3

الفصل الثالث

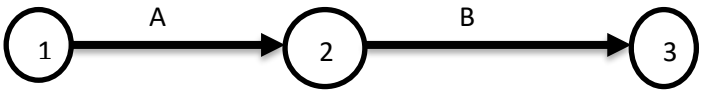
التحليل الشبكي

تمهيـــــــد

يعد أسـلوب التخطيط (التحليل) الشـبكي أسـلوبا علميا متطورا في تخطيط المشـروعات وتنظيمها على شكل شبكة تعكس التسلسل الزمني والمنطقي لتنفيذ عمليات المشروع و أنشطته، وسنحاول من خل هذه المحاضرة التطرق الى التحليل الشبكي وكيفية استخدامه في إدارة المشاريع.

I. تعاريف هامة في التحليل الشبكي

1. المشروع: هو عبارة عن منتج وحيد ومستقل يتطلب انتاجه القيام بمجموعة من النشاطات الجزئية المستقلة، والتي تكمل بعضها البعض، بحيث يسهل التنبؤ بالمدة الزمنية لأنها كل واحدة منها.
2. النشاط: هو مجموعة من المهام يتطلب اداؤها جملة من الموارد المادية والبشرية؛
3. الحدث: هو لحظة بداية ونهاية أي نشاط من الأنشطة
4. النشاطات السابقة: وهي مجموعة النشاطات التي تسبق النشاط الحالي؛
5. النشاطات اللاحقة: وهي النشاطات التي تلي النشاط الحالي أي تنطلق عند نهايته؛
6. النشـاط الوهمي: هو نشـاط غير موجود على ارض الو اقع و انما يتم اللجوء اليه من اجل الربط بين مجموعة من الأنشطة المستقلة فيما بينها، والتي تشكل أنشطة سابقة لنشاط معين (لايوجد له زمن ولا تكلفة)؛
7. النشـاط على السـهم (AOA): في الغالب يتم تمثيل شـبكة الاعمال وفق شـكلين مختلفين، الأول يسمى النشـاط على السـهم وفيه يتم تمثيل الأنشـطة فوق أسـهم تجمع بين دائرتين، تتضـمن كـل دائرة منهـا بداخلها على حدث، مثل:



ويتضح من المثال السابق ان الحدث 1 يمثل حدث البداية للنشاط A والحدث 2 يمثل حدث النهاية لنفس النشاط.

8. النشاط في الدائرة (AON): وفي هذه الحالة يتم تمثيل الأنشطة داخل الدوائر ويربط بينها بأسهم، مثل:

9. المسار: هو عبارة عن سلسلة من النشاطات المتتابعة من اليسار الى اليمين، تكون بدايته عند نقطة بداية المشروع، ونهايته عند نقطة نهاية المشروع؛

10. المسار الحرج: هو ذلك المسار الذي يحتوي على مجموعة النشاطات الرئيسية للمشروع، والتي لا يجب ان تواجه أي تأخير في آدائها والا استدعى الأمر تأخير زمن المشروع؛ والسؤال المطروح هنا: كيف يتم اختيار المسار الحرج؟

يتم اختياره من خل المسار الأطول من حيث الزمن.

11. النشاط المعوم: وهي بقية النشاطات غير الحرجة، والتي تملك وقتا إضافيا تستطيع التأخر فيه دون ان يؤدي هذا الى تأخير الزمن الكلي للمشروع؛

12. الوقت المتفائل: وهو الوت الذي يتم توعه لانجاز النشاط في ظل الظروف المواتية له ويرمز له بالرمز "a"؛

13. الوقت الأكثر احتمالا (الوقت العادي): وهو الوقت الأكثر واقعية في انجاز المشروع، وذلك في ظل الظروف العادية له، ويرمز له بـ "m"؛

14. الوقت المتشائم: وهو الوقت الذي يتم تحقيقه لأداء نشاط ما في حالة عدم سير الأمور بشكل عادي، ويرمز له بـ "b"؛

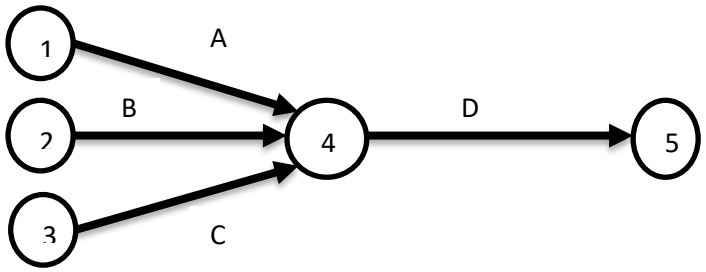
II. أنواع العلاقات في التحليل الشبكي.

يمكن ان نميز في التحليل الشبكي مجموعة العلاقات التالية:

1. العلاقة الخطية البسيطة: وهي العلاقة التي تكون فيها الأنشطة متتالية خطيا؛

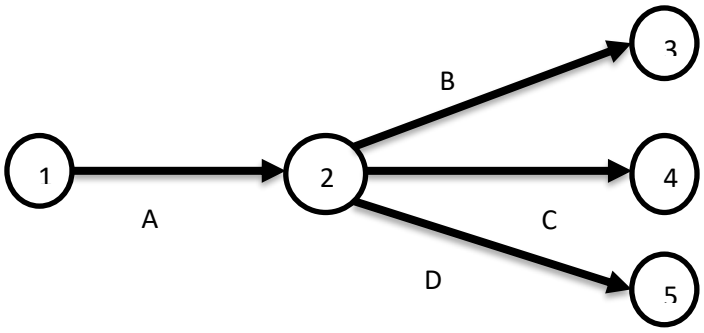
2. علاقة الإندماج: تظهر هذه العلاقة عندما يشكل نشاطين او أكثر متطلبا سابقا لنشاط اخر؛

مثال:



3. علاقة الانقسام: وهي عكس علاقة الاندماج؛

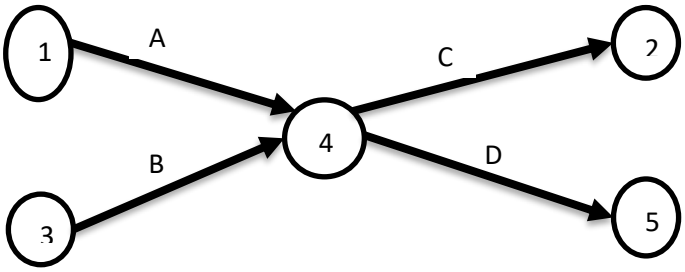
مثال:



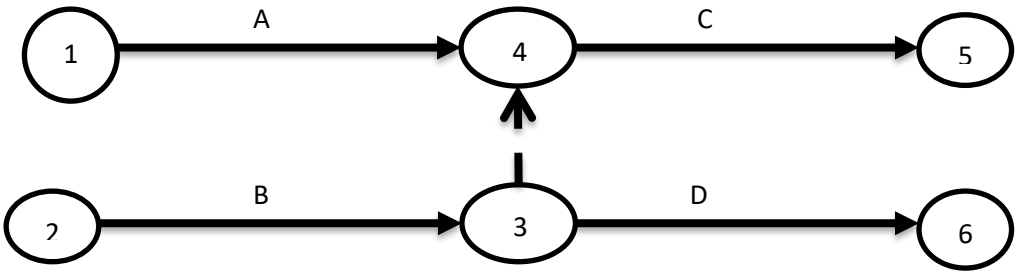
4. علاقة التقاطع: في هذه الحالة يمثل نشاطين أو اكثر أنشطة سابقة لمجموعة أنشطة أخرى

مثلا:

إذا كان النشـــاطين A و B ســـابقين للنشـــاطين C و D في نفس الوقت، فانه يتم تمثيلها على الشكل التالي:



اما إذا كان النشاطين A وB سابقين معا للنشاط C والنشاط B فقط يسبق النشاط D، هنا يتم الاستعانة بنشاط وهمي يتم تمثيله بنقاط متقطعة وذلك على الشكل التالي:



III. مراحل اعداد مخطط شبكي:

تمر عملية انشاء مخطط شبكي بالمراحل التالية:

- **تحديد المشروع وتجزئته على شكل مجموعة من النشاطات؛**
- **تحديد العلاقة بين النشاطات؛**
- **رسم الشبكة التي تعكس هذه العلاقات؛**
- **بيان الوقت المتوقع والانحراف المعياري لكل نشـــاط وذلك بالاعتماد على أســـلوب تقييم ومراجعة المشاريع "PERT"؛ وذلك وفق العلاقة التالية:**

$$\text{الوقت المتوقع} = \frac{a + 4m + b}{6}$$

$$\text{الانحراف المعياري} = \frac{b - a}{6}$$

- **تحديد المسار الحرج في الشبكة؛**
- **تحديد الوقت الفائض لكل نشاط؛**

مثال: لتكن لدينا المعلومات التالية حول النشاطات الخاصة بمشروع ما.

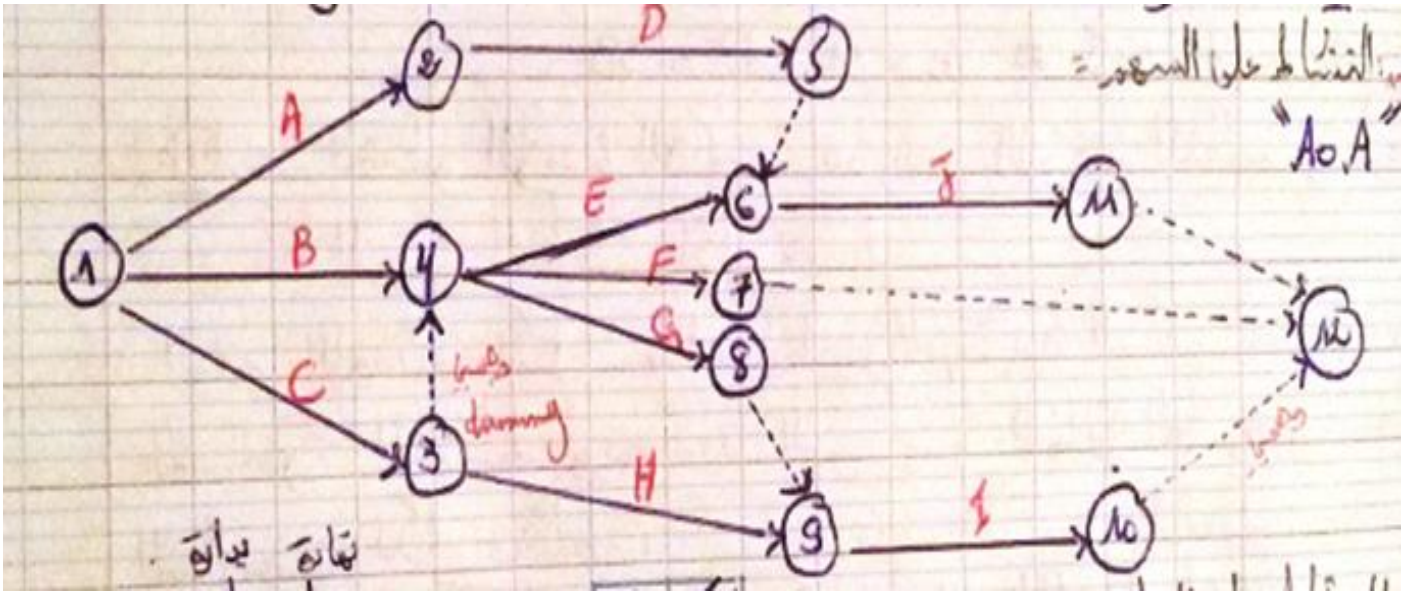
النشاط الأصلي	النشاط السابق	الوقت المتفائل a	الوقت الأكثر احتمالا m	الوقت المتشائم b
A	-	10	22	22
B	-	20	20	20
C	-	4	10	16
D	A	2	14	32
E	B, C	8	8	20
F	B, C	8	14	20
G	B, C	4	4	4
H	C	2	12	16
I	G, H	6	16	38
J	D, E	2	8	14

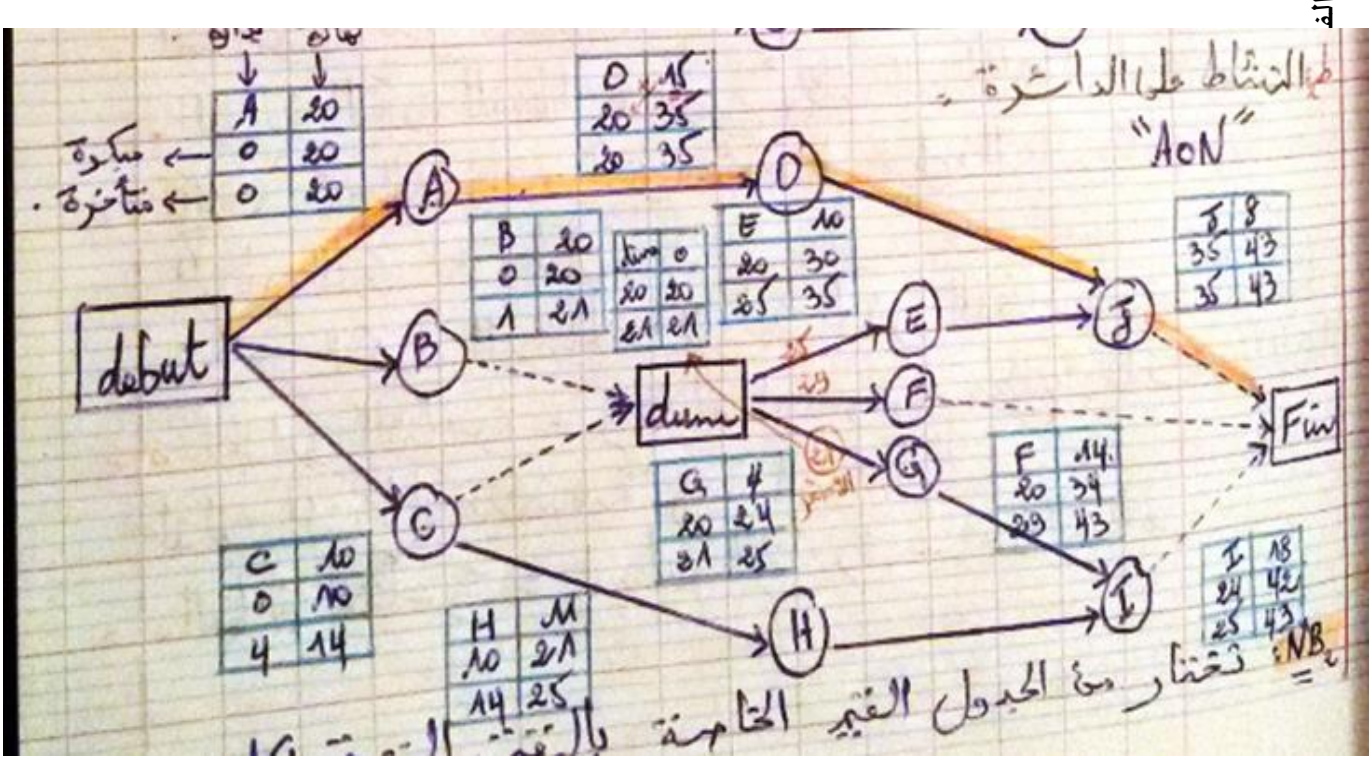
المطلوب:

- حساب الوقت المتوقع والانحراف المعياري والتباين لكل نشاط؛
- رسم الشبكة الخاصة بالمشروع؛
- إيجاد المسار الحرج وبيان النشاطات الحرجة وغير الحرجة؛
- حساب الوقت الفائض لكل مشروع؛

الحل:

النشاط الأصلي	النشاط السابق	الوقت المتفائل a	الوقت الأكثر احتمالا m	الوقت المتشائم b	الوقت المتوقع	الانحراف المعياري	التباين
A	-	10	22	22	20	2	4
B	-	20	20	20	20	0	0
C	-	4	10	16	10	2	4
D	A	2	14	32	15	5	25
E	B, C	8	8	20	10	2	4
F	B, C	8	14	20	14	2	4
G	B, C	4	4	4	4	0	0
H	C	2	12	16	11	14/6	5.44
I	G, H	6	16	38	1	32/6	28.4
J	D, E	2	8	14	8	2	4





- إيجاد المسار الحرج: لإيجاد المسار الحرج، نقوم بدراسة كل المسارات الموجودة في الشبكة، ثم نختار المسار الأطول من حيث المدة الزمنية، ويتم حساب طول المسار من خلال جمع الوقت المتوقع للأنشطة المكونة لذلك المسار. وفيما يلي سيتم عرض مختلف المسارات الموجودة في الشبكة:

المسار01: $A \rightarrow D \rightarrow J = 20 + 15 + 8 = 43$

المسار02: $B \rightarrow Dummy \rightarrow E \rightarrow J = 20 + 0 + 10 + 8 = 38$

المسار03: $B \rightarrow Dummy \rightarrow F = 20 + 0 + 14 = 34$

المسار04: $B \rightarrow Dummy \rightarrow G \rightarrow I = 20 + 0 + 4 + 18 = 42$

المسار05: $C \rightarrow Dummy \rightarrow E \rightarrow J = 10 + 0 + 10 + 8 = 28$

المسار06: $C \rightarrow Dummy \rightarrow F = 10 + 0 + 14 = 24$

المسار07: $C \rightarrow Dummy \rightarrow G \rightarrow I = 10 + 0 + 4 + 18 = 32$

المسار08: $C \rightarrow H \rightarrow I = 10 + 11 + 18 = 39$

يتضح من القيم السابقة ان المسار01 هو المسار الحرج، لأنه يتم في أطول وقت مقارنة ببقية المسارات، وعليه نقول ان زمن المشروع هو 43 شهر.

الأنشطة الحرجة: هي الأنشطة التابعة للمسار الحرج، وهي: A ، D و J.

الأنشطة غير الحرجة: هي بقية الأنشطة غير التابعة للمسار الحرج، وتضم الأنشطة التالية:

B ،C ،E ،F ،G ،H ،I.

حساب الوقت الفائض لكل نشاط:

الوقت الفائض لكل نشاط يساوي الفرق بين البداية المتأخرة والبداية المبكرة للنشاط، او الفرق بين النهاية المتأخرة والنهاية المبكرة له.

- البداية المبكرة للنشاط: مجموع أوقات النشاطات السابقة له؛
- البداية المتأخرة للنشاط= زمن المسار الحرج – مجموع أوقات النشاطات اللاحقة له متضمنة زمن النشاط؛
- النهاية المبكرة للنشاط = البداية المبكرة للنشاط + زمن النشاط؛
- النهاية المتأخرة للنشاط = البداية المتأخرة للنشاط – زمن النشاط.

ويمكن ان نضع ازمنة كل من البداية المتأخرة والبداية المبكرة والنهاية المتأخرة والنهاية المبكرة له في جداول صغيرة توضع داخل مخطط شبكة النشاط، او يمكن جمعها في جدول واحد يكون على النحو التالي:

النشاط	البداية المبكرة	البداية المتأخرة	النهاية المبكرة	النهاية المتأخرة	الفائض
A	0	0	20	20	0
B	0	1	20	21	1
C	0	4	10	14	4
D	20	20	35	35	0
E	20	25	30	35	5
F	20	29	34	43	9
G	20	21	24	25	1
H	10	14	21	25	4
I	24	25	42	43	1
J	35	35	43	43	0

IV. حساب احتمال انهاء المشروع في الوقت المحدد:

لحساب هذا الاحتمال نقوم بما يلي:

1. حساب مجموع التباين للنشاطات الحرجة δ^2 ؛
2. حساب قيمة الانحراف المعياري للنشاطات الحرجة ويساوي الجذر التربيعي لمجموع التباين $S = \sqrt{\delta^2}$.
3. حساب الاحتمال وفق العلاقة التالية: $Z = \frac{T_i - \overline{T}}{S}$ حيث أن:

- T_i: يمثل الزمن الذي نريد حساب احتمال تحققه؛
- $\overline{T}$: هو من المسار الحرج؛
- S: الانحراف المعياري؛

- Z: هو متغير عشوائي يتبع التوزيع الطبيعي المعياري، حيث تستخدم قيمته لاستخراج قيمة احتمال إتمام المشروع في الزمن المحدد، وهذا من خلال الاستعانة بجدول التوزيع الطبيعي المعياري.

مثال 02: بالرجوع الى معطيات المثال 01، المطلوب هو حساب احتمال إتمام المشروع في مدة 43، 40 و50 شهر على التوالي؟

الحل:

- حساب احتمال إتمام المشروع في مدة 43 شهر.

$$\delta^2 = \delta_A^2 + \delta_D^2 + \delta_J^2 = 4 + 25 + 4 = 33$$

$$S = \sqrt{\delta^2} = \sqrt{33} = 5.74$$

T_i= 43؛ $\overline{T}$=43. وعليه يمكن حساب قيمة الاحتمال كما يلي:

$Z = \frac{43-43}{5.74} = 0$ وبالرجوع الى جدول التوزيع الطبيعي المعياري نجد: $p = 50\%$.

- حساب احتمال إتمام المشروع في مدة 40 شهر.

T_i= 40؛ $\overline{T}$=43. وعليه يمكن حساب قيمة الاحتمال كما يلي:

$Z = \frac{40-43}{5.74} = -0.52$ وبالرجوع الى جدول التوزيع الطبيعي المعياري نجد: $p =$ 30.15%.

- حساب احتمال إتمام المشروع في مدة 50 شهر.

T_i= 50؛ $\overline{T}$=43. وعليه يمكن حساب قيمة الاحتمال كما يلي:

$Z = \frac{50-43}{5.74} = 1.21$ وبالرجوع الى جدول التوزيع الطبيعي المعياري نجد: $p =$ 88.69%.

مثال 03: ليكن لدينا الجدول التالي الذي يبين أنشـطة المكونة لمشـروع ما والاوقات الخاصـة بكل نشاط.

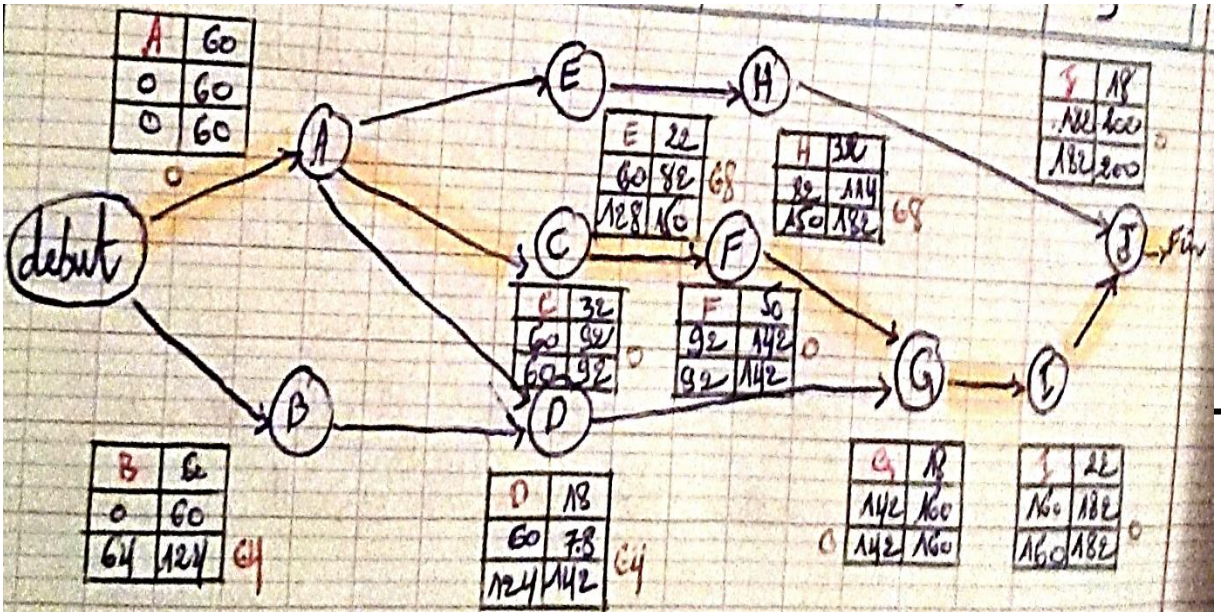
المطلوب:

- رسم الشبكة الخاصة بالمشروع؛
- إيجاد المسار الحرج؛
- حسـاب البداية المتأخرة والبداية المبكرة والنهاية المتأخرة والنهاية المبكرة والوقت الفائض لكل نشاط؛
- حساب احتمال اكمال المشروع في مدة 200، 230 و180 يوم.

النشاط الأصلي	النشاط السابق	الوقت المتفائل a	الوقت الأكثر احتمالا m	الوقت المتشائم b
A	-	42	60	78
B	-	42	60	78
C	A	20	30	52
D	A, B	9	18	27
E	A	10	20	42
F	C	30	50	70
G	D, F	9	18	27
H	E	20	30	52
I	G	10	20	42
J	H, I	9	18	27

الحل:

- رسم الشبكة الخاصة بالمشروع؛



- إيجاد المسار الحرج؛

$$A \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow I \rightarrow J = 200$$

- حســاب البداية المتأخرة والبداية المبكرة والنهاية المتأخرة والنهاية المبكرة والوقت الفائض لكل نشاط؛

النشاط الأصلي	النشاط السابق	الوقت المتفائل a	الوقت الأكثر احتمالا m	الوقت المتشائم b	الوقت المتوقع	الانحراف المعياري	التباين
A	-	42	60	78	60	6	36
B	-	42	60	78	60	6	36
C	A	20	30	52	32	16/3=5.33	28.44
D	A, B	9	18	27	18	3	9
E	A	10	20	42	22	16/3=5.33	28.44
F	C	30	50	70	50	20/3=6.66	44.44
G	D, F	9	18	27	18	3	9
H	E	20	30	52	32	16/3=5.33	28.44
I	G	10	20	42	22	16/3=5.33	28.44
J	H, I	9	18	27	18	3	9

$$\delta^2 = \delta_A^2 + \delta_C^2 + \delta_F^2 + \delta_G^2 + \delta_I^2 + \delta_J^2$$
$$= 36 + 28 + 44 + 44.44 + 9 + 28.44 + 9$$
$$= 155.32$$

$$S = \sqrt{\delta^2} = \sqrt{155.32} = 12.46$$

- حســاب البداية المتأخرة والبداية المبكرة والنهاية المتأخرة والنهاية المبكرة والوقت الفائض لكل نشاط؛ (أنظر الشكل).
- حساب احتمال اكمال المشروع في مدة 200 يوم.

T_i= 200؛ $\overline{T}$=200. وعليه يمكن حساب قيمة الاحتمال كما يلي:

$Z = \frac{200-200}{12.46} = 0$ وبالرجوع الى جدول التوزيع الطبيعي المعياري نجد: $p = 50\%$.

- حساب احتمال اكمال المشروع في مدة 230 يوم.

T_i= 230؛ $\overline{T}$=200. وعليه يمكن حساب قيمة الاحتمال كما يلي:

$Z = \frac{230-200}{12.46} = 2.41$ وبالرجوع الى جدول التوزيع الطبيعي المعياري نجد: $p =$ 99.2%.

- حساب احتمال اكمال المشروع في مدة 180 يوم.

T_i= 180؛ $\overline{T}$=200. وعليه يمكن حساب قيمة الاحتمال كما يلي:

$Z = \frac{180-200}{12.46} = -1.60$ وبالرجوع الى جدول التوزيع الطبيعي المعياري نجد: $p = 5.48\%$.

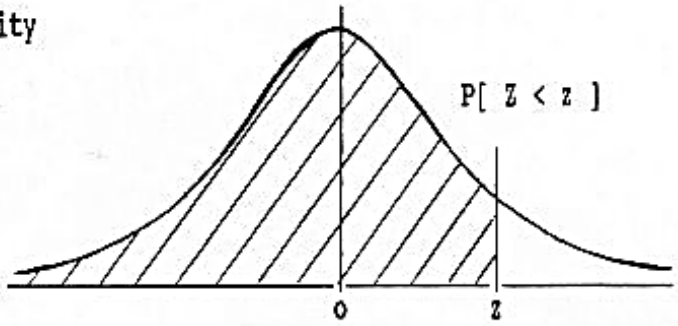
STANDARD STATISTICAL TABLES

1. Areas under the Normal Distribution

The table gives the cumulative probability up to the standardised normal value z

i.e.

$$P[\ Z < z\ ] = \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\tfrac{1}{2}Z^2)\, dZ$$



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5159	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7854
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8804	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9773	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9865	0.9868	0.9871	0.9874	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9924	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9980	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
z	3.00	3.10	3.20	3.30	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90
P	0.9986	0.9990	0.9993	0.9995	0.9997	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	1.0000