**الجدولة بأسلوب خط الموازنة** (Line of Balance)

في مشروع انشاء مستشفى او بناية متعددة الطوابق متعددة الاغراض او دار سكنية او غير ذلك من المشاريع فان الادوات والاساليب (مخطط المستقيمات، المخطط الشبكي السهمي او العقدي او غيرها) التي مر ذكرها سابقا تستعمل جميعها في جدولة هذا النوع من المشاريع ذات الوحدات او الاجزاء المختلفة اما لو كان لدينا مشروع لبناء مجمع سكني، المجمعات السكنية والتي تشتمل عادة على عدد كبير من المساكن بتصميم موحد تتشابه فيه عناصر البناء من حيث الاسس، الجدران والسقوف ... تكون هذه المساكن متماثلة من حيث الفعاليات او لوكان لدينا مشروع لتثبيت اعمدة نقل الطاقة الكهربائية (ابراج الضغط العالي والضغط الفائق) وحتى اعمدة الكهرباء في داخل المحلات السكنية ففي جميع هذه المشاريع الانشائية التي تشمل على اعمال وفعاليات ذات طبيعة تكرارية فان أسلوب خط الموازنة ( Line of Balance) يعتبر من انجح اساليب الجدولة الزمنية التي تستعمل مع تلك المشاريع.

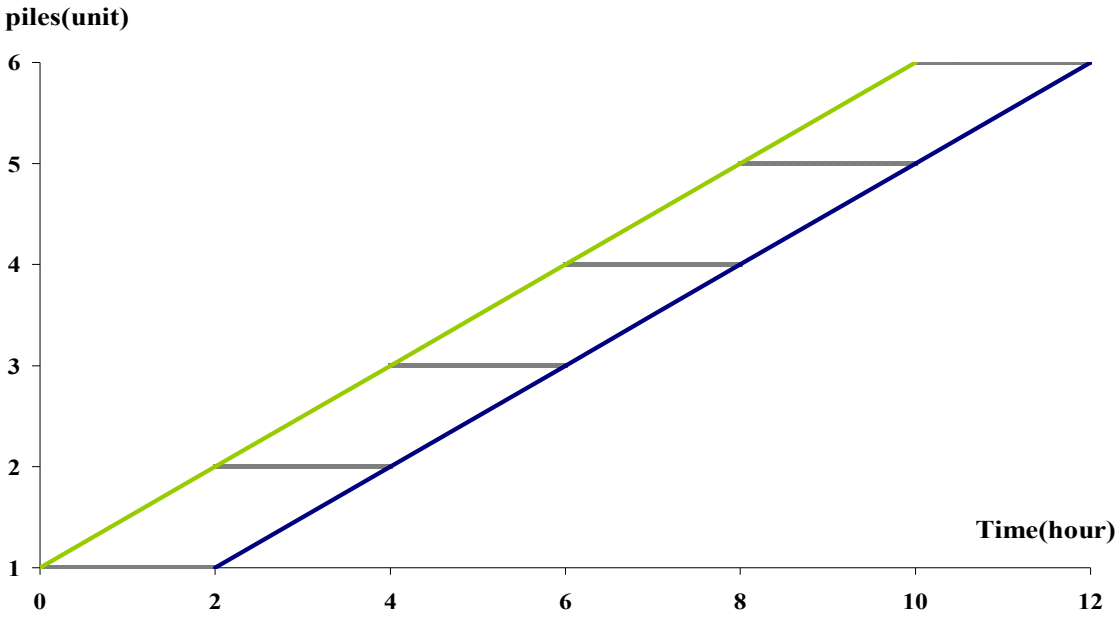
يعتمد اسلوب خط الموازنه على مايأتي

1. تقسيم المشروع الى عدد من الوحدات الانشائيه المتشابهة (وحدات سكنية مثلا)
2. تقسيم كل وحده الى عدد من الفقرات الانشائية وعمل مخطط شبكي لهذه الفعاليات بما يضمن عدم تداخل الفعاليات بعضها مع البعض الاخر، حيث ان مثل هذا التداخل يؤدي الى انتظار القوى العاملة من مهارة معينة في موقع المشروع دون عمل لحين انتهاء الفعالية التي تسبقها ضمن الوحدة الانشائية الواحدة وبالتالي ينتج عنه ضياع في الوقت وزيادة في الكلفة.
3. حساب الموارد المطلوبة لانجاز الفعالية الواحدة من مواد انشائية ومعدات وايدي عاملة والذي يتضمن :-
   - ✦ حساب حجم العمل المطلوب لانجاز كل فعالية.
   - ✦ حساب عدد العمال المطلوب لانجاز كل فعالية.
   - ✦ حساب الزمن الامثل اللازم لانجاز كل فعالية.
   - ✦ تحديد عدد ساعات العمل اليومية وعدد ايام العمل الاسبوعية في المشروع.
   - ✦ تحديد عدد الوحدات (المتكررة) المطلوب انجازها ومعدل الانجاز الاسبوعي من هذه الوحدات.
4. برمجة الفعاليات المتكررة التي يشمل عليها المشروع باستخدام طريقة (Line of Balance)

لتوضيح منهجية عمل خط الموازنة لنفرض ان لدينا مشروع لدق ركائز مسبقة الصب عددها (6 ركائز) (نفرض ان عدد الفعاليات اللازمة لدق الركيزة هي فعالية واحدة) فاذا كان الزمن اللازم لدق ركيزة واحدة (2 ساعة) فعندئذ يمكن تمثيل المخطط الزمني لانجاز هذه الركائز كما في الشكل الاتي

حيث يمث المحور(Y) عدد الركائز في المشروع وهي حشب هذا المثال (6 ركائز) والمحور (X) يمثل الزمن

وكما هو واضح من الرسم فان فريق الدق سينجز اعماله في الركيزة الاولى في (الساعة 2) ينتقل بعدها الى الركيزة الثانية والتي ينجزها في (الساعة4) وهكذا ينتقل فريق الدق من ركيزة الى اخرى حيث تنتهي اعمال الدق في الركيزة السادسة في (الساعة 12)




يلاحظ من الشكل ان تنفيذ الفعاليات ينحصر بين خطين متوازيين وان الزاوية مابين خطوط الموازنة والمحور الافقي يمثل معدل انجاز الفعالية الذي يزداد بزيادة هذه الزاوية وينخفض بنقصانها.

**معدل انجاز المشروع (R)**

ويمثل عدد الوحدات المطلوب انجازها ضمن فترة زمنية معينة ويقاس بوحدات (وحدة / زمن) مثل (برج/ يوم) او (وحدة سكنية / اسبوع) او (ركيزة / ساعة) وغير ذلك.

يكون معدل انجاز المشروع (R) احيانا احد شروط التعاقد بين طرفي العقد الانشائي (المقاول وصاحب العمل).

**القدرة اللازمة للانجاز (M)**

ويمثل القدرة اللازمة لانجاز فعالية ما من فعاليات المشروع وتقاس بوحدات (رجل-ساعة/ فعالية) وهي تعتمد على عدد العمال الكلي العاملين في تنفيذ تلك الفعالية وعلى عدد ساعات العمل التي يقضونها

لانجاز تلك الفعالية. فعلى سبيل المثال لوكانت القدرة المطلوبة لانجاز فعالية حفر الاسس مثلا (30 رجل-ساعة) فان هذا يعني ان هذه الفعالية تحتاج لانجازها (30 عامل يعملون لمدة ساعة واحدة) او (15 عامل يعملون لمدة ساعتين) او (5 عمال يعملون لستة ساعات).

**الوقت الاحتياطي (.B.T)**

ويمثل الوقت الذي تضعه الادارة بين نهاية فعالية وبداية فعالية لاحقة لها. ويقاس بوحدات الزمن مثل (ساعة) او (يوم) او (اسبوع).

الهدف الرئيس من وضع هذا الوقت الاحتياطي هو لمنع تاثير التاخير الذي يحدث في تنفيذ فعالية ما من التاثير على سير المشروع ككل. وما يجدر ذكره ان مدة هذا الوقت تزداد بزيادة مدة القعالية لزيادة الاحتمال بحصول تاخير وكذلك عند عدم المعرفة الكافية بالفعالية او عند وجود متطلبات تنفيذية (مثل تصلب الخرسانة). ومن الممكن ان يكون الوقت الاحتياطي متساو لجميع الفعاليات او ان يكون مختلف.

**الحد الادنى لمجموعة العمل (Q)**

ويمثل الحد الادنى من العمال المكون لفريق عمل واحد يمكنه من تنفيذ فعالية ما باعلى انتاجية واقل كلفة، ويقاس بوحدات (رجل) او (عامل) او (شخص).

لان الحد الادنى اختير على اساس اعلى انتاجية باقل كلفة لذا فان أي زيادة في عدد افراد الفريق تسبب زيادة في الكلفة بدون ان يقابل ذلك زيادة مكافئة في الانتاجية (تحديد الحد الادنى لفريق العمل يعتمد على البيانات التاريخية للاعمال المماثلة وموضوع دراسة العمل).

فعلى سبيل المثال لو كان الحد الادنى لفريق العمل الكلف بانجاز فعالية البناء بالطابوق ستة عمال (عامل ماهر(الخلفة او الاسطة) + 5 عمال غير مهرة لخلط ولنقل ونشر مونة الاسمنت ونقل ومناولة الطابوق)، فان الزيادة في معدل الانجاز لهذه الفعالية لايمكن ان يكون عن طريق زيادة عدد العاملين ضمن االفريق الواحدة (زيادة عامل او اكثر مثلا) وانما تتم عن طريق استخدام فريق عمل اضافي كامل للقيام بأعمال البناء في مكان اخر او وحده انشائية اخرى ضمن موقع المشروع.

**عدد العمال الحسابي (النظري) (G)**

ويمثل عدد العمال (الاشخاص) الكلي الذين نحتاجهم لتنفيذ فعالية ما محسوب اعتمادا على القدرة المطلوبة لانجاز تلك الفعالية ومعدل الانجاز المستهدف وعدد ساعات العمل، ويقاس بوحدات (رجل-وحدة/فعالية) ويمكن ان يكون (رجل) (لان كل وحدة تحتوي على فعالية واحدة من نفس النوع).

$$G = \frac{M \times R}{H \times D}$$

حيث ان

H تمثل عدد ساعات العمل اليومية (ساعة/يوم)

D تمثل عدد ايام العمل الاسبوعية (يوم/اسبوع)

**عدد العمال الفعلي (g)**

ويمثل عدد العمال (الاشخاص) الفعلي الذين سيتم توظيفهم او استخدامهم لانجاز فعالية ما، ويقاس بوحدات (رجل-وحدة/فعالية) ويمكن ان يكون (رجل) (لان كل وحدة تحتوي على فعالية واحدة من نفس النوع)

ولاننا سبق وان حددنا الحد الادنى لعدد العمال في الفريق الواحد (Q) لذا يجب ان يكون عدد العمال الفعلي الذين سيتم توظيفهم (g) هو تقريب لعدد العمال النظري (G) لكن من مضاعفات الحد الادنى لعدد العمال في الفريق الواحد (Q)، أي جعل العمال بشكل مجاميع او فرق، عدد العمال في كل فريق هو الحد الادنى (Q) ومجموع العمال في كل الفرق هو(g).

ان زيادة عدد الفرق المكلفة بانجاز فعالية ما يزيد من معدل انجاز تلك الفعالية فلو اضيفت فرقة عمل اخرى لتنفيذ دق الركائز فهذا يعني ان الفرقة الاولى ستنفذ اعمال الدق في الركيزة الاولى بينما تنفذ الفرقة الثانية اعمال الدق للركيزة الثانية وبعد ساعتين (زمن انجاز فعالية الدق) أي عندما تنجز الفرقتان اعمالهما تتحول الفرقة الاولى للركيزة الثالثة بينما تتحول الفرقة الثانية الى الركيزة الرابعة وهكذا دواليك.

**معدل انجاز الفعالية (U)**

**و**يمثل عدد الفعاليات التي سيتم انجازها ضمن فترة زمنية معينة ويقاس بوحدات (فعالية / زمن) مثل (حفر اسس/ يوم) او (صب اعمدة / اسبوع) او (A / ساعة) وغير ذلك. علما انه يمكن قياسها بوحدات (وحدة انشائية / زمن) (لان كل وحدة انشائية تحتوي على فعالية واحدة من نفس النوع)

ومما تجدر الاشارة اليه ان معدل انجاز المشروع (R) يختص بالوحدات الانشائية المنتجة وليس بالفعاليات التي يختص بحسابها (U).

$$U = \frac{H \times D \times g}{M}$$

$$U = \frac{g}{G} R$$

**مدة انجاز الفعالية (T)**

وتمثل المدة الزمنية اللازمة لانجاز فعالية ما في اية وحدة (سكنية مثلا)، وتقاس (وحدة زمنية) مثل (ساعة) او (يوم) او (اسبوع)، فمثلا المدة الزمنية لاكمال حفر الاسس في الوحدة السكنية الاولى (2 يوم ) وكذلك ستكون المدة الزمنية اللازمة لانجاز حفر الاسس في الوحدة السكنية الثانية (2 يوم) وهكذا لبقية الوحدات السكنية الاخرى.

$$T = \frac{M}{Q \times H}$$

**تفاوت المباشرة بالفعالية(S)**

هو الفترة الزمنية المحصورة بين مباشرة فعالية ما في اول وحدة انشائية وبين مباشرة نفس الفعالية في الوحدة الانشائية الاخيرة ويقاس بوحدات (زمن) مثل يوم مثل (ساعة) او (يوم) او (اسبوع).

ومن الممكن اعتباره الفترة الزمنية بين انجاز فعالية ما في اول وحدة انشائية وبين انجاز نفس الفعالية في اخر وحدة انشائية.

$$S = \frac{(N-1) \times D}{U}$$

علما ان التفاوت لكل فعالية يقل بزيادة فرق العمل المكلفة بتنفيذ تلك الفعالية.

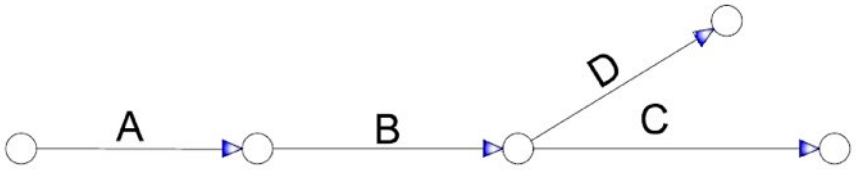
مثال1: في مشروع القرية العصرية الذي تنفذه احدى شركات المقاولات يشير العقد الى ان تقوم الشركة المنفذة ببناء (30) وحدة سكنية وحسب الفعاليات في الجدول الاتي وان يكون التسليم (4) وحدات سكنية اسبوعيا وان يكون عمل الكادر المنفذ (6) ايام اسبوعيا بعدد ساعات عمل يومية لاتقل عن (8) ساعات، وقد ارتات ادارة الشركة وجود وقت احتياطي بين الفعاليات المتعاقبة قدره (5) يوم ، ارسم الجدولة الزمنية للمشروع باستعمال خط التوازن (Line of Balance) وحدد مدة انجاز المشروع؟

| الفعالية | اللاحقة | القدرة المطلوبة للانجاز | الحد الادنى للعاملين في فرق العمل |
|---|---|---|---|
| A | B | 290 | 6 |
| B | C,D | 250 | 4 |
| C | / | 40 | 3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | 30 | / | D |

الحل:- بيانات المشروع والمخطط الشبكي للمشروع كما يلي:

N= 30 Units
R= 4(Unit/Week)
H= 8 (hour/day)
D= 6 (day/week)
B.T.= 5 (day)




الحسابات الخاصة بالفعاليات مرتبة بالجدول الاتي لكن حسابات الفعالية (A) كمثال كما ياتي:

القدرة اللازمة للانجاز (M)

M=290 (man-hour/unit)

الحد الادنى لمجموعة العمل (Q)

Q=6 (man)

عدد العمال الحسابي (النظري) (G)

$$G = \frac{M \times R}{H \times D} = \frac{290 \times 4}{8 \times 6} = 24.17\ (man)$$

عدد العمال الفعلي (g)

g= 30 (man)

معدل انجاز الفعالية (U)

$$U = \frac{g}{G} R = \frac{30}{24.17} \times 4 = 4.97\ (activity / week)$$

مدة انجاز الفعالية (T)

$$T = \frac{M}{Q \times H} = \frac{290}{6 \times 8} = 6.04\ (day)$$

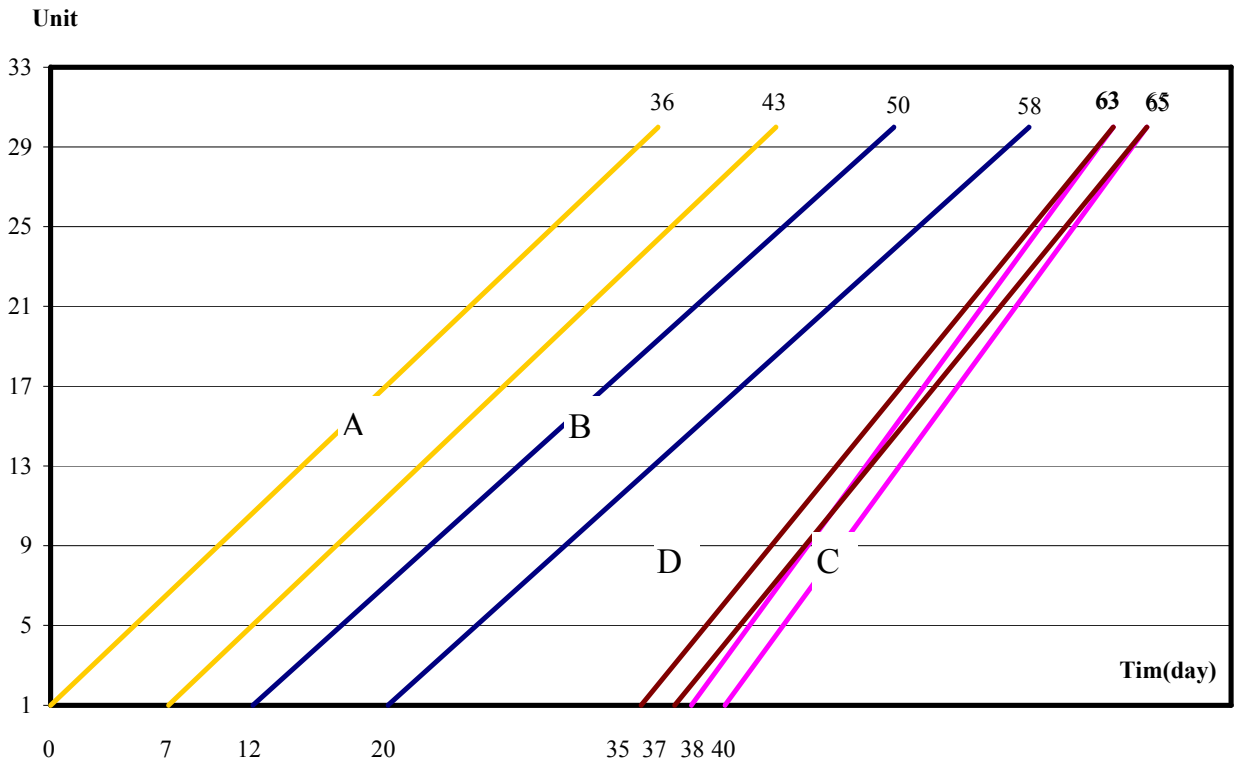
تفاوت المباشرة بالفعالية(S)

$$S = \frac{(N-1) \times D}{U} = \frac{(30-1) \times 6}{4.97} = 35.04\ (day) \approx 36\ (day)$$

| الفعالية | M | Q | G | G | U | T | | S | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 290 | 6 | 24.17 | 30 | 4.97 | 6.04 | 7 | 35.04 | 36 |
| B | 250 | 4 | 20.83 | 24 | 4.61 | 7.81 | 8 | 37.76 | 38 |
| C | 40 | 3 | 3.33 | 6 | 7.20 | 1.67 | 2 | 24.17 | 25 |
| D | 30 | 2 | 2.50 | 4 | 6.40 | 1.88 | 2 | 27.19 | 28 |

اما الجدولة الزمنية للمشروع فهي كما في الرسم اللاحق ولتوضيح هذا الرسم فان البيانات المدرجة في الجدول الاتي والتي استخرجت من الجدول السابق والبيانات المعطاة في السؤال.

| الفعالية | زمن البداية | زمن النهاية | زمن البداية | زمن النهاية | الملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|
| | الوحدة (1) | الوحدة (1) | الوحدة (30) | الوحدة (30) | |
| A | 0 | 7=T+0 | 36=S+0 | 43=T+36 | |
| B | 12=B.T+7 | 20=T+12 | 50=S+12 | 58=T+50 | |
| C | 38=S-63 | 40=T+38 | 63=B.T+58 | 65=T+63 | بسبب كون (S) للفعالية (C) اصغر من قيمة (S) للفعالية السابقة (B) فعند حساب الازمنة نبدا من زمن بداية الفعالية (C) في الوحدة (30) ومن ثم نحسب زمن البداية في الوحدة (1) |
| D | 35=S-63 | 37=T+35 | 63=B.T+58 | 65=T+63 | نفس الملاحظة الخاصة بالفعالية (C) |

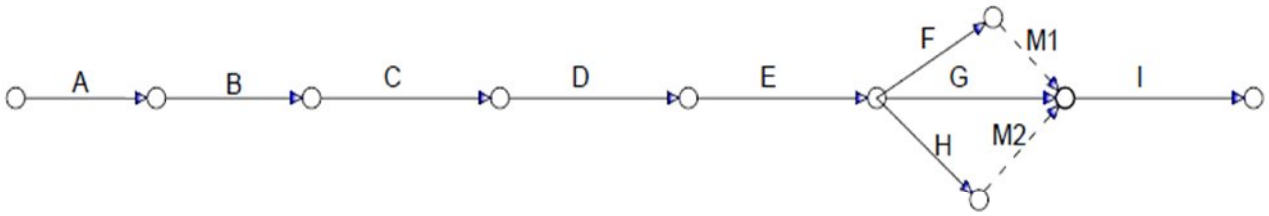



ملاحظات:

1. اذا كانت قيمة (U) لاحدى الفعاليات اكبر من قيمة (U) للفعالية السابقة لها (حسب المخطط الشبكي) فان الوقت الاحتياطي (B.T.) سوف يكون بين نهاية الفعالية في الوحدة الانشائية الاخيرة وبداية الفعالية اللاحقة لها في الوحدة الانشائية الاخيرة وكذلك اذا كانت قيمة (S) لاحدى الفعاليات اصغر من قيمة (S) الفعالية السابقة لها (حسب المخطط الشبكي)
2. قيمة (T) وقيمة (S) من الممكن ان تاخذ ارقام عشرية وعمليات التقريب التي نلاحظها في الامثلة المحلولة لتبسيط الحل.

مثال2:- في احد مشاريع الاسكان التعاونية تعاقدت الجمعية مع احدى شركات المقاولات لتنفيذ (15) وحدة سكنية بمعدل انجاز (3 وحدات/اسبوع)، فوضعت ادارة الشركة خطة عمل يكون فيها عدد ايام العمل الاسبوعية (5 يوم) وبواقع (8ساعة/يوم) ووقت احتياطي قدره( 5يوم) وكانت الفعاليات المطلوبة لتنفيذ وحدة سكنية واحدة كما في الجدول الاتي والعلاقات المنطقية بين هذه الفعاليات كما في المخطط الشبكي التالي، ارسم الجدولة الزمنية للمشروع مع وضع جميع البيانات المطلوبة في جدول، وجد مدة انجاز المشروع؟

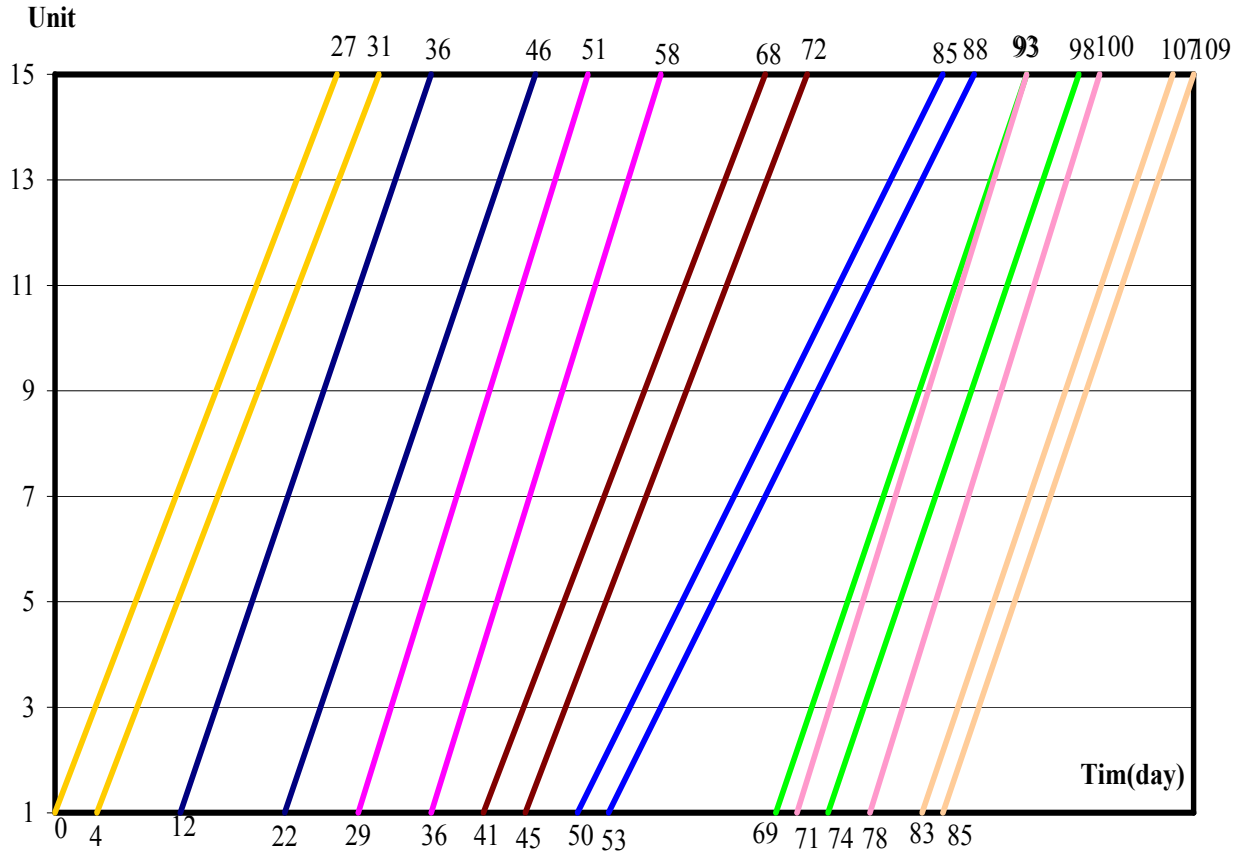
| الفعالية | اللاحقة | القدرة المطلوبة للانجاز | الحد الادنى للعاملين في فرق العمل |
|---|---|---|---|
| A | B | 180 | 6 |
| B | C | 320 | 4 |
| C | D | 200 | 4 |
| D | E | 60 | 2 |
| E | F,G,H | 40 | 2 |
| F | I | 120 | 3 |
| G | I | 80 | 2 |
| H | I | 100 | 2 |
| I | / | 40 | 3 |




الحل:-

البيانات الخاصة بالمشروع هي كما يلي:

| (day/week), 5(Unit/Week), H= 8(hour/day), D= 3 Units, R= 15N= B.T.= 5(day) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الفعالية | M | Q | G | g | U | T | | S | |
| A | 180 | 6 | 13.50 | 12 | 2.67 | 3.75 | 4 | 26.25 | 27 |
| B | 320 | 4 | 24.00 | 24 | 3.00 | 10.00 | 10 | 23.33 | 24 |
| C | 200 | 4 | 15.00 | 16 | 3.20 | 6.25 | 7 | 21.88 | 22 |
| D | 60 | 2 | 4.50 | 4 | 2.67 | 3.75 | 4 | 26.25 | 27 |
| E | 40 | 2 | 3.00 | 2 | 2.00 | 2.50 | 3 | 35.00 | 35 |
| F | 120 | 3 | 9.00 | 9 | 3.00 | 5.00 | 5 | 23.33 | 24 |
| G | 80 | 2 | 6.00 | 6 | 3.00 | 5.00 | 5 | 23.33 | 24 |
| H | 100 | 2 | 7.50 | 8 | 3.20 | 6.25 | 7 | 21.88 | 22 |
| I | 40 | 3 | 3.00 | 3 | 3.00 | 1.67 | 2 | 23.33 | 24 |


Unit
15
13
11
9
7
5
3
1
27 31 36 46 51 58 68 72 85 88 93 98 100 107 109
0 4 12 22 29 36 41 45 50 53 69 71 74 78 83 85
Tim(day)