الفصل الخامس

جدولة المشاريع ذات الوحدات المتكررة

obeikandl.com

محتويات الفصل:

٥-١ مقدمة.

٥-٢ طريقة عرض خطوط التوازن (Basic LOB Representation)

٥-٣ الحسابات الجدولية بطريقة خطوط التوازن.

(LOB-CPM Calculations)

٥-٤ مثال يبين مراحل التخطيط بطريقة خطوط التوازن.

obeikandl.com

٥-١ مقدمة:

الفصول السابقة تناولت شرح الجدولة بطريقة المسار الحرج CPM واستعمال شبكة الأعمال وسوف نستعرض في هذا الفصل طريقة أخري للجدولة تستعمل في المشاريع ذات الوحدات المتكررة كالمشاريع السكنية ذات الوحدات النموذجية والمتكررة، أو مشاريع المباني ذات الطوابق المتكررة ومشاريع أبراج شبكات الهاتف النقال وأبراج نقل كابلات الضغط العالي أو المشاريع الخطية كمشاريع الطرق ومشاريع تمديد الأنابيب، أي مشاريع الوحدات المتشابهة التي يتم تكرارها والمشاريع التي تتكرر بها الأعمال بشكل خطي.

يتم جدولة هذه المشاريع باستخدام طريقة خطوط التوازن

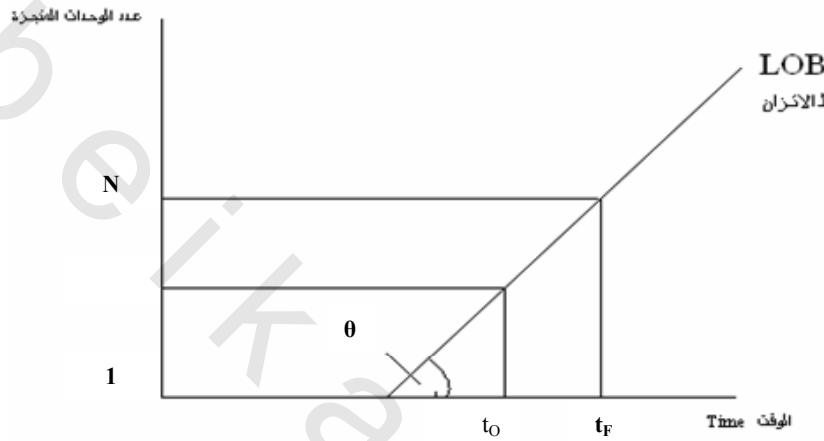
(Line – of – Balance (LOB)) هنا حيث تعتبر الموارد وتوفرها العنصر المتحكم في الجدولة (Resource-Driven Scheduling) للاحتياج إلى ضمان استمرارية أطقم العمل في الأنشطة (الحرف) المختلفة بشكل منتظم مع عدم التوقف أو الانقطاع ومحاولة تقليل أي أوقات لا تستغل فيها هذه المواد وذلك بضبط عدد أطقم العمل اللازمة، وذلك خلافاً لطريقة الجدولة باستخدام شبكات الأعمال التي يتم تقدير وتحديد الأنشطة المختلفة ومدتها الزمنية والعلاقات المنطقية بينها وبين بعض ومن ثم استنتاج الموارد الضرورية لها بافتراض توفرها.

وسوف نستعرض في هذا الفصل طريقة التخطيط باستخدام خطوط التوازن.

٥-٢ طريقة عرض خطوط التوازن: (Basic LOB Representation)

يتم تمثيل البرنامج الزمني للمشاريع بهذه الطريقة عن طريق رسم بياني يحتوي على خطوط مائلة تسمى خطوط التوازن بحيث يمثل المحور الرأسي عدد الوحدات المنجزة بينما يمثل المحور الأفقي الوقت المقابل للإنجاز، ويتم تمثيل الأعمال (الأنشطة) المنجزة بخطوط مائل (خطوط التوازن) ، ويمثل ميل كل خط من هذه الخطوط معدل الإنتاج لطاقم العمل (وحدة/مدة زمنية) الذي يؤدي العمل (النشاط).

فالفكرة هنا هي أنه إذا ما تم تحديد معدل إنجاز الفريق (طاقم العمل) أي الوقت الذي يستغرقه طاقم العمل في إنجاز وحدة نموذجية، فإنه يمكن حساب حجم العمل المنجز أو الوحدات المتكررة المنجزة بعد مضي أي فترة معينة. كما هو موضح بالشكل والعلاقات التالية.



شكل ٥-١ خط التوازن

ويصبح :

R = معدل إنجاز النشاط.

$$R = \tan \theta = \frac{N-1}{t_F - t_o} \quad (١)$$

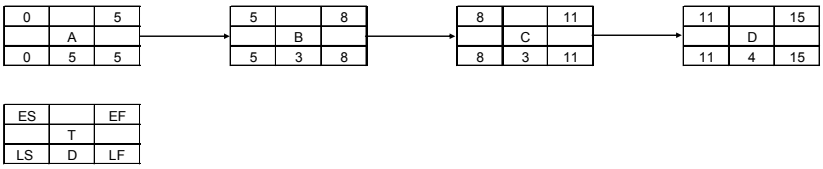
حيث N = عدد الوحدات.

t_o = زمن البداية في العمل.

t_F = زمن نهاية العمل في الوحدة N.

وبمعلومية الوقت المتاح ومعدل إنجاز النشاط، يمكن حساب عدد الوحدات التي يمكن إنجازها، أو بمعلومية عدد الوحدات المطلوب إنجازها والمعدل الذي يمكن تحقيقه للإنجاز، ويمكن حساب الزمن الكلي اللازم لإنجاز هذه الوحدات، فمثلاً إذا كانت هناك وحدة معينة مكونة من أربع A و B و C و D .

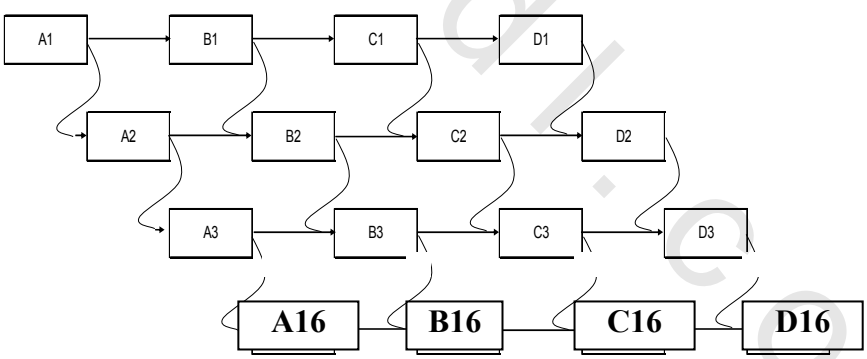
obeikandl.com



شكل ٥-٢

تسلسل الوحدة النموذجية التي سوف يتم تكرارها

الشكل ٥-٢ يوضح الأنشطة وكذلك تسلسلها اللازمة لإنجاز وحدة واحدة، فإذا فرضنا أن عدد هذه الوحدات اللازم تكرارها هو ١٦ وحدة، ومدة إنجاز الوحدة كما هو موضح في الشكل هو ١٥ يوم، فمدة إنجاز المشروع المكون من ١٥ وحدة لن يستغرق مدة ١٦X١٥ أي ٢٤٠ يوم، فليس من المعقول إتمام الوحدة قبل البدء في الوحدة التالية، والحادث في مثل هذه المشاريع هو أن يتم تحديد سير العمل بناء علي أطقم العمالة المتوفرة التي تبدأ في العمل في نشاط وحدة معينة بعد إنجازه في الوحدة التي تسبقها (ويمكن أيضاً العمل في أكثر من وحدة بالتوازي إذا توفرت الأطقم) والشكل (٥-٣) التالي يوضح ذلك التسلسل.



شكل (٥-٣)

العمل في الوحدات بالتوازي

فالأطقم تعمل في A1 ثم A2 إلي A16 ، فالأساس هو أن الأطقم العاملة في نشاط معين، تعمل بانتظام من وحدة إلي وحدة، وقبل انتقالها إلي الوحدة

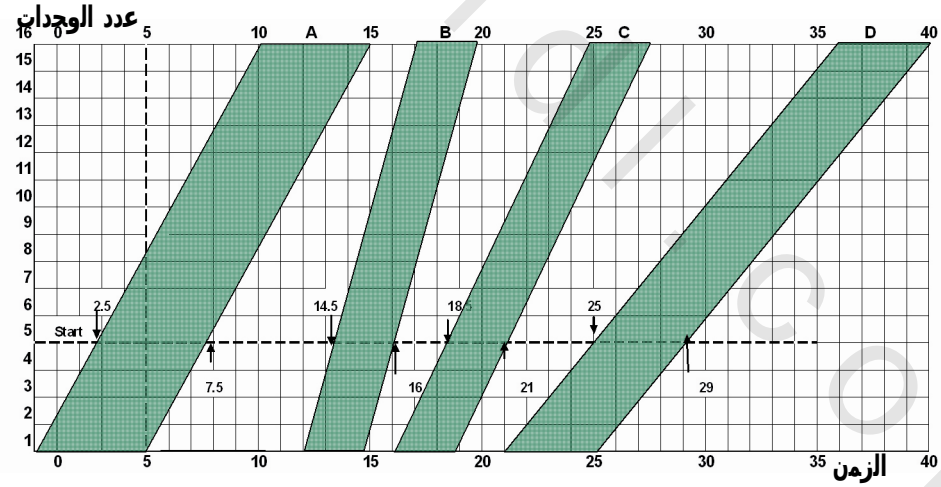
التالية يجب أن تكون الأنشطة السابقة للنشاط المعني قد انتهت. فالعمل مثلاً في B2 يقتضي الانتهاء من العمل في A2 و B1 وهلم جرة كما هو موضح في الشكل (٥-٣).

ويمثل الشكل (٥-٤) جدولة الستة عشر(١٦) وحدة علي فرض أن المدة المسموح بها هي ٤٠ يوم

كل شريحة تمثل أحد الأنشطة (A ، B ، C ، أو D) في المشروع وعرض الشريحة يدل علي مدة النشاط، والتي تظهر في صورة منتظمة علي طول كل الوحدات أي أن مدة النشاط الواحد تكون متساوية في كل وحدة من الوحدات المتكررة.

تتعاقب الأنشطة (الشرائح المائلة) طبقاً للتسلسل المنطقي مع عدم وجود تداخل أو تراكب بينها حتى لا يحدث تداخل وتعطل بين فرق العمل وحتى يكون التسلسل بين الأنشطة المختلفة منطقي وثابت في جميع الوحدات المتكررة.

ويوضح هذا الشكل أن نشاط A يبدأ في اليوم الأول وينتهي في اليوم الـ ١٥ في كافة الوحدات، ونشاط B يبدأ في اليوم ١٢ وينتهي في اليوم ٢٠، ونشاط C يبدأ في اليوم ١٦ وينتهي في اليوم ٢٨ ، ونشاط D يبدأ في اليوم ٢١ وينتهي في اليوم ٤٠.



شكل ٥-٤ التمثيل البياني لخطوط التوازن

هذا التمثيل البياني لخطوط التوازن LOB يوضح المعلومات الآتية:

وتقاطع الخط الأفقي عند أي وحدة مع شرائح الأنشطة يعطي أوقات البداية والنهاية المخططة للعمل في تلك الوحدة.

فمثلاً الخط الأفقي يوضح سير العمل لكل وحدة على حدة، مثال للوحدة رقم ٥ كما يلي:

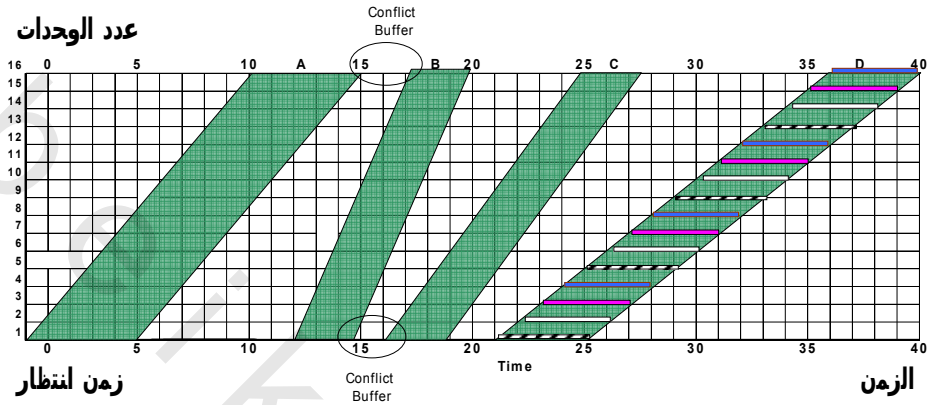
يبدأ العمل في نشاط A عند ٢,٥ وينتهي عند ٧,٥ ، بينما يبدأ نشاط B عند ١٣,٥وينتهي عند ١٦,٥، ويبدأ النشاط C عند ١٨,٥وينتهي عند ٢١,٥، ويبدأ النشاط D عند ٢٥ وينتهي عند ٢٩ أي أن الوحدة رقم ٥ تنتهي في اليوم ٢٩.

وكذلك فالخط الرأسي يمثل العمل المنجز في ذلك التاريخ، أي أنه يمثل حالة المشروع في هذا التاريخ، فعلي سبيل المثال الخط الرأسي عند يوم ٢٥ يوضح أنه قد تم إنجاز كافة الأنشطة A و B في كل الوحدات الست عشر، أما بالنسبة للنشاط C فلم يتبقي سوي الوحدة رقم ١٦ والتي سوف يتم البدء فيها في يوم ٢٥ وجاري العمل في الوحدات من ١١ الى ١٥ ، بينما بالنسبة للنشاط D فقد تم إنجاز الوحدة الأولي وجاري العمل في الوحدة الثانية والثالثة والرابعة، وسوف يبدأ العمل في الوحدة الخامسة في ذلك اليوم. ودرجة الإنجاز في كل وحدة لنشاط D يوضحها الشكل فعلي سبيل المثال الوحدة رقم ٢ تم إنجاز ٧٥% من الأعمال، بينما الوحدة رقم ٣ تم فيها إنجاز ٥٠ % والوحدة رقم ٤ تم إنجاز ٢٥% من الأعمال.

ميل كل نشاط يمثل المعدل المخطط للإنجاز والذي له علاقة مباشرة (طردية) مع عدد الأطقم المتواجدة في النشاط. وميل النشاط الأخير (النهائي) يمثل معدل الإنجاز النهائي والتسليم للوحدات المختلفة.

توقيت النهاية بالنسبة للوحدة الأخيرة في النشاط الأخير يمثل تاريخ إتمام المشروع.

من الممكن أيضاً إضافة تفصيلات إضافية للجدول الأساسي الخاص بـ LOB لبيان عدد الطقم وحركتها من وحدة لوحدة أخرى متكررة كما يظهر في الشكل التالي.



شكل ٥-٥ التمثيل البياني لخطوط التوازن وبيان حركة فرق العمل وعددها للنشاط D

هذا الشكل المعدل يوضح معلومات إضافية كالآتي:

عدد الأطقم اللازمة No. of Crews لنشاط D يتم عرضها بيانياً وبالتالي يوضح برنامج كل طاقم وحركته من وحدة لأخرى. فمثلاً الأطقم الأربع المستعملة في النشاط (D) تتوزع بين الوحدات المختلفة كما يلي: الطاقم Crew رقم ١ يعمل بالتتابع الوحدات (أرقام ١ ، 5 ، 9 ، 14) ويترك الموقع في نهاية اليوم 37 . بالمثل الطاقم رقم ٢ يعمل بالتتابع في الوحدات (أرقام ٢ ، ٦ ، ١٠ ، ١٤) ثم يترك الموقع في نهاية اليوم ٣٨ ، والطاقم رقم ٣ يعمل بالتتابع في الوحدات (أرقام ٣ ، ٧ ، ١١ ، ١٥) فقط ويترك الموقع عند اليوم ٣٩ ، والطاقم رقم ٤ يعمل بالتتابع في الوحدات (أرقام ٤ ، ٨ ، ١٢، ١٦) فقط ويترك الموقع عند نهاية اليوم ٤٠

من الشكل السابق نستنتج أن:

ميل خط التوازن (R) = معدل الانجاز = عدد الأطقم لكل نشاط (C) / المدة الزمنية للنشاط (D) - وبالتالي لزيادة معدل الانجاز يجب زيادة عدد الأطقم أو تقليل المدة الزمنية اللازمة للنشاط

كل طاقم عمل ينتقل لوحدة جديدة طالما تم الانتهاء من النشاط السابق (وخروج طاقم النشاط السابق)، وذلك بدون انقطاع لان الحفاظ على تواصل العمل والتعلم مع الوقت يؤدي بالقطع إلى توفير ملحوظ في الوقت والكلفة.

تجنباً لحدوث تداخل خلال الأنشطة المتتالية طبقاً للتسلسل المنطقي في حالة التأخير البسيط للأنشطة يتم إضافة حاجز زمني أو فترة انتظار Buffer Time كما لو كانت سماح زمني Float كمعامل أمان لعدم حدوث تداخلات.

عندما يتبع نشاط بطئ في معدل إنجازه (ميل خفيف)، نشاط سريع (ميل أكبر) (مثال نشاط C يتبع نشاط B)، يتم جدولة النشاط C من الوحدة رقم ١ (من تاريخ البدء عند الوحدة المتكررة الأولى) عند القاعدة لأن التداخل والتعارض يمكن أن يحدث عند الوحدة ١، ويمكن إضافة فترة انتظار عند القاعدة عند الوحدة ١.

عندما يتبع نشاط سريع نشاط بطئ (مثال نشاط B يتبع نشاط A)، يتم جدولة النشاط السريع B من عند تاريخ البدء في الوحدة الأخيرة (رأس خط التوازن للنشاط). ويمكن إضافة فترة انتظار عند القمة عند الوحدة الأخيرة. مع ملاحظة أن بداية الوحدة رقم ١ للنشاط B قد تم تأخيرها لتسمح بالمهمة للتواصل (لتكتمل) عند المعدل العالي المطلوب (المخطط) بدون انقطاع أو توقف.

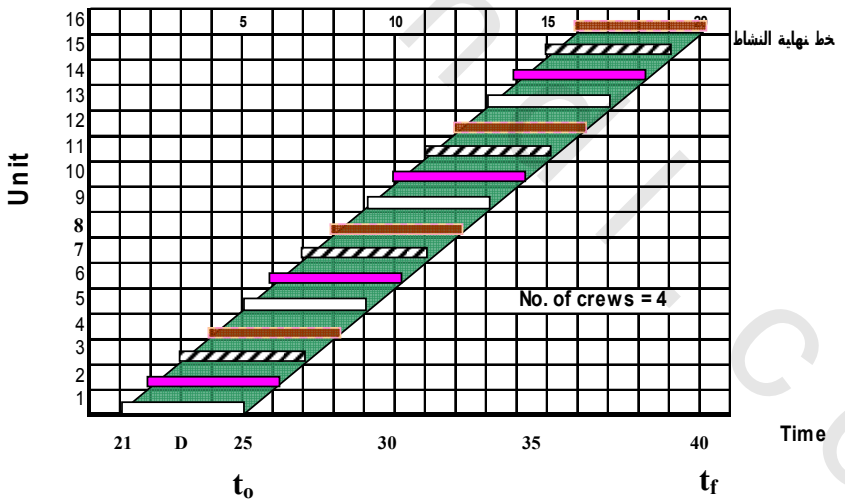
تغيير معدل الإنتاجية Production Rate (الميل) لأي نشاط يؤدي إلى تغيير مدة المشروع. ويمكن أن يؤدي تسريع أو تبطئه أحد الأنشطة إلى حدوث تداخلات وتضاربات بين أنشطة المشروع، وبالتالي فإن حسن التخطيط للجدولة بهذه الطريقة يكون بعمل جدول للأنشطة بطريقة متوازية (متماثلة) بقدر الإمكان كلما أتيح ذلك بالنسبة لبعضهم البعض وأيضاً بطريقة متوازية بالنسبة لأداء لمعدل تسليم الوحدات المختلفة بالمشروع. وهذا من أهم الأهداف الخاصة بالجدولة بطريقة خطوط التوازن LOB.

٣-٥ الحسابات الجدولية بطريقة خطوط التوازن:

(LOB-CPM Calculations)

- بالرجوع إلى طريقة عرض خطوط التوازن LOB السابق بيانها، يتبين أن الهدف من حسابات خطوط التوازن هو تحديد الحجم المناسب لأي طاقم عمل لكل نشاط وعدد الأطقم التي تستعمل في كل نشاط متكرر بالوحدات وتحديد التسلسل المنطقي للمسار الحرج (أطول مسار) لكل وحدة بطريقة المسار الحرج CPM وكذلك للحصول على عمل متسلسل يحقق التواريخ التعاقدية لإنجاز الوحدات ويحقق الانسيابية في العمل مع عدم وجود فترات توقف، وتحديد أوقات البداية والنهاية لكل الأنشطة ولكل الوحدات والواجبات الخاصة بالأطقم.

- ويتم أجراء عملية التخطيط باستخدام طريقة خطوط التوازن LOB وطريقة المسار الحرج CPM للوحدة المتكررة، كأساس للتخطيط للعلاقات التاليةوبالرجوع إلي نشاط D في المثال السابق يمكن تطبيق المعادلة رقم ١ السابقة:



شكل (٥-٦)

تنسيق الأطقم وحساب معدل الإنجاز

$$R = \frac{N-1}{t_f - t_o}$$

t_o = تاريخ الانتهاء من نشاط معين Activity في الوحدة الأولي (25).

t_f = تاريخ الانتهاء من نشاط معين Activity في الوحدة الأخيرة (N) (40).

θ = زاوية ميل خط الهدف Objective Line .

معدل الإنجاز = $R = \tan \theta$ = عدد الوحدات المنجزة / زمن الإنجاز

N = عدد الوحدات الكلي (16).

$$R = \frac{16-1}{40-25} = 1$$

$$t_f = t_o + \frac{N-1}{R}$$

$$40 = 25 + \frac{16-1}{1}$$

$$t_o = t_f - \frac{N-1}{R}$$

$$25 = 40 - \frac{16-1}{1}$$

أما العلاقة الثانية المهمة فهي علاقة معدل الإنجاز (R) مع زمن تنفيذ النشاط (D) مع عدد أطقم العمل (Number of Crews).

حيث أن:

$$R = \frac{\text{Number of Crews}}{D}$$

وهذا واضح من الرسم السابق.

حيث إن:

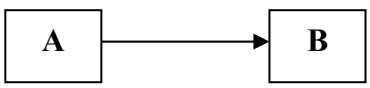
$$R = \frac{4}{4}$$

.....

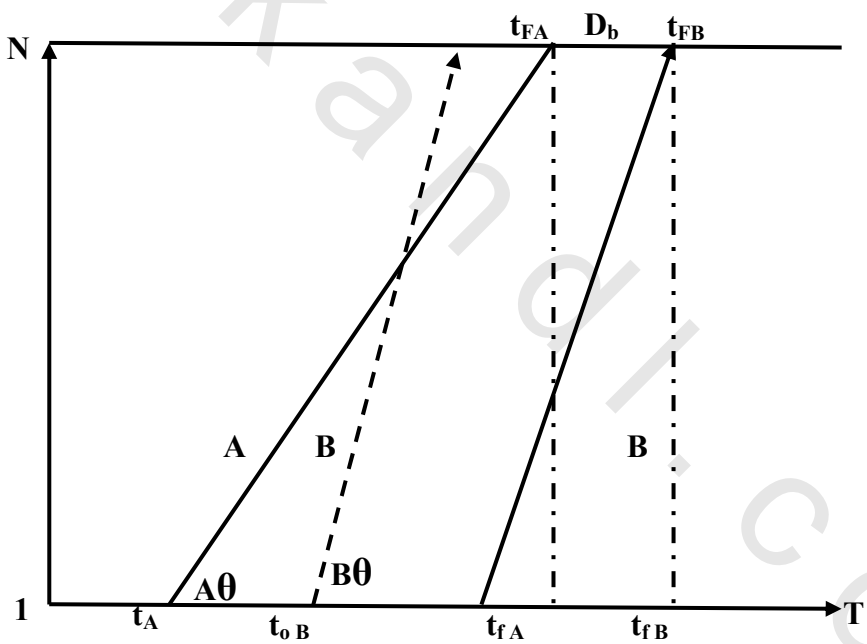
obeikandl.com

عند تخطيط المشروعات ذات الطبيعة التكرارية، يجب أخذ تغيير معادلات الأداء في الاعتبار بحيث إن البنود التي لها علاقة ببعضها يجب ألا تتقاطع خطوط عملها (Objective Lines)، كما سنوضحه فيما يلي:

فإذا فرض أن هناك بندين متتاليين A و B بحيث أن معدل النشاط B أعلي من معدل النشاط A ، وأن بداية البند B تعتمد علي نهاية البند A بعلاقة (نهاية ببداية Finish to Start).



يجب أن يتم التأكد من أن خطوط إنهاء الوحدات لهذين البندين لن يتقاطعا كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل (٥-٧)

العلاقة بين أي نشاطين متتابعين في حال معدل إنجاز اللاحق أكبر من معدل إنجاز السابق

فيجب تحريك خط إنهاء عمل النشاط B إلى اليمين مواز لنفسه حتى $t_{f\,B}$ على يمين $t_{f\,A}$ بمسافة على الأقل تساوي زمن البند A (Duration of A) (D A).

ويعني ذلك أنه إذا علم $t_{f\,A}$ فإن $t_{f\,B}$ يمكن حسابه بالعلاقة $t_{f\,B} = t_{f\,A} + D\,A$ وبالتالي:

$$t_{o\,B} = t_{f\,B} - \frac{N-1}{Rb}$$

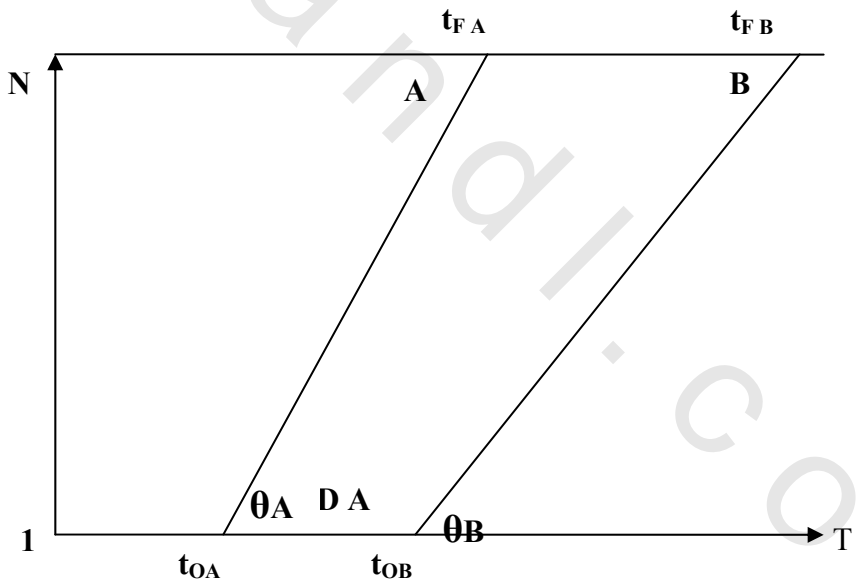
وهذه العلاقة تظهر في حالة ما إذا كان معدل إنجاز B أكبر من معدل إنجاز A

$$R_B > R_A \qquad \theta_B > \theta_A$$

وإذا كان معدل إنجاز B أقل من إنجاز A

$$R_B < R_A \qquad \theta_B < \theta_A$$

كما في الرسم التالي:



شكل (٥-٨)

العلاقة بين أي نشاطين متتابعين في حال معدل إنجاز اللاحق أقل من معدل إنجاز السابق

obeikandl.com

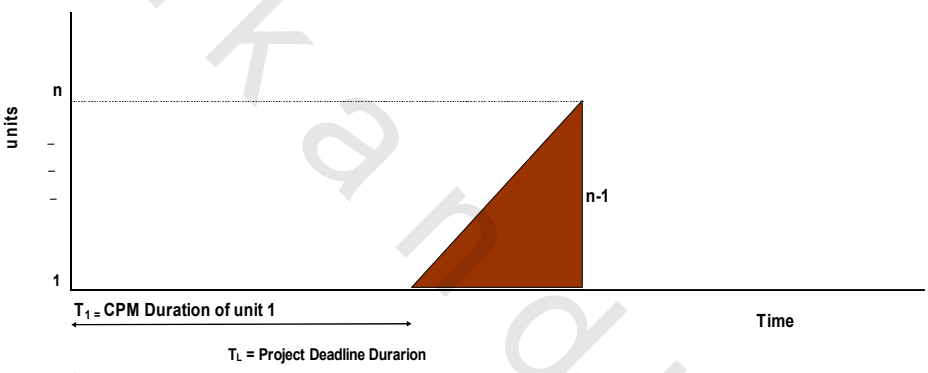
فيجب تحريك خط إنهاء عمل البند B إلي اليمين حتي تكون $t_{o\,B}$ تبعد عن $t_{o\,A}$ بمسافة علي الأقل = D_A = زمن البند A

$$t_{o\,B} = t_{o\,A} + D_A$$

وبالتالي يمكن حساب $t_{F\,B}$ كما يلي:

$$t_{f\,B} = t_{o\,B} + \frac{N-1}{Rb}$$

حساب معدل الإنجاز اللازم لإتمام المشروع في الميعاد المحدد ويمكن حساب هذا المعدل بالرجوع إلى الشكل التالي (٥-٩)



شكل (٥-٩)

حساب معدل الإنجاز لإنهاء المشروع في الوقت المحدد

فيكون معدل الانجاز المطلوب وفقا للمعادلة التالية :

$$Ri = \frac{N-1}{TL - T1}$$

حيث يمثل TL مدة المشروع التعاقدية، T1 المدة اللازمة للوحدة رقم ١ طبقاً لحسابات شبكة أعمال المسار الحرج CPM ، وفي الحقيقة يمثل هذا أقل معدل إنجاز مطلوب، وبالطبع فإنه باستخدام معدلات إنجاز أعلى يمكن إنجاز المشروع في وقت أقل.

ويجب تطبيق هذه المعادلة على الأنشطة التي تكون حرجة في المسار الحرج أما الأنشطة غير الحرجة والتي يوجد منها فوائض زمنية "فترات سماح" TF فيمكن العمل فيها بمعدل أقل لتخفيض الكلفة.

فيحسب المعدل R_i من العلاقة التالية والتي يمكن أن تطبق على كافة الأنشطة الحرج منها أو غير الحرج

$$Ri = \frac{N-1}{(TL-T1)+TFi}$$

حساب الموارد اللازمة للإنجاز:

بعد تحديد أقل معدل يمكن استخدامه للإنجاز فيصبح المطلوب إعداد الجدول الزمني للوحدات المقررة لكل نشاط على حدة وتحديد الموارد المطلوبة للوفاء بوقت الانجاز المحدود.

وفقا للمعادلة $Ci = Di \times Ri$

وبتطبيق المعادلة يمكن تحديد عدد الأطقم (R_i) التي تستعمل لكل نشاط t_i .

وحيث أن عدد الأطقم يجب أن يكون عدد صحيح، فإنه يجب تقيم عدد الأطقم على رقم صحيح وبالتالي يصبح المعدل الجديد المصحح هو:

عدد فرق العمل المصحح $Cai = \text{Round Up} \times Ci$

معدل الإنجاز المصحح $Rai = \frac{Cai}{Di1}$

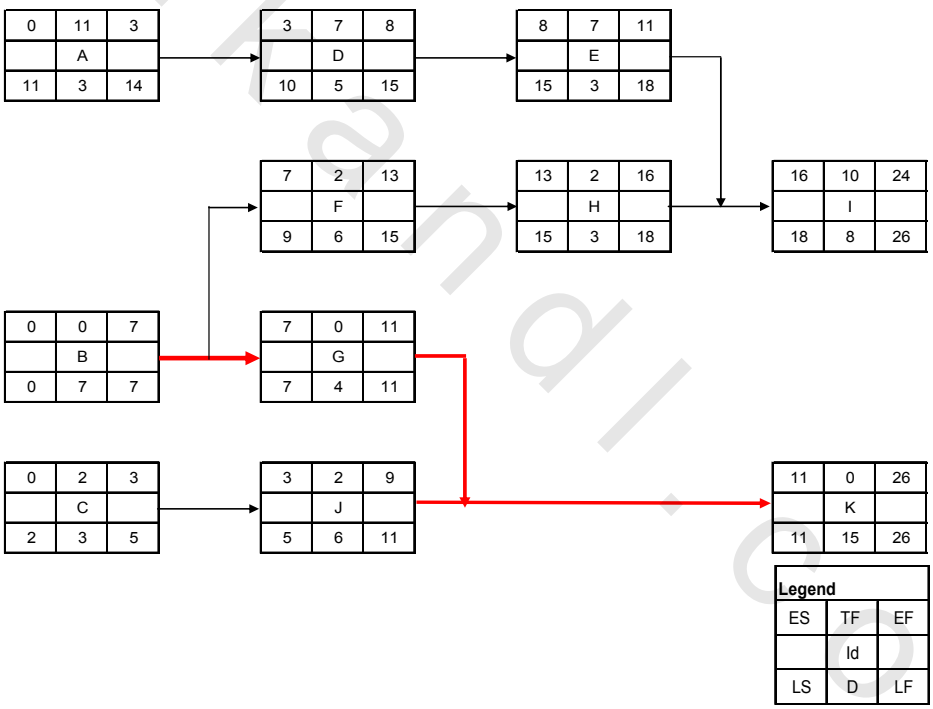
٥-٤ مثال يبين مراحل التخطيط بطريقة خطوات التوازن:

بافتراض مشروع يتكون من أربع (٤) وحدات متكررة وتحتوى كل وحدة علي ١١ نشاط من الأنشطة المستعملة بشبكة الأعمال والوقت المتاح للانتهاء من جميع الوحدات المتكررة هو ٤٠ يوماً طبقاً لمتطلبات المالك.

والمطلوب حساب ورسم برنامج خطوط التوازن LOB الذي يمكن للمقاول من تنفيذ الوحدات خلال ٤٠ يوماً، وحساب العدد المطلوب لفرق العمل للأنشطة المختلفة مع بيان حركة هذا الفرق من وحدة إلي أخرى.

الحل:

١- يتم رسم شبكة الأعمال لوحدة واحدة وحساب الأزمنة البكرة والمتأخرة والمسار الحرج Critical Path وفترة السماح الكل وذلك باستعمال طريقة المسار الحرج وذلك بافتراض مدة زمنية مناسبة لكل نشاط من واقع الخبرة العملية أو بأي طريقة مناسبة وحساب المدة الزمنية الكلية لتنفيذ وحدة واحدة كما بالشكل التالي:



شكل (٥-١٠)

رسم وحسابات شبكة الأعمال لوحدة واحدة

(باستعمال طريقة المسار الحرج)

٢- يتم إنشاء جدول الحسابات لمعدل الإنجاز المطلوب لكل نشاط (ميل خط التوازن) وذلك باستخدام العلاقة:

معدل الإنجاز المطلوب Tan φ = R والذي تم تعريفه سابقاً وهو خارج قسمة عدد الوحدات المنجزة على الوقت اللازم للانتهاء منها، وحيث أننا بعد تنفيذ أي نشاط بالوحدة الأولى يصير عدد الوحدات المتبقي إنجازها هو ٣ أي N-1 حيث

حيث N = ٤ (عدد الوحدات المتكررة)

وبعد أنجاز أي نشاط في الوحدة الأولى يصير أطول وقت لازم للانتهاء من نفس النشاط في الوحدات المتبقية هو الفرق بين زمن الانتهاء المطلوب للانتهاء من كافة المشروع من زمن الانتهاء للوحدة الأولى المستنتج من طريقة المسار الحرج وذلك للأنشطة الحرجة التي ليس لها فترة سماح TF=0 ، وبالنسبة للنشطة التي لها فترة سماح يمكن طرح فترة السماح هذه من ذلك الوقت، وبالتالي تصير العلاقة الرياضية لمعدل الإنجاز المطلوب لتحقيق الوقت المطلوب لإنهاء كافة المشروع على الصورة:

R = (N-1)/(TL-T1+TF) معدل الإنجاز المطلوب

حيث N = ٤ (عدد الوحدات المتكررة)

TL = ٤٠ يوماً (الوقت المطلوب لإنهاء كافة المشروع)

TI = ٢٦ يوماً (الوقت الكلى اللازم لإنهاء أول وحدة)

ومن ثم إيجاد عدد فرق العمل اللازمة (Required Crews) لكل نشاط والتي تساوي حاصل ضرب مدة النشاط في معدل الإنجاز المطلوب لذلك النشاط، ومن ثم وتقريبه لأقرب عدد صحيح بالزيادة وإيجاد عدد فرق العمل المصححة (Adjusted Crews) ثم إيجاد معدل الانجاز المصحح المقابل لهذا العدد من فرق العمل (Adjusted Rate) وذلك طبقاً للجدول الآتي:

النشاط Activity	مدة النشاط Activity Duration (D)	السماح الكلي Total Float (TF) يوم	معدل الإنجاز المطلوب R Desired Rate (R)= (n-1)/(TL-T1+TF)	عدد فرق العمل اللازمة C Required Crews (C) = DxR	عدد فرق العمل المصحح Ca Adjusted Crews (Ca)	معدل الإنجاز المصحح Ra Actual Rate (Ra) = Ca /D
A	3	11	0.120	0.360	1	0.333
B	7	0	0.214	1.500	2	0.286
C	3	2	0.188	0.563	1	0.333
D	5	7	0.143	0.714	1	0.200
E	3	7	0.143	0.429	1	0.333
F	6	2	0.188	1.125	2	0.333
G	4	0	0.214	0.857	1	0.250
H	3	2	0.188	0.563	1	0.333
I	8	10	0.125	1.000	2	0.250
J	6	2	0.188	1.125	2	0.333
K	15	0	0.214	3.214	4	0.267

جدول حسابات طريقة خطوط التوازن

٣- يتم رسم خطوط التوازن للأنشطة المختلفة والوحدات وذلك كما يلي:

مثلاً للنشاط B يتم البدء بالزمن صفر والنهاية عند الزمن ٧ للوحدة رقم ١ ثم رسم خط التوازن بالميل المصحح لمعدل الإنجاز (٠,٢٨٦) (بمعني آخر وحدة واحدة لكل ٣,٥ يوماً) وباستخدام فرقتين عمل كما هو مستنتج بالجدول السابق فإنه يتم نقل فريق العمل بعد الانتهاء من الوحدة الأولي إلي الوحدة الثالثة وفريق عمل الوحدة الثانية إلى الوحدة الرابعة وذلك كما هو مبين.

- يجب ملاحظة أنة للأنشطة المتتابعة في نفس المسار عندما يكون معدل خط التوازن للنشاط اللاحق اقل من معدل خط التوازن للنشاط السابق له مباشراً فإنه يتم رسم خط التوازن بدءاً من بداية خط التوازن للنشاط السابق له (أي بدءاً من القاعدة)، وفي حالة أن يكون معدل خط التوازن (معدل الانجاز) للنشاط التالي أكبر من معدل ميل النشاط السابق فيجب رسم خط التوازن للنشاط اللاحق بدءاً من نهاية خط التوازن للنشاط السابق له مباشراً. وهكذا يتم رسم خطوط التوازن لكل مسار علي وحدة بالمثال السابق يوجد ٤ مسارات هما ما يلي:

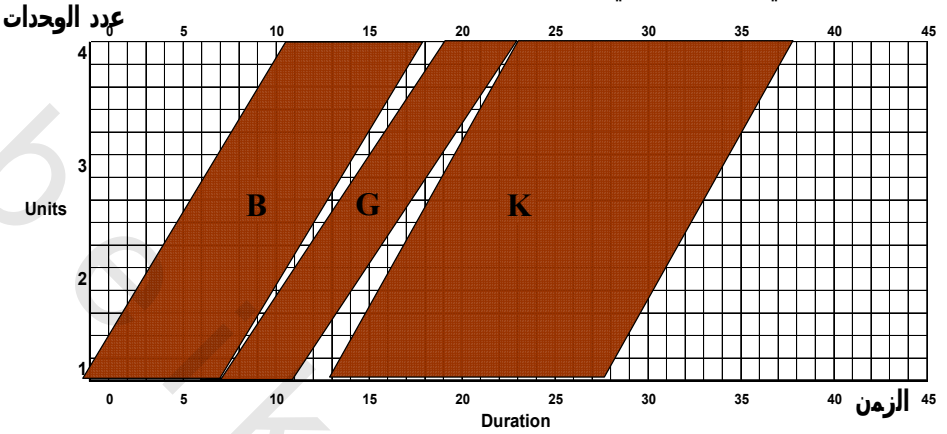
١- A – D – E - I

2- B – F – H - I

3- B – G - K وهو المسار الحرج (Critical Path)

C – J - K -4

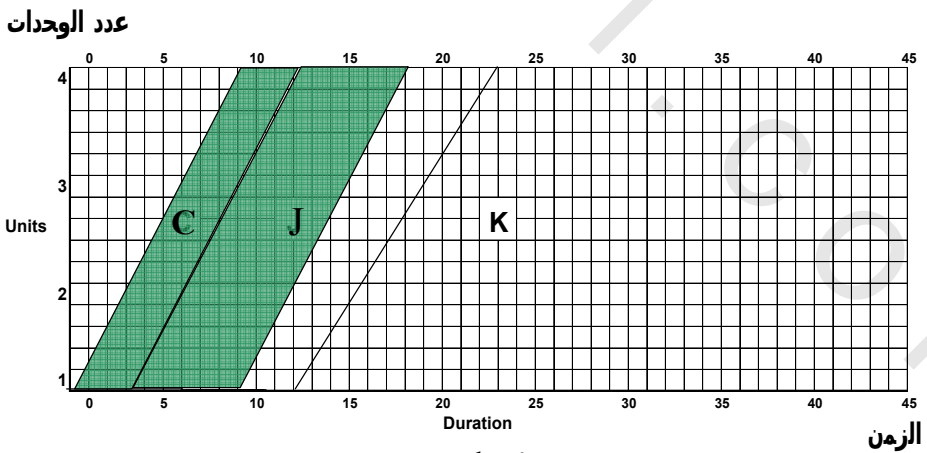
ويتم رسم الجدول البياني لخطوط التوازن للمسار الحرج والمسارات الخرى المختلفة كما في الشكل التالي:



شكل ٥–١١

خطوط التوازن لأنشطة المسار الحرج B – G - K

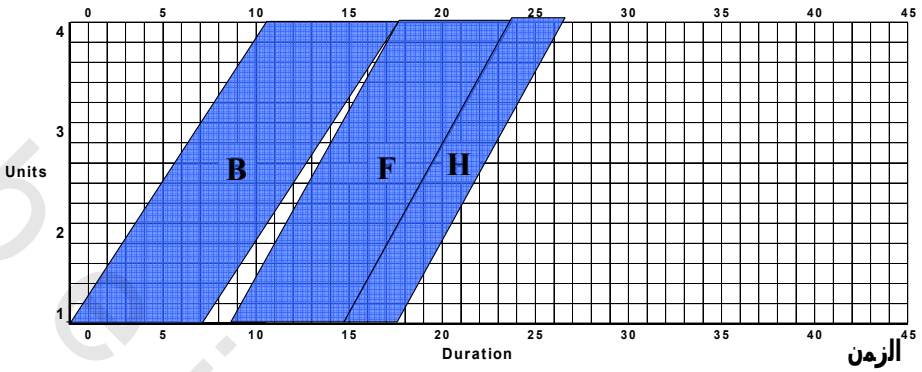
ويجب ملاحظة انه تم رسم خط التوازن للنشاط G بدءاً من القاعدة حيث أن معدل إنجازه أقل من معدل انجاز النشاط B السابق له مباشرة، ولكن تم رسم خطوط توازن النشاط K بدءاً من نهاية الوحدة الأخيرة للنشاط G لأن معدل أنجاز K أكبر من G.



شكل ٥–١٢

خطوط التوازن لأنشطة المسار C – J - K

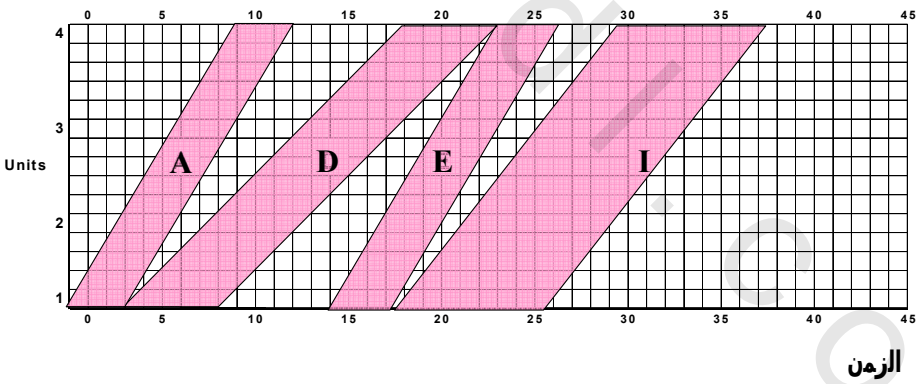
عدد الوحدات



شكل ٥-١٣

خطوط التوازن لأنشطة المسار B – F – H – I

عدد الوحدات



شكل ٥-١٤

خطوط التوازن لأنشطة المسار A – D – E - I