight) هو الاهمية التي تمثلها تلك الفقرات في تنفيذ المشروع من حيث كتلتها وصعوبة تنفيذها والمدة التي تستهلكها في التنفيذ نسبة للجدول الزمني للمشروع بغض النظر عن قيمتها المالية حيث أن اسعار بعض فقرات الاعمال لا تعبر في الغالب عن قيمة هذه الفقرات الفعلية مقارنة باسعار السوق السائدة اوالكلفة التخمينية لهذه الفقرات ، حيث ان من الاخطاء الشائعة يتم حساب المعيارية لفقرات المشروع حسب الكلف (مثلا المعيارية = كلفة الفقرة \ كلفة المشروع) وطبعا هذا خطا لان هناك فقرات تنجز باوقات قليلة لكن كلفها عالية وهناك فقرات تنجز بوقت طويل لكن كلفتها قليلة (مثال على ذلك الاعمال الترابية في مشاريع الطرق لو قارنتها باعمال الاسفلت فالفرق واضح) ، ان وزن كل فقرة هو نسبة ثقل الفقرة في المشروع اي يجب ان يكون مجموع اوزان الفقرات = 100%

ولقد تم اعتماد المعادلة التالية في احتساب اوزان الفقرات:

وزن الفقرة = مدة الفقرة / مجموع المدد للفقرات

باعتبار انه يتم الاخذ بنظر الاعتبار كمية الفقرة في جدول الكميات عند حساب المدة الزمنية لتنفيذ الفقرة في جدول تقدم العمل ، وبالتالي تكون اوزان الفقرات (مادي / زمني)

$$W\% = \frac{D}{T}$$

$$POC\% = \frac{d}{D} \times W\%$$

$$AOC\% = \frac{q}{Q} \times W\%$$

$$V\% = \sum POC\% - \sum AOC\%$$

W% = معيارية الفعالية

D = زمن تنفيذ الفعالية

T = مجموع ازمنة جميع فعاليات المشروع

POC% = نسبة الانجاز المخططة للفعالية

d = الزمن المنفذ من الفعالية في وقت التقييم

AOC% = نسبة الانجاز الفعلي للفعالية

q = الكمية المنفذة من الفعالية حسب الذرعة عند وقت التقييم

Q = الكمية الكلية المخططة للفعالية

V%= نسبة الانحراف (اذا كانت اكبر من 20% فأن الشركة متلكئة) = نسبة الانجاز المخطط - نسبة الانجاز الفعلي

∑POC % = مجموع النسب المخططة لفعاليات المشروع المنجزة والجاري العمل فيها الى وقت التقييم

∑AOC % = مجموع النسب الفعلية لفعاليات المشروع المنجزة والجاري العمل فيها الى وقت التقييم

مثال : احسب مقدار الانحراف في المشروع في نهاية الشهر الثاني حيث كانت القيم كما في الجدول ادناه

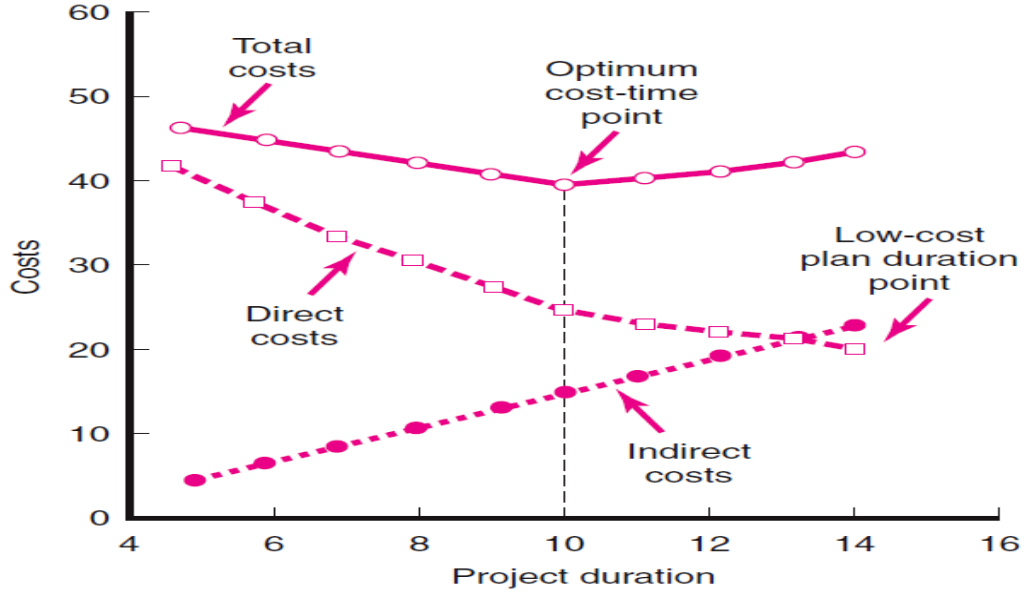
| Act. | D | ES | d | W % | POC % | Q | q | AOC % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 7 | 0 | 2 | 7/22= 32.8 | (2/7)×32.8= 9.4 | 70 | 16 | (16/70)×32.8= 7.5 |
| B | 5 | 1 | 1 | 5/22= 22.7 | (1/5)×22.7= 4.5 | 50 | 11 | (11/50)×22.7= 5 |
| T= | 22 | | | | 13.9 | | Total | 12.5 |

Variation = 13.9 – 12.5 = 1.4 < 20 O.K.

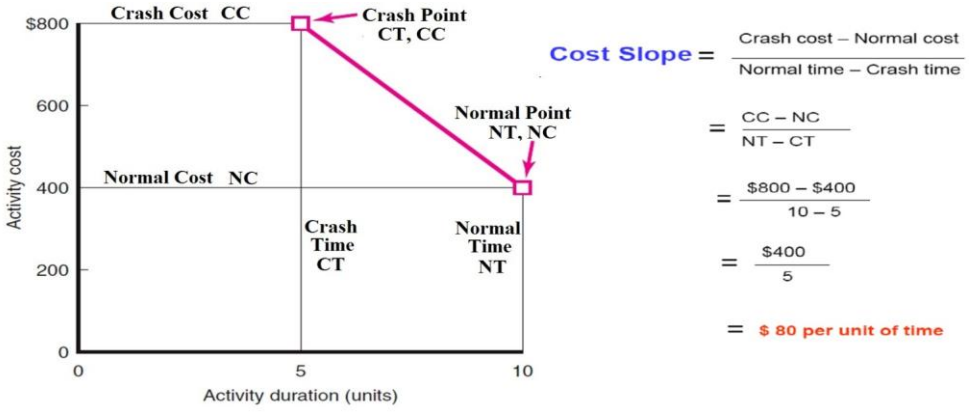
# Project Crashing

## Reducing Project Duration – Project Duration Compression

- Shortening an activity (by adding more resources, working overtime, etc.).is called Crashing.
- Project crashing is attaining maximum reduction in schedule time with minimum cost at optimum cost-time point on the cost-duration graph




- Determining the activities to shorten. Crash only activities that are critical
- Basically managers need to look for critical activities that can be shortened with smallest increase in cost per unit time (cost slope CS)
- The normal time (NT) of an activity is the normal duration, and has an associated normal cost (NC)
- The crash time (CT) of an activity is the shortest possible duration, and has an associated crash cost (CC)




$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Crash cost} - \text{Normal cost}}{\text{Normal time} - \text{Crash time}}$$

$$= \frac{CC - NC}{NT - CT}$$

$$= \frac{\$800 - \$400}{10 - 5}$$

$$= \frac{\$400}{5}$$

$$= \$\,80 \text{ per unit of time}$$

NT= Normal Time to complete an activity (longest time of activity)

CT= Crash Time to complete an activity (shortest time of activity)

NC= Normal Cost to complete an activity with NT

CC= Crash cost to compete an activity with CT (the cost to complete the activity if it is performed in its shortest possible time)

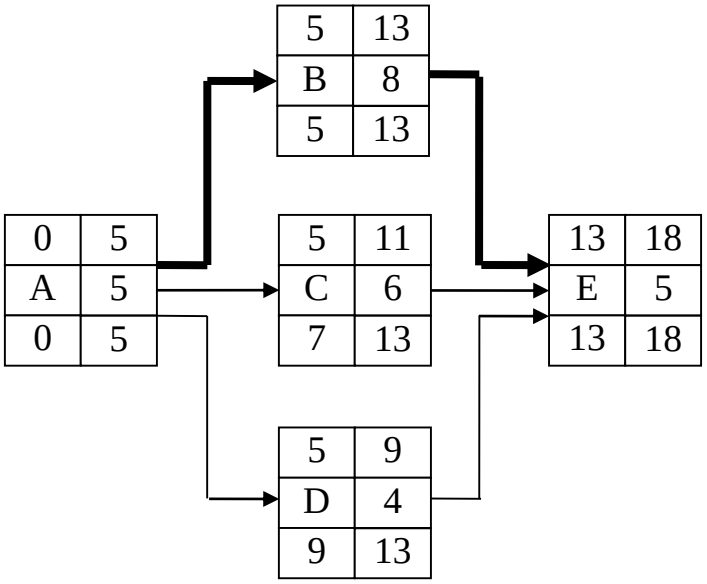
**خطوات عملية Crashing للمشروع هي كما يلي:**

1- نرسم Node Diagram لغرض تحديد الفعاليات الحرجة وكذلك تحديد زمن المشروع في الحالة الطبيعية Normal وتحديد الكلفة المباشرة والغير مباشرة ثم الكلفة الكلية في الحالة الطبيعية.
2- نحسب قيم CS للفعاليات الحرجة فقط بالاعتماد على قيم NT, NC, CT, CC لكل فعالية حرجة.
3- نبدأ عملية Crashing من الفعالية الحرجة التي لها اقل قيمة CS ثم الاعلى الى اخر فعالية حرجة.
4- نخفض زمن الفعالية بالمقدار الذي يؤدي الى ظهور مسار حرج جديد او باقصى زمن تخفيض للفعالية CT ثم نرسم Node Diagram لحساب زمن المشروع الجديد.
5- نحسب الكلفة المباشرة والكلفة الغير مباشرة ثم الكلفة الكلية للمشروع ونقارن كلفة المشروع في هذه الحالة مع كلفة المشروع في الحالة السابقة اذا كانت اقل نستمر بعملية Crashing لفعالية اخرى اما اذا كانت اعلى نتوقف عن Crashing ونعتبر الحالة السابقة هي الحاة النهائية وتمثل افضل زمن وكلفة جديدة مقلصة للمشروع Optimum Cost-Time.

مثال-1: من المعلومات أدناه الخاصة بأحد المشاريع. المطلوب حساب مدة المشروع التي تحقق اقل كلفة أجمالية ممكنة باستخدام تقنية الـ (Crashing) أذا كانت الكلف الغير المباشرة (Indirect Cost) =350 $/week

| Act. | Dep. | NT | CT | NC | CC | ΔT = NT–CT | ΔC = CC–NC | CS = ΔC/ ΔT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | - | 5 | 3 | 2000 | 2500 | 2 | 500 | 250 |
| B | A | 8 | 2 | 3000 | 5000 | 6 | 2000 | 333 |
| C | A | 6 | 4 | 3000 | 4500 | 2 | 1500 | 750 |
| D | A | 4 | 4 | 2500 | 2500 | 0 | 0 | --- |
| E | B,C,D | 5 | 3 | 1500 | 4000 | 2 | 2500 | 1250 |
| | | | Σ = | **12000** | | | | |

1- Without crashing (Normal) – C.P. (A-B-E)




| Act. | ΔT | CS |
|---|---|---|
| A | 2 | 250 |
| B | 6 | 333 |
| E | 2 | 1250 |

Legend

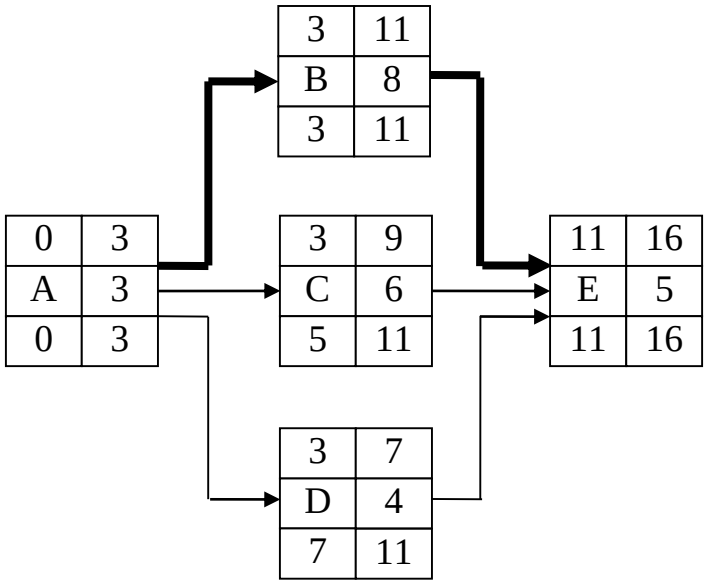
| ES | EF |
|---|---|
| Act. | Dur. |
| LS | LF |

Direct Cost = 12,000

Indirect Cost = 18 × 350 = 6,300

Total Cost = Direct Cost + Indirect Cost = 12,000 + 6,300 = 18,300

2- Crash A by 2 weeks




| Act. | ΔT | CS |
|---|---|---|
| A | 0 | 250 |
| B | 6 | 333 |
| E | 2 | 1250 |

Legend

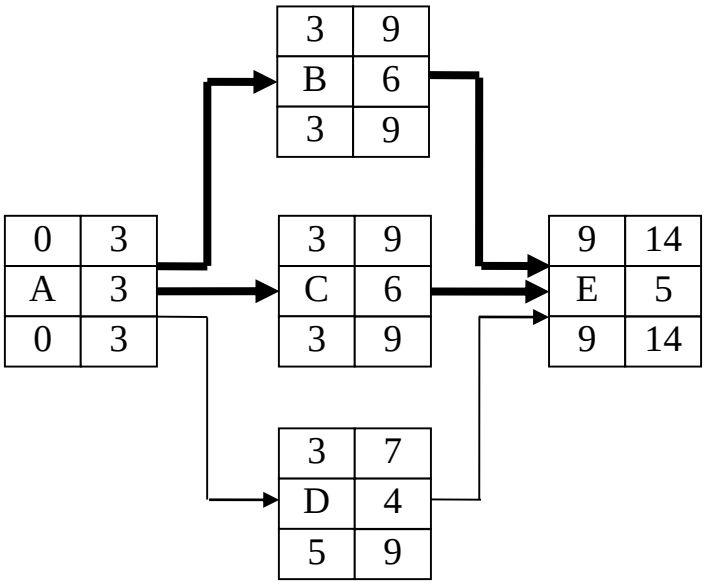
| ES | EF |
|---|---|
| Act. | Dur. |
| LS | LF |

Direct Cost = 12,000 + 2 × 250 = 12,500

Indirect Cost = 16 × 350 = 5,600

Total Cost = Direct Cost + Indirect Cost = 12,500 + 5,600 = 18,100

3- Crash B by 2 weeks




| Act. | ΔT | CS |
|---|---|---|
| A | 0 | 250 |
| B | 4 | 333 |
| E | 2 | 1250 |
| C | 2 | 750 |

Legend

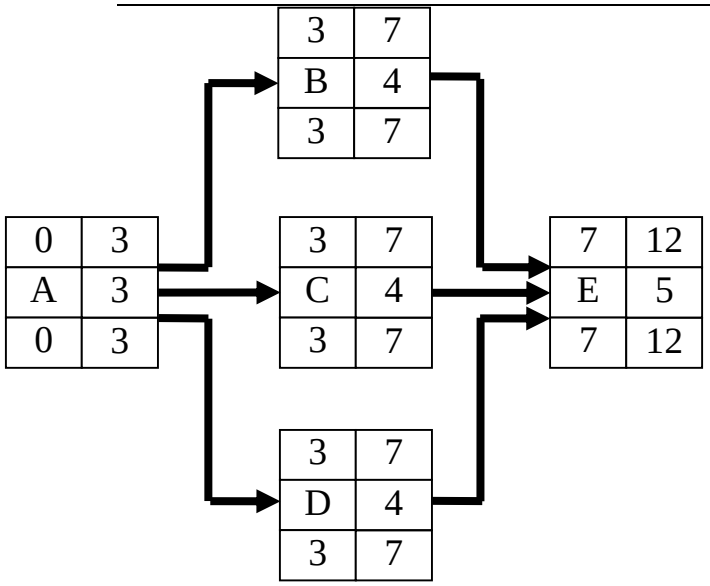
| ES | EF |
|---|---|
| Act. | Dur. |
| LS | LF |

Direct Cost = 12,500 + 2 × 333 = 13,166

Indirect Cost = 14 × 350 = 4,900

Total Cost = Direct Cost + Indirect Cost = 13,166 + 4,900 = 18,066

4- Crash B & C by 2 weeks




| Act. | ΔT | CS |
|---|---|---|
| A | 0 | 250 |
| B | 2 | 333 |
| E | 2 | 1250 |
| C | 0 | 750 |

Legend

| ES | EF |
|---|---|
| Act. | Dur. |
| LS | LF |

Direct Cost = 13,166 + 2 (750+ 333) = 15,332
Indirect Cost = 12 × 350 = 4,200
Total Cost = Direct Cost + Indirect Cost = 15,332+ 4,200= 19,532

- Since the new TC (total cost) is greater than previous TC, stop the iteration.
- The previous iteration solution (No. 3) is the best for implementation.
- Therefore, the final crashed project completion time is 14 weeks and the TC is 18,066 $

مثال-2: من المعلومات أدناه الخاصة بأحد المشاريع. المطلوب حساب مدة المشروع التي تحقق اقل كلفة أجمالية ممكنة باستخدام تقنية الـ (Crashing) أذا كانت الكلف الغير المباشرة (Indirect Cost) =5000 $/week

| Act. | Preceded by | Normal | | Crash | | ΔT | ΔC | Cost Slope = ΔT/ΔC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Time (Weeks) | Cost ($) | Time (Weeks) | Cost ($) | | | |
| A* | Start | 3 | 6000 | 2 | 8000 | 1 | 2000 | 2000 |
| B | A | 5 | 12000 | 4 | 13500 | 1 | 1500 | 1500 |
| C* | A | 5 | 16000 | 3 | 22000 | 2 | 6000 | 3000 |
| D | A | 4 | 8000 | 2 | 10000 | 2 | 2000 | 1000 |
| E* | C & D | 2 | 6000 | 1 | 7500 | 1 | 1500 | 1500 |
| F* | B & E | 3 | 14000 | 1 | 20000 | 2 | 6000 | 3000 |
| | | Direct Cost | $62000 | | | | | |

1- Project without Crashing:

Critical Path is A-C-E-F

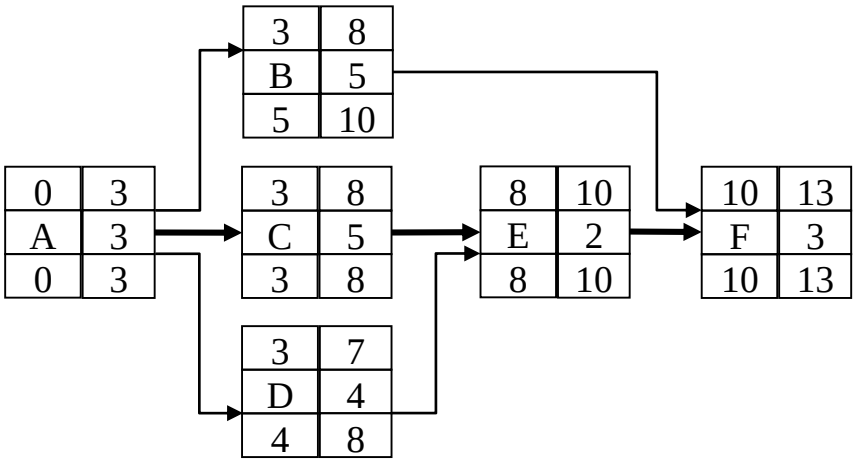
Project Time = 13 weeks

Direct Cost = 62000

Indirect Cost = 13 x 5000 = 65000

Total Cost = 127000

| Act. | TΔ | CS |
|---|---|---|
| A | 1 | 2000 |
| C | 2 | 3000 |
| E | 1 | 1500 |
| F | 2 | 3000 |



2- crash E by 1 weeks

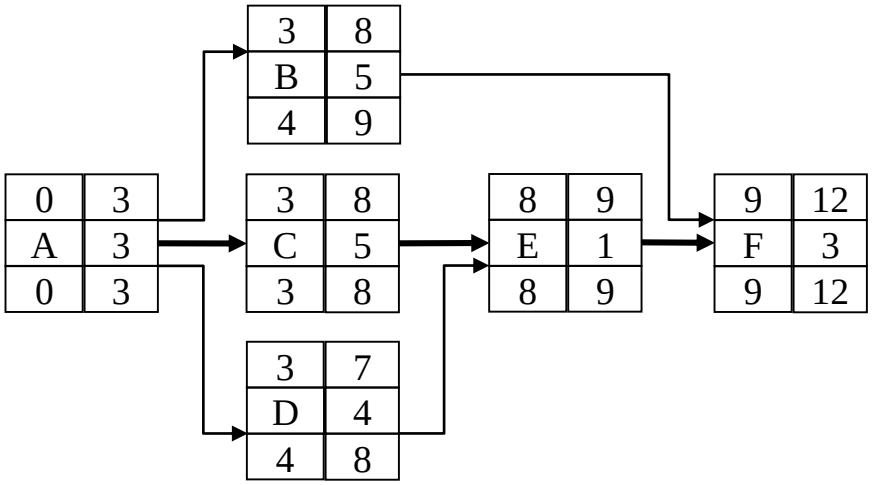
Project Time = 12 weeks

Direct Cost = 62000+1(1500) = 63500

Indirect Cost = 12 x 5000 = 60000

Total Cost = 123500

| Act. | TΔ | CS |
|---|---|---|
| A | 1 | 2000 |
| C | 2 | 3000 |
| E | 0 | 1500 |
| F | 2 | 3000 |




3- crash A by 1 weeks

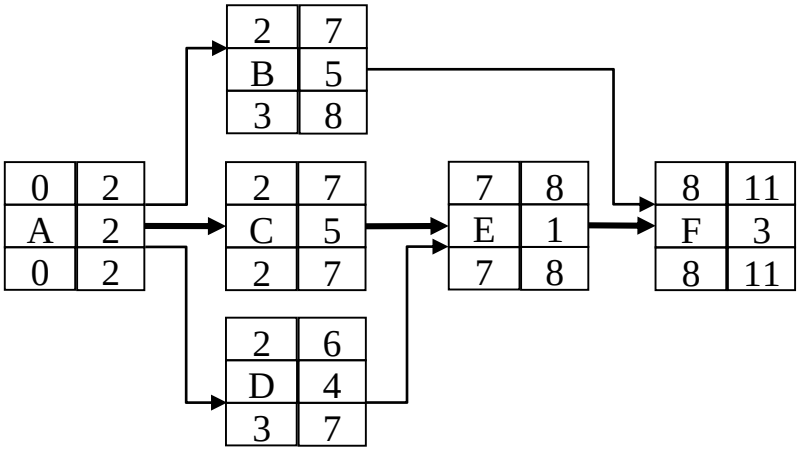
Project Time = 11 weeks

Direct Cost = 63500+1(2000) = 65500

Indirect Cost = 11 × 5000 = 55000

Total Cost = 120500

| Act. | TΔ | CS |
|---|---|---|
| A | 0 | 2000 |
| C | 2 | 3000 |
| E | 0 | 1500 |
| F | 2 | 3000 |



## 4- crash F by 2 weeks

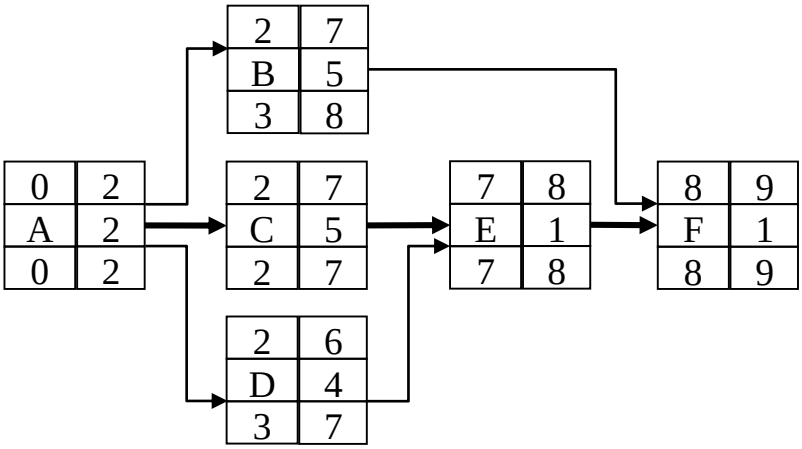
Project Time = 9 weeks

Direct Cost = 65500+2(3000) = 71500

Indirect Cost = 9 × 5000 = 45000

Total Cost = 116500

| Act. | TΔ | CS |
|---|---|---|
| A | 0 | 2000 |
| C | 2 | 3000 |
| E | 0 | 1500 |
| F | 0 | 3000 |




## 5- crash C by 1 weeks

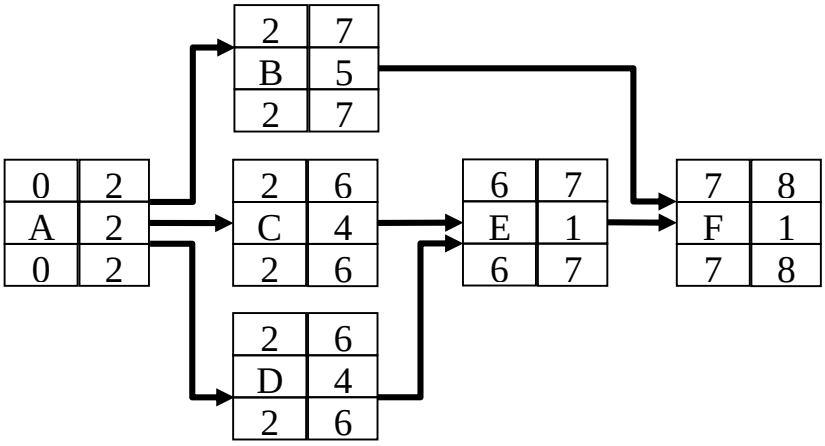
Project Time = 8 weeks

Direct Cost = 71500+1(3000) = 74500

Indirect Cost = 8 × 5000 = 40000

Total Cost = 114500

| Act. | TΔ | CS |
|---|---|---|
| A | 0 | 2000 |
| C | 1 | 3000 |
| E | 0 | 1500 |
| F | 0 | 3000 |
| B | 1 | 1500 |
| D | 2 | 1000 |



6- crash B, C & D by 1 weeks

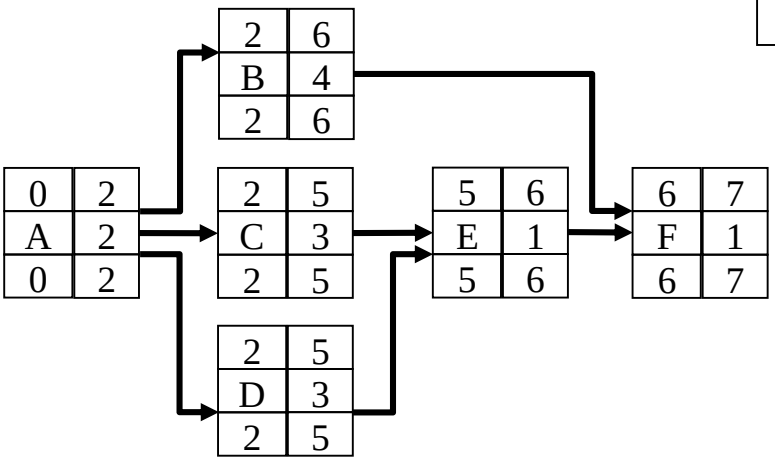
Project Time = 7 weeks

Direct Cost = 74500+1(1500)+1(3000)+1(1000) = 80000

Indirect Cost = 7 × 5000 = 35000

Total Cost = 115000

| Act. | TΔ | CS |
|---|---|---|
| A | 0 | 2000 |
| C | 0 | 3000 |
| E | 0 | 1500 |
| F | 0 | 3000 |
| B | 0 | 1500 |
| D | 1 | 1000 |




- Since the new TC (total cost) is greater than previous TC, stop the iteration.
- The previous iteration (No. 5) solution is the best for implementation.
- Therefore, the final crashed project completion time is 8 weeks and the TC is 114,500$

# العقود الهندسية (المقاولات)

## عقد المقاولة:-

**عقد المقاولة** هي اتفاقية بين طرفين هما المالك والمقاول يتعهد فيها المقاول بانجاز عمل معين الى المالك مقابل تعهد المالك بدفع الاجور على شكل دفعات شهرية الى المقاول حسب نسبة انجاز العمل. وهذا العقد يحكم العلاقة بين الطرفين ويحدد الحقوق والواجبات لكل طرف كما يحدد الشروط الجزائية في حالة خرق أحد الطرفين لتعهده.

## المراحل التي تسبق التعاقد الهندسي:-

| | |
|---|---|
| 1 | مرحلة دراسة جدوى المشروع |
| 2 | مرحلة التصميم الابتدائي |
| 3 | مرحلة التصميم النهائي وهي اعداد مستندات العطاء |
| 4 | مرحلة المناقصة وهي اعلان المقاولة |
| 5 | مرحلة التقديم بالعطاء وهي تحديد سعرة المقاولة من المقاول |

## مستندات العقد الهندسي (عقد المقاولة):-

| | |
|---|---|
| 1 | الشروط القانونية والمالية |
| 2 | الشروط الفنية (مواصفات الاعمال) |
| 3 | الخرائط والمخططات التفصيلية |
| 4 | جداول كميات مسعر |
| 5 | برنامج العمل وأسلوب التنفيذ |
| 6 | مستندات أصولية تتعلق بتسجيل المقاول وشهادة التصنيف |
| 7 | أشعار بالتأمينات الأولية |

**س/ ماالفرق بين : المقاولة ؛ العطاء ؛ المزاد و المناقصة ؟**

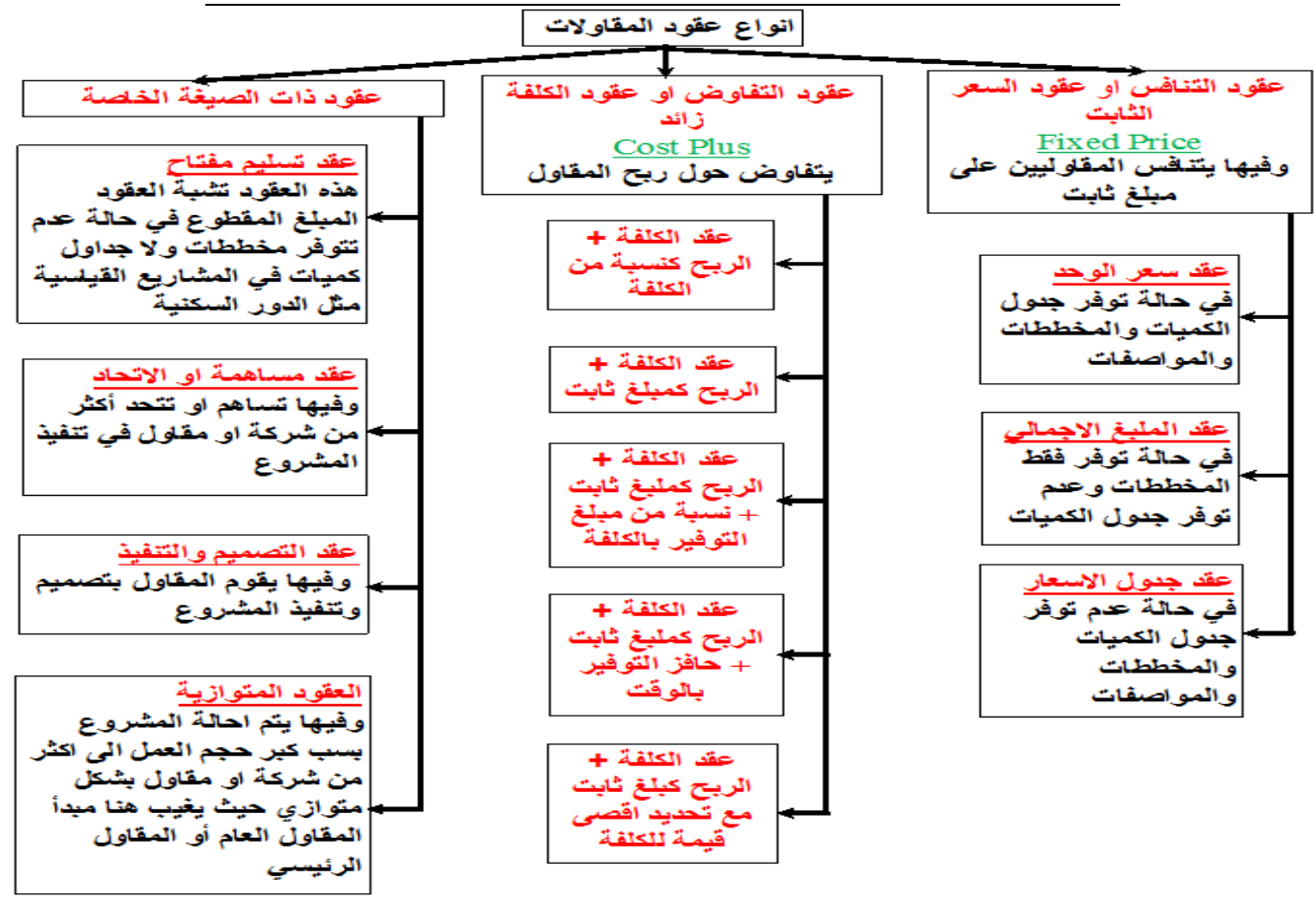
الجواب

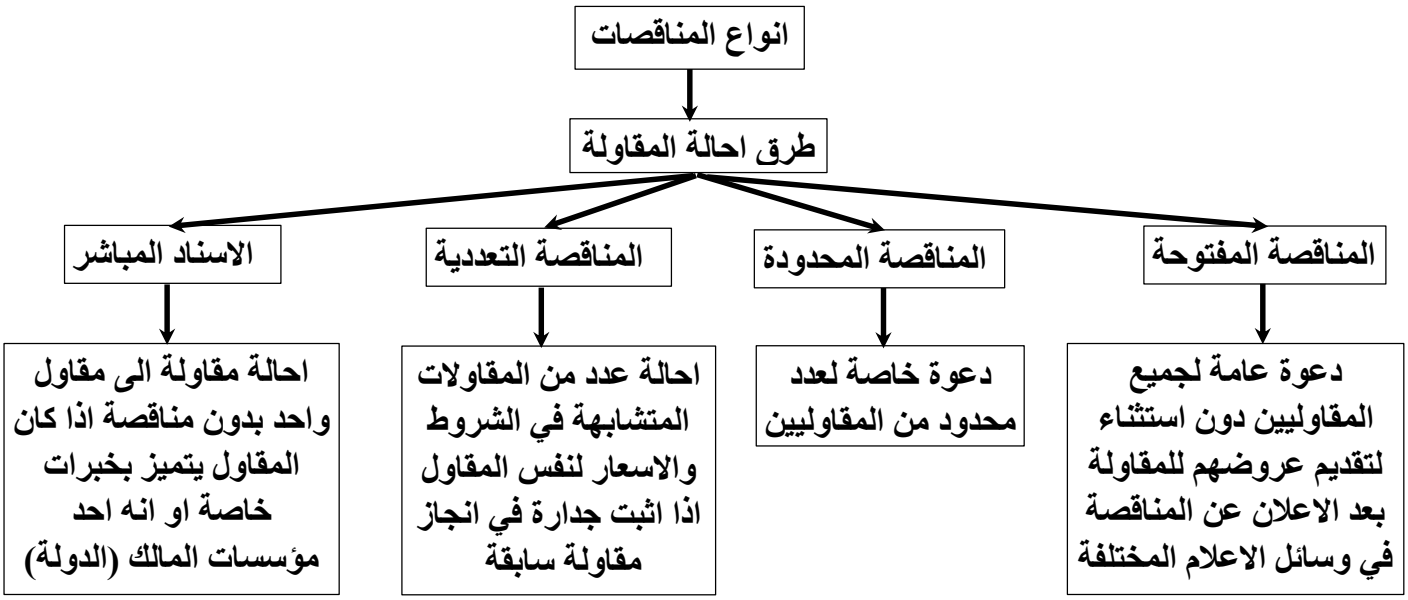
المقاولة :- هي اتفاقية بين المالك والمقاول

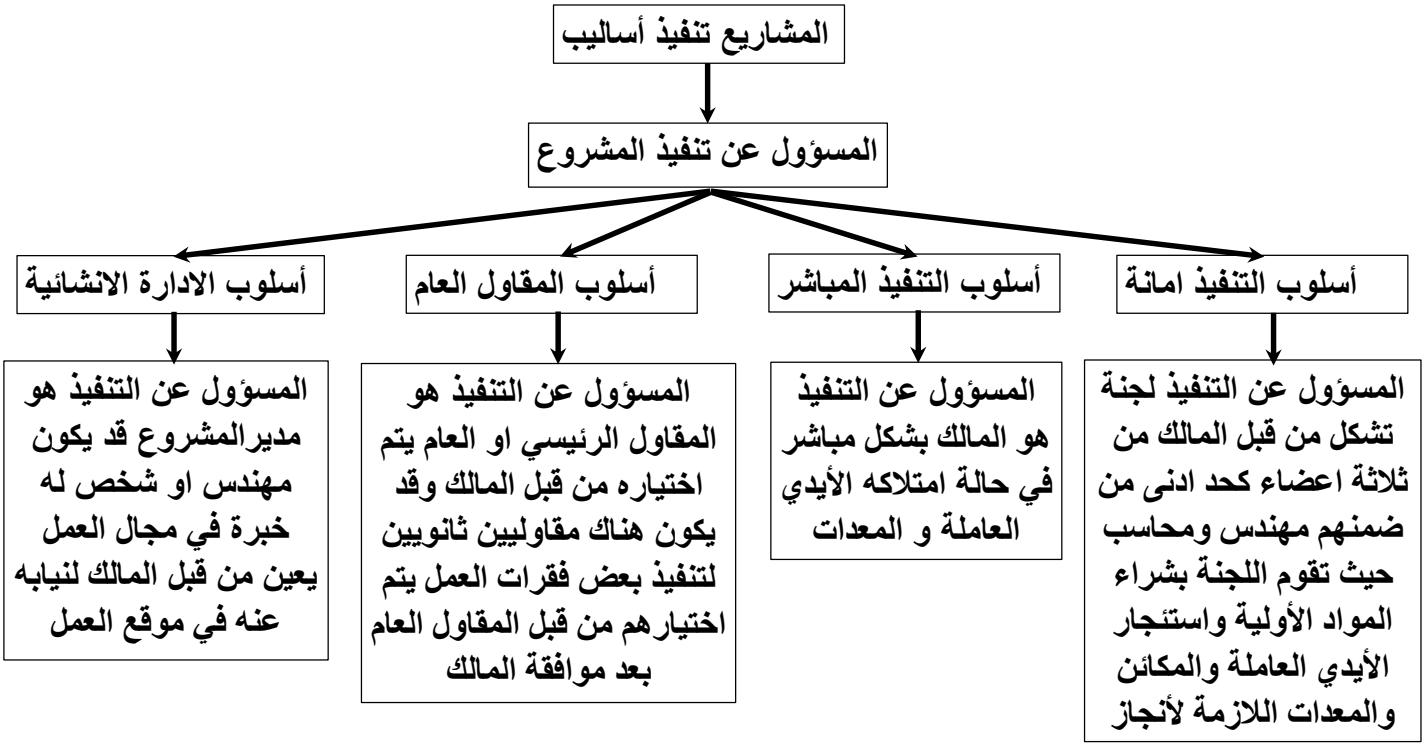
العطاء :- هي العروض المقدمة فى المزاد أو المناقصة

المزاد :- هي منافسة سعرية بين مشترين لتقديم أعلى سعر وترسى المزايدة على صاحب العطاء الاكثر سعرا

المناقصة :- هي منافسة سعرية بين بائعين لتقديم أقل سعر وترسى المناقصة على صاحب العطاء الاقل سعر ماليا والاكثر عطاءا فنيا


انواع عقود المقاولات
عقود التنافس او عقود السعر الثابت
Fixed Price
وفيها يتنافس المقاوليين على مبلغ ثابت
عقد سعر الوحد
في حالة توفر جدول الكميات والمخططات والمواصفات
عقد المليغ الاجمالي
في حالة توفر فقط المخططات وعدم توفر جدول الكميات
عقد جدول الاسعار
في حالة عدم توفر جدول الكميات والمخططات والمواصفات
عقود التفاوض او عقود الكلفة زائد
Cost Plus
يتفاوض حول ربح المقاول
عقد الكلفة + الربح كنسبة من الكلفة
عقد الكلفة + الربح كمبلغ ثابت
عقد الكلفة + الربح كمليغ ثابت + نسبة من مبلغ التوفير بالكلفة
عقد الكلفة + الربح كمليغ ثابت + حافز التوفير بالوقت
عقد الكلفة + الربح كبلغ ثابت مع تحديد اقصى قيمة للكلفة
عقود ذات الصيغة الخاصة
عقد تسليم مفتاح
هذه العقود تشبة العقود المبلغ المقطوع في حالة عدم تتوفر مخططات ولا جداول كميات في المشاريع القياسية مثل الدور السكنية
عقد مساهمة او الاتحاد
وفيها تساهم او تتحد أكثر من شركة او مقاول في تنفيذ المشروع
عقد التصميم والتنفيذ
وفيها يقوم المقاول بتصميم وتنفيذ المشروع
العقود المتوازية
وفيها يتم احالة المشروع بسبب كبر حجم العمل الى اكثر من شركة او مقاول بشكل متوازي حيث يغيب هنا مبدأ المقاول العام أو المقاول الرئيسي


انواع المناقصات
طرق احالة المقاولة
المناقصة المفتوحة
دعوة عامة لجميع المقاوليين دون استثناء لتقديم عروضهم للمقاولة بعد الاعلان عن المناقصة في وسائل الاعلام المختلفة
المناقصة المحدودة
دعوة خاصة لعدد محدود من المقاوليين
المناقصة التعددية
احالة عدد من المقاولات المتشابهة في الشروط والاسعار لنفس المقاول اذا اثبت جدارة في انجاز مقاولة سابقة
الاسناد المباشر
احالة مقاولة الى مقاول واحد بدون مناقصة اذا كان المقاول يتميز بخبرات خاصة او انه احد مؤسسات المالك (الدولة)




مسائل محلولة في العقود الهندسية

مثال 1: نفرض إن تكلفة المشروع 1000000 دولار فإذا تمكن المقاول الذي نحن بصدده من معرفة أن عطاءا ما قيمته 1400000 دولار له احتمال قدره 35% في الفوز وأن عطاءا قيمته 1200000 دولار له احتمال قدره 75%. المطلوب تحديد أي العطائين أكثر ربحا متوقعا في المعدل.

الحل:-

عندما تكون قيمة العطاء = 1400000 دولار

الربح المتوقع = (1400000 – 1000000 ) 0.35 =400000 × 0.35 = 140000 دولار

وعندما تكون قيمة العطاء = 1200000 دولار

الربح المتوقع = (1200000 – 1000000) × 0.75 = 200000 × 0.75 = 150000 دولار

وهذا يعنى إن تقديم عطاء قيمته 1200000 دولار أفضل من العرض الآخر لأنه يعطى قيمة أعلى من الربح المتوقع وذلك في المعدل.

س/ ما هو الفرق بين عقود التنافس وعقود التفاوض؟

عقود التنافس وفيها تتم الإحالة على اساس المنافسة على قيمة ثابتة للمقاولة اما بتحديد سعر اجمالي للمقاولة او سعر للوحدة لذلك تسمى ايضا بعقود السـعر ثابت (Fixed – Price)

اما عقود التفاوض فيها يتم التفاوض مع مقاوليين محددين حول قيمة الربح (قد يكون اجر ثابت او نسبة من الكلفة) التي تدفع للمقاول اضافة الى كلفة الاعمال لذلك تسمى هذه العقود ايضا عقود (Cost-Plus)

مثال 2 : في أحد المشاريع الإنشائية تم التعاقد بين مالك المشروع ومقاول ما بطريقة عقود التفاوض وذلك بالشروط التالية:

- التكلفة المخططة للمشروع هي 750000 دولار
- أتعاب المقاول شاملة الربح تساوي 90000 دولار
- أي زيادة في تكلفة المشروع على التكلفة المخططة يتحمل المقاول 50 ٪ منها.
- أي توفير في تكلفة المشروع على التكلفة المخططة يحصل المقاول على النصف.

والمطلوب دراسة تأثير الآتي على كل من المالك والمقاول؟

1- إذا تم تنفيذ المشروع بقيمة إجمالية 750 000 دولار
2- إذا تم تنفيذ المشروع بقيمة قدرها 900 000 دولار
3- إذا تم تنفيذ المشروع بقيمة إجمالية قدرها 650000 دولار

الحل:لدراسة تأثير الحالات السابقة على كل من المالك والمقاول تم عمل الحسابات التالية كما هو موضح بالجدول ادناه:

| الحالة | التكلفة المخططة A | التكلفة الفعلية B | فروقات المقاول C=0.5×(A–B) | اجرة المقاول المتفق عليها D | المبلغ الصافي الداخل الى حساب المقاول E=D+C | المبلغ الكلي الخارج من حساب المالك F=B+E | نسبة الربح G=E/B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 750 000 | 750 000 | 0 | 90 000 | 90 000 | 840 000 | 0.120 |
| 2 | 750 000 | 900 000 | –75 000 | 90 000 | 15 000 | 915 000 | 0.017 |
| 3 | 750 000 | 650 000 | +50 000 | 90 000 | 140 000 | 790 000 | 0.215 |

مثال(3) : في أحد مشاريع الإنشاء تم التعاقد بين المالك والمقاول بطريقة عقود التفاوض حيث تم تحديد زمن مخطط للمشروع ، وغرامة فيما لو تأخر تسليم المشروع، وكذلك مكافأة فيما لو تم الانتهاء من المشروع قبل موعده، وذلك بالشروط الآتية:

- التكلفة المخططة للمشروع هي 5000000 دولار
- الزمن المخطط للمشروع هو 42 شهرا
- دخل المقاول في حالة تنفيذ المشروع في الزمن المخطط 450000 دولار
- المكافأة التي تصرف للمقاول في حالة تنفيذ المشروع قبل الموعد هي 30000 دولار/شهر
- غرامة التأخير التي يتحملها المقاول في حالة تأخير تنفيذ المشروع على الموعد هي 30000 دولار/شهر.
- أي زيادة في تكلفة المشروع على التكلفة المخططة يتحمل المقاول 50 ٪ منها.
- أي توفير في تكلفة المشروع على التكلفة المخططة يستفيد المقاول بنسبة 50 ٪ منها.

والمطلوب دراسة تأثير الآتي على كل من المالك والمقاول ؟

1- إذا انتهى تنفيذ المشروع في موعده (42 شهرا) و بالتكلفة المخططة 5000000 دولار
2- إذا انتهى تنفيذ المشروع في موعده (42 شهرا) وبتكلفة مقدارها 5400000 دولار
3- إذا انتهى من تنفيذ المشروع في زمن (44 شهرا) وبتكلفة قدرها 5400000 دولار
4- إذا انتهى من تنفيذ المشروع في زمن (36 شهرا) وبالتكلفة المخططة 5000000 دولار
5- إذا انتهى المشروع في زمن 36 شهرا وبتكلفة مقدارها 4700000 دولار

الحل : لدراسة تأثير الحالات السابقة على كل من المالك والمقاول تم عمل الحسابات التالية كما هو موضح بالجدول التالي:

| | القيم المخططة | | القيم الفعلية بعد التنفيذ | | فروقات المقاول | | للمقاول الصافي G=F+E+ 450 000 | المبلغ من المالك H=G+D | نسبة الربح % I=G/D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الزمن A | الكلفة B | الزمن C | الكلفة D | من الزمن E=(A–C) ×30 000 | من الكلفة F= 0.5×(B–D) | | | |
| 1 | 42 | 5000 000 | 42 | 5000 000 | 0 | 0 | 450 000 | 5450 000 | 9 |
| 2 | 42 | 5000 000 | 42 | 5400 000 | 0 | –200 000 | 250 000 | 5600 000 | 4.6 |
| 3 | 42 | 5000 000 | 44 | 5400 000 | –60 000 | –200 000 | 190 000 | 5590 000 | 3.5 |
| 4 | 42 | 5000 000 | 36 | 5000 000 | +180 000 | 0 | 630 000 | 5630 000 | 12.6 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 42 | 5000 000 | 36 | 4700 000 | +180 000 | +150 000 | 780 000 | 5480 000 | 16.6 |

من الجدول اعلاه نستنتج مايلي:-

- في الحالة رقم (1)، وحيث إن المشروع قد انتهى في زمنه المحدد وبالتكلفة المخططة (5000000 دولار) فإن دخل المقاول لم يتغير.
- في الحالة رقم (2) تم خصم 200000 دولار من مستحقات المقاول (يتحمل المقاول ٪50 من الزيادة على التكلفة المستهدفة وهي (200000 = 400000 × 50%)
- في الحالة رقم (3) تم خصم 200000 دولار من مستحقات المقاول (50 ٪ من الزيادة على التكلفة المخططة) إضافة إلى غرامة تأخير شهرين (30000×2 = 60000 دولار)
- في الحالة رقم (4) تم زيادة استحقاقات المقاول بمبلغ 180000 دولار حيث إن المشروع قد انتهى قبل موعده بستة أشهر.
- الحالة رقم (5) تشبه الحالة رقم (4) مضافا إليها 50% من قيمة المبلغ الموفر من (300000×50% = 150000)

ونستنتج من هذا المثال أن أكبر نسبة ربح للمقاول هي 16.66 ٪ (الحالة الخامسة) وذلك بسبب تنفيذ المشروع قبل موعده المحدد(36 شهرا) وبتكلفة أقل من التكلفة المستهدفة، وعلى العكس تماما في الحالة رقم 3 حيث يوجد إضافة في التكلفة مع تأخير في زمن التنفيذ.

وخلاصة القول ، فإن هذا النوع من العقود يعطي الحافز الكبير للمقاول من حيث المردود المادي فيما لو تم تنفيذ المشروع في وقت أقل من زمن التنفيذ المتعاقد عليه، وبتكلفة أقل من التكلفة المستهدفة.

## مثال (4) حول تحليل العطاءات واختيار المقاولين

### 1- المرحله الاولى: تقديم العطاءات الفنية Submitting Technical Offer

- يتم حساب معدل الدرجات للعوامل التقييم الفني المدرجة في الجدول ادناه والمناظرة لكل مقاول.

| ت | عوامل التقييم | مقاول 1 | مقاول 2 | مقاول 3 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | كيان وتنظيم الشركة | 5 | 8 | 10 |
| 2 | الخبرة في نوعية الأعمال | 8 | 8 | 7 |
| 3 | امكانيات الشركة ومدى توفر الموارد | 6 | 7 | 9 |
| 4 | إجراءات توكيد الجودة | 9 | 6 | 6 |
| 5 | قدرة المقاول على إنهاء الأعمال في الوقت المحدد | 5 | 4 | 7 |
| 6 | الأعمال المتوقع إسنادها إلى مقاولي الباطن. | 7 | 5 | 8 |
| 7 | سابقة اللجوء إلى القضاء والتحكيم | 4 | 9 | 9 |
| | درجة العرض الفني من 10 = معدل القيم اعلاه | 6.29 | 6.71 | 8.00 |

### 2- المرحله الثانية للمنافسة: تقديم العطاءات المالية Submitting Financial Offer

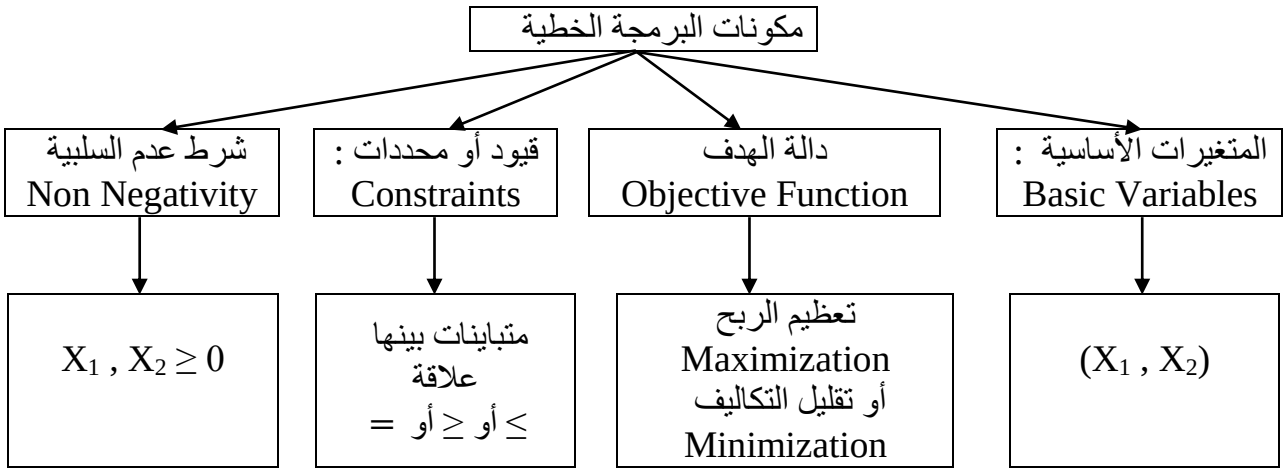
- في هذة المرحلة يتم تقديم العروض المالى للمقاولون الذين تم قبولهم فنيا حيث يتم حساب القيمة المعدلة من خلال قسمة قيمة العرض المالى للمقاول على درجة العرض الفني التى حصل عليها المقاول
- تتم المقارنة بين القيم المعدلة حيث يقبل العرض الذي يحصل على اقل قيمة معدلة

| عوامل التقييم | | مقاول 1 | مقاول 2 | مقاول 3 |
|---|---|---|---|---|
| درجة العرض الفني (من 10) | A | 6.29 | 6.71 | 8.00 |
| قيمة العرض المالي (الدولار) | B | 3,370,000 | 3,450,000 | 3,500,000 |
| القيمة المعدلة | C = B/A | 535,771 | 514,158 | 437,500 |

**ملاحظة:-** من خلال الجدول اعلاه نلاحظ ارتفاع القيمة المعدلة لعرض المقاول ألاقل جودة وبالتالي يضعف فرصتهم في المنافسة رغم ان عروضهم المالية هو الاقل

## البرمجة الخطية Linear programming

هي من أفضل الأساليب الرياضية العلمية في علم الإدارة التي تساعد في اتخاذ أفضل القرارات الصحيحه وهي جزء من بحوث العمليات (**Operations Research**) ، ويعود تاريخ إيجادها إلى عام 1947م حيث قام العالم جورج برنارد دانتزج George Bernard Dantzig بإدخالها كأسلوبٍ مُستحدثٍ لحل المشاكل التي تُواجه مُتخذ القرار، وبناءً على ذلك يمكننا تعريف البرمجة الخطية بأنّها عبارةٌ عن أسلوبٍ رياضيٍ يُستخدم لغاياتِ التخطيط واتخاذ القرار الأمثل من بين مجموعة من البدائل المطروحة في استخدام الموارد المتوفّرة سعياً لزيادة الرّبح وتعظيمه، وتخفيض قيمة التكلفة قدر الإمكان.




**أهداف نماذج البرمجة الخطية:**

1. ايجاد اكبر ربح اذا كان الربح هو دالة الهدف
2. ايجاد اقل كلفة اذا كانت الكلفة هو دالة الهدف

## صياغة البرمجة الخطيةLinear Programming Formulation

### صياغة المشكلة البرمجية العملية فى حالة تعظيم الأرباح

**مثال 1** :ضع المشكلة الآتية بشكل صياغة نموذج رياضي يمكن حل بنموذج البرمجة الخطية:
مصنع للمشروبات الغازية يصنع نوعين من المشروبات. بحيث ان المشروب الأول يستهلك 4 ساعات تشغيل في قسم التصنيع و 5 ساعات في قسم التغليف، أما الثاني يستهلك 5 ساعات في قسم التصنيع و 3 ساعات في قسم التغليف، بحيث الأول يحقق ربح 25 دولار والثاني 35 دولار. علما ان العمال يعملون في المصنع بواقع 8 ساعات يوميا في قسم التصنيع و 15 ساعات في قسم التغليف على الأكثر

| النوع | الأول $X_1$ | الثاني $X_2$ | عدد ساعات العمل |
|---|---|---|---|
| قسم التصنيع | 4 | 5 | 8 على الأكثر |
| قسم التغليف | 5 | 3 | 15 على الأكثر |
| الأرباح | 25 | 35 | Z |

المطلوب :صيغ المشكلة الآتية بنموذج رياضي تعظيم الأرباح Max
الحل : نفرض أن النوع الأول $X_1$ والنوع الثاني $X_2$

Max. $Z = 25X_1 + 35X_2$
Subject to: $4X_1 + 5X_2 \leq 8$
$5X_1 + 3X_2 \leq 15$

$X_1 \geq 0 , X_2 \geq 0$

**صياغة المشكلة البرمجية العملية في حالة تقليل التكاليف**

**مثال 2:** تقوم إحدى الشركات بإنتاج أنواع مختلفة من الأسمدة الزراعية فإذا وردت إلى الشركة طلبية للحصول على 24000 كغم من أسمدة معينة ويتكون هذا النوع من الأسمدة من ثلاثة مركبات هي A , B , C, والمواصفات المطلوبة لذلك السماد كما وردت في الطلبية مبينة كما يلي:

1. يجب أن يحتوي السماد على الأقل 6000 كغم من المركب B
2. يجب أن يحتوي السماد على الأكثر من 8000 كغم من المركب A
3. يجب أن يحتوي السماد على الأقل 4000 كغم من المركب C

وإذا علمت أن كلفة الكيلو غرام الواحد من المركب A تساوي 4 دولار و أن كلفة الكيلو غرام الواحد من المركب B تساوي 6 دولار و أن كلفة الكيلو غرام الواحد من المركب C تساوي 8 دولار
المطلوب :صياغة البرمجة الخطية والذي يعطي اقل التكاليف؟

$$\text{Min. } Z = 4A + 6B + 8C$$
$$\text{Subject to: } A + B + C = 24000$$
$$B \geq 6000$$
$$A \leq 8000$$
$$C \geq 4000$$
$$A, B, C \geq 0$$

**مثال 3** : مصنع للمواد الكيميائية ينتج خليط بوزن 1500 طن بحيث يحتوي هذا الخليط على ثلاث مركبات بمواصفات وشروط محددة وهي:
يجب أن يحتوي الخليط على الأكثر 600 طن من المركب الأول
يجب أن يحتوي الخليط على الأقل 700 طن من المركب الثاني
يجب أن يحتوي الخليط على الأقل 500 طن من المركب الثالث
فإذا علمت أن تكلفة الطن الواحد :من المركب الأول 150 دولار والمركب الثاني 250 دولار والمركب الثالث 350 دولار
المطلوب :صياغة البرمجة الخطية والذي يعطي اقل التكاليف؟

$$\text{Min. } Z = 150X_1 + 250X_2 + 350X_3$$
$$\text{Subject to: } X_1 + X_2 + X_3 = 1500$$
$$X_1 \leq 600$$
$$X_2 \geq 700$$
$$X_3 \geq 500$$
$$X_1, X_2 , X_3 \geq 0$$

**ماهي الخطوات الأساسية المتبعة عند صياغة البرمجية الخطية؟**

1. عند ذكر كلمة مركبات أساسية هي المتغيرات الأساسية $X_1 , X_2$
2. عند ذكر كلمة أرباح يكون الربح هو دالة الهدف بهدف اكبر ربح Max
3. عند ذكر كلمة تكلفة تكون الكلفة هي دالة الهدف بهدف اقل تكلفة Min
4. عند ذكر أقسام العمل او مراحل الإنتاج او خطوات العمل فهي تمثل القيود كل منها قيد على حده
5. عند ذكر كلمة على الأكثر تكون إشارة المتباينة في القيد اقل من أو يساوي $\leq$
6. عند ذكر كلمة على الاقل تكون إشارة المتباينة في القيد اكبر من أو يساوي $\geq$
7. عند ذكر كلمة بالضبط ,تماما ,تحتوي فقط تكون إشارة القيد يساوي =

8. اذا كان عدد المتغيرات فقط أثنين تحل بالطريقة البيانية أما أذا كانا أكثر من متغيرين أساسين تحل بطريقة السمبلكس

## طرق حل نماذج البرمجة الخطية:

1- طريقة الرسم البياني The Graphical Method
2- طريقة التبسيط السمبلكس The Simplex Method

## 1- الطريقة البيانية لحل مسائل البرمجة الخطية Graphic Solution Of LP Problems

تعتبر طريقة الرسم البياني طريقة سهلة وبسيطة وواضحة في معالجة مشاكل البرمجة الخطية وخاصة تلك المشاكل التي لا يزيد فيها عدد المتغيرات عن اثنين فقط والتي تحتوي على عدد بسيط من القيود.
كما تفيد طريقة الرسم البياني كمقدمة لدراسة طرق وأساليب أخرى أكثر تعقيدا في حل مشاكل البرمجة الخطية مثل السمبلكس

### مثال (1) في حالة وجود قيدين:

اوجد الحل الأمثل لنموذج البرمجة الخطية التالي:

$$MAX\ Z = 7X_1 + 5X_2$$
$$SUBJECT\ TO: \quad 4X_1 + 3X_2 \leq 240$$
$$2X_1 + X_2 \leq 100$$
$$X_1, X_2 \geq 0$$

الحل

1- نحول المتباينات إلى معادلات

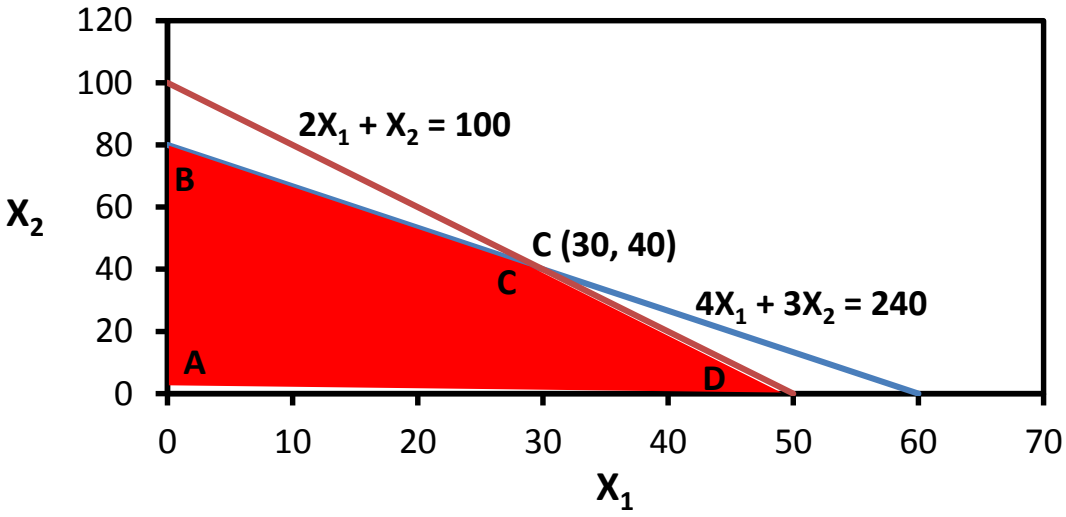
$$4X_1 + 3X_2 = 240$$
$$2X_1 + X_2 = 100$$

2- نحدد نقطتين على كل مستقيم (نقاط تقاطع كل مستقيم مع المحاور) لغرض رسمه

| Straight (1) | |
|---|---|
| $4X_1 + 3X_2 = 240$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 80 |
| 60 | 0 |

| Straight (2) | |
|---|---|
| $2X_1 + X_2 = 100$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 100 |
| 50 | 0 |

3- نرسم الرسم البياني ونحدد منطقة الحدود الممكنة




4- نوجد نقاط التقاطع المستقيمين بحل المعادلتين1 و 2 جبريا

$$4X_1 + 3X_2 = 240$$
$$2X_1 + X_2 = 100$$

نقطة التقاطع هي C (30,40)

5- اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:

| | النقطة | $Max\ Z = 7X_1 + 5X_2$ | النتيجة |
|---|---|---|---|
| A | 0,0 | 7(0) + 5(0) | 0 |
| B | 0,80 | 7(0) + 5(80) | 400 |
| C | 30,40 | 7(30) + 5(40) | 410 |
| D | 50,0 | 7(50) + 5(0) | 350 |

نلاحظ من اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:
النقطة C تمثل الحل الأمثل
السبب : لأنها أعلى رقم تحقق أكبر ربح
ممكن ونعوض عنها في معادلات القيود لمعرفة الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة

القرار الإداري:
يجب إنتاج 30 وحدة من المنتج الأول $X_1 = 30$
وانتاج 40 وحدة من المنتج الثاني $X_2 = 40$
لكي يحقق أكبر ربح ممكن بمقدار 410 دينار $Z = 410$

**<u>مثال (2) في حالة وجود ثلاث قيود:</u>**
اوجد الحل الامثل لنموذج البرمجة الخطية التالية:

$$MAX\ Z = X_1 + 2\ X_2$$
$$SUBJECT\ TO: \quad X_1 + X_2 \leq 20$$
$$2X_1 + X_2 \leq 30$$
$$X_1 \leq 25$$
$$X_1\ ,\ X_2 \geq 0$$

الحل:-
1- نحول المتباينات إلى معادلات

$$X_1 + X_2 = 20$$
$$2X_1 + X_2 = 30$$
$$X_1 = 25$$

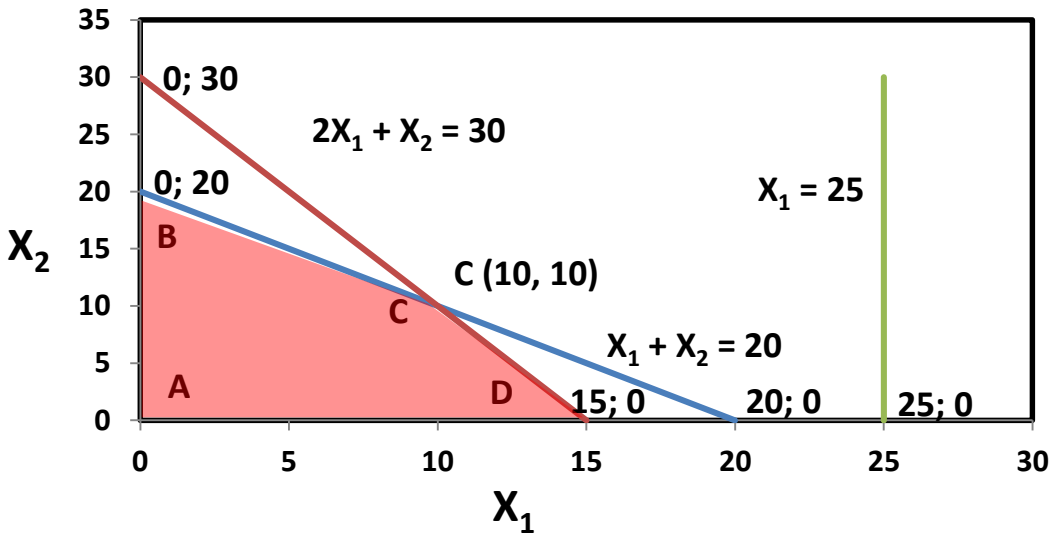
2- نحدد نقطتين على كل مستقيم لغرض رسمه

| Straight (1) | |
|---|---|
| $X_1 + X_2 = 20$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 20 |
| 20 | 0 |

| Straight (2) | |
|---|---|
| $2X_1 + X_2 = 30$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 30 |
| 15 | 0 |

| Straight (3) | |
|---|---|
| $X_1 = 25$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 25 | 0 |
| 25 | 30 |

3- نرسم الرسم البياني ونحدد منطقة الحدود الممكنة




4- نوجد نقط التقاطع المستقيمين بحل المعادلتين1 و 2 جبريا

$$X_1 + X_2 = 20$$
$$2X_1 + X_2 = 30$$

نقطة التقاطع C (10,10)

5- اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:

| | النقطة | Max Z = $X_1 + 2X_2$ | النتيجة |
|---|---|---|---|
| A | 0,0 | 1(0) + 2(0) | 0 |
| B | 0,20 | 1(0) + 2(20) | 40 |
| C | 10,10 | 1(10) + 2(10) | 30 |
| D | 15,0 | 1(15) + 2(0) | 15 |

نلاحظ من اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:
النقطة B تمثل الحل الأمثل
السبب : لأنها أعلى رقم تحقق أكبر ربح
ممكن ونعوض عنها في معادلات القيود لمعرفة الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة

القرار الإداري:
يجب إنتاج 0 وحدة من المنتج الأول $X_1 = 0$
وإنتاج 20 وحدة من المنتج الثاني $X_2 = 20$
لكي يحقق أكبر ربح ممكن بمقدار 40 دينار $Z = 40$

**<u>مثال 3 : في حالة وجود أربع قيود</u>**

اوجد الحل الأمثل لنموذج البرمجة الخطية التالية:

$$\text{MAX } Z = 12\ X_1 + 14\ X_2$$
$$\text{SUBJECT TO: } 2\ X_1 + 3\ X_2 \leq 24$$
$$2\ X_1 + X_2 \leq 16$$
$$X_1 \leq 7$$
$$X_2 \leq 6$$
$$X_1\ ,\ X_2 \geq 0$$

الحل:-

1- نحول المتباينات إلى معادلات

$$2X_1 + 3X_2 = 24$$
$$2X_1 + X_2 = 16$$
$$X_1 = 7$$
$$X_2 = 6$$

2- نحدد نقطتين على كل مستقيم لغرض رسمه

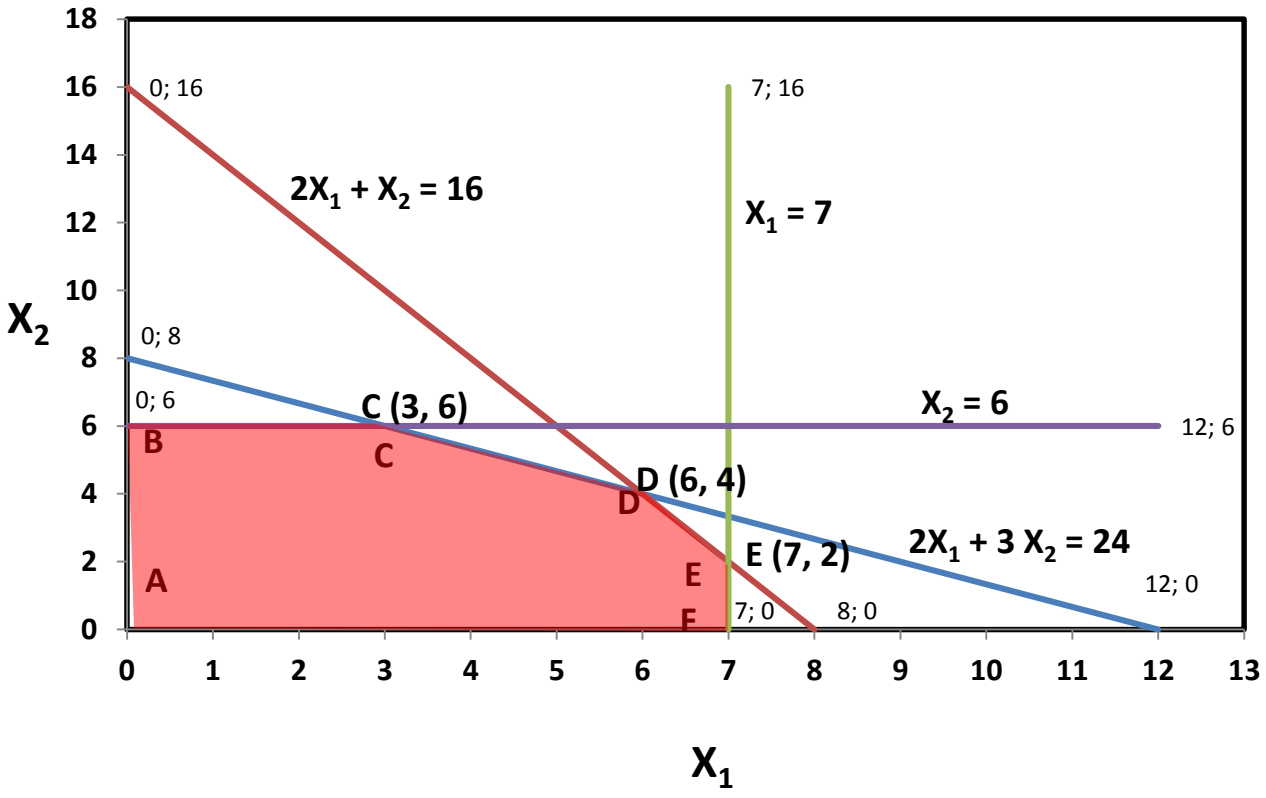
| Straight (1) | |
|---|---|
| $2X_1 + 3X_2 = 24$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 8 |
| 12 | 0 |

| Straight (2) | |
|---|---|
| $2X_1 + X_2 = 16$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 16 |
| 8 | 0 |

| Straight (3) | |
|---|---|
| $X_1 = 7$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 7 | 0 |
| 7 | 16 |

| Straight (4) | |
|---|---|
| $X_2 = 6$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 6 |
| 12 | 6 |

3- نرسم الرسم البياني ونحدد منطقة الحدود الممكنة




4- نوجد نقط التقاطع المستقيمات

| معادلة المستقيمات | $2X_1 + 3X_2 = 24$<br>$X_2 = 6$ | $2X_1 + 3X_2 = 24$<br>$2X_1 + X_2 = 16$ | $2X_1 + X_2 = 16$<br>$X_1 = 7$ |
|---|---|---|---|
| نقطة التقاطع | C (3,6) | D (6,4) | E (7,2) |

5- اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:

| | النقطة | Max Z = $12X_1 + 14X_2$ | النتيجة |
|---|---|---|---|
| A | 0,0 | 12 (0) + 14 (0) | 0 |
| B | 0,6 | 12 (0) + 14 (6) | 84 |
| C | 3,6 | 12 (3) + 14 (6) | 120 |
| D | 6,4 | 12 (6) + 14 (4) | 128 |
| E | 7,2 | 12 (7) + 14 (2) | 112 |
| F | 7,0 | 12 (7) + 14 (0) | 84 |

نلاحظ من اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:
النقطة D تمثل الحل الأمثل
السبب : لأنها أعلى رقم تحقق أكبر ربح
ممكن ونعوض عنها في معادلات القيود لمعرفة الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة
القرار الإداري:
يجب إنتاج 6 وحدة من المنتج الأول $X_1 = 6$
وانتاج 4 وحدة من المنتج الثاني $X_2 = 4$
لكي يحقق أكبر ربح ممكن بمقدار 128 دينار $Z = 128$

## نموذج برمجة خطية باستخدام الطريقة البيانية في حالة تقليل التكاليف

**مثال 4**

اوجد الحل الامثل لنموذج البرمجة الخطية التالية:

$$\text{Min } Z = 5X_1 + 6X_2$$
$$\text{SUBJECT TO: } 2X_1 + X_2 \leq 20$$
$$X_1 + 3X_2 \leq 30$$
$$X_1 , X_2 \geq 0$$

الحل:-

1- نحول المتباينات إلى معادلات

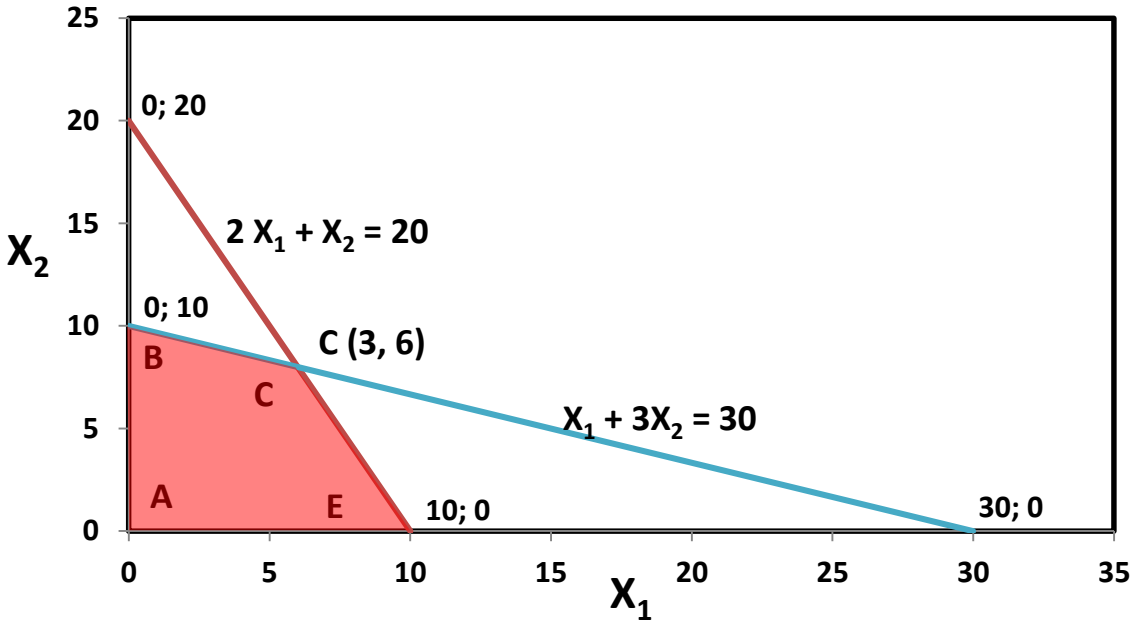
$$2X_1 + X_2 = 20$$
$$X_1 + 3X_2 = 30$$

2- نحدد نقطتين على كل مستقيم لغرض رسمه

| Straight (1) | |
|---|---|
| $2X_1 + X_2 = 20$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 20 |
| 10 | 0 |

| Straight (2) | |
|---|---|
| $X_1 + 3X_2 = 30$ | |
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 10 |
| 30 | 0 |

3- نرسم الرسم البياني ونحدد منطقة الحدود الممكنة



4- نوجد نقط التقاطع المستقيمات : نقطة تقاطع المستقيمين بحل المعادلتين1 و 2 جبريا

$$2X_1 + X_2 = 20$$
$$X_1 + 3X_2 = 30$$

نقطة التقاطع C (6,8)

5- اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:

| | النقطة | Min $Z = 5X_1 + 6X_2$ | النتيجة |
|---|---|---|---|
| A | 0,0 | 5(0) + 6(0) | 0 |
| B | 0,10 | 5(0) + 6(10) | 60 |
| C | 6,8 | 5(6) + 6(8) | 78 |
| D | 10,0 | 5(10) + 6(0) | 50 |

نلاحظ من اختبار منطقة الحلول الممكنة في دالة الهدف:
النقطة D تمثل الحل الأمثل
السبب : لأنها أعلى رقم تحقق أقل تكاليف
ممكن ونعوض عنها في معادلات القيود لمعرفة الاستغلال الأمثل للموارد المتاحة

القرار الإداري:
يجب إنتاج 10 وحدة من المنتج الأول $X_1 = 10$
وانتاج 0 وحدة من المنتج الثاني $X_2 = 0$
لكي يحقق اقل تكاليف ممكن بمقدار 50 دينار $Z = 50$

Example 1

Find the optimal solution for the following LP model by using graphical:

Objective function Max $Z = \$10X_1 + \$40X_2$
S.t $X_1 + 2X_2 \leq 100$
$X_1 + 5X_2 \leq 150$
Non negative $X_1 \geq 0$ , $X_2 \geq 0$

Solution:

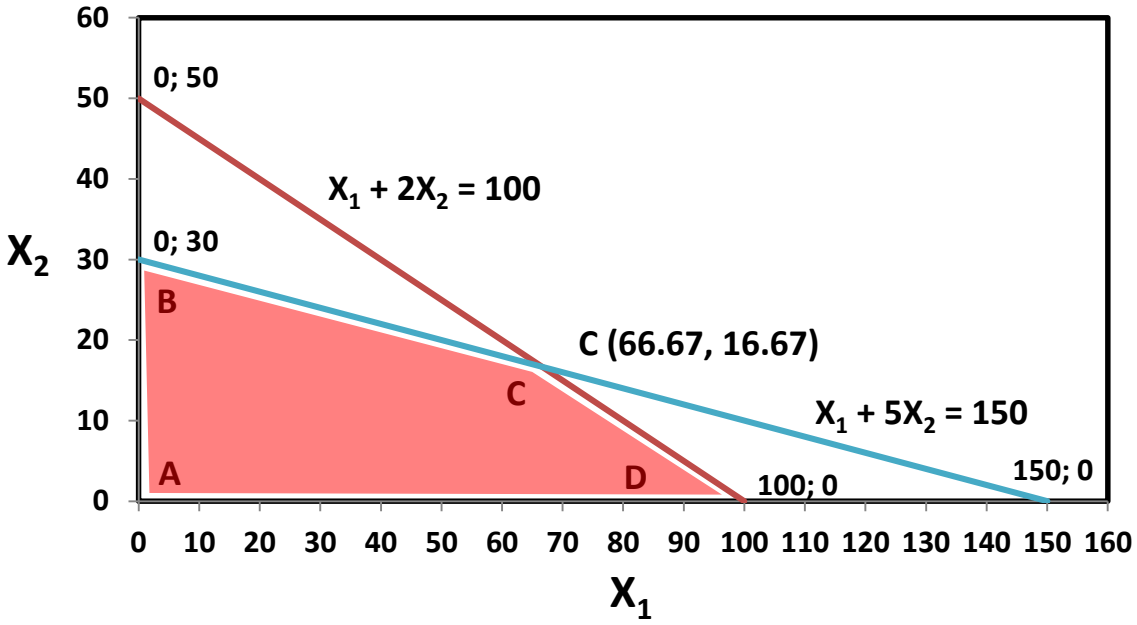
1- Transfer restrictions to equal as follows
The first straight $X_1 + 2X_2 = 100$
The second straight $X_1 + 5X_2 = 150$

2- Determine of two points for each straight :

| Straight (1) | |
|---|---|
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 50 |
| 100 | 0 |

| Straight (2) | |
|---|---|
| $X_1$ | $X_2$ |
| 0 | 30 |
| 150 | 0 |

3- Draw the first and second straight




4- Point C (66.7,16.7) represent the intersection of the straight 1 and the straight 2. Can be determined by solving the two equations using any method.

$X_1$=200\3=66.7 and $X_2$=50\3=16.7

5- The solution is the shaded area ( A B C D ) shaded and the objective function is tested at these Extreme points, ( A B C D )

| Point | $X_1$ | $X_2$ | $Z = 10X_1 + 40X_2$ |
|---|---|---|---|
| A | 0 | 0 | 0 |
| B | 100 | 0 | 1000 |
| C | 66.7 | 16.7 | 1335 |
| D | 0 | 30 | 1200 |

Example 3

Find the optimal solution Min Z = 5X + 2Y

S.t. $2X + 5Y \geq 10$

$4X - Y \geq 12$

$X + Y \geq 4$

$X, Y \geq 0$

Solution:

1- Transfer restrictions to equal as follows

The first straight $2X + 5Y = 10$

The second straight $4X - Y = 12$

The third straight $X + Y = 4$

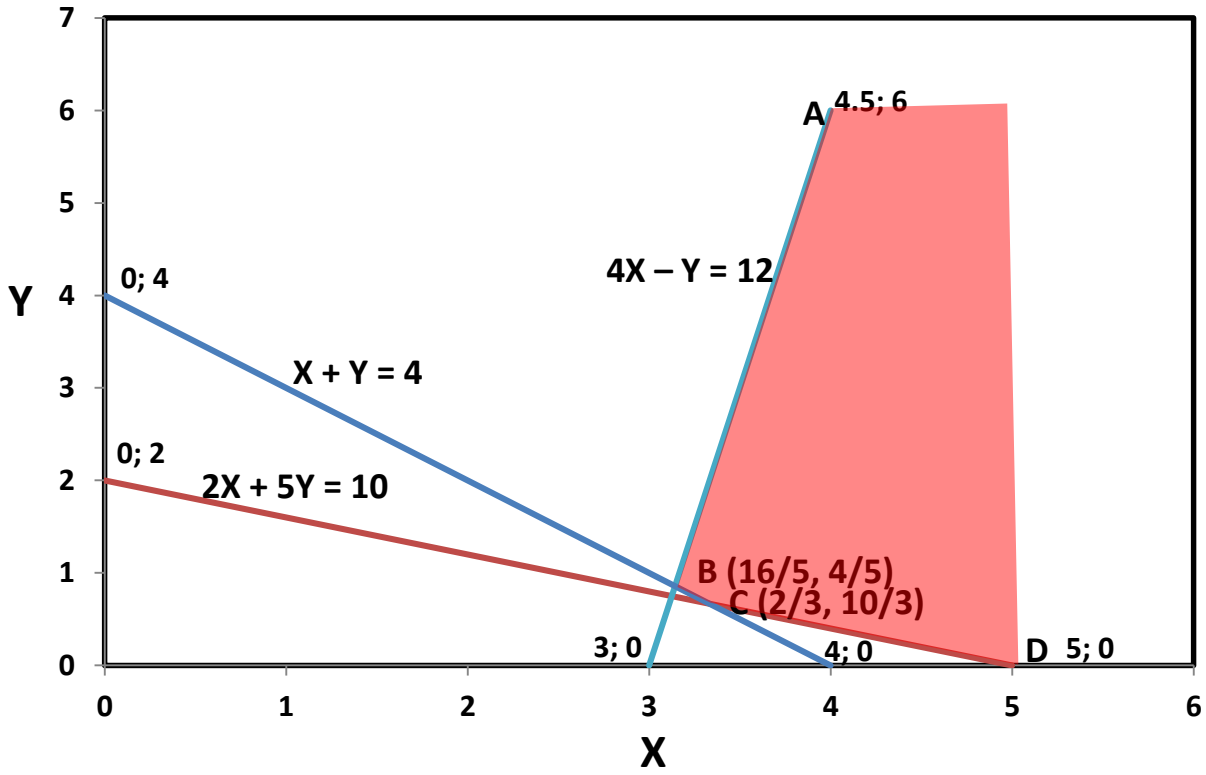
2- Determine two points for each straight :

| Straight (1) | |
|---|---|
| 2X + 5Y = 10 | |
| X | Y |
| 0 | 2 |
| 5 | 0 |

| Straight (2) | |
|---|---|
| 4X – Y = 12 | |
| X | Y |
| 0 | -12 |
| 3 | 0 |

| Straight (3) | |
|---|---|
| X + Y = 4 | |
| X | Y |
| 0 | 4 |
| 4 | 0 |

3- Draw the all straights




4- Lines intersections Points

The intersection of straight 2 (X+Y=4) and the straight 3 (4X-Y=12) is point B(16/5,4/5)
The intersection of straight 1 (2X+5Y=10) and the straight 2 (X+Y=4) is point C(2/3,10/3)

5- The solution is the shaded area (A B C) shaded and the objective function is tested at these Extreme points, (A, B, C)

| Point | X | Y | Z = 5X + 2Y |
|---|---|---|---|
| B | 16/5 | 4/5 | 17.6 |
| C | 2/3 | 10/3 | 10 |
| D | 5 | 0 | 25 |

Lowest Z Value at the point C (2/3,10/3), must produce to achieve a Min. cost of $ 10

# Linear Programming by The Simplex Method

**الطريقة المبسطة-Simplex method** : هي أجراء جبري يعتمد على جبر المصفوفات وهي أسلوب رياضي معقد مقارنة بالطريقة البيانية ، والنقطة الجوهرية في هذا الأسلوب هو قدرته لحل المشاكل بشكل دقيق من جانب وعلى التعامل مع أكثر من متغيرين من جانب أخر. وتنطوي دالة الهدف في هذا الأسلوب شأنه كبقية أساليب البرمجة الخطية أما على تعظيم الدالة (تعظيم الربح) أو تقليل الدالة (تخفيض التكاليف) .

**مثال 1 :** مشكله تعظيم $\text{Max} : Z = 30X_1 + 18X_2$

S.t. : $X_1 + 2X_2 \leq 200$

$3X_1 + 2X_2 \leq 300$

$X_1 \leq 150$

شرط عدم السلبية $X_1 , X_2 \geq 0$

الحل :-

1- نحول قيود المشكلة من الصيغة العامة إلى الصيغة القياسية : ولان القيود جميعها من نوع اصغر من أو يساوي ،لذا فان عملية التحويل تتطلب إضافة متغير راكد (slack variable) والذي سيرمز له بـ ($S_i$) وكما يأتي:-

$X_1 + 2X_2 + S_1 = 200$

$3X_1 + 2X_2 + S_2 = 300$

$X_1 + S_3 = 150$

شرط عدم السلبية $X_1, X_2, S_1, S_2, S_3 \geq 0$

2- تضاف المتغيرات الراكدة ($S_i$) إلى معادلة دالة الهدف بمعاملات صفرية وكما يأتي:-

$\text{Max} : Z = 30X_1 + 18X_2 + 0S_1 + 0S_2 + 0S_3$

3- نحول دالة الهدف إلى دالة صفرية عن طريق نقل كافة المتغيرات من الطرف الأيمن إلى الطرف الأيسر من المعادلة ،لتصبح كما يأتي:-

$\text{Max} : Z - 30X_1 - 18X_2 - 0S_1 - 0S_2 - 0S_3 = 0$

4- نقوم بإعداد جدول الحل الابتدائي والذي سيضم المتغيرات الأساسية وغير الأساسية في معادلة دالة الهدف.

5- أعداد جدول الحل الابتدائي

| Basic Variable | Non - Basic Variable | | | | | الثوابت R.H.S | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | | |
| Z | -30 | -18 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| $S_1$ | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 200 | 200 |
| $S_2$ | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 300 | 100 |
| $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 150 | 150 |

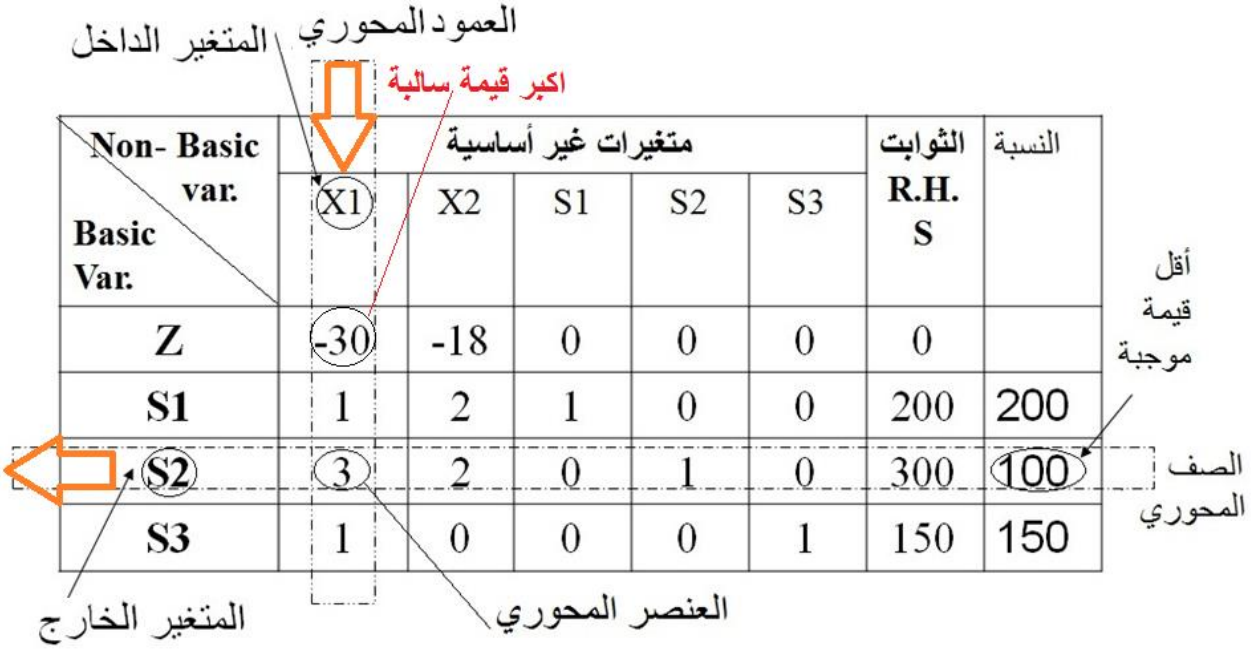
6- اختيار المتغير الداخل والمتغير الخارج

- اختيار المتغير الداخل وهو المتغير الذي يمثل اكبر قيمة بإشارة سالبة في صف Z ومن الجدول أعلاه يكون $X_1$ هو المتغير الداخل لان قيمته( 30- ) ويطلق على العمود الذي يضم المتغير الداخل (عمود المحور Pivot column).

- اختيار المتغير الخارج وهو المتغير الذي يمثل اقل قيمة موجبة من حاصل قسمة قيم R.H.S على قيم عمود المحور ،و تهمل أية قيمة سالبة أو صفرية أو غير محددة (∞).ويطلق على الصف الذي يضم المتغير الخارج (صف المحور Pivot row). أما حاصل قسمة قيم R.H.S على قيم عمود المحور فهي كالآتي :

200/1=200
300/3=100
150/1=150

أذن المتغير $S_2$ هو المتغير الخارج لأنه يمثل اقل قيمة موجبة (100)




| Non- Basic var. / Basic Var. | متغيرات غير أساسية X1 | X2 | S1 | S2 | S3 | الثوابت R.H.S | النسبة |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Z | -30 | -18 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| S1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 200 | 200 |
| S2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 300 | 100 |
| S3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 150 | 150 |

| Iteration | الملاحظات | Basic Var. | متغيرات غير أساسية Non- Basic var. $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | الثوابت R.H.S | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Z | -30 | -18 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | $S_1$ | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 200 | 200/1=200 |
| | | $S_2$ | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 300 | 300/3=100 |
| | | $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 150 | 150/1=150 |
| 2 | $Z=Last\ Z+(30X_1)$ | Z | 0 | 2 | 0 | 10 | 0 | 3000 | |
| | $S_1=Last\ S_1+(-1X_1)$ | $S_1$ | 0 | 4/3 | 1 | -1/3 | 0 | 100 | |
| | Replace $S_2$ by $X_1=S_2/3$ | $X_1$ | 1 | 2/3 | 0 | 1/3 | 0 | 100 | |
| | $S_3=Last\ S_3+(-1X_1)$ | $S_3$ | 0 | -2/3 | 0 | -1/3 | 1 | 50 | |

7- أيجاد قيم المتغير الداخل $X_1$ وذلك عن طريق قسمة كل قيمة في صف المحور على العنصر المحوري. العنصر المحوري (Pivot variable) هو نقطة تقاطع عمود المحور مع صف المحور، وهو(3). تكتب القيم الجديدة أعلاه في جدول الحل الجديد

8- لإيجاد قيمة Z الجديدة ، نضرب القيمة المقابلة لـ Z في عمود المحور وهي (30-) × قيم المتغير الداخل الجديدة ثم نطرح القيم أعلاه من قيم معاملات Z القديمة في جدول الحل الابتدائي وكما يأتي:

9- لإيجاد قيمة S1الجديدة نقوم بنفس الخطوات أعلاه أي ضرب العنصر المقابل للمتغير $S_1$ في عمود المحور × قيم المتغير الداخل الجديدة ثم نطرح الناتج من قيم المتغير $S_1$ القديمة:

10- لإيجاد قيمة $S_3$ الجديدة نقوم بنفس الخطوات أعلاه أي ضرب العنصر المقابل للمتغير $S_3$ في عمود المحور × قيم المتغير الداخل الجديدة ثم نطرح الناتج من قيم المتغير $S_3$ القديمة:

11- بعد استكمال الجدول يتم التأكد من أذا ما كان الجدول يمثل جدول الحل الأمثل وذلك من خلال ملاحظة القيم في صف Z ،ولان دالة الهدف من نوع تعظيم ،نصل للحل الأمثل عندما تكون جميع القيم في صف Z موجبة او صفرية.

12- لذا الجدول الثاني يمثل جدول الحل الأمثل لان جميع القيم في صف Z موجبة أو صفرية.

13- هذا يعني أن الحل الأمثل هو في أنتاج 100 وحدة من النوع الأول ($X_1$=100) لنتمكن من تحقيق ربح مقداره 3000 (Z=3000).

**مثال 2 :**

تنتج شركة صناعية سلعتين هما X2 , X1 هذه الأقسام محدودة خلال قسمين للإنتاج أحدهما للتصنيع والآخر للتجميع . الطاقة الإنتاجية المتاحة شهريا في قسم التصنيع هي 720 ساعة بينما في قسم التجميع هي 570 ساعة. تحقق الشركة هامش ربح قدره 12 دولار من بيع كل وحدة من السلعة X1 .ومبلغ عشرة دولار من بيع كل وحدة من السلعة X2 .الاحتياجات الفنية من الساعات الإنتاجية للوحدة من كل سلعة في الأقسام المختلفة وملخص لبيانات المشكلة تظهر في الجدول التالي. ترغب الشركة في تصميم برنامج إنتاجي يسمح بتعظيم الأرباح وفي نفس الوقت لا يحتاج إلى موارد أكثر من المتاحة حاليا أي مطلوب وضع برنامج إنتاج أمثل.

| الأقسام الإنتاجية | المنتجات | | الطاقة القصوى بالساعات |
|---|---|---|---|
| | $X_1$ | $X_2$ | |
| تصنيع | 4 | 3 | 720 |
| تجميع | 2 | 3 | 570 |
| هامش الربح للوحدة (دولار) | 12 | 10 | Z |

1- وضع البيانات الفنية في شكل متباينات( :النموذج)

$$\text{Max } Z = 12X_1 + 10X_2$$
$$\text{ST: } 4X_1 + 3X_2 \leq 720$$
$$2X_1 + 3X_2 \leq 570$$
$$X_1, X_2 \geq 0$$

2- تحويل المتباينات إلى معادلات

$$\text{Max } Z = 12X_1 + 10X_2 \rightarrow Z = 12X_1 + 10X_2 + 0S_1 + 0S_2$$
$$Z - 12X_1 - 10X_2 - 0S_1 - 0S_2 = 0$$
$$\text{ST: } 4X_1 + 3X_2 \leq 720 \rightarrow 4X_1 + 3X_2 + S_1 = 720$$
$$2X_1 + 3X_2 \leq 570 \rightarrow 2X_1 + 3X_2 + S_2 = 570$$

| | الملاحظات | | $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | RHS | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Z | -12 | -10 | 0 | 0 | 0 | |
| | | $S_1$ | 4 | 3 | 1 | 0 | 720 | 720/4=180 |
| | | $S_2$ | 2 | 3 | 0 | 1 | 570 | 570/2=285 |
| 2 | $Z=Last\ Z+(12X_1)$ | Z | 0 | -1 | 3 | 0 | 2160 | |
| | Replace $S_1$ by $X_1=S_1/4$ | $X_1$ | 1 | 3/4 | 1/4 | 0 | 180 | 180/(3/4)=24 |
| | $S_2=Last\ S_2+(-2X_2)$ | $S_2$ | 0 | 3/2 | -1/2 | 1 | 210 | 210/(3/2)=14 |
| 3 | $Z=Last\ Z+(1X_2)$ | Z | 0 | 0 | 8/3 | 2/3 | 2300 | |
| | $X_1=Last\ X_1+(-3/4X_2)$ | $X_1$ | 1 | 0 | 1/2 | -1/2 | 75 | |
| | Replace $S_2$ by $X_2=S_2/(2/3)$ | $X_2$ | 0 | 1 | -1/3 | 2/3 | 140 | |

Optimum $X_1 = 75$ and $X_2 = 140$ , Max. Profit = $2300 USD

$$Z = 12\ X_1 + 10X_2 = 12\ (75) + 10\ (140) = 2300$$

Example 3: Max. $Z = 3X_1 + 5X_2$

Subject to $X_1 \leq 4$

$2X_2 \leq 12$

$3X_1 + 2X_2 \leq 18$

$X_1, X_2 \geq 0$

Initial System of Equations

$Z - 3X_1 - 5X_2 - 0S_1 - 0S_2 - 0S_3 = 0$

$X_1 + S_1 = 4$

$2X_2 + S_2 = 12$

$3X_1 + 2X_2 + S_3 = 18$

| | الملاحظات | Basic Var. | متغيرات غير أساسية Non- Basic var. | | | | | الثوابت R.H.S | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | | |
| 1 | | Z | -3 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| | | S1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | - |
| | | S2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 12 | 12/2=6 |
| | | S3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 18 | 18/2=9 |
| 2 | Z=Last Z+(3$X_2$) | Z | -3 | 0 | 0 | 5/2 | 0 | 30 | - |
| | $S_1$=Last $S_1$+(0$X_2$) | $S_1$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 4/1=4 |
| | Replace $S_2$ by $X_2$=$S_2$/2 | $X_2$ | 0 | 1 | 0 | 1/2 | 0 | 6 | - |
| | $S_3$=Last $S_3$+(-2$X_2$) | $S_3$ | 3 | 0 | 0 | -1 | 1 | 6 | 6/3=2 |
| 3 | Z=Last Z+(3$X_1$) | Z | 0 | 0 | 0 | 3/2 | 1 | 36 | |
| | $S_1$=Last $S_1$+(-1$X_1$) | $S_1$ | 0 | 0 | 1 | 1/3 | -1/3 | 2 | |
| | $X_2$=Last $X_2$+(0$X_1$) | $X_2$ | 0 | 1 | 0 | 1/2 | 0 | 6 | |
| | Replace $S_3$ by $X_1$=$S_3$/3 | $X_1$ | 1 | 0 | 0 | -1/3 | 1/3 | 2 | |

Optimum $X_1$=2 and $X_2$=6 , Max. Profit = \$36 USD, $Z=3X_1+5X_2=3(2)+5(6)=36$

## حل امثلة الطريقة البيانية بطريقة Simplex

**مثال (1) في حالة وجود قيدين:**

اوجد الحل الأمثل لنموذج البرمجة الخطية التالي:

$$\text{MAX } Z = 7X_1 + 5X_2$$
$$\text{SUBJECT TO: } 4X_1 + 3X_2 \leq 240$$
$$2X_1 + X_2 \leq 100$$
$$X_1 , X_2 \geq 0$$

| | Note | Var. | $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | RHS | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Z | -7 | -5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | $S_1$ | 4 | 3 | 1 | 0 | 240 | 240/4=60 |
| | | $S_2$ | 2 | 1 | 0 | 1 | 100 | 100/2=50 |
| 2 | Z=Last Z+(7$X_1$) | Z | 0 | -1.5 | 0 | 3.5 | 350 | 350/(-1.5)=-233.33 |
| | $S_1$=Last $S_1$+(-4$X_1$) | $S_1$ | 0 | 1 | 1 | -2 | 40 | 40/1=40 |
| | Replace $S_2$ by $X_1$=$S_2$/2 | $X_1$ | 1 | 0.5 | 0 | 0.5 | 50 | 50/0.5=100 |
| 3 | Z=Last Z+(1.5$X_2$) | Z | 0 | 0 | 1.5 | 0.5 | 410 | |
| | Replace $S_1$ by $X_2$=$S_1$/1 | $X_2$ | 0 | 1 | 1 | -2 | 40 | |
| | $X_1$=Last $X_1$+(-0.5$X_2$) | $X_1$ | 1 | 0 | -0.5 | 1.5 | 30 | |

**مثال (2) في حالة وجود ثلاث قيود:**

اوجد الحل الامثل لنموذج البرمجة الخطية التالية:

$$MAX\ Z = X_1 + 2\ X_2$$
$$SUBJECT\ TO: \quad X_1 + X_2 \leq 20$$
$$2X_1 + X_2 \leq 30$$
$$X_1 \leq 25$$
$$X_1\ ,\ X_2 \geq 0$$

| | | | $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | RHS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Z | -1 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | $S_1$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 20 | 20/1=20 |
| | | $S_2$ | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 30 | 30/1=30 |
| | | $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 25 | 25/0=∞ |
| | $Z=Last\ Z+(2X_2)$ | Z | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 40 | |
| | Replace $S_1$ by $X_2=S_1/1$ | $X_2$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 20 | |
| | $S_2=Last\ S_2+(-1X_2)$ | $S_2$ | 1 | 0 | -1 | 1 | 0 | 10 | |
| | $S_3=Last\ S_3+(0X_1)$ | $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 25 | |

**مثال 3 : في حالة وجود أربع قيود**

اوجد الحل الأمثل لنموذج البرمجة الخطية التالية:

$$MAX\ Z = 12\ X_1 + 14\ X_2$$
$$SUBJECT\ TO: \quad 2\ X_1 + 3\ X_2 \leq 24$$
$$2\ X_1 + X_2 \leq 16$$
$$X_1 \leq 7$$
$$X_2 \leq 6$$
$$X_1\ ,\ X_2 \geq 0$$

| | Note | | $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | RHS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Z | -12 | -14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0/(-14)=0 |
| | | $S_1$ | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 24 | 24/3=8 |
| | | $S_2$ | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16 | 16/1=16 |
| | | $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 7/0=∞ |
| | | $S_4$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 6/1=6 |
| 2 | $Z=Last\ Z+(14X_2)$ | Z | -12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 84 | 84/(-120=-7 |
| | $S_1=Last\ S_1+(-3X_2)$ | $S_1$ | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | -3 | 6 | 6/2=3 |
| | $S_2=Last\ S_2+(-1X_2)$ | $S_2$ | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | 10 | 10/2=5 |
| | $S_3=Last\ S_3+(0X_2)$ | $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 7/1=7 |
| | Replace $S_4$ by $X_2=S_4/1$ | $X_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 6/0=∞ |
| 3 | $Z=Last\ Z+(12X_1)$ | Z | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | -4 | 120 | 120/(-4)=-30 |
| | Replace $S_1$ by $X_1=S_1/2$ | $X_1$ | 1 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | -1.5 | 3 | 3/(-1.5)=-2 |
| | $S_2=Last\ S_2+(-2X_1)$ | $S_2$ | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 4/2=2 |
| | $S_3=Last\ S_3+(-1X_2)$ | $S_3$ | 0 | 0 | -0.5 | 0 | 1 | 1.5 | 4 | 4/1.5=2.67 |
| | $X_2=Last\ X_2+(0X_1)$ | $X_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 6/1=6 |
| 4 | $Z=Last\ Z+(4S_4)$ | Z | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 128 | |
| | $X_1=Last\ X_1+(1.5S_4)$ | $X_1$ | 1 | 0 | -0.25 | 0.75 | 0 | 0 | 6 | |
| | Replace $S_2$ by $S_4=S_2/2$ | $S_4$ | 0 | 0 | -0.5 | 0.5 | 0 | 1 | 2 | |
| | $S_3=Last\ S_3+(-1.5S_4)$ | $S_3$ | 0 | 0 | 0.25 | -0.75 | 1 | 0 | 1 | |
| | $X_2=Last\ X_2+(-1S_4)$ | $X_2$ | 0 | 1 | 0.5 | -0.5 | 0 | 0 | 4 | |

| | Note | | $X_1$ | $X_2$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | RHS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Z | -12 | -14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0/(-14)=0 |
| | | $S_1$ | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 24 | 24/3=8 |
| | | $S_2$ | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16 | 16/1=16 |
| | | $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 7/0=∞ |
| | | $X_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 6/1=6 |
| 2 | $Z=Last\ Z+(14X_2)$ | Z | -12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 84 | 84/(-120=-7 |
| | $S_1=Last\ S_1+(-3X_2)$ | $S_1$ | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | -3 | 6 | 6/2=3 |
| | $S_2=Last\ S_2+(-1X_2)$ | $S_2$ | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | 10 | 10/2=5 |
| | $S_3=Last\ S_3+(0X_2)$ | $S_3$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 7/1=7 |
| | Replace $S_4$ by $X_2=S_4/1$ | $X_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 6/0=∞ |
| 3 | $Z=Last\ Z+(12X_1)$ | Z | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | -4 | 120 | 120/(-4)=-30 |
| | Replace $S_1$ by $X_1=S_1/2$ | $X_1$ | 1 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | -1.5 | 3 | 3/(-1.5)=-2 |
| | $S_2=Last\ S_2+(-2X_1)$ | $S_2$ | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 4/2=2 |
| | $S_3=Last\ S_3+(-1X_2)$ | $S_3$ | 0 | 0 | -0.5 | 0 | 1 | 1.5 | 4 | 4/1.5=2.67 |
| | $X_2=Last\ X_2+(0X_1)$ | $X_2$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 6/1=6 |
| 4 | $Z=Last\ Z+(4S_4)$ | Z | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 128 | |
| | $X_1=Last\ X_1+(1.5S_4)$ | $X_1$ | 1 | 0 | -0.25 | 0.75 | 0 | 0 | 6 | |
| | Replace $S_2$ by $S_4=S_2/2$ | $S_4$ | 0 | 0 | -0.5 | 0.5 | 0 | 1 | 2 | |
| | $S_3=Last\ S_3+(-1.5S_4)$ | $S_3$ | 0 | 0 | 0.25 | -0.75 | 1 | 0 | 1 | |
| | $X_2=Last\ X_2+(-1S_4)$ | $X_2$ | 0 | 1 | 0.5 | -0.5 | 0 | 0 | 4 | |

Planning for Risk Management

Risk in project management, unlike the common definition of the word, can be both negative (threats) and positive (opportunities). The objective of Project Risk Management is to *decrease* the likelihood and impact of negative events, while *increasing* the likelihood and impact of positive ones.

The Process of Planning for Risk

1. Identify Risks

**Identify Risks** is the process of determining individual risks as well as sources of overall project risk, and documenting their characteristics. All project personnel should be encouraged to identify potential risks.

**Information gathering techniques**

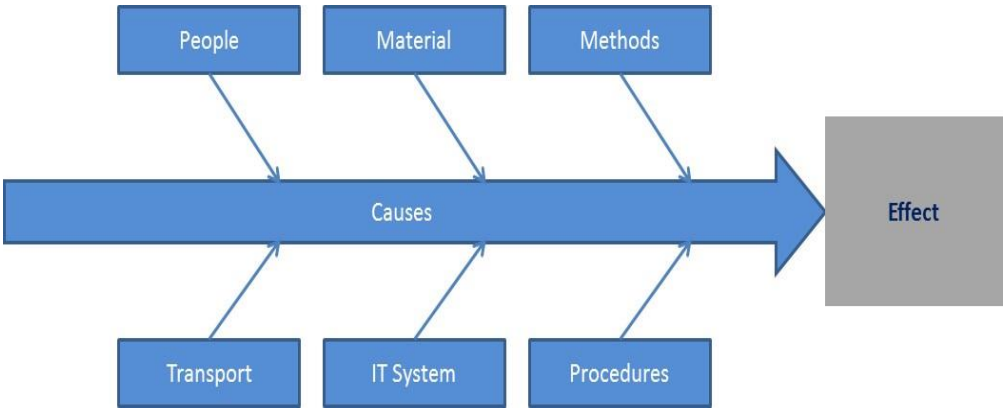
| **Brainstorming** | **Delphi Technique*** |
|---|---|
| With the goal of obtaining a comprehensive list of risks, brainstorming may either be conducted free-form or using a mass interviewing technique such as the Nominal Group Technique | A method designed to reach consensus, the Delphi technique requires experts to answer a distributed questionnaire anonymously. Summarized responses are re-circulated to obtain consensus. The Delphi technique reduces bias and undue influence |

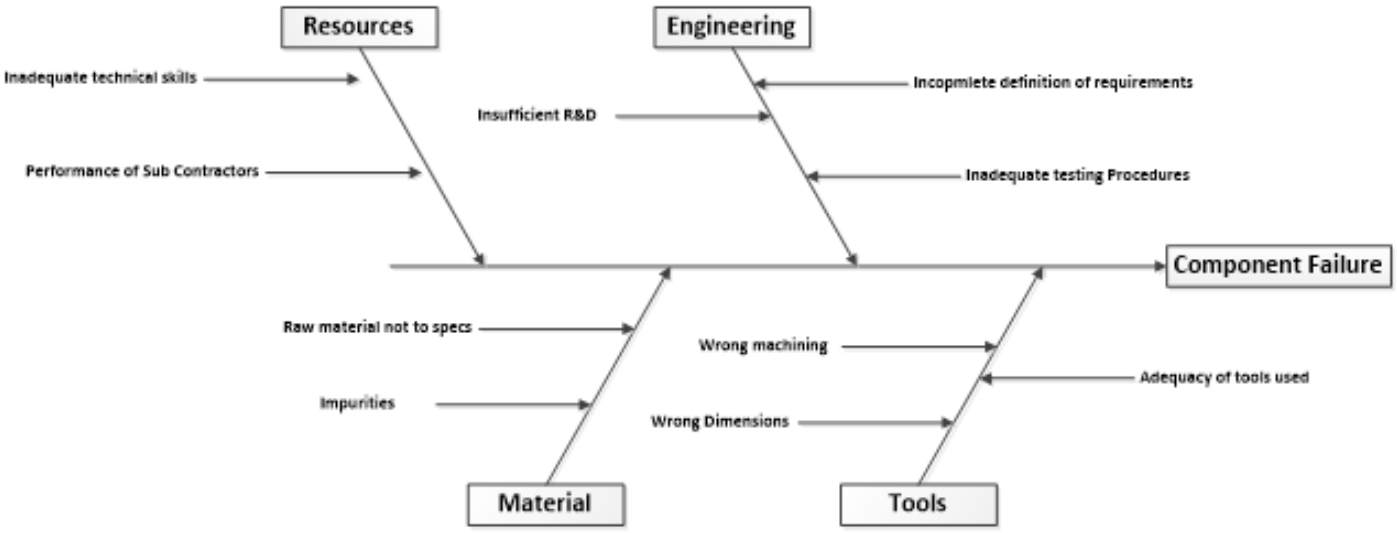
* Was in earlier PMBOKs

Interviews and Checklists are also information gathering techniques

Data Analysis – Root Cause Analysis

**An Ishikawa, Fishbone or Cause and Effect diagram**




Outputs Identify Risks

**Risk Register** - a document where results of risk analysis and risk response planning are recorded:

- ✓ List of identified risks
  - "EVENT" may occur causing "IMPACT"
  - If "CAUSE" exists, "EVENT" may occur leading to "EFFECT"
- ✓ Potential risk owners
- ✓ List of potential responses

**Example Project Risk Register**

| Risk ID | Cause | Risk | Impact If It Occurs |
|---|---|---|---|
| 1 | Bureaucracy in the Owner's organization have usually resulted in long approval processes as well as they feel that the personnel involved in the approval process are incompetent | Owner's delaying the approval of suppliers | Delay in placing orders, delay in project supplies, and slippage in the project schedule and may be incurring liquidated damages for the delay |
| **2** | Absence of electricity transformer | electricity power is not stable | Delay in testing and commissioning of HVAC equipments and other equipments which will delay project completion date |
| **3** | Bureaucracy in Archaeologists Heritage Authority (AHA) have usually resulted in long approval processes as well as they feel that the personnel involved in the approval process are incompetent | Delayed approvals in issuing site permits | Delay in construction start date which will result in delaying project completion |

A Risk Breakdown Structure (RBS) is a list of risks by category and Subcategory such as:

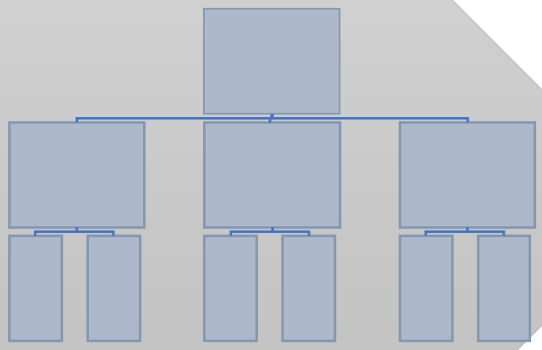
- Project Management Risk
- Technical Risk
- External Risk
- Internal Risk
- Organizational Risk

Etc.

A Risk Breakdown Structure (RBS) is a list of risks by category and Subcategory such as:

- Project Management Risk
- Technical Risk
- External Risk
- Internal Risk
- Organizational Risk

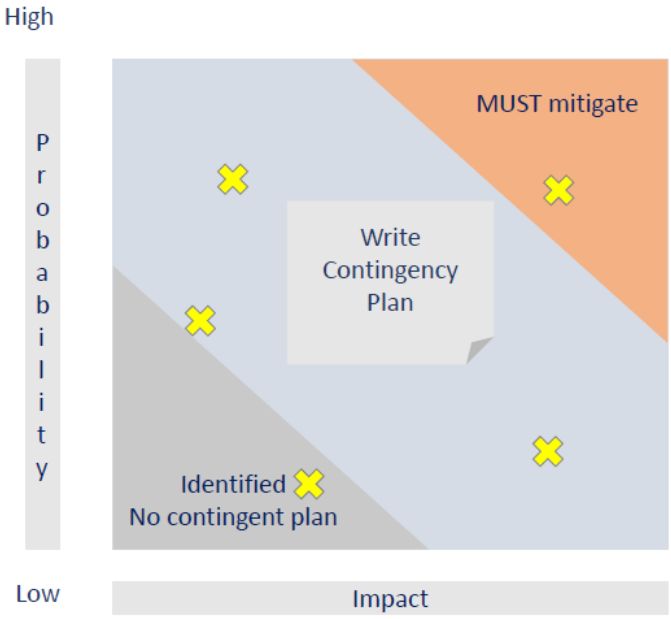
Etc.



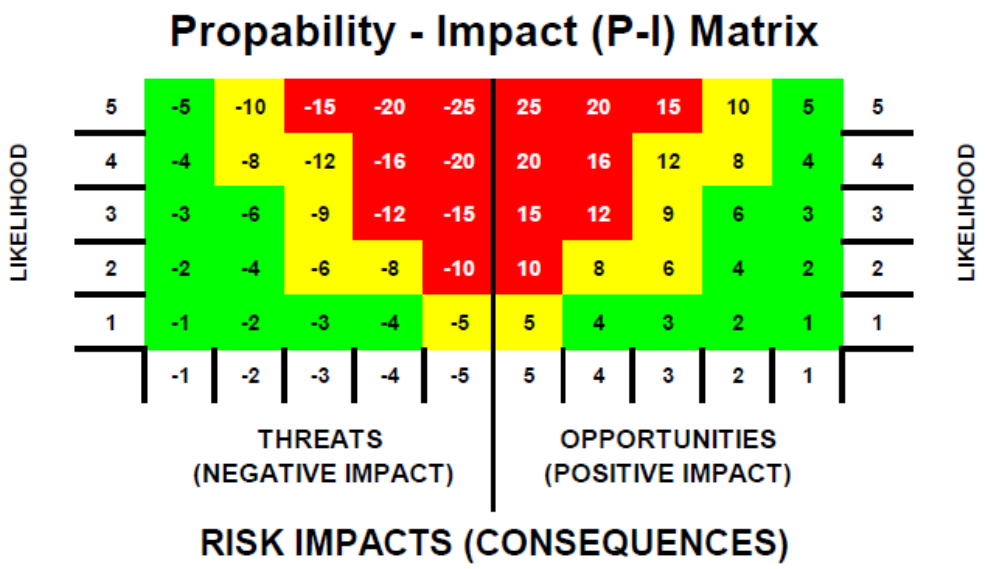
2. Perform Qualitative Risk Analysis

**Perform Qualitative Risk Analysis** is the process of prioritizing individual project risks for further analysis or action by assessing their probability of occurrence and impact as well as other characteristics. This allows the team to focus on the high-priority risks

Data Representation - Probability and Impact Matrix



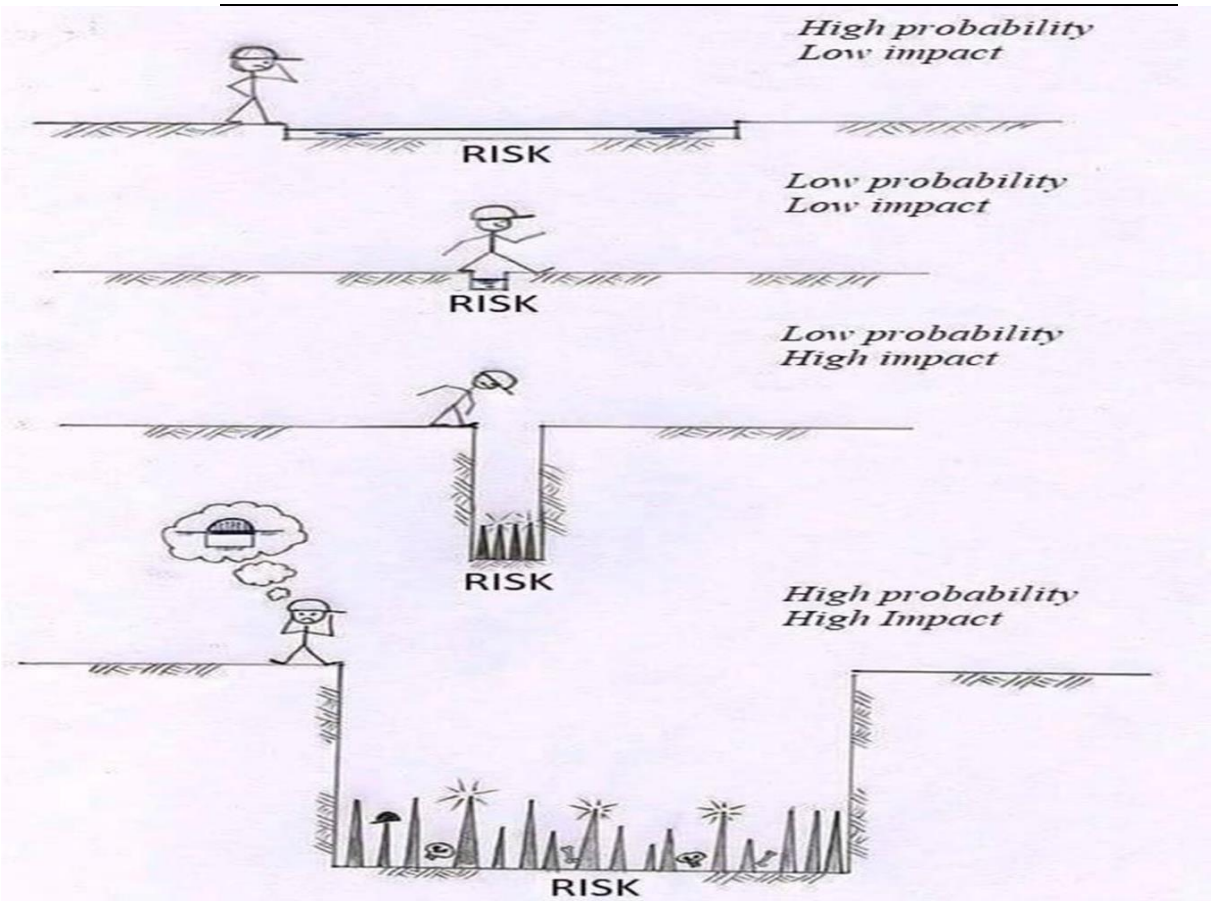
Probability-Impact Matrix




Data Representation -Probability and Impact Matrix

| Probability | Threats | | | Opportunities | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.90 | 0.01 | 0.18 | 0.36 | 0.36 | 0.18 | 0.01 |
| 0.70 | 0.07 | 0.14 | 0.28 | 0.28 | 0.14 | 0.07 |
| 0.50 | 0.05 | 0.1 | 0.20 | 0.20 | 0.1 | 0.05 |
| 0.30 | 0.03 | 0.06 | 0.12 | 0.12 | 0.06 | 0.03 |
| 0.10 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |
| | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.1 |

Impact (ratio scale) on an objective


High probability
Low impact
RISK
Low probability
Low impact
RISK
Low probability
High impact
RISK
High probability
High Impact
RISK

Risk Register

| Risk ID | Risk Description | | | Likelihood | Impact | Risk Exposure |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cause | Risk | Impact | | | |
| **1** | Bureaucracy in the Owner's organization have usually resulted in long approval processes as well as they feel that the personnel involved in the approval process are incompetent | Owner's delaying the approval of suppliers | Delay in placing orders, delay in project supplies, and slippage in the project schedule and may be incurring liquidated damages for the delay | 3 | 4 | 12 |
| **2** | Absence of electricity transformer | electricity power is not stable | Delay in testing and commissioning of HVAC equipments and other equipments which will delay project completion date | 2 | 4 | 8 |
| **3** | Bureaucracy in Archaeologists Heritage Authority (AHA) have usually resulted in long approval processes as well as they feel that the personnel involved in the approval process are incompetent | Delayed approvals in issuing site permits | Delay in construction start date which will result in delaying project completion | 3 | 4 | 12 |
| **4** | Absence of sewerage network | Waste water cannot be disposed | The Hotel cannot become operational | 4 | 5 | 20 |

Outputs of Perform Qualitative Risk Analysis

- Risk register Updates

3- Perform Quantitative Risk Analysis

**Perform Quantitative Risk Analysis** is the process of numerically analyzing the combined effect of identified individual risks and other sources of uncertainty on overall project objectives. Perform quantitative analysis is used on risks that have been prioritized by qualitative analysis as substantially impacting project objectives. During this step, project managers can calculate the following:

1. Expected Monetary Value for each risk
2. Contingency Reserve for the project

**Expected Monetary Value (EMV) and Contingency Reserve**

**Expected Monetary Value (EMV) = Probability * Impact**

**Contingency Reserve = ΣEVM**

Example 1: The following are four risks with probabilities and impact for a small construction project. Determine the EMV for each risk and the project contingency reserve:

| Risk | Probability | Impact (USD) |
|---|---|---|
| 1 | 10% | -4,000 |
| 2 | 30% | -1,000 |
| 3 | 25% | 2,000 |
| 4 | 60% | -1,500 |

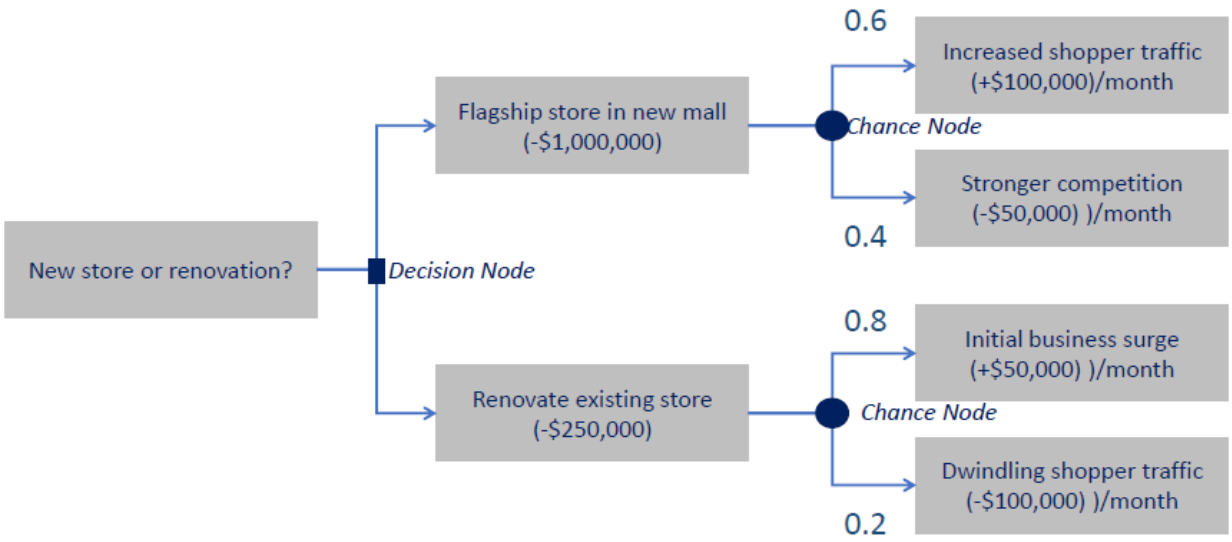
Solution

| Risk | Probability | Impact (USD) | EMV (Probability * Impact) |
|---|---|---|---|
| 1 | 10% | -4,000 | -400 |
| 2 | 30% | -1,000 | -300 |
| 3 | 25% | 2,000 | 500 |
| 4 | 60% | -1,500 | -900 |
| | | **-4,500** | **-1,100** |

**Decision tree analysis**

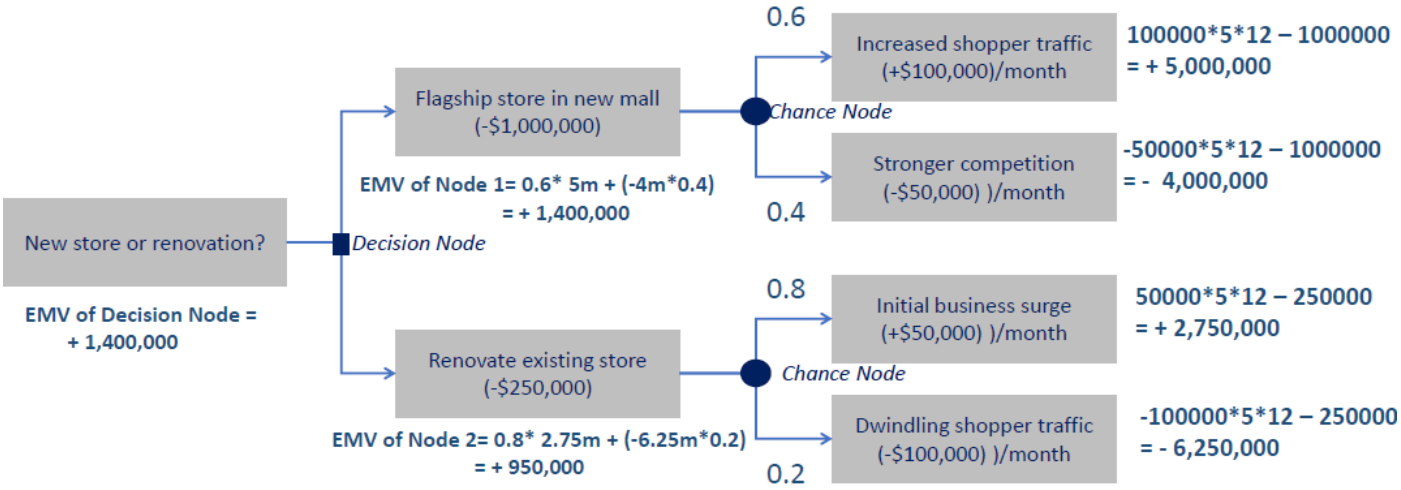
**A Decision Tree:** is a common use of EMV analysis

Example 2: determine the best decision to take for the following decision tree assumptions. Assume 5 years of return on investment




**Solution**

Assumed 5 years of return on investment




Example 3: You are planning modifications to a product line. Below is a complete assessment of risks on the project:

- 30% probability that parts will be delayed, costing $50,000
- 20% chance that parts will be $10,000 less expensive
- 25% chance that parts will have an interference fit, resulting in a rework cost of $3,500
- 30% chance that production will be simpler, saving $2,500
- 5% probability that design faults will cause $10,000 in rework
- Determine:
    - EMV for each risk
    - Project Contingency reserve

**Solution**

| Risk | Probability % | Impact | Expected Monetary Value |
|---|---|---|---|
| Parts will be delayed | 30% | -$50,000 | -$15,000 |
| Parts Cost Change | 20% | $10,000 | 2000 |
| parts will have an interference fit | 25% | -$3,500 | -$875 |
| production will be simpler | 30% | $2,500 | $750 |
| design faults will cause in rework | 5% | -$10,000 | -$500 |
| | | Contingency reserve | -$13,625 |

Example 4:

A construction project will have an Base cost of $1,250,000. There is a 10 percent chance that the costs will increase by 10 percent. There is a 20 percent chance that the building foundation will win the "Foundation of the Year" award and its $50,000 prize. There is a 5 percent chance that an accident will add $125,000 to the cost.

**Calculate the following:**

a. calculate the contingency reserve

b. What is the expected value of the project?

c. What is the best case scenario and its value?

d. What is the worst case scenario and its value?

**Solution**

**Base cost = - $1,250,000**

| Risk | Probability | Impact | EMV |
|---|---|---|---|
| The costs will increase | 10% | =10%*1250000 = $125,000 | - $12,500 |
| Wining the "Foundation of the Year" award | 20% | $50,000 | + $10,000 |
| Accident will happen | 5% | $125,000 | - $6,250 |
| a) Contingency Reserve | | | -$8,750 |
| b) Expected value of the project (i.e. Base cost + contingency Reserve) | = - 1250000 - 8750 = | | - $1,258,750 |
| c) Best case scenario and its value (i.e. Only good things happen) | = - 1250000+10000 = | | - $1,240,000 |
| d) Best worst case scenario and its value (i.e. Only bad things happen) | = -1250000-12500-6250 = | | - $1,268,750 |

Outputs Perform Quantitative Risk Analysis

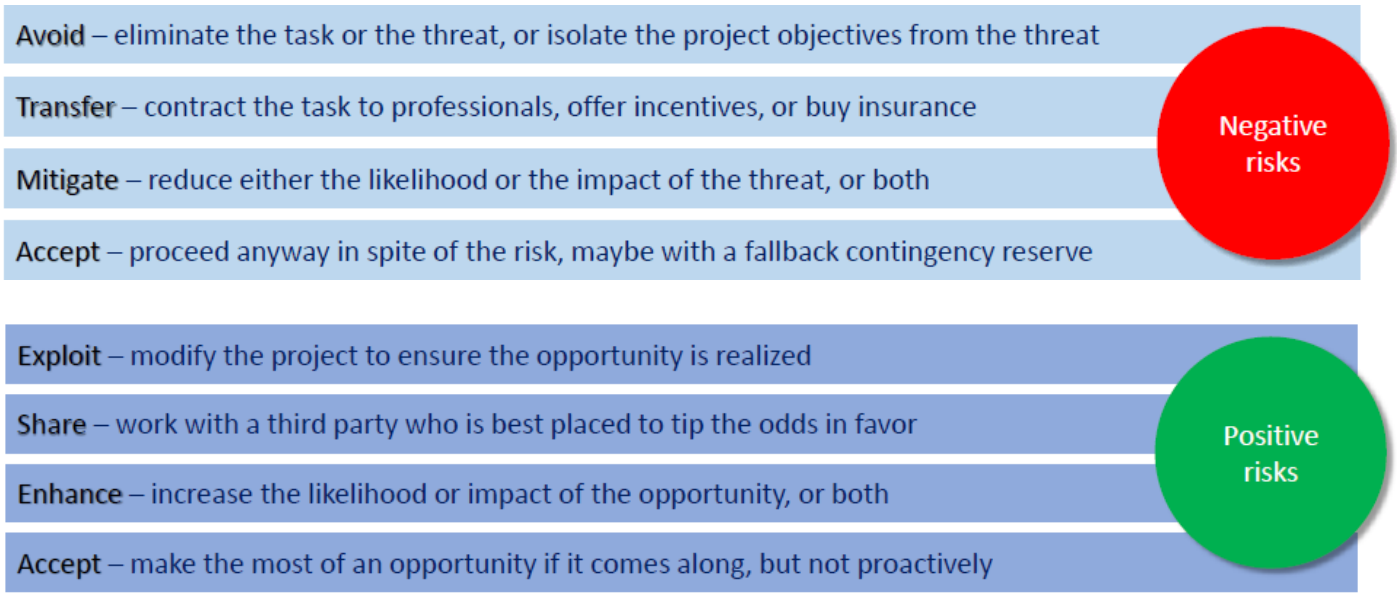
The primary document updated in the process is the **Risk Report**, which will include:

- Assessment of overall project risk exposure
- Detailed probabilistic analysis of the project
- Prioritized list of individual project risks
- Recommended risk responses

3. Plan Risk Responses

**Plan Risk Responses** is the process of developing options, selecting strategies, and agreeing on actions to address overall project risk exposure, as well as to treat individual project risks

Risk strategies




## 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.