مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (4) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (4) 2013

استخدام التخطيط الشبكي في جدولة العمليات الإنتاجية

الدكتور أيمن يوسف*

(تاريخ الإيداع 27 / 3 / 2013. قُبِل للنشر في 16/ 5 / 2013)

∇ ملخّص ∇

إن استخدام التخطيط الشبكي في برمجة العمليات الإنتاجية عند الإنتاج بالجملة لسلعة ما يعدّ أمراً مهماً في عمليات الإنتاج وصيانة الآلات , وخصوصاً عند إنتاج طلبيات معينة يتم التعامل معها كمشروع متكامل ينبغي إنجازه في زمن محدد, وبأقل تكاليف ممكنة ضمن الموارد المتاحة . ويمكن رؤية التخطيط الشبكي من منظار جديد كونه يدرس طريقة رد الفعل وطريقة الاستجابة للأحداث الطارئة التي تصيب الإنتاج الصناعي، مثل حدوث أعطال في الآلات, وانقطاعات التغذية بالمواد الأولية الخ...، ويتم ذلك باستخدام الطرق الاحتمالية التي تأخذ في الحسبان جميع العوامل السابقة عند حساب المسار الحرج في المخططات الشبكية. والجديد الذي يقدمه هذا البحث هو استخدام التخطيط الشبكي في برمجة العمليات الإنتاجية عند الإنتاج بالجملة لسلعة ما، وخصوصاً عمليات الصيانة التي يجب أن يتم التعامل معها كمشروع متكامل ينبغي إنجازه في زمن محدد وبأقل تكاليف ممكنة ضمن الموارد المتاحة.

الكلمات المفتاحية: التخطيط الشبكي. البرمجة الخطية, المخططات الشبكية, أنشطة مشروع الصيانة

* مدرس – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (4) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (4) 2013

Programming of Production Processes by using Network Planning

Dr. Ayman Youssef*

(Received 27 / 3 / 2013. Accepted 16 / 5 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

The implantation of production processes by using network planning for mass production is considered essential in machine production and maintenance . This is more important when producing items as an integrated project that has to be finished in specific time and with last cost. The network planning is seen from a new perspective because it studies reaction method and response method to incidental (emergency) events in industrial production such as (machine malfunction, shortage in raw materials…) This study uses probability methods which considers all previous factors when calculating the critical path in Network plans.

The new approach of this research is using Network planning for programming production processes in mass production especially in maintenance processes.

Key words : Network Planning, Linear programming, Network chart, Maintenance project activities

*Assistant Professor, Faculty of genie Mechanic and Electric, Section Production, Lattakia, Syria.

مقدمة:

لقد ترافق التطور الصناعي الهائل في القرن الماضي مع تطور تقني كبير في وسائل الإنتاج، إضافةً إلى التطور الكبير في أساليب التنظيم الصناعي، والذي يعنى في أحد جوانبه بتخطيط وجدولة الإنتاج الصناعي. وقد ظهرت في منتصف القرن الماضي أساليب جديدة في تخطيط الإنتاج (وجدولته) برمجة الإنتاج ومنها أساليب التخطيط الشبكي، التي تعتمد على تقسيم المشروع إلى مجموعة من النشاطات ودراسة العلاقات التتابعية فيما بينها بغية تحقيق الهدف الزمني للمشروع، ضمن حدود الموارد المادية والبشرية المتوافرة.

وقد استفادت هذه الأساليب من تطور الرياضيات الحديثة، حيث أصبحت تستخدم البرمجة الخطية في ضغط المشروعات للوصول إلى إنهاء المشروع ضمن الوقت المحدد بالكلفة الأمثل.

تظهر نتائج هذا البحث أنه يمكن التخلص من فوضى التأخير في الإنجاز والتنفيذ, لأنه سيصبح بإمكاننا القيام بعملية تخطيط وبرمجة زمن أنشطة المشروع لإنجازها وفق أسلوب علمي متطور. ويؤدي التخطيط الشبكي دوراً فعالاً ومهماً لتحقيق هذه الغاية . كذلك تنظر هذه الدراسة إلى التخطيط الشبكي من منظار جديد كونه يعد طريقة لرد الفعل أو الاستجابة للأحداث الطارئة التي تصيب الآلات، ويتم ذلك باستخدام الطرق الاحتمالية التي تأخذ في الحسبان جميع العوامل السابقة عند حساب المسار الحرج في المخططات الشبكية.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في أن معظم المشروعات الخدمية تعاني من تأخير في الإنجاز وفوضى في التنفيذ، وذلك بسبب غياب عملية تخطيط وبرمجة زمن أنشطة المشروع لإنجازها وفق أسلوب علمي متطور، ويعدُّ هذا الأمر من أهم الأسباب المؤثرة سلباً على نجاح تنفيذ وإدارة المشروع وعلى الأهداف المراد تحقيقها منه.

والتخطيط الشبكي له الدور الأكبر في عملية تخطيط المشروعات للكشف عن الانحرافات واتخاذ الإجراءات المناسبة في الوقت المناسب، ويهدف هذا الأسلوب العلمي إلى تنفيذ العمل بالجودة المطلوبة باستخدام أقل قدر ممكن من الوحدات الزمنية والتكلفة والموارد.

مما سبق تتحدد مشكلة البحث فيما يلي:

- تأخير إنجاز أنشطة المشروع الخدمي لعدم برمجتها وتنظيمها وفق أسلوب علمي، وقلة اهتمام القائمين على إدارة المشروعات الخدمية بعنصر الزمن، ومدى تأثيره في التكلفة والموارد.
- ظهور فوضى في عمليات التنفيذ بسبب عدم تنفيذ الأنشطة وفق تسلسل الأسبقية.

ينتج عن المشكلتين السابقتين ما يلي:

- ارتفاع التكاليف في المشروع الخدمي لعدم تخطيطها بشكل علمي سليم.
- انخفاض العائد المتوقع من المشروع الخدمي وعدم البحث في أسباب ذلك.

أما من الناحية العملية التطبيقية، فإن هذا البحث يسهم في رفع قابلية رد الفعل الصناعية للمؤسسات الصناعية في حال تطبيقها لتقنيات التخطيط الشبكي وخاصة تلك المؤسسات العاملة في مجال الإنتاج.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على ما يلي:

1- الدراسة النظرية : وغايتها توضيح المفاهيم والمبادئ المستخدمة في عملية التخطيط الشبكي.

2- الدراسة التطبيقية: و هي حالة واقعية لإحدى مؤسساتنا المختصة في مجال الإنتاج (الألبسة الجاهزة موضوع عملنا) .حيث تبين لنا بعد تطبيق الأنموذج (الطريقة الجديدة) الذي اعتمد من رحم الطرق المستخدمة أنه يمكننا من تقليل مدة الصيانة, مما يزيد النمو الاقتصادي لهذه المؤسسات ويرفع قدرتها التنافسية

دراسات سابقة عن نماذج شبكات الأعمال:

ظهرت تقنيات إدارة المشروعات أثناء الحرب العالمية الأولى، عندما صمم العالم الأمريكي **Henry Gantt** مخطط الأعمدة البيانية **Bar Chart** الذي سمي باسمه "مخطط جانت" **Gantt Chart** [1]. وكان الهدف منه وضع الأنشطة الأساسية الممثلة للمشروع المقترح في قائمة تحوي أوقاتاً مجدولة للبدء والإنهاء. يعد ظهور المشروعات الإنتاجية الضخمة والمعقدة من أهم العوامل التي دفعت العلماء والباحثين إلى ضرورة البحث عن أسلوب جديد، يعالج مشكلة التأخير في إنجاز المشروعات وكان المخطط الشبكي إحدى ثمارها, وقد اعتمد على طريقتين اثنتين وهما :

طريقة المسار الحرج CPM: Critical Path Method

تعد أداة لتخطيط وتنفيذ ومراقبة المشروعات الضخمة والمعقدة، باستخدام عامل زمني واحد لكل نشاط فقط، وتقوم على أساس تحديد مجموعة الأنشطة التي يجب أن تعطى اهتماماً خاصاً في التخطيط والتنفيذ، لأن إكمال المشروع في وقت محدد وبتكاليف محددة، يعتمد إلى درجة كبيرة على الأنشطة الواقعة على المسار الحرج[2].

طريقةPERT : Program Evaluation And Review Technique

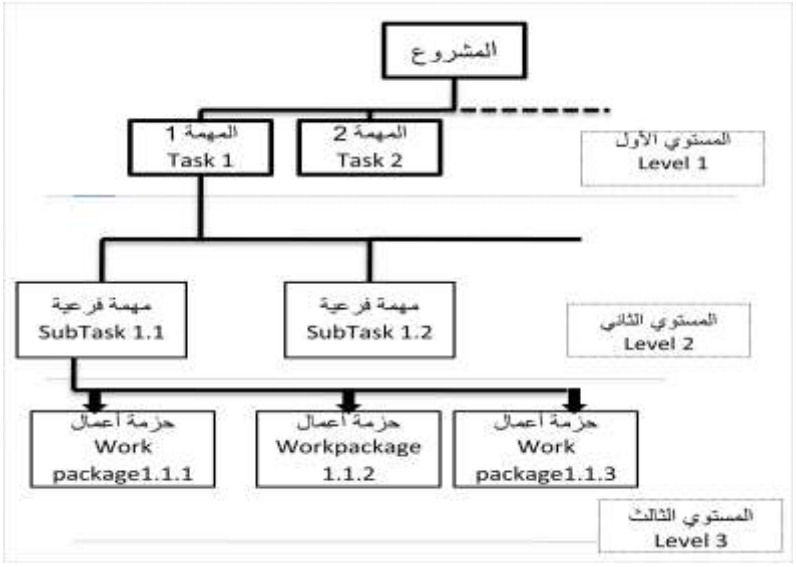
مكنت هذه التقنية المديرين من تخطيط وجدولة ومراقبة المشروعات الضخمة والمعقدة بتوظيف ثلاثة تقديرات زمنية لكل نشاط هي: الزمن المتشائم، الزمن المتفائل، الزمن الأكثر احتمالاً.

طُوّرت هاتان الطريقتان(**PERT/ CPM**) في كل من بريطانيا وأمريكا في الوقت نفسه تقريباً [3] . لقد ظهرت الطريقتان السابقتان أولاً بنظام يعتمد على تمثيل النشاط بسهم على الشبكة **Activity on Arrow** ويرمز له بـ **AOA**. أما في بداية السبعينات من القرن الماضي فقد استخدم نظام آخر لبناء شبكة العمل، يقوم على أساس تمثيل النشاط على العقدة في شبكة العمل **Activity on Node** ويرمز له بـ **AON**.

شهد العام 1981 ظهور مفهوم الشبكة الزمنية التي تجمع بين مخطط جانت والمخطط الشبكي. وكان دخول تكنولوجيا المعلومات والاتصالات إلى إدارة المشروعات سبباً في بناء عدة برامج حاسوبية مهمتها تخطيط وجدولة ومراقبة المشروعات، ومن أهم هذه البرمجيات: برنامج **M.S.Project 2000** المقدم من قبل شركة **Microsoft** التي تعنى بإدارة المشروع **Project Management**، لأنه يمكن المستخدم من إعداد مخطط جانت، والمخطط الشبكي بأسلوب PERT، وجدولة التكلفة والزمن. ولكن بداية علينا تحديد هيكل العمل المفصل ,

هيكل العمل المفصل (هيكل تقسيم العمل) Work Breakdown Structure

تصبح المشروعات المعقدة قابلة للإدارة بتجزئتها تفصيليًا إلى مكونات مفردة في بنية ترتيبية تعرف بهيكل العمل المفصل WBS, شكل (1). ويعد هيكل تقسيم العمل من الأدوات المساعدة في مرحلة تحديد الأنشطة التي تسبق بناء المخططات الشبكية [4].



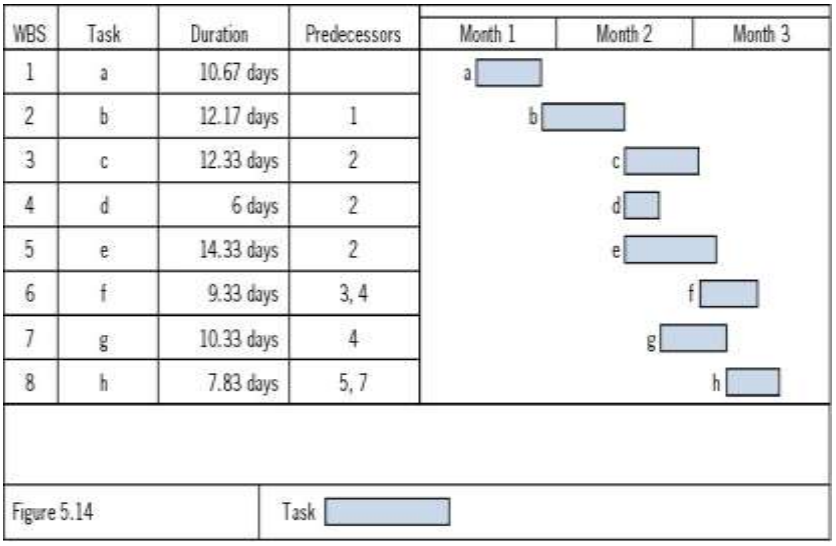
الشكل (1) دور WBS في تخطيط المشروع

مخطط غانت Gantt Chart

في عصر الإدارة العلمية، طور هنري غانت أداة لعرض تقدم المشروع على شكل مخطط مخصص [5] , إن التطبيق المبكر لهذا النوع من المخططات كان تعقب تقدم مشاريع بناءِ السفن .أما اليوم، تأخذ أداة جدولة غانت شكل مخطط بياني أفقي ويعرف بمخطط غانت ويوضح الشكل (2) مثالا عنه.

دور مخطط غانت في تخطيط المشروع

يستخدم في المشروعات الكبيرة هيكل العمل المفصل لتمييز المهام قبل إنشاء مخطط غانت. أما في المشروعات الصغيرة يستخدم مخطط غانت نفسه لتمييز المهام. إن قوة مخطط غانت تكمن في قدرته على إظهار حالة كل نشاط بنظرة واحدة. ويمكن توليد مخططات غانت حاسوبياً باستخدام برامج إدارة المشروعات مثل (MS-Project) أو برامج الجداول الالكترونية مثل (MS-Excel). في تحليل التسلسل والمسار الحرج، يعد تشكيل الشبكات مثل شبكة CPM و PERT أكثر قدرة على التعامل مع تعاقب النشاطات المتعلقة فيما بينها وزمن انجاز المشروع . ولكن حتى مع استخدام المخططات الشبكية يستخدم مخطط غانت بوصفه أداة للتقارير.



WBS	Task	Duration	Predecessors
1	a	10.67 days	
2	b	12.17 days	1
3	c	12.33 days	2
4	d	6 days	2
5	e	14.33 days	2
6	f	9.33 days	3, 4
7	g	10.33 days	4
8	h	7.83 days	5, 7

الشكل (2) مثالا نموذجياً لمخطط غانت

أهمية التخطيط الشبكي: Importance's Network Planning

يقوم التخطيطي الشبكي على أساس تحليل المشروع تحليلاً هيكلياً وزمنياً، وفق ترتيب منطقي لأنشطته التي يتطلب إنجازها زمناً وموارد مختلفة. إن الاعتماد على أسلوب كهذا في تخطيط وجدولة ورقابة المشروعات الإنشائية أو الخدمية أو الإنتاجية مهم جداً في بحثنا هذا. وتعتبر شبكة العمل أنموذجاً يمثل المشروع ويمكن تمثيل عناصرها بمجموعة من الأسهم الموجهة والدوائر، ويمثل السهم النشاط بينما تمثل الدائرة الحدث، وتعرض الشبكة العلاقات المنطقية بين هذه العناصر. وتوصف الشبكة بأنها شبكة متصلة إذا كان هناك مسار واحد على الأقل يصل بين كل زوج من الأحداث وذلك في شبكة العمل المرسومة وفق قواعد النظام الموجه للأحداث, فإذا كان هذا المسار وحيداً تسمى الشبكة المتصلة بالشجرة، وتعرّف الشجرة بأنها شبكة متصلة يكون فيها n حدث و (n−1) سهم ولا تحوي حلقة أو دائرة، أي لا تبدأ وتنتهي في الحدث نفسه.

أما إذا كان المشروع مقسماً إلى N نشاط، فإن تكلفته المباشرة تساوي مجموع التكاليف المباشرة لأنشطته أي أن:

$$DC = \sum_{k=1}^{N} DC_{(i,j)_k} \qquad (1)$$

حيث إن: DC : إجمالي التكلفة المباشرة للمشروع.

i = 1, 2 ,3 .....n−1 ، j = i+1 , i+2 , ...,n ، k=1 , 2 .....N

$DC_{(i,j)_k}$: التكلفة المباشرة للنشاط (i , j) ذي الترتيب k. وتساوي حاصل مجموع قيم جميع عناصر التكلفة المباشرة (m) الخاصة بالنشاط (i , j) الذي ترتيبه k كما يلي:

$$DC_{(i,j)_k} = DC_{(i,j)_{k1}} + DC_{(i,j)_{k2}} + \ldots\ldots + DC_{(i,j)_{kn}}$$

$$DC_{(i,j)_k} = \sum_{l=1}^{m} DC_{(i,j)_{kl}} \qquad (2)$$

حيث i =1 , 2 ,....m تشير إلى عنصر التكلفة المباشرة.

M : عدد عناصر التكلفة المباشرة الخاصة بالنشاط.

تصبح المعادلة (1) كما يلي:

$$DC = \sum_{k=1}^{N} \sum_{l=1}^{m} DC_{(i,j)kl} \qquad (3)$$

تمكننا هذه المعادلة (3) من حساب التكلفة المباشرة للمشروع (المضغوط أو العادي) من خلال حساب التكلفة المباشرة (المضغوطة أو العادية) لكل نشاط من أنشطته بالاعتماد على المعادلة (2).

وبما أن التكلفة غير المباشرة تمثل النفقات التي لا ترتبط مباشرة بأنشطة محددة وإنما بمجموع هذه الأنشطة أي بالمشروع كله، فإن التكلفة غير المباشرة للمشروع هي حاصل جمع قيم جميع عناصر التكلفة غير المباشرة الخاصة بالمشروع كله أي أن:

$$IC = IC_1 + IC_2 + ... + IC_w$$

$$IC = \sum_{f=1}^{w} IC_f \qquad (4)$$

حيث: w: عدد عناصر التكلفة غير المباشرة للمشروع، f=1,2,....,w

IC_f : قيمة التكلفة غير المباشرة للعنصر f.

IC: قيمة إجمالي التكلفة غير المباشرة للمشروع.

عندما تصبح قيمة كل من التكاليف المباشرة وغير المباشرة الخاصة بالمشروع معلومة يمكننا أن نحصل من خلال جمعها على التكاليف الإجمالية TC الخاصة بالمشروع أي أن:

$$TC = DC + IC \qquad (5)$$

يُعتمد على هذه المعادلات في تحديد التكلفة العادية والمضغوطة لكل من الأنشطة في المشروع.

استخدام الحاسوب في التخطيط الشبكي :Network analysis using computer

في المشروعات الصغيرة ذات النشاطات القليلة يمكن إنشاء المخططات الشبكية بشكل يدوي، وكذلك يمكن تحليل هذه المخططات باستخدام الطرائق الحسابية اليدوية , ولكن عند تعقد المشروع وتعدد نشاطاته وبالتالي تشعب الشبكة الخاصة به بشكل كبير يصبح ذلك صعباً . لذلك ومنذ بداية دخول الحاسوب إلى عالم الإدارة الصناعية، تم تصميم برامج تقوم بإجراء التحليل الشبكي ورسم المخططات الشبكية وفق PERT/CPM بشكل آلي اعتمادًا على المعطيات المدخلة.

رسم المخطط الشبكي

بعد أن تعرّف النشاطات وتسلسلها يمكن رسم المخطط الشبكي وهو مجموعة من الأسهم والعقد التي تعبر عن الأحداث والنشاطات والعلاقات فيما بينها, وهناك طريقتان لتمثل المخططات الشبكية [6]:

- **شبكات عقد النشاطات [AON] Activity-on-Node:** استخدمت هذه الطريقة من قبل مطوري شبكات المسار الحرج وفيها ترسم عقدة لكل نشاط ثم توصل العقد بوساطة أسهم تحدد علاقات الأسبقية بين النشاطات .وتعد هذه الطريقة سهلة وواضحة وقابلة للأتمتة).

- **شبكات عقد النشاطات [AOA] Activity-on-Arrow** : استخدمت هذه الطريقة من قبل مطوري شبكات PERT تمثل العقد أحداث بداية ونهاية كل نشاط وتمثل الأسهم كلاً من النشاطات وعلاقات الأسبقية فيما بينها .ويلاحظ في هذا النوع من الشبكات وجود حالات يستحيل فيها تحويل جدول النشاطات إلى مخطط مع مراعاة القواعد سالفة الذكر . لذلك يتم إضافة مفهوم جديد إلى شبكات **AOA هو النشاط الوهمي** Dummy Activity وهو نشاط لا يستغرق زمنًا ولا يستلزم أية موارد، ويمثل بسهم متقطع .ويستخدم لفك الارتباط بين حدثين مرتبطين بأكثر من نشاط وزيادة وضوح الشبكة.

مفهوم وطرائق ضغط المشروع Project Crashing

يمكن تقصير زمن إنجاز المشروع بتسريع إنجاز النشاطات وذلك بهدف تحقيق أرباح أعلى وباستخدام موارد إضافية ويتم ذلك باستخدام تقنية ضغط المشروعات [7], ويتم ضغط المشروع عن طريق ما يلي:

استبعاد بعض أجزاء المشروع, إضافة مواد أكثر, استخدام نشاطات أو مكونات أقل استهلاكًا للزمن, موازاة النشاطات, اختصار نشاطات المسار الحرج, اختصار النشاطات المبكرة, اختصار النشاطات الأطول, اختصار النشاطات الأسهل,اختصار النشاطات الأقل تكلفة في التسريع, اختصار النشاطات التي لديها موارد أكثر, زيادة عدد ساعات العمل باليوم.

الحالة المدروسة Case Study

شركة عامة تعمل في إنتاج الألبسة الجاهزة، وبشكل خاص الألبسة الموحدة. وهي تعمل وفق نظام إنتاج بالدفعات ويعد نظام الإنتاج في الشركة نظامًا يعتمد على اليد العاملة بشكل أساسي وغير مؤتمت. ونتيجة لحدوث أعطال جسيمة في شبكة البخار في المعمل، ستضطر إدارة الشركة إلى إجراء أعمال إصلاحات داخل وخارج الصالة الإنتاجية الكبيرة. (صالة الخياطة)، وبما أن المعمل سيتوقف خلال فترة الإصلاح هذه، ستحاول إدارة الشركة استغلال هذه الفترة للقيام بكافة أعمال الصيانة التي تجعل توقف المعمل في المرة القادمة بعيدًا قدر الإمكان. ولكن على الإدارة أيضًا أن تأخذ بالحسبان أن أعمال الإصلاح والصيانة يجب ألا تزيد عن 20 يوماً, و إلا توجب على الشركة تحمل أعباء مالية ناجمة عن تأخر تسليم الطلبيات لزبائنها وباستخدام التطبيق الشبكي في جدولة عمليات الصيانة والإصلاح في المعمل لتسليمه جاهزًا للعمل في الوقت المحدد سنطبق أنموذج المسار الحرج CPM وذلك لأن ظروف عدم التأكد غير متوافرة في أعمال الصيانة، ويمكن استخدام الأزمنة الحتمية للنشاطات.

تحديد النشاطات المكونة للحالة المدروسة في الشركة

إن النشاطات التي يتألف منها مشروع صيانة وإصلاح شبكة البخار في المعمل يمكن تحديدها باستعمال مخطط WBS وقد حددنا هذه النشاطات وأظهرناها بالشكل (**3**) الذي يبين مخطط العمل التفصيلي للمعمل وهي:

صيانة المبنى وتتألف من النشاطات التالية: نقل الآلات من الصالة إلى الورشة الفنية,صيانة نظام التهوية, صيانة نظام الإضاءة, طلاء الجدران والنوافذ, إعادة تأهيل الأرضية.

إصلاح تجهيزات البخار: استبدال مولد البخار وملحقاته, استبدال شبكة الأنابيب,توصيل المولد مع الشبكة.

صيانة الآلات: صيانة وإصلاح الآلات داخل الورشة, إعادة توضع الآلات ضمن الصالة.

الشكل (3) مخطط العمل التفصيلي لمشروع الصيانة

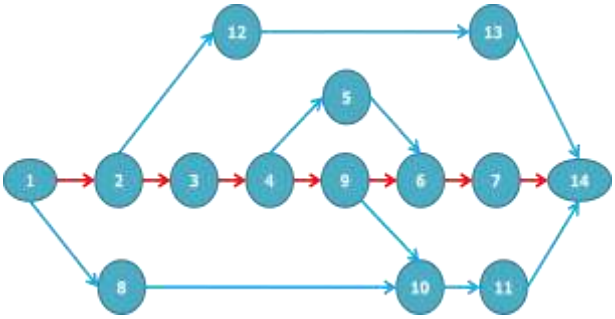
يوضح الجدول (1) تسلسل النشاطات في عملية الصيانة المقترحة مبينًا النشاطات السابقة واللاحقة لكل نشاط, وزمن إنجاز كل نشاط، وبما أن الأنموذج المستخدم في هذا المشروع هو أنموذج المسار الحرج CPM , لذلك استخدم زمن واحد لكل نشاط (أي لا توجد أزمنة متفائلة ومتشائمة).

الجدول (1) تتابع نشاطات المشروع

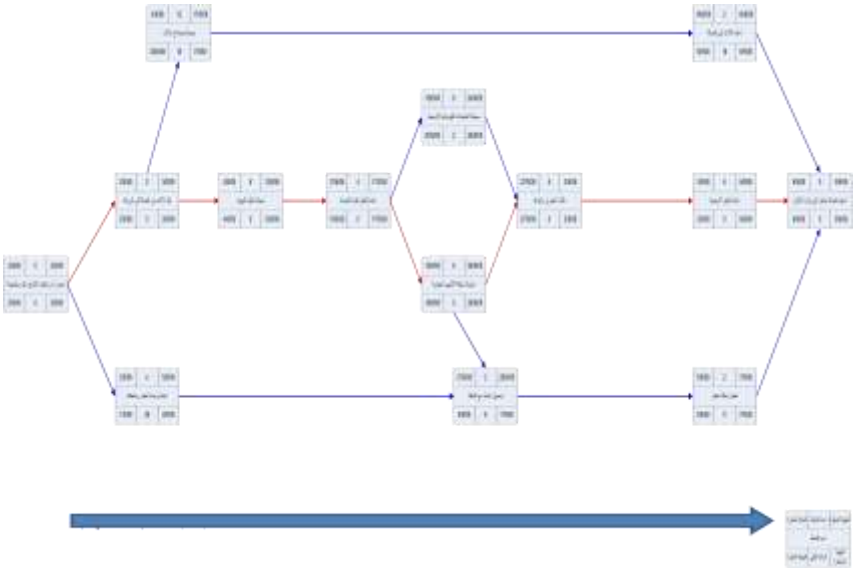
Successors النشاطات اللاحقة	Predecessors النشاطات السابقة	Activity Time زمن النشاط	اسم النشاط Activity Name	ID رمز النشاط
-----	-----	34 days	مشروع صيانة المشروع	0
2 ,8	------	0 days	إصدار أمر إيقاف الإنتاج و البدء بصيانة الصالة الإنتاج	1
3.12	1	2 days	نقل الآلات من الصالة إلى الورشة	2
4	2	8 days	صيانة نظام التهوية	3
5.9	3	4 days	إعادة تأهيل نظام الإضاءة	4
6	4	6 days	صيانة التمديدات الكهربائية الأرضية	5
7	5,9	6 days	طلاء الجدران والنوافذ	6
14	6	6 days	طلاء الجدران والنوافذ	7
10	1	4 days	استبدال مولد البخار وملحقاته	8
6.10	4	8 days	استبدال شبكة الأنابيب البخارية	9
11	8,9	2 days	توصيل المولد مع الشبكة	10

11	اختبار شبكة البخار	2 days	10	14
12	صيانة وإصلاح الآلات	12 days	2	13
13	إعادة الآلات إلى الصالة	2 days	12	14
14	تسليم الصالة الجاهزة إلى إدارة الإنتاج	0 days	7,11,13	----

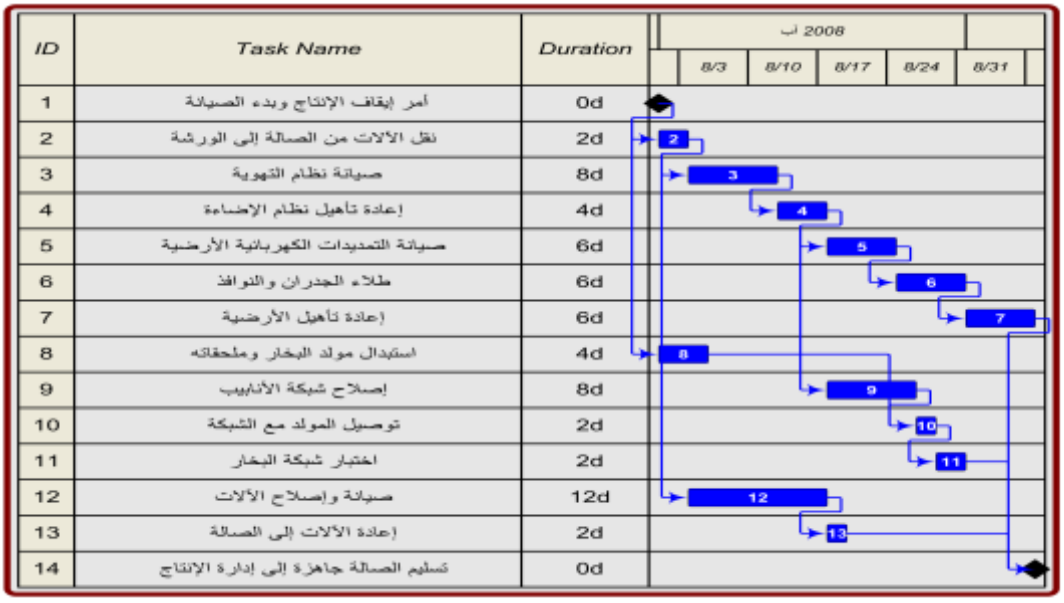
رسم المخطط الشبكي : بعد تحديد تتابع نشاطات المشروع كما هو مبين في الشكل (4) الذي يمثل المخطط الشبكي AON للمشروع, نقوم برسم المخطط الشبكي المطور لأعمال الصيانة الشكل (5) في إيضاح طريقة تحديد أوقات العمل, قمنا بإدراج مخطط غانت لتوضيح المدى الزمني لأعمال الصيانة وكل من الأنشطة المقترحة الشكل (6)



الشكل (4) المخطط الشبكي للمشروع



الشكل (5) المخطط الشبكي المطور للمشروع



الشكل (6) مخطط غانت لمشروع الصيانة بعد ضغط المشروع

إيجاد المسار الحرج

يمكن الآن تحديد النشاطات الحرجة وهي النشاطات التي يكون الزمن الراكد الكلي لها يساوي الصفر الجدول (2) ويتم إيجاد هذه النشاطات عن طريق حساب البدايات والنهايات المبكرة بالمرور الأمامي في الشبكة، ثم يتم التحقق من تلك النشاطات عن طريق المرور الخلفي بالشبكة لحساب البدايات والنهايات المتأخرة. ويوضح الشكل (5) المخطط الشبكي للمشروع، والمسار الحرج المكون من النشاطات:

1,2,3,4,9,6,7,14 وطوله = 0+6+6+8+4+8+2+0 = 34 يوماً. نلاحظ أن طول المشروع أكثر من الوقت المحدد لإنهاء أعمال الصيانة، لذلك يجب ضغط النشاطات للوصول إلى إنهاء المشروع في الوقت المناسب، عن طريق العمل بوردية إضافية

الجدول (2) إيجاد النشاطات الحرجة في المشروع

رمز ID النشاط	Early Start البداية المبكرة	Early Finish النهاية المبكرة	Late Start البداية المتأخرة	Late Finish النهاية المتأخرة	Total Slack الراكد الكلي	Critical النشاط حرج
0	01/08/2008	09/09/2008	02/08/2008	09/09/2008	0 days	Yes
1	01/08/2008	01/08/2008	02/08/2008	02/08/2008	0 days	Yes
2	02/08/2008	03/08/2008	02/08/2008	03/08/2008	0 days	Yes
3	04/08/2008	12/08/2008	04/08/2008	12/08/2008	0 days	Yes
4	13/08/2008	17/08/2008	13/08/2008	17/08/2008	0 days	Yes
5	18/08/2008	24/08/2008	20/08/2008	26/08/2008	2 days	No
6	27/08/2008	02/09/2008	27/08/2008	02/09/2008	0 days	Yes
7	03/09/2008	09/09/2008	03/09/2008	09/09/2008	0 days	Yes
8	02/08/2008	05/08/2008	01/09/2008	04/09/2008	26 days	No
9	18/08/2008	26/08/2008	18/08/2008	26/08/2008	0 days	Yes
10	27/08/2008	28/08/2008	06/09/2008	07/09/2008	8 days	No
11	30/08/2008	31/08/2008	08/09/2008	09/09/2008	8 days	No
12	04/08/2008	17/08/2008	25/08/2008	07/09/2008	18 days	No
13	18/08/2008	19/08/2008	08/09/2008	09/09/2008	18 days	No
14	09/09/2008	09/09/2008	09/09/2008	09/09/2008	0 days	Yes

ضغط زمن المشروع باستخدام البرمجة الخطية

علينا حساب وتحديد الأزمنة الطبيعية والمضغوطة للنشاطات و حساب فرق الكلفة الناتج عن ضغط كل مشروع وبالتالي حساب تكلفة ضغط واحدة الزمن (ميل التكلفة slope), الجدول (3).

الجدول (3) حساب ميل الكلفة في المشروع

رقم النشاط	الطبيعي الزمن Normal Time [يوم]	الزمن المضغوط Crashed Time [يوم]	الكلفة الطبيعية Norma Cost [ل.س]	فرق التكلفة Additional [ل.س]	مقدار الضغط Crashing Time [يوم]	ميل التكلفة Slope [ل.س/يوم]
1	0	0	--------	-----	------	------
2	2	1	12000	2400	1	2400
3	8	4	40000	12800	4	3200
4	4	2	32000	6400	2	3200
5	6	3	48000	9600	3	3200
6	6	3	30000	6000	3	2000
7	6	3	30000	6000	3	2000
8	4	لايمكن ضغطه	48000	------	---	-----
9	8	4	144000	36000	4	9000
10	2	1	24000	6000	1	6000
11	2	1	24000	6000	1	6000
12	12	6	43200	14400	6	2400
13	2	1	7200	3600	1	3600
14	0	0	0	0	0	0

وقد بينت في الجدول (4) متحولات القرار في البرنامج الخطي المستخدم لضغط المشروع (مشروع الصيانة) .

الجدول (4) متحولات القرار في البرنامج الخطي للمشروع

اسم المتحول	الوصف
X1	زمن وقوع حدث بدء النشاط1
X2	زمن وقوع حدث بدء النشاط2
X3	زمن وقوع حدث بدء النشاط3
X4	زمن وقوع حدث بدء النشاط4
X5	زمن وقوع حدث بدء النشاط5
X6	زمن وقوع حدث بدء النشاط6
X7	زمن وقوع حدث بدء النشاط7
X8	زمن وقوع حدث بدء النشاط8
X9	زمن وقوع حدث بدء النشاط9
X10	زمن وقوع حدث بدء النشاط10
X11	زمن وقوع حدث بدء النشاط11
X12	زمن وقوع حدث بدء النشاط 12

X13	زمن وقوع حدث بدء النشاط 13
X14	زمن وقوع حدث بدء النشاط 14
Y1	مقدار الضغط المطبق على النشاط1
Y2	مقدار الضغط المطبق على النشاط2
Y3	مقدار الضغط المطبق على النشاط3
Y4	مقدار الضغط المطبق على النشاط4
Y5	مقدار الضغط المطبق على النشاط5
Y6	مقدار الضغط المطبق على النشاط6
Y7	مقدار الضغط المطبق على النشاط7
Y8	مقدار الضغط المطبق على النشاط8
Y9	مقدار الضغط المطبق على النشاط9
Y10	مقدار الضغط المطبق على النشاط1
Y11	مقدار الضغط المطبق على النشاط1
Y12	مقدار الضغط المطبق على النشاط1
Y13	مقدار الضغط المطبق على النشاط1
Y14	مقدار الضغط المطبق على النشاط 14

وفيما يلي صياغة البرنامج الخطي الخاص بضغط المشروع :

التابع الهدف في البرنامج الخطي هو:

$$Minimize\ \ Z = 2400\ Y_2 + 3200\,Y_3 + 3200\,Y_4 + 3200\,Y_5 + 2000\,Y_6 + 2000\,Y_7 + 9000\,Y_9 + 2000\,Y_{20} + 6000\,Y_{10} + 6000\,Y_{11} + 2400\,Y_{12} + 3600\,Y_{13}$$

ويخضع للقيود التالية : قيود الشبكة و قيود الحد الأعظم لأزمنة ضغط نشاطات المشروع الشكل (7) :

$$\begin{array}{ll}
X_2 \geq X_1 + 0 & X_2 - X_1 = 0 \\
X_2 \geq X_1 + 2 - Y_2 & X_2 - X_1 - Y_2 \geq 2 \\
X_{12} \geq X_2 + 2 - Y_2 & X_{12} - X_2 + Y_2 \geq 2 \\
X_4 \geq X_3 + 8 - Y_3 & X_4 - X_3 + Y_3 \geq 8 \\
X_5 \geq X_4 + 4 - Y_4 & X_5 - X_4 + Y_4 \geq 4 \\
X_9 \geq X_4 + 4 - Y_4 & X_9 - X_4 + Y_4 \geq 4 \\
X_6 \geq X_5 + 6 - Y_5 & X_6 - X_5 + Y_5 \geq 6 \\
X_6 \geq X_9 + 8 - Y_9 & X_6 - X_9 + Y_9 \geq 8 \\
X_7 \geq X_6 + 6 - Y_6 & X_7 - X_6 + Y_6 \geq 6 \\
X_{14} \geq X_7 + 6 - Y_7 & X_{14} - X_7 + Y_7 \geq 6 \\
X_{10} \geq X_8 + 4 & X_{10} - X_8 8 \geq 4 \\
X_{10} \geq X_9 + 8 - Y_9 & X_{10} - X_9 + Y_9 \geq 8 \\
X_{11} \geq X_{10} + 2 - Y_{10} & X_{11} - X_{10} + Y_{10} \geq 2 \\
X_{11} \geq X_{10} + 2 - Y_{10} & X_{11} - X_{10} + Y_{10} \geq 2 \\
X_{14} \geq X_{11} + 2 - Y_{11} & X_{14} - X_{11} + Y_{11} \geq 2 \\
X_{13} \geq X_{12} + 12 - Y_{12} & X_{13} - X_{12} + Y_{12} \geq 12 \\
X_{14} \geq X_{12} + 2 - Y_{12} & X_{14} - X_{12} + Y_{12} \geq 2
\end{array}$$

$$\begin{array}{cc}
0 & Y_1 \\
1 & Y_2 \\
4 & Y_3 \\
2 & Y_4 \\
3 & Y_5 \\
3 & Y_6 \\
3 & Y_7 \\
0 \geq & Y_8 \\
4 & Y_9 \\
1 & Y_{10} \\
1 & Y_{11} \\
6 & Y_{12} \\
1 & Y_{13} \\
0 & Y_{14}
\end{array}$$

الشكل (7) قيود الشبكة و قيود الحد الأعظم لأزمنة ضغط نشاطات المشروع

قيد انتهاء المشروع $X_{14} \leq 20$

قيود عدم السلبية $X_{1,2,3,.....,14} \geq 0$

$Y_{1,2,3,.....,.14} \geq 0$

وبحل البرنامج الخطي السابق نحصل على النتائج المدونة في الجدول (5). والتي تبين أن القيمة الدنيا لضغط مشروع الصيانة هي : ل.س **Min Z = 42600**

ونستطيع حساب مقدار الضغط الكلي في المشروع هو 14 يوماً موزعة على النشاطات 2,3,4,6,7,9

الجدول (5) نتائج حل البرنامج الخطي لضغط المشروع

Target Cell (Min)			
Cell	**Name Original**	**Value Final**	**Value**
AL21	Min Z=	0	42600

Adjustable Cells			
Cell	**Name Original**	**Value Final**	**Value**
AE3	X1	0	0
AE4	X2	0	0
AE5	X3	0	1
AE6	X4	0	5
AE7	X5	0	7
AE8	X6	0	14
AE9	X7	0	17
AE10	X8	0	12
AE11	X9	0	7
AE12	X10	0	16
AE13	X11	0	18
AE14	X12	0	1
AE15	X13	0	18
AE16	X14	0	20
AE17	Y1	0	0
AE18	Y2	0	1
AE19	Y3	0	4
AE20	Y4	0	2
AE21	Y5	0	0

AE22	Y6	0	3
AE23	Y7	0	3
AE24	Y8	0	0
AE25	Y9	0	1
AE26	Y10	0	0
AE27	Y11	0	0
AE28	Y12	0	0
AE29	Y13	0	0
AE30	Y14	0	0

تحديد النشاطات اللازمة لإنتاج الطلبية باستخدام الهيكل التفصيلي للعمل WBS

في هذه الخطوة يتم تفصيل النشاطات التي يتكون منها المشروع وهي

حساب الأزمنة المتوقعة لإنجاز النشاطات

سنستخدم في هذا التطبيق تحليل الشبكات باستخدام أنموذج PERT، لأنه نموذج احتمالي يقوم على تقدير ثلاث أزمنة لكل نشاط (المتفائل والمتشائم والأكثر احتمالاً) وذلك بسبب ظروف عدم التأكد التي تعاني منها الشركة في المعمل عند إنجاز الصيانة. الجدول (6) يظهر نتائج حل البرنامج الخطي لمشروع الصيانة

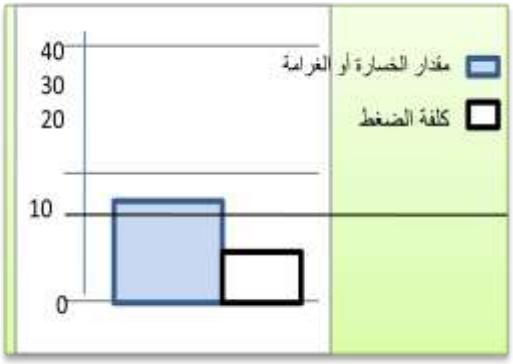
الجدول (6) تقرير نتائج حل البرنامج الخطي لمشروع الصيانة

Name Original	Final Value	Name Original	Final Value
X1	0	Y1	0
X2	0	Y2	1
X3	1	Y3	4
X4	5	Y4	2
X5	7	Y5	0
X6	14	Y6	3
X7	17	Y7	3
X8	12	Y8	0
X9	7	Y9	1
X10	16	Y10	0
X11	18	Y11	0
X12	1	Y12	0
X13	18	Y13	0
X14	20	Y14	0

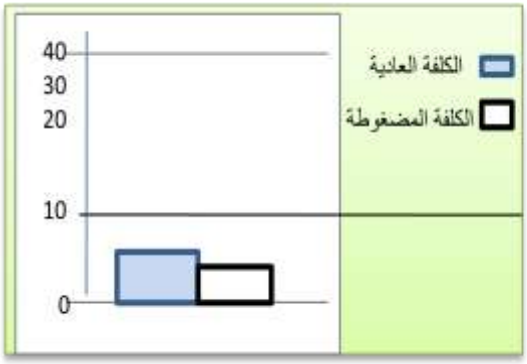
Name	Final Value
Min Z=	4146329

الجدوى الاقتصادية لاستخدام التخطيط الشبكي في موضوع الصيانة

لتقدير هذه الجدوى، أخذت من الإدارة المالية في الشركة القيمة الوسطية لخسارة الشركة في كل يوم تأخير من الشهر الأول الذي يلي مشروع الصيانة والإصلاح، وقد قدرت تلك الخسارة ب 85 ألف ليرة سورية لكل يوم وبالتالي : مقدار التوفير = مبلغ الخسارة – تكلفة ضغط المشروع 1147400=42600−85000*14 ويوضح المخطط في الشكل (8) الفرق بين الكلفة العادية للمشروع والكلفة المضغوطة، ويبدو لنا أن كلفة الضغط صغيرة نسبيًا مقارنة بالكلفة الكلية للمشروع. يبين المخطط في الشكل(9) الفرق بين الخسارة الناجمة عن التأخر في إنجاز أعمال الصيانة وبين كلفة الضغط، ومن الواضح أن كلفة الضغط أقل بكثير من الخسارة، وهذا ما يبرهن على أن تقنية ضغط المشروعات هي تقنية اقتصادية.



الشكل (8) الفرق بين الكلفة العادية والمضغوطة



الشكل (9) الفرق بين الخسارة

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال هذا البحث نخلص إلى النتائج التالية :

1 – إن استخدام التخطيط الشبكي يؤدي إلى تخفيض أزمنة الإنتاج وكلفه.

2 – إن استخدام طرق التخطيط الشبكي CPM/PERT يسمح لمدير المشروع (الإنتاج) بضبط أزمنة الإنتاج وتسليم إنتاجه بالوقت المحدد, من خلال ضبط آلاته وصيانتها بشكل فعال.

3 – إن تطبيق PERT واستخدامه كأداة لمواجهة خطر التأخر في موعد التسليم يجنب الشركة فقدانها لمصداقيتها في الالتزام بمواعيد التسليم.

4 – إن استخدام WBSو مخطط Gantt يمكّن الإدارة من تعقب تنفيذ النشاطات.

5 – من الأفضل استخدام CPM حيث توجد نشاطات ذات أزمنة شبه متوقعة (كالصيانة مثلاً).

6 – تشكل تقنية ضغط المشروعات أداة فعالة لاتخاذ القرار, كما أن الاعتماد على البرمجة الخطية في تقنية ضغط المشروعات يزيد من كفاءة عملية الضغط , ويعطي حلولاً مثلى (أقل زمن وكلفة).

7 – إن تطبيق تقنيات التخطيط الشبكي في مشروعات صيانة وإصلاح المنشآت الصناعية وتجهيزاتها يقدم وفراً اقتصادياً ينعكس على كلفة الإنتاج وعلى مواعيد تسليم الطلبيات مما يساهم في رفع القدرة التنافسية للمؤسسة, شأنه في ذلك شأن التطبيق في مشروعات إنتاج الطلبيات.

المراجع:

[1] SNIEDOVICH, M. *Towards an Critical Path Method*. (Department of Mathematics and Statistics), The University of Melbourne Parkville Australia, 2007,44-89.

[2] SAMUEL, L. *Critical Path Method*. University of South Carolina, U.S.A. South Carolina, 2004, 26-45.

[3] TERRY, W. *Modeling Complex Project.* Wiley, New York, 2002,18-25.

[4] BROUS,T. *Internet Center for Management and Business Administration*. Inc 2-32. Net MBA.com. 2007,

[5] GANTT, H. L. *Work Wages and Profits*. 2nd .ed., Engineering Magazine, New York, 2007,32-45.

[6] ISLAM,M.N. *Crashing Project Time With Least Cost a Linear Programming Approach*, Jahongiragar University of Bangladesh. Octobre.2007, 165-211.

[7] DANDY, G. *Planning and Design of Engineering Systems*, Laxmi,2007.24-66.

[8] BAZARAA, M . *Linear Programming and NetWork.*Elows,2nd ed.,Wiley, New York,2010,24-66.

[9] STEUER, R.E., *Multiple Criteria Optimization: Theory. Computations and Application*, Wiley, New York,2011, 20-32.

[10] BERTSEKAS, D., *Dynamic Programming: Deterministic Stochastic Models*, Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J.,2009, 409-436.