استخدام أسلوب القيمة المكتسبة لقياس أداء مشاريع التشييد وضبط تكاليفها

د. مصطفى أحمد بن حكومة
كلية العلوم التقنية_مصراتة
m_hkoma2017@yahoo.com

أ. مدحت اسماعيل المبروك اسماعيل
كلية الطيران المدني_مصراتة
medo3181940@gmail.com

ملخص البحث:

هدفت الدراسة إلى استخدم أسلوب القيمة المكتسبة **Earned Value (EV)** لقياس أداء مشاريع التشييد وضبط تكاليفها؛ إضافة إلى اقتراح نظام محوسب لإدارة وضبط تكاليف المشروع. تم اختيار مشروع تنفيذ "محطة مرسيط" الريفية لإنتاج الكهرباء بالطاقة الشمسية، الواقعة على بعد 200 كم جنوب غرب طرابلس كحالة دراسية، مركزاً على مشكلة يمكن تحديدها بأن التخطيط غير السليم وعدم الفهم الدقيق للتخطيط الهندسي يؤدي إلى فقدان السيطرة على مكونات التحكم في المشروع الهندسي.

وخلصت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها: إن تعثر إنجاز مشروع كهربة وادي مرسيط يعود إلى عدم اعتماد القائمين على تخطيط المشروعات على مقومات التخطيط الهندسي كأساس لنجاح خططهم، وأن التخطيط غير السليم وعدم الفهم الدقيق للتخطيط الهندسي يؤدي إلى فقدان السيطرة على مكونات التحكم في المشروع الهندسي، وأن النماذج الحديثة مثل نموذج أسلوب القيمة المكتسبة **EVM** أكثر النماذج فعالية في ضبط تكاليف المشروع وقياس انحرافه، وأن تطبيق أسلوب القيمة المكتسبة أسهم في ضبط تكاليف المشروع ومعرفة تكاليف المنفقة على كل نشاط من نشاطات المشروع، وأن النظام المحوسب المصمم ساعد في إدارة ضبط وتكاليف المشروع.

الكلمات المفتاحية: الأساليب الهندسية، التخطيط الهندسي، القيمة المكتسبة، مشروع التشييد، إدارة المشروع.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

1- مقدمة

تشهد الفترة الحالية تطورات متنامية في تنفيذ مشاريع التشييد الهندسية بأحجامها المختلفة وملكياتها المتنوعة نتيجة للتطورات العديدة في الاحتياجات الإنسانية والاجتماعية والاقتصادية والسياسية. ويلعب الاعتماد على أساليب وأدوات إدارة المشاريع الهندسية في تنفيذ مشاريع التشييد الهندسية دوراً مهماً لما تحققه من فوائد وخدمات عديدة مثل: الالتزام بالفترة الزمنية، وسبل تطبيق المواصفات للآليات والتقنيات، والعمليات للسيطرة على تطورات أوامر التغيير، والمخاطر التي قد تقلل من تكلفة وتقليص وقت المشروع المساهمة في إحداث تحسينات في الربحية[1].

تمارس صناعة التشييد مجموعة من أساليب إدارة المشاريع الهندسية، من ضمنها أسلوب القيمة المكتسبة في إدارة تكاليف المشروع، وبالتالي فإن المشروع يحتاج إلى أنشطة ومهام متنوعة ومتعددة قد تصل إلى آلاف المهام، بعضها يمكن أداءُه منفرداً والآخر يعتمد أداءُه على غيره من الأنشطة، وتحتاج عملية التنفيذ إلى مجموعة من الموارد، وبالنظر لمحدودية تلك الموارد وما تتطلبه من حساب دقيق للتكلفة والوقت، وبسبب وجود القيود الخاصة للاستخدام يتطلب الأمر استخدام الأساليب العلمية وخاصة أساليب بحوث العمليات، في تخصيص الموارد وإعادة تخصيصها لضمان الاستخدام الأمثل وتحسين عمليات الأداء بتقليل وقت تنفيذ المشروع وبالتالي التكلفة[2].

2- المراجعة النظرية

أولاً: الأساليب الهندسية في تنفيذ مشاريع التشييد

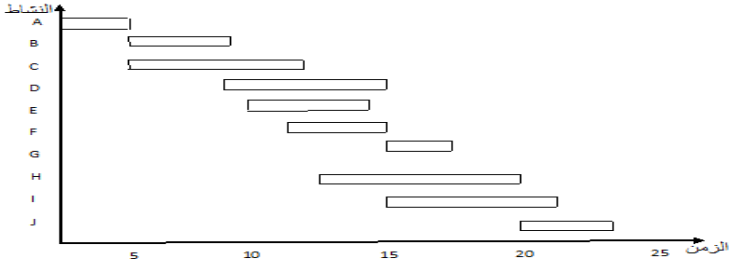
توجد العديد من التطبيقات تستخدم في المشاريع الهندسية، وسيتم تناول بعضها بهدف التعرف على فعالية التخطيط الهندسي في إدارة المشاريع. ومن هذه التطبيقات التي سيتم شرحها هي أسلوب التحليل الشبكي، وأسلوب جانت، وأسلوب تقييم ومراجعة المشاريع، وأسلوب هندسة القيمة، فيما ستتركز هذه الدراسة بالشرح والتفصيل ودراسة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

حالة أحد المشروعات المنفذة فعلياً باستخدام أسلوب القيمة المكتسبة لتقييم الأداء وضبط تكاليف المشروع.

1.أسلوب جانت GHANT

يعد مخطط جانت من أقدم وأبسط أساليب الجدولة Scheduling والتحميل Loading المستخدمة في الحياة العلمية. وقد قدمها هنري جانت – أحد رواد الحركة العلمية وما زالت تستخدم حتى الآن في الصناعة وفي مراكز الخدمات مثل المدارس والمستشفيات. وهو عبارة عن تصوير بياني يمكن به تخطيط وجدولة إنجاز بعض العمليات المتتابعة سواء كان ذلك على مركز إنتاجي واحد أم عدة مراكز إنتاجية مختلفة. كما يمكن استخدام مخطط جانت كأداة لتتبع الأداء الذي يتم لكل عملية، ومعرفة مدى تطابق التشغيل الفعلي مع الجداول الموضوعة. ويعد مخطط جانت من الأساليب الرقابية الوصفية والتقليدية التي شاع استخدامها منذ عام 1900[5]. والشكل رقم (1) يوضح طريقة رسم أسلوب جانب



شكل 1: نموذج يوضح طريقة رسم أسلوب جانب GHANT

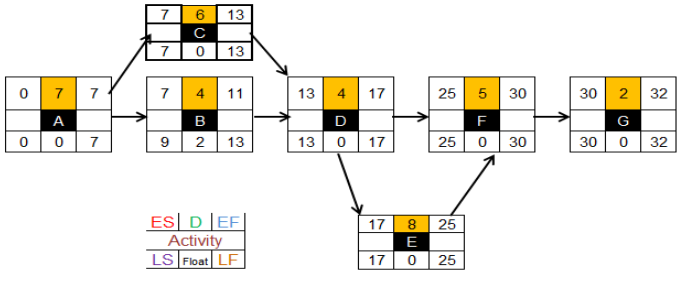
2.أسلوب التحليل الشبكي Network Analysis

يعد أسلوب التحليل الشبكي إحدى الأساليب الحديثة نسبياً في إدارة المشاريع، والتي ظهرت نتيجة لحاجات عجزت عن تلبيتها الطريقة التي سبقتها، ونخص بالذكر طريقة جانت GHANT. لذلك ظهرت في نهاية الخمسينات مجموعة من أساليب شبكات الأعمال وأهمهما أسلوبي CPM/PERT، ويهدف كل من الأسلوبين إلى تقديم مدخل

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

بياني لجدولة وتخطيط المشاريع، يساعد مدير يساعد مدير المشروع في تصور الأزمنة اللازمة والوقت المتوقع لإنجازها وتحديد العلاقات الفنية بينها، وبالتالي تقدير الوقت المتوقع للانتهاء من المشروع، كذلك فإن كل منهما يمكن من متابعة تقدم التنفيذ في الأزمنة للتعرف على سير الأداء والكشف عن الانحرافات واتخاذ الإجراءات اللازمة لضمان حسن سير الأداء. كما وقد ظهر أسلوب آخر هو أسلوب GERT، وهو نموذج معدل من الأسلوبين السابقين CPM/PERT[3].

أما إدارة المشروع فهي الإدارة المسؤولة عن عملية التخطيط، التنفيذ والسيطرة على الموارد (العاملين، المعدات، المواد) لمواجهة الكلفة وضغوطات وقت تنفيذ المشروع، كما عرفها آخرون بأنها الإدارة المسؤولة عن ممارسة جميع الانشطة الإدارية لضمان انجاز المشروع بأقل تكلفة وضمن الوقت المحدد من خلال عملية الاشراف والمتابعة الفعالة. من هذين التعريفين لإدارة المشروع. لذلك نفهم أن على الإدارة استخدام الأساليب العلمية وخاصة أساليب بحوث العمليات في مزاولة عملية التخطيط وجدولة المشاريع ومتابعة التنفيذ والإشراف الفعال للسيطرة على الموارد المتاحة ومقابلة تلك الاحتياجات بأقل التكاليف ومواجهة الضغوطات التي تتعرض لها الإدارة في مجال تنفيذ المشروع من متغيرات وعقبات تقف عائقا أمام عملية التنفيذ في الوقت المحدد[4]. ويبين الشكل (2) مخطط بسيط لأحد المشاريع ينتهي في 32 أسبوع.



شكل 2: مخطط لأحد مشاريع التشييد

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

3.أسلوب المسار الحرج CPM

تعد طريقة المسار الحرج 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[5]. ويقصد بالمسار الحرج هو أطول مسار خلال الشبكة، أو أنه المسار الذي يستغرق أقصى وقت لإنجاز المشروع من حدث البداية إلى حدث النهاية.

ظهر هذا الأسلوب في عام 1957 م من قبل المهندس J.E. Keely في شركة Emington–Rand والمهندس M.R. Walker في شركة Dupont وذلك لغرض جدولة عمليات التوقفات بسبب الصيانة في مصنع المواد الكيميائية. وبدأ استخدام الأسلوبين بيرت والمسار الحرج من قبل شركة فورد للسيارات وجنرال موتورز وبل للتلفونات، كما استخدم أسلوب المسار الحرج عام 1973 م من قبل القوات المسلحة المصرية في عبور قناة السويس واستخدم لأول مرة في العراق عام 1975 م في بناء سد حمرين[6].

إن الغرض الرئيسي من هذا الأسلوب التأكد التام من وقت الإنجاز أي انه أسلوب تقديري Deterministic بعكس أسلوب PERT؛ إذ يفترض أسلوب المسار الحرج أن الوقت المتوقع أداء العمليات المختلفة لإتمام المشروع معروف والعلاقة بين الموارد المستخدمة والوقت لمطلوب لأداء العمليات المختلفة معروفة أيضاً.

4.أسلوب مراجعة وتقييم المشروعات PERT

كان الهدف الأساس من هذا الأسلوب هو تصميم طريقة يتم بها تخطيط مشروع إنتاج الصاروخ Polaris بشكل يمكن من إحكام الرقابة على التنفيذ حتى يتم إنجاز المشروع في موعده المحدد. وأوضحت نتائج التطبيق أن أسلوب Project Evaluation and Review Technique (PERT) في هذا المشروع، قد أدى إلى تخفيض فترة المشروع المقدرة أصلاً بواسطة المهندسين (بحوالي عامين كاملين)، وتم إنجاز هذا

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

المشروع في أربعة سنوات بعد أن كان التقدير المبدئي لإنجازه هو ست سنوات. ونظراً للنجاح الكبير في استخدام هذا الأسلوب، فقد ذاع صيته في كثير من المشروعات المدنية والعسكرية حتى أن أسلوب PERT قد أصبح شائع الاستخدام من قبل جميع المقاولين الذين يتعاملون مع وزارة الدفاع الأمريكية[7].

5.أسلوب هندسة القيمة Value Engineering (VE)

إن جوهر أسلوب هندسة القيمة (VE) يتبلور في دراسة وتحليل وفحص كل مكون من مكونات الخدمة، وكل مرحلة من مراحل إنتاجه، وذلك لتحديد مدى إمكانية تحقيق خفض حقيقي لإجمالي تكاليف الخدمة[8]. وتطبق هندسة القيمة مثلها مثل التكلفة المستهدفة Target Costing (TC) في مرحلة تصميم الخدمة، وإن المفهوم الرئيسي للتكلفة في مدخل (VE) هو التكلفة المصممة التي لم تحدث بعد، ولكنها ستحدث في المستقبل، بناءًا على القرار الذي تم اتخاذه بالتصميم محل الاختيار.

ويمكن لـ هندسة القيمة (VE) تحقيق التكلفة المستهدفة (TC) بطريقتين[31]:

الطريقة الأولى: تحديد التحسينات التي يمكن إدخالها على تصميم وتطوير المنتج، خفض تكلفة المنتج، والتصنيع بدون التضحية بوظائفه ومواصفاته الأساسية.

الطريقة الثانية: استبعاد الوظائف غير الضرورية التي تزيد من تكلفة ودرجة تعقيد المنتج.

كما تبحث هندسة القيمة (VE) في خفض والحد من الأنشطة التي لا تضيف قيمة للمنتج أو الخدمة، ومن ثم التكاليف التي لا تضيف قيمة، وذلك بخفض مسببات التكلفة للأنشطة التي لا تضيف قيمة. وتركز هندسة القيمة أيضاً على تحقيق كفاءة أكبر في الأنشطة التي تضيف قيمة، لغرض خفض تكلفتها

6.أسلوب القيمة المكتسبة Earned Value Method (EVM)

تم تطوير مدخل القيمة المكتسبة الناشئة عن كل من أسلوب مراجعة وتقييم المشروعات والتكلفة (PERT/Cost) ومعيار نظام السيطرة على جدولة التكلفة (CSCS) Cost

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

schedule control system criteria في الولايات المتحدة الأمريكية في عام 1967 لغرض تكامل الزمن والتكلفة[9].

يستخدم هذا الأسلوب لقياس وتقييم أداء المشروع المنجز، بمقارنة حجم العمل المخطط له مع المنجز الفعلي، بهدف تحديد فيما إذا كان المشروع على المسار الصحيح. وعلى الرغم من أن حسابات القيمة المكتسبة يتم إجراؤها عادةً باستخدام الحاسوب، فإن من المهم معرفة أسس كل عملية حسابية وفهم ما تعنيه.

والخطوة الأولى في تحليل القيمة المكتسبة هي تحديد القيم الثلاث التالية[10]:

- القيمة وفق الخطة Planned value:

وهي الكلفة المخططة للعمل المراد القيام به خلال فترة زمنية محددة. ويتم تحديد حجم القيمة المخططة من خلال جمع تقديرات كلفة الأنشطة المراد إكمالها في فترة زمنية. وتدعى هذه الكلفة أيضاً بجدول موازنة تكلفة العمل Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS).

- القيمة المكتسبة Earned value:

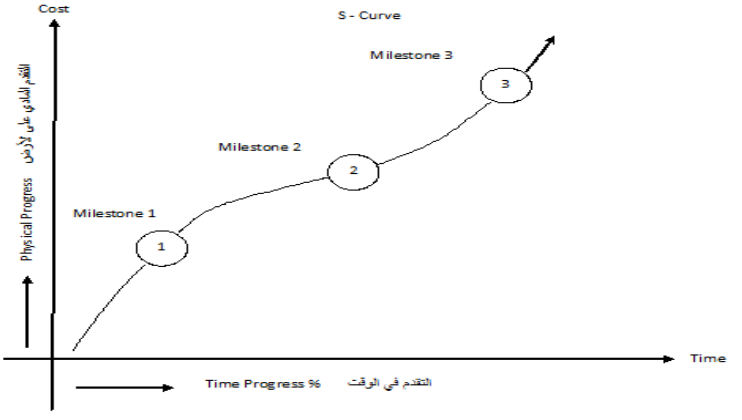
وهي الكلفة المخططة للعمل المنجز فعلياً في فترة زمنية محددة، وهي مقياس لقيمة الدينار للعمل المنجز فعلاً، ويتم تحديد حجم القيمة المخططة من خلال جمع تقديرات كلفة الأنشطة التي تم الانتهاء منها فعلاً في فترة زمنية محددة، وتدعى هذه الكلفة أيضا بجدول موازنة الأعمال المنجزة Budgeted Cost of Work Performed(BCWP).

- الكلفة الفعلية Actual Cost:

هي الكلفة المتحققة لقاء تنفيذ العمل الذي أنجز فعلا خلال وقت محدد، ويتم تحديد هذه الكلفة بجمع النفقات المترتبة عن الأعمال المنجزة في فترة زمنية محددة، ويجب أن تشتمل هذه الكلفة على أنواع الكلف التي تم إدراجها في الموازنة فقط. وتدعى هذه الكلفة أيضا الكلفة الفعلية للعمل المنجز Actual Cost of Work Performed(ACWP) [11]. والشكل رقم (3) يوضح قياس التقدم وهو منحني (Baseline) لاحتساب نسبة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

التقدم في المشروع في كل من الوقت والكلفة وهو ما يسمى ايضا بمنحنى S-Curve.



شكل 3: قياس التقدم في المشروع في الوقت والكلفة

يلاحظ من الشكل (3) أنه يقوم بقياس التقدم المادي على الأرض عن طريق حساب التكلفة الفعلية مقابل الوقت الفعلي المبذول للوصول إلى إنجاز المحطات الرئيسية (Base line)، ومن ثم مقارنته مع التقدم المفترض والمخطط له عن طريق حساب الكلفة المقدرة (Budgeted Cost) مقابل الوقت المجدول (Scheduled Time) للوصول إلى نفس محطات الانجاز (Milestone) ومن هنا تم تطوير فكرة القيمة المكتسبة (Earned Value)

من الشكل رقم (4) فإننا نقوم بحساب كل القيم كالآتي[12]:

- تكلفة العمل المنجز Budgeted Cost Work Performed

BCWP = Actual Time × Budgeted Cost

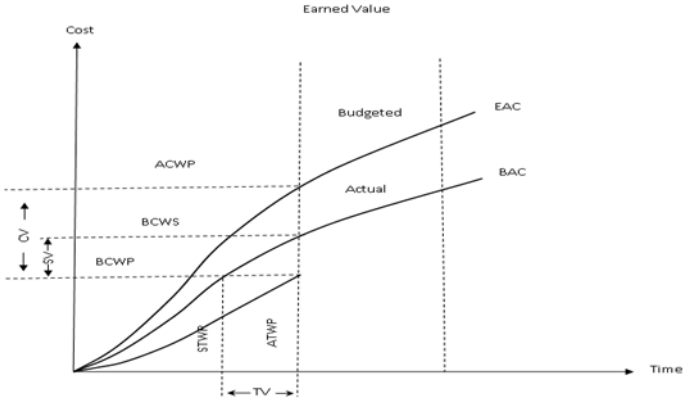
- التكلفة وفق الخطة Budgeted Cost Work Scheduled

BCWS = Scheduled Time × Budgeted Cost

- التكلفة الفعلية للعمل المنجز Actual Cost Work Performed

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

ACWP = Actual Time × Actual Cost



شكل 4: مخطط القيمة المكتسبة

حالما يتم تحديد هذه القيم، يصبح بالاستطاعة استخدامها في معادلات حسابية مختلفة كمقاييس لمعرفة فيما إذا كان العمل قد تم إنجازه كما هو مخطط له. وقبل التطرق إلى هذه المقاييس يتطلب الأمر تعريف بعض الرموز المستخدمة في المعادلات الحسابية كالتالي[11]:

- Schedule Variance (SV) : وهي الانحراف في الجدولة
- Cost Variance (CV) : وهي الانحراف في التكلفة
- Schedule Performance Index(SPI) : هي مؤشر أداء الجدول
- Cost Performance Index(CPI) : هي مؤشر أداء الكلفة
- Earned Value (EV) : هي القيمة المكتسبة
- Planned Value (PV) : هي القيمة المخططة
- Actual Cost (AC) : هي القيمة الفعلية

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

وفيما يلي عرض المعادلات الحسابية المستخدمة في قياس أداء مشاريع التشييد وضبط تكاليفها:

1. انحراف الجدول Schedule Variance:

يتم تحديده بطرح القيمة المكتسبة من القيمة المخططة. ويقيس هذا الانحراف الفرق بين العمل المخطط والعمل المنجز فعلياً. والنتائج الإيجابية الناجمة عن ذلك تعني أن العمل في المشروع يتقدم على ما هو مخطط له، فيما تعني النتائج السلبية أن المشروع متأخر عما خطط له:

$$SV = EV - PV$$

2. انحراف التكلفة Cost Variance:

يتم تحديد انحراف الكلفة بطرح القيمة المكتسبة من الكلفة الفعلية. ويقيس هذا الانحراف الفرق بين الكلفة المخططة والكلفة الفعلية للعمل المنجز. وتعني النتائج الايجابية الناجمة عن ذلك أن المشروع يعمل باقل من الموازنة المرصودة، في حين أن النتائج السلبية تعني أن المشروع يعمل بأعلى من الموازنة المرصودة:

$$CV = EV - AC$$

حالما يتم احتساب هذه الحسابات، فإن مؤشرات أو نسب الانحراف يمكن استخدامها لتقييم حالة عمل المشروع وفاعليته. وتقدم مؤشرات الكفاءة معلومات قيمة يمكن استخدامها للرقابة على المشروع. أما أكثر المؤشرات شيوعاً فهماً:

3. مؤشر أداء الجدول Schedule Performance Index(SPI):

وهو نسبة العمل المنجز إلى العمل المجدول. ويمكن احتساب ذلك المؤشر بقسمة القيمة المكتسبة على القيمة المخططة. وتُعتبر هذه النسبة بمثابة قياس لكفاءة الجدول. وإذا كانت القيمة أقل من الواحد (1) فإن ذلك يعني أن المشروع قد انتهى بأقل مما هو مخطط له، وأنه متأخر عن الجدول. أما إذا كانت القيمة أكثر من الواحد(1) فإن هذا يعنى أن المشروع متقدم على الجدول. إن القيام، ولمرات عدة، بتحليل مؤشر الأداء

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

المجدول خلال سير المشروع سيكون بمثابة مؤشر إلى كيفية أداء المشروع مقارنة مع خطة المشروع. علاوةً على ذلك، فإنه يمكن أيضاً الاستفادة من هذا المؤشر للتنبؤ بموعد الانتهاء من المشروع[4].

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

4. مؤشر أداء التكلفة Cost performance Index (CPI):

ويمثل نسبة موازنة التكاليف إلى الكلفة الفعلية. ويتم احتساب المؤشر المذكور من خلال قسمة القيمة المكتسبة على الكلفة الفعلية. وتعتبر هذه النسبة بمثابة قياس لكفاءة الكلفة. فإذا كانت القيمة أقل من (1) فهذا يعنى أن العمل يكلف أكثر مما قدر له. أما إذا كانت أكثر من (1) فإن هذا يعني أن العمل الذى يتم القيام به يكلف أقل مما قدر له. وكمثال على ذلك، فإن مؤشر أداء الكلفة لـ 0.67 يعني أنه مقابل كل دينار تم إنفاقه على المشروع فإنه يتم إنتاج 0.67 من القيمة. وتحليل مؤشر أداء الكلفة عدة مرات خلال المشروع يقدم مؤشرا حول اتجاه المشروع فيما يتعلق بالكلفة المالية[4].

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

إن هذه المؤشرات تقدم لمحة سريعة عن فاعلية المشروع عند نقطة محددة من وقت محدد. ورغم ذلك، فإنها تكون أكثر قيمة عندما يتم استخدامها، دوريا، خلال دورة حياة المشروع من أجل تتبع الاتجاهات واتخاذ الإجراءات التصحيحية اللازمة، علاوة على أنها تشتمل على العنصر الذى يتم استخدمه في إجراء الحسابات التالية من أجل التنبؤ باكتمال المشروع[14].

1. حساب الميزانية عند الانتهاء من المشروع Budget at Completion(BAC):

وهى الكلفة الكلية المقدرة للمشروع عند انتهائه. ويتم احتسابها من خلال جمع كلفة جميع الأنشطة المذكورة في هيكلية تجزئة العمل.

2. حساب التقديرات للانتهاء من المشروع Estimate to Complete(ETC):

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

وهي الكلفة الإضافية المتوقعة المطلوبة لإكمال المشروع. وتحتسب بطرح موازنة تكاليف العمل المنفذ من القيمة المكتسبة، ثم قسمة الناتج على مؤشر أداء الكلفة. ويبين هذا التقدير الكلفة الإضافية المتوقعة المطلوبة لإنهاء المشروع، بما في ذلك تعديلات BAC المستندة إلى أداء المشروع حتى الوقت الحاضر.

$$ETC = \frac{(BAC - EV)}{CPI}$$

3. حساب التقديرات عند الانتهاء من المشروع Estimate at Completion(EAC):

وهي الكلفة الكلية المتوقعة للمشروع عند انتهائه. ويتم احتسابها بجمع الكلفة الفعلية وكلفة التقديرات للانتهاء. وهي تتضمن التعديلات التي أجريت على BAC استناداً إلى الأداء حتى الوقت الحاضر [14].

$$EAC = AC + ETC$$

النتائج والمناقشة

1. الحالة الدراسية

تقع قرية وادي مرسيط ضمن بلدية مزدة على تقاطع خط عرض ("14 59 30 شمالا) مع خط الطول ("38 28 13 شرقا)، وتبعد عن مدينة مزدة حوالى 95 كم في إتجاه الجنوب الشرقي، ويتم الوصول إليها عبر طريق ترابية صعبة بطول 15 كم تقريباً من الطريق المعبد. وتعد منطقة "وادي مرسيط" أحد القرى النائية التي تبعد حوالي 60 كم من أقرب نقطة ربط لجهد 11 كيلو فولت لشبكة الكهرباء الرئيسة، و110 كم من أقرب نقطة ربط لجهد 66 كيلو فولت من الشبكة العامة للكهرباء. وإن تزويد الطاقة الكهربائية لهذه القرية خلال مد خطوط كهرباء من الشبكة العامة للكهرباء وإنشاء محطات توليد طاقة تقليدية أمر مكلف وغاية في التعقيد، علاوة على التلوث البيئي الناتج عن صناعة الكهرباء جراء الوقود المستخدم. وفي عام 2000 قامت الشركة العامة للكهرباء بتوصيل مولد كهربائي لتوفير الطاقة الذي يعمل بوقود الديزل ولمدة خمس ساعات فقط في اليوم. وعلاوة على ذلك تشير التقارير الفنية على تكرار الأعطال وأعمال الصيانة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

للمولد الوحيد المتوفر، مما يؤدي إلى انقطاع التيار الكهربائي بين الحين والآخر ولساعات طويلة. الأمر الذي جعل الأهمية بمكان البحث في مشاريع بديلة وصديقة للطاقة لحل مشكلات انقطاع التيار الكهربائي للمناطق الريفية بليبيا ومن بينها تنفيذ مشروع محطة وادي مرسيط الريفية موضوع الدراسة.

فبعد الاطلاع على عقد مشروع الحالة الدراسية أمكن جدولة بيانات المشروع في الجداول التالية رقم (1) و (2) على النحو الآتي:

جدول 1: بيانات عقد مشروع البحث

ت	البيان	بيانات العقد
1	رقم العقد	2-2000
2	اسم المشروع	مشروع كهربة وادي مرسيط بالطاقة الشمسية
3	قيمة المشروع	2,802,112.279 د.ل
4	مدة تنفيذ المشروع	12 شهر
5	تاريخ التنفيذ	2009.03.22 م
6	نسبة الإنجاز	%76

والجدول رقم (2) يوضح أنشطة المشروع والمدة الزمنية وتكاليفها وفقاً للعقد مقسمة إلى (21) نشاط لإكمال المشروع.

جدول 2: أنشطة المشروع والمدة الزمنية وتكاليفها

ت	كود النشاط	وصف النشاط	زمن (أسبوع)	التكلفة د.ل
1	A	تجهيز واعداد موقع المشروع	5	35326.470
2	B	تصميم الخرائط الهندسية	4	25430.000
3	C	التوريدات 1	7	922325.348
4	D	تنفيذ أعمال الحفر والردم	3	15725.249
5	E	تنفيذ الأعمال الخرسانية الخاصة بهياكل	3	16438.475

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

6	ب	التوريدات 2	9	1412702.72
7	G	بناء غرفة التحكم لوضع وتركيب منظمات	5	68652.000
8	H	تركيب هياكل المسطحات	2	25794.990
9	I	تركيب وتوصيل صفيف المسطحات	1	45842.479
10	ت	تركيب وتوصيل البطاريات	2	19304.477
11	K	تركيب وتوصيل مغيري التيار	1	15326.386
12	L	التوصيلات الكهربائية الداخلية لصفيف من المسطحات	2	12328.453
13	M	تركيب وتوصيل منظمات الشحن	2	13347.614
14	N	تركيب منظومة القياس والتسجيل الآلي	1	17325.487
15	O	تركيب مولد ديزل (بقدرة 75 ك.ف.أ)	2	14513.000
16	P	تركيب منظومة التأريض	2	15845.847
17	Q	توصيل المسطحات بغرفة التحكم عن طريق مد كوابل أرضية	1	12947.374
18	R	التوصيلات الكهربائية بين منظمات الشحن والبطاريات	2	13722.535
19	S	التوصيلات الكهربائية التي تربط بين صفيف المسطحات ومنظمات الشحن	3	14608.627
20	T	تركيب أنظمة إنارة الشوارع	1	70350.000
21	U	توصيل المنظومة المركزية بالشبكة الداخلية	3	14254.743

والجدول رقم (3) يوضح حساب تكاليف القيم المخططة لأنشطة المشروع والأوقات المبكرة والمتأخرة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

جدول 3: حساب تكاليف القيم المخططة لأنشطة المشروع والأوقات المبكرة والمتأخرة

Item	Activity	Duration /week	Duration/ day	Budgeted Cost	Cost/Week	ES	EF	LS	LF	FL	Activity Case
1	A	5	30	35326.470	1177.549	0	5	0	5	0	CRITICA
2	B	4	24	25430	1060	5	9	8	12	3	NON
3	C	7	42	922325.35	21960.127	5	12	5	12	0	CRITICA
4	D	3	18	15725.249	873.625	5	8	9	12	4	NON
5	E	3	18	16438.475	913.249	12	15	12	15	0	CRITICA
6	F	9	54	1412702.7	26161.162	15	24	15	24	0	CRITICA
7	G	5	30	68652	2288	15	20	19	24	4	NON
8	H	2	12	25794.990	2149.583	24	26	24	26	0	CRITICA
9	I	1	6	45842.479	7640.413	26	27	27	28	1	NON
10	J	2	12	19304.477	1608.706	26	28	26	28	0	CRITICA
11	K	1	6	15326.386	2554.398	26	27	27	28	1	NON
12	L	2	12	12328.453	1027.371	27	29	28	30	1	NON
13	M	2	12	13347.614	1112.301	28	30	28	30	0	CRITICA
14	N	1	6	17325.487	2887.581	28	29	29	30	1	NON
15	O	2	12	14513	1209.417	27	29	28	30	1	NON
16	P	2	12	15845.847	1320.487	30	32	30	32	0	CRITICA
17	Q	1	6	12947.374	2157.896	32	33	34	35	2	NON
18	R	2	12	13722.535	1143.545	32	34	33	35	1	NON
19	S	3	18	14608.627	811.590	32	35	32	35	0	CRITICA
20	T	1	6	70350	11725	35	36	35	36	0	CRITICA
21	U	3	18	14254.743	791.93	36	39	36	39	0	CRITICA

أما الجدول رقم (4) يوضح حساب تكاليف القيم الفعلية لأنشطة المشروع موزعة على الأسابيع

جدول 4: حساب تكاليف القيم الفعلية لأنشطة المشروع موزعة على الأسابيع

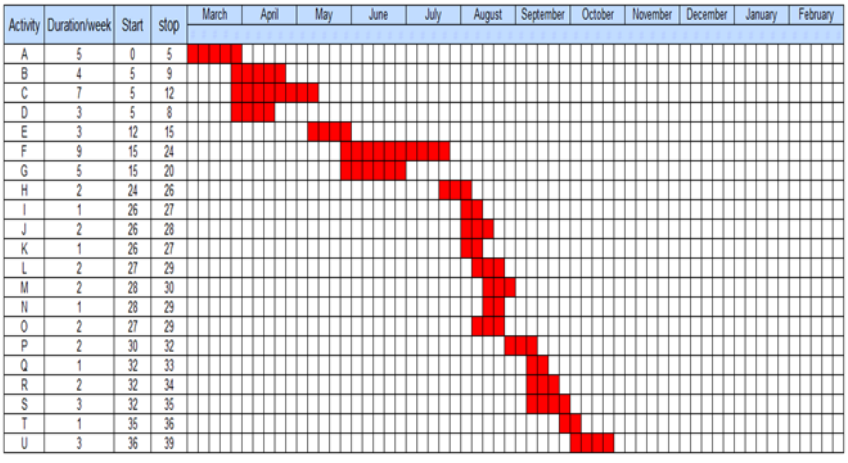
Actual Cost (AC) of Work Performed

WBS	Task Name	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Wk 11	Wk 12
1	A	15345	17231	20315	25481	27309							
2	B						6598	7543	10345	12765			
3	C						140534	150000	155876	156735	158987	160873	165876
4	D						7000	7500	8354				
5	E												
6	F												
7	G												
8	H												
9	I												
10	J												
11	K												
12	L												
13	M												
14	N												
15	O												
16	P												
17	Q												
18	R												
19	S												
20	T												
21	U												
	Insert new rows above this one												
		15345	17231	20315	25481	27309	154132	165043	174575	169500	158987	160873	165876
		15345	32576	52891	78372	105681	259813	424856	599431	768931	927918	1088791	1254667

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

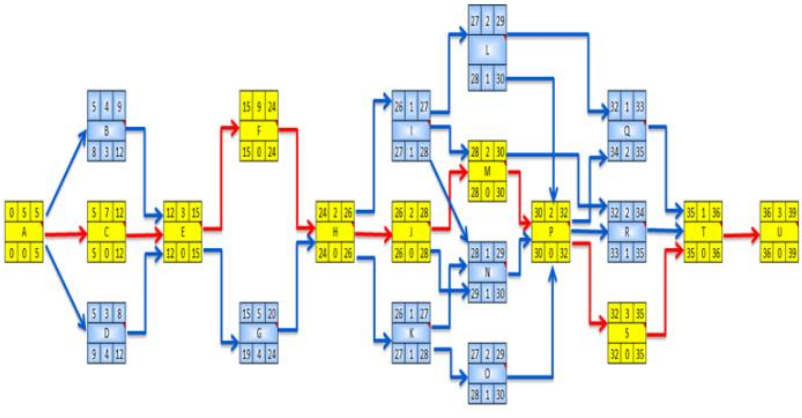
كما يبين الشكل رقم (5) مخطط جانت بعد إدخال تقنيات تخطيط إدارة المشروعات والقصد هنا استخدام العلاقات التسابقية وفق لتسلسل الأنشطة.

Activity	Duration/week	Start	stop
A	5	0	5
B	4	5	9
C	7	5	12
D	3	5	8
E	3	12	15
F	9	15	24
G	5	15	20
H	2	24	26
I	1	26	27
J	2	26	28
K	1	26	27
L	2	27	29
M	2	28	30
N	1	28	29
O	2	27	29
P	2	30	32
Q	1	32	33
R	2	32	34
S	3	32	35
T	1	35	36
U	3	36	39



شكل 5: مخطط جانت بعد إدخال تقنيات تخطيط إدارة المشروعات

والشكل رقم (6) يبين تصميم وتخطيط شبكة المشروع معتمدة في ذلك تقنيات العلاقات



التسابقية.

شكل 6: المخطط الشبكي لمشروع البحث

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

يتضح من المخط الشبكي أعلاه إن زمن المسار الحرج وهو زمن انجاز المشروع الذي بلغ (39) أسبوع باستخدام تقنيات التخطيط الشبكي بدلاً من زمن المشروع وفق العقد المبرم والذي بلغ(60) أسبوع، علماً بأن المسار الحرج لشبكة المشروع هي (A,C,E,F,H,J,M,P,S,T,U).

2. ضبط تكاليف المشروع باستخدام القيمة المكتسبة

أمكن الرقابة والتحكم في مشروع كهربة وادي مرسيط من خلال التخطيط الفعّال للبيانات المتوفرة من عقد المشروع وهي الميزانية الكلية لمراحل المشروع المختلفة خلال فترات الانجاز وهي(2,208,112.277 د.ل)، وكذلك مقابلة المهندسين المشرفين عليه من مركز بحوث الطاقة الشمسية والتشاور والنقاش حول تكلفة مشروع كهربة وادي مرسيط. حيث تم تطبيق إحدى أساليب إدارة المشاريع والتي تعرف بأسلوب القيمة المكتسبة، حيث يستخدم هذا الاسلوب الوحدات المالية لغرض تقييم اداء المشروع بواسطة قياس المحددات الثلاثة للأداء المشروع وهي (التكلفة والجدول الزمني والأداء الفني). يُمَكّن هذا الأسلوب القائمين على المشروع من التحليل الزمني لأداء المشروع في الماضي والحاضر والمستقبل، وكذلك قياس الاكتمال الفني للعمل قيد الإنجاز وهو ما يطلق عليه بالقيمة المكتسبة.

إن حساب القيمة المكتسبة يتطلب تصميم برنامج حاسوبي باستخدام الإكسل أو استخدام إحدى برامج الحاسوب مثل (MS project، primavera)، لذلك تم تصميم منظومة إلكترونية باستخدام الإكسل لمتابعة الإنفاق الفعلي خلال فترات المشروع المختلفة. هذه المنظومة تقوم بحساب القيمة المكتسبة للمشروع التي سيتم تناولها بقدر من التفصيل.

ولحساب القيمة المكتسبة يجب معرفة الآتي:

- التكلفة المخططة (BCWS): وهي التكلفة المخططة للعمل المراد القيام به خلال فترة زمنية محددة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

- التكلفة الفعلية (ACWP): هي التكلفة المتحققة لقاء تنفيذ العمل الذي أنجز فعلا خلال وقت محدد.
- تكلفة العمل المنجز (BCWP): هي تكلفة أنشطة ميزانية المشروع (التعاقد) وفق العمل المخطط له.
- القيمة المكتسبة (EV): وهي التكلفة المخططة للعمل المنجز فعلياً في فترة زمنية محددة. وهي مقياس لقيمة الدينار للعمل المنجز فعلاً. والشكل رقم (7) الذي تم اقتباسه من حسابات المنظومة الإلكترونية للتكاليف المخططة والفعلية وكذلك القيمة المكتسبة لكل نشاط ولأنشطة المشروع ككل. ولسرعة إنجاز حساب القيم المشار إليها في الشكل رقم (6) تم استخدام برنامج الإكسل. ولضبط تكاليف المشروع عند فترة زمنية محدده لمعرفة ما إذا كان المشروع ضمن التكلفة المحددة أو تجاوز الميزانية المقدرة، كذلك معرفة ما إذا كان المشروع ضمن الجدول الزمنى المخطط له أو هناك تأخير؛ فقد تم استخدام مؤشرات الأداء وحساب هذه المؤشرات من خلال المعدلات التي تم الإشارة إليها سلفاَ. فمثلاً يلاحظ من الشكل رقم (7) أنه عند ضبط التكاليف في الأسبوع الثاني عشر وجد أن إجمالي التراكمي للتكلفة حسب الميزانية (المخططة) بلغت (998,809.068) د.ل، وأن إجمالي التراكمي للتكلفة الفعلية بلغ (1,254,667) د.ل، وأن إجمالي التراكمي لتكلفة القيمة المكتسبة بلغت (891,533.087) د.ل. كما أن انحراف التكلفة للأسبوع الثاني عشر (363,133.912−) د.ل؛ مما يعني أن المشروع يعمل بأعلى من الموازنة المرصودة، وأن انحراف الجدولة بلغ (107,275.9805−) د.ل؛ مما يعني أن المشروع متأخر عما خُطِّطَ له، وأن مؤشر أداء التكلفة بلغ (0.71)، وهذا يعني أن المشروع يكلف أكثر مما قدر له؛ ويعني ايضاَ أنه مقابل كل دينار تم إنفاقه على المشروع؛ فإنه يتم إنتاج (0.71) من القيمة، وأن مؤشر أداء الجدولة بلغ (0.89)؛ فإن ذلك يعني أن المشروع قد انتهى بأقل مما هو مخطط له، وأنه متأخر عن الجدول. وأن التكلفة الكلية المتوقعة للمشروع عند انتهائه للأسبوع

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

الثاني عشر بلغت (3,943,452) د.ل، وأن مؤشر جدولة التكلفة بلغت(0.63). وهذا ما يؤكد فرضية إن التخطيط غير السليم وعدم الفهم الدقيق للتخطيط الهندسي يؤدي إلى فقدان السيطرة على مكونات التحكم في المشروع الهندسي.

والشكل التالي رقم (7) يبين منحنيات قيم التكلفة المخططة والمكتسبة والفعلية، حيث تشير نتائج التحليل للتكاليف المذكورة للمشروع كهربة وادى مرسيط تجاوز التكلفة ومتأخر عن الجدولة المخططة وفقاً لضبط التكاليف عند الأسبوع الثاني عشر.

Planned Value (PV) or Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS)

WBS	Task Name	TBC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	A	35326.470	7065.294	7065.294	7065.294	7065.294	7065.294							
2	B	25432						6358	6358	6358	6358			
3	C	922325.348						131761	131761	131761	131761	131761	131761	131761
4	D	15725.25						5241.75	5241.75	5241.75				
5	E	16438.476												
6	F	1412702.72												
7	G	68650.00												
8	H	25794.99												
9	I	45842.48												
10	J	19304.48												
11	K	15326.39												
12	L	12328.45												
13	M	13347.61												
14	N	17325.5												
15	O	14513.0												
16	P	15845.8												
17	Q	12947.4												
18	R	13722.5												
19	S	14608.6												
20	T	70350.0												
21	U	14254.7												
Insert new rows above this one														
	Total Budgeted Cost	**2802112.277**	7065.294	7065.294	7065.294	7065.294	7065.294	143360.5	143360.5	143360.5	138118.8	131760.8	131760.8	131760.764
	Cumulative Planned Value (PV)		7065.294	14130.59	21195.88	28261.18	35326.47	178687	322047.5	465408	603526.8	735287.5	867048.3	998809.068

Actual Cost and Earned Value

Cumulative Actual Cost (AC)	15345	32576	52891	78372	105681	259813	424856	599431	768931	927918	1088791	1254667
Cumulative Earned Value (EV)	3532.647	8831.618	14837.12	19076.29	20842.62	117468.5	215897.9	381710.9	522602.9	660951.8	753184.3	891533.087

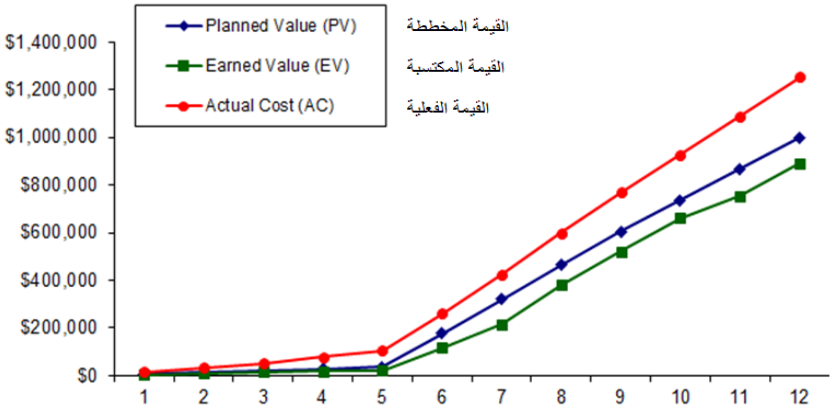
Project Performance Metrics

Cost Variance (CV = EV - AC)	-11812.4	-23744.4	-38053.9	-59295.7	-84838.4	-142345	-208958	-217720	-246328	-266966	-335607	-363133.91
Schedule Variance (SV = EV - PV)	-3532.65	-5298.97	-6358.76	-9184.88	-14483.9	-61218.5	-106150	-83697.1	-80923.8	-74335.8	-113864	-107275.98
Cost Performance Index (CPI = EV/AC)	0.23	0.27	0.28	0.24	0.20	0.45	0.51	0.64	0.68	0.71	0.69	0.71
Schedule Performance Index (SPI = EV/PV)	0.50	0.63	0.70	0.68	0.59	0.66	0.67	0.82	0.87	0.90	0.87	0.89
Estimated Cost at Completion (EAC)	12171726	10335775	9988903	11512045	14207910	6197621	5514153	4400379	4122883	3933919	4050688	3943452
Cost Schedule Index (CSI=CPI * SPI)	0.12	0.17	0.20	0.16	0.12	0.30	0.34	0.52	0.59	0.64	0.60	0.63

شكل 7: حساب التكاليف المخططة والفعلية والقيمة المكتسبة

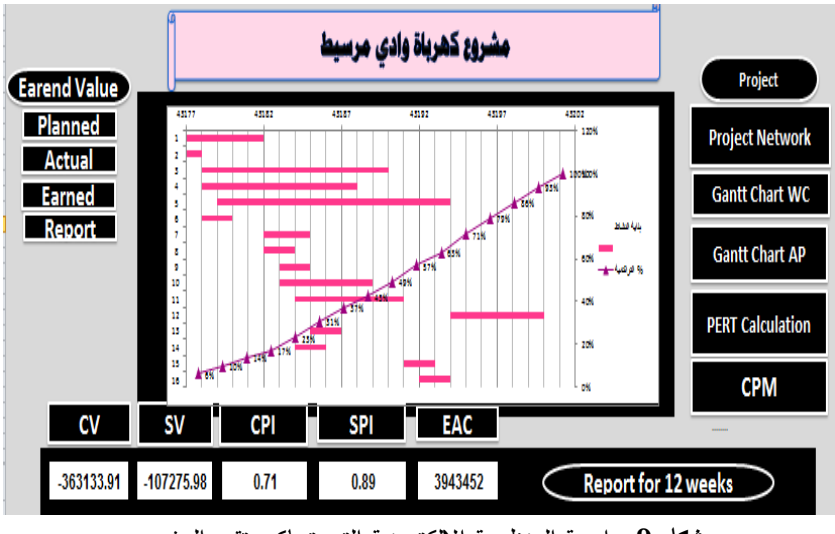
كما يشير الشكل رقم (8) منحنيات قيم التكلفة المخططة والمكتسبة والفعلية

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية



شكل 8: منحنيات قيم التكلفة المخططة والمكتسبة والفعلية

وفي هذا السياق أمكن تصميم منظومة لتخطيط وإدارة المشروع وضبط تكاليفه والشكل التالي رقم (9) يوضح واجهة المنظومة التي يحاكي واقع المشروع الحالي.



شكل 9: واجهة المنظومة الإلكترونية التي تحاكي تقدم المشروع

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

النتائج:

1. أظهرت النتائج أن إدارة مشروع كهربة وادي مرسيط اعتمدت التخطيط غير الجيد في تقديرات الجدولة الزمنية حيث بلغت المدة الزمنية المخططة وفق العقد 12 شهراً وذلك اعتماد على العلاقة التسابقية (Finish to Start)، وهذا ما أدى إلى التخطيط غير الدقيق لجدولة المشروع.
2. وأن إدارة المشروع استخدمت أسلوب جانت في تخطيطها وهو الأسلوب الهندسي الوحيد الذي يدركه القائمين على المشروع.
3. يعد التخطيط الشبكي وشبكات الأعمال وسيلة فعالة تساعد متخذي القرار على التخطيط ومراقبة المشاريع.
4. لم يتمكن المقاول من إنجاز المشروع وفق الموعد المحدد بوثائق العقد وهذا جله راجع لعدم تطبيق الأساليب العلمية في إدارة المشروع من باديته.
5. وأن عدم وجود أفراد متخصصين في استخدام تقنيات التحليل الشبكي ولا أسلوب المسار الحرج الذي أنتج أن زمن تنفيذ المشروع هو (39 أسبوع) وليس (60 أسبوع) كما جاء تقديرات عقد المشروع.
6. وإن النماذج الحديثة مثل نموذج أسلوب القيمة المكتسبة EVM أكثر النماذج فعالية في ضبط تكاليف المشروع وقياس انحرافه.
7. وإن استخدام البرامج الحاسوبية مثل برنامج الإكسل وبرنامج Primavera وبرنامج Ms. Project في التخطيط ومراقبة المشاريع لها أهمية كبيرة وهذا لتعدد وتعقد المشروع.
8. وإن عملية التخطيط وإعداد الجدولة تتطلب الخبرة والمعرفة في كيفية استخدام الأساليب العلمية ومنها أسلوب بحوث العمليات والواضح أن الشركة المنفذة للمشروع اعتمدت في تقديراتها على الخبرة الشخصية.
9. وإن تعثر إنجاز كهربة وادي مرسيط يعود إلى عدم اعتماد القائمين على تخطيط المشروعات على مقومات التخطيط الهندسي كأساس لنجاح خططهم.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

10. وإن التخطيط غير السليم وعدم الفهم الدقيق للتخطيط الهندسي يؤدي إلى فقدان السيطرة على مكونات التحكم.
11. وأن تطبيق أسهم أسلوب القيمة المكتسبة في ضبط تكاليف المشروع ومعرفة تكاليف المنفقة على كل نشاط من نشاطات المشروع.
12. وأن النظام المحوسب المصمم ساعد في إدارة ضبط وتكاليف المشروع.

التوصيات:

من خلال النتائج التي تم التوصل إليها من خلال هذه الدراسة فيما يلي جملة من الاقتراحات منها:

1. العمل على تزويد القائمين على مشروعات الطاقة الشمسية بمعلومات كافية عن استخدام أساليب التخطيط الهندسي ونماذج شبكات الأعمال ومدى أهميتها في تخطيط المشروعات وإنجازها بأقصر وأقل وقت وكلفة ممكنة.
2. إعطاء أهمية كبيرة لتطبيق أساليب ونماذج شبكات الأعمال.
3. بناء نظام إداري متطور لإدارة وتخطيط التكاليف في مشاريع التشييد.
4. تبني عملية استخدام أسلوبي CPM – PERT إضافة إلى تحديد مسؤوليات تنفيذ المشروع بشكل واضح فضلاً عن اختيار المدير من ذوي المواهب والإمكانات العلمية لإدارتها.
5. توفير مواد التشييد المطلوب في الوقت المناسب تجنباً لحالات التأخير التي يمكن أن تحدث وبذلك تقلل من أثر القيود الخاصة بالموارد وبصفة خاصة الوقت والتكلفة.
6. تطبيق نموذج القيمة المكتسبة لضبط تكاليف المشروع وقياس انحراف قبل البدء في المشروع.
7. يجب الاهتمام أكثر بإدارة القيمة المكتسبة Earned Value Method (EVM) هذه الأخيرة التي يعتمد عليها في تحليل جميع تكاليف المشروع، وجميع

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

المؤشرات التي تقيس تقدم أو تأخر المشروع، وكذلك المؤشرات التي تقيس الانحرافات التي يتعرض لها المشروع خلال فترة دورة حياة المشروع.

8. القيام بدورات تدريبية متخصصة للقائمين على مشاريع الطاقة الشمسية على أساليب التخطيط الهندسي وإدارة المشاريع باستخدام التقنيات الحاسوبية.
9. إدراج مادة إدارة المشاريع الهندسية ضمن متطلبات التعليم الهندسي بالجامعات والمعاهد العليا التي تدرس العلوم الهندسية.

المراجع

[1] خير الدين، موسى أحمد. 2012 م. إدارة المشاريع المعاصرة: منهج متكامل في دارسة المشاريع، الطبعة الأولى، دار وائل للنشر والتوزيع، عمان.

[2] دودين، أحمد يوسف. 2012. إدارة المشاريع، الطبعة الثانية، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، عمان.

[3] ماضي، محمود توفيق. 2016. إدارة جدولة المشاريع، الطبعة الثالثة، الدار الجامعية للنشر، القاهرة.

[4] Kerzner, H. l. 2006. Project Management: A System approach to Planning, Scheduling, and Controlling", 9th ed. John Wily.

[5] Suliman, Samer Ali. 2005. Implementation of Critical Path Method "CPM" for Avoiding Construction Projects Delay Problem. A Master Thesis Submitted to the Engineering Project Management, Libyan Academy, Tripoli.

[6] Andrickson j, C. 2013, Project Management for Construction Planning. 2nd ed. John Wily. USA.

[7] Subramani, T, a. 2014. Analysis of Cost Controlling In Construction Industries by Earned Value Method Using Primavera, T. Subramani et al Int. Journal of Engineering Research and Applications, ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 6.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

[8] بن حكومة، مصطفى أحمد واسماعيل، مدحت اسماعيل المبروك. 2019. مقترح أنموذج لإقامة مشاريع البنية التحتية بنظام البناء والتشغيل ونقل الملكية في ليبيا، إصدار المجلة الدولية للعلوم التقنية، المجلد التاسع عشر، العدد التاسع عشر،1-15

[9] عبدالسلام، أيمن عبدالسلام. 2013. إدارة مشروعات التشييد، الطبعة الثانية، الدار العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية