مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (1)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (1) 2004

نظام حاسوبي لتكامل تقدير (الكلف والكميات) و الجدولة الزمنية لمشاريع التشييد

الدكتور بسام حسن*
الدكتور هاني نجا**
الأعصم غانم***

(قبل للنشر في 2004/1/24)

□ الملخّص □

غالبا ما تتم عمليات حسابات الكميات (Quantity Take-Off) بشكل منعزل عن الجدولة الزمنية (Scheduling) وغالبا ما تتم ببرمجيات منفصلة عن برمجيات الجدولة الزمنية. إضافة إلى أن عملية الجدولة الزمنية غالبا ما تتم باستخدام طرق الشبكات كطريقة المسار الحرج (CPM) والتي تصبح معقدة وصعبة من أجل المشاريع ذات الطبيعية التكرارية.

يقدم هذا البحث نظام يهدف إلى تكامل عمليتي تقدير الكميات والجدولة الزمنية مما يختصر الكثير من الزمن اللازم لإنجاز التخطيط للمشروعات ويجنب المخطط الوقوع في الخطأ أثناء الانتقال من نتائج برامج حساب الكميات ونقلها كمدخلات إلى برامج الجدولة الزمنية. كما يوفر المستخدمين قليلي الخبرة في مجال التخطيط الزمني للمشروعات أداة تزيل معظم المصاعب التي يوجهها العاملين في مجال تخطيط المشروعات.

يميز النظام بين نوعين من الأنشطة، الأنشطة المنفصلة وتتم معالجتها بطريقة المسار الحرج، والأنشطة ذات الطبيعة التكرارية وتتم معالجتها بطريقة الجدولة الخطية (LSM) بما يضمن استمرارية عمل الأطقم ضمن الأقسام المتكررة.

*أستاذ في قسم الإدارة الهندسية والإنشاء- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين – اللاذقية – سورية .
**مدرس في قسم الإدارة الهندسية والإنشاء- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
***دبلوم في قسم الإدارة الهندسية والإنشاء- كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (1)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (1) 2004

A Computer System to Integrate the Estimation of Quantity, Cost and Scheduling in Construction Projects

Dr. Bassam Hasan*
Dr. Hani Naja**
Dr. Al-Aasam Ghanem***

(Accepted 7/9/2004)

□ ABSTRACT □

Quantities take-off and time scheduling processes are usually performed separately and done by different software. Moreover, time scheduling process is usually performed using network methods like critical path method (CPM) which became very complex and different in the projects which have activities of a repeated nature.

This paper introduces a system that aims at integrating quantities estimating and time scheduling processes for multi-story buildings projects. This integration reduces the required time to plan projects and keeps the planner away from committing mistakes during the transfer of the quantities take-off software outputs into time scheduling software as inputs. It also provides for less experiences users of project time scheduling means of eliminating most of the problems that encounter the project planner.

The proposed system distinguishes between two kinds of activities: direct activities which are scheduled by critical path method and repetitive activities which are scheduled by linear scheduling method (LSM) to maximize the utilization by achieving the work continuity in the repetitive units.

***Prof At Construction Management Department –Faculty Of Civil Engineering –Tishreen University-Lattakia- Syria.**
****Lecturer At Construction Management Department –Faculty Of Civil Engineering –Tishreen University-Lattakia- Syria.**
*****Dipl At Construction Management Department –Faculty Of Civil Engineering –Tishreen University-Lattakia- Syria.**

مقدمـــة:

يقدم هذا البحث نظام حاسوبي (**EstSched**) يهدف إلى التكامل بين تقديرات الكميات والكلف من جهة (Quantity and Cost Estimating) والجدولة الزمنية (Scheduling) من جهة أخرى، بالإضافة إلى التوليد الآلي للجدولة الزمنية وذلك من أجل مشاريع الأبنية متعددة الطوابق.

العديد من الأبحاث والدراسات السابقة تعرضت لهذا الموضوع ففي عام (1995) صمم الباحث (Ory Schaked) نظام حاسوبي يهدف إلى التوليد الآلي لأنشطة المشروع (Automated Activities Generating) للأبنية ذات الارتفاعات العالية (High-Rise Building) ، كما يقوم النظام بعملية توزيع الموارد (Resource Allocation) على الأنشطة بالإضافة إلى حساب كلفة المشروع بناء على أهداف إدارية محددة كالإنجاز المبكر للمشروع (Fastest Completion) أو الكلفة الدنيا (Least-Cost) للإنجاز، كما راعى النظام استمرارية عمل الطواقم العمالية في الأنشطة ذات الطبيعة التكرارية(Repetitive Activities)، من عيوب هذا النظام إهماله أعمال القسم التحت أرضي(Infrastructure and Foundation Works) من البناء (أي قسم التأسيس)، بالإضافة إلى عدم تكامل النظام مع تقنيات حساب كميات العناصر المكونة للمشروع.

وفي عام (1996) حلل الباحثين (Martin A. Fisher, Florian Aalami) نظام قابل للتفسير بواسطة الحاسب (Computer-Interpretable Models)، ويعتمد هذا النظام على آليات ربط وتكامُل (Integration Mechanisms)، تنقل معلومات التصميم الهندسي إلى الجدولة الزمنية، ويهدف إلى إيجاد أداة قوية تدعم التبادل الفعّال في المعلومات بين التقديرات والجدولة عند مختلف مستويات التفصيل. تم اختبار النظام المذكور على منشأة صغيرة مؤلفة من مجموعة من الغرف المتلاصقة ولم يتم اختباره على منشآت كبيرة الحجم، إضافة إلى أنه بقي ضمن إطار تحليل النظام (System Analysis) اللازم ولم يتعداه إلى تنفيذ هذا النظام.

كما صمم الباحث (Show Qing Wang, 2000) نظام قواعد معلومات (Knowledge-based System)، يقوم بعملية التفسير الآلي (Automatically Interpret) لمخططات البناء لاستخلاص مكونات البناء، ومن ثم تقسيم المشروع إلى نشاطات وتحديد العلاقات المنطقية بين هذه النشاطات، تقدير كميات النشاطات (Quantities Estimate) وحساب المدة الزمنية اللازمة لإنجازها، ومن ثم توليد جدولة المشروع الأساسية. ولكن البحث بقي ضمن مجال محدد فهو يتعامل مع الإطارات البيتونية المسلحة بما تحتويه من أنشطة، بالإضافة لأنه يحتاج إلى تعزيز وظيفة تفسير المخططات إما بواسطة إعداد مخططات معيارية أكثر أو عن طريق تحسين البرمجة.

عالج الباحثين (William J. Rasdorf and Osama Y. Abudayyeh, 1991) مشكلة عدم القدرة على ضبط مشاريع التشييد بشكل فعّال وذلك بسبب التدفق غير الكاف للمعلومات إلى المشروع، بالإضافة لنوعية المعلومات المتدفقة إلى نظام المراقبة، وقد ظهرت هذه المشكلة خلال فترة تشييد المشروع.

ولاحظ الباحثين التداخل والإرتباط الوثيق بين الجدولة والكلف، وعدم وجود أنظمة مراقبة للمشاريع تُكامل بين وظائف الضبط للجدولة والكلف، وأنهما منفصلين بشكل كامل وكل منهما ينفذ بشكل مستقل عن الآخر بالإضافة لإستخدامهما بنيتي ضبط مختلفتين، بنية تقسيم العمل (WBS) وبنية تقسيم الكلفة (CBS) وإنّ الصعوبة في تكامل البنيتين السابقتين تكمن في اختلاف مستوى التفصيل المستخدم لكل منهما، لذلك اقترح الباحثين طريقة

آلية (Work-Packaging Model) تهدف إلى توحيد بيانات الكلفة والجدولة في بنية واحدة وذلك من أجل ضبط المعلومات المتدفقة خلال مرحلة التشييد، إلا أنّ الموديل السابق بقي ضمن مرحلة التصميم المفاهيمي ولم يتعداه إلى مرحلة التنفيذ.

يهدف النظام المقترح في هذا البحث (**EstSched**) إلى توفير أداة برمجية تساعد كل من المخطط والمتعهد في سرعة إنجاز عمليتي تقدير الكميات والجدولة الزمنية لمشاريع الأبنية السكنية، وذلك بالإعتماد عل تقنيات التوليد الآلي للجدولة الزمنية إنطلاقاً من معلومات التصميم الهندسي، مع دعم التشارك الديناميكي للمعلومات بين عملية تقدير الكميات والكلف من جهة وعملية الجدولة الزمنية من جهة أخرى، بحيث ينعكس أي تغيير في العملية الأولى بشكل مباشر على العملية الثانية بما يضمن أمان وسرعة التعديل في المعلومات المتعلقة بالجدولة الزمنية، ويختصر الكثير من الزمن اللازم لإنجاز التخطيط للمشروعات ويجنب المخطط الإغفال أو الوقوع في الخطأ أثناء الانتقال من نتائج برامج تقدير الكميات ونقلها كمدخلات إلى برامج الجدولة الزمنية.

يتعامل النظام مع الأبنية متعددة الطوابق والتي تتميز باحتوائها أقسام متعددة حيث أن النشاطات تتكرر من قسم لآخر، ويتطلب هذا النوع من الأبنية جدولة زمنية تضمن عدم وجود انقطاع في استخدام الموارد عند الإنتقال من نشاط في أحد الأقسام إلى نشاط آخر مشابه في قسم تالي له. لذلك يميز النظام المقترح بين نوعين من الأعمال في الأبنية المتعددة الطوابق، أعمال منفصلة ويتم جدولتها بطريقة المسار الحرج، وأعمال مستمرة وتتم جدولتها بطريقة الجدولة المستمرة مع ضمان استمرار عمل الطواقم العمالية عبر الأقسام المتكررة، يقوم النظام بعد ذلك بعملية التكامل بين نتائج النوعين السابقين من الجدولة لنحصل على الجدولة النهائية للمشروع.

تم تنفيذ النظام المقترح باستخدام لغة البرمجة (Microsoft Visual Basic 6) بالإضافة إلى قواعد البيانات العلائقية (Microsoft Access) . وقد تم التركيز في النظام على الأبنية المتعددة الطوابق (Multi-Story Buildings) إلى أنه تم مراعاة إمكانية تطوير وتوسيع النظام بحيث يشمل أنواع أخرى من مشاريع التشييد.

تصميم النظام:

تم من خلال الدراسات الميدانية ومقابلة الخبراء والعاملين في مجال تخطيط وتنفيذ مشاريع الأبنية متعددة الطوابق وضع جملة من المتطلبات الضرورية التي يجب أن يهدف إليها النظام المقترح وهي كما يلي:

- تقدير كميات العناصر المكونة لمشروع البناء متعدد الطوابق (أعمدة، جدران قص، بلاطات، جدران إستنادية ... الخ).
- التوليد الآلي (Automated Generating) للأنشطة التي يتكون منها المشروع.
- التوليد الآلي للأنشطة السابقة (Predecessors) لكل نشاط في المشروع.
- تخصيص الموارد (Resource Allocation) لأنشطة المشروع.
- نقل كميات العناصر المقدرة إلى الأنشطة التابعة لها ومن ثم حساب المدة الزمنية اللازمة لإنجاز كل نشاط بالإعتماد على إنتاجية طواقم العمل المخصصة لها.
- إجراء عملية الجدولة الزمنية (Time Scheduling) بحيث تقسم هذه العملية إلى قسمين رئيسيين:

أ- الجدولة الزمنية للأنشطة المنفصلة (Discrete Activities) وذلك بطريقة المسار الحرج (Critical Path Method: CPM).

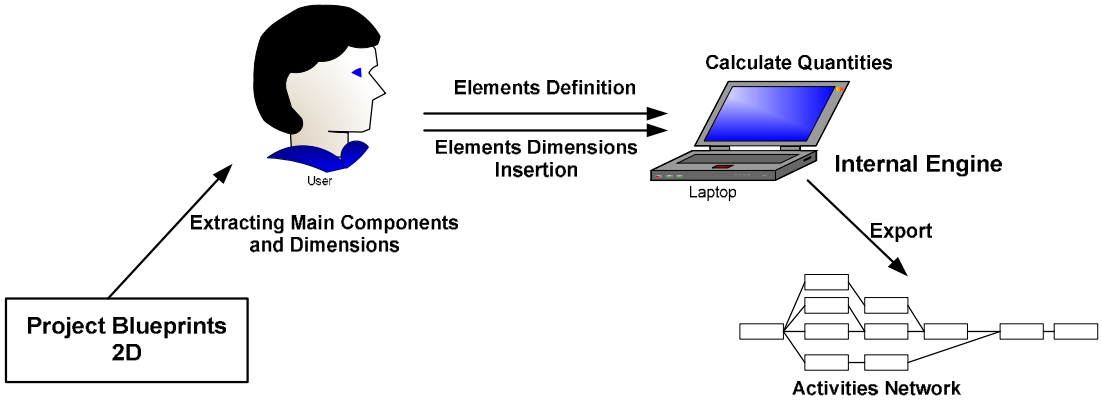
ب- الجدولة الزمنية للأنشطة ذات الطبيعة التكرارية (Repetitive Activities) بطرية الجدولة الخطية (Linear Scheduling Model: LSM) وذلك لضمان استمرارية عمل أطقم العمل عبر الأقسام المتكررة.

- التكامل بين نتائج النوعين السابقين من الجدولة للحصول على الجدولة النهائية للمشروع.

تقدير كميات العناصر المكونة لمشروع:

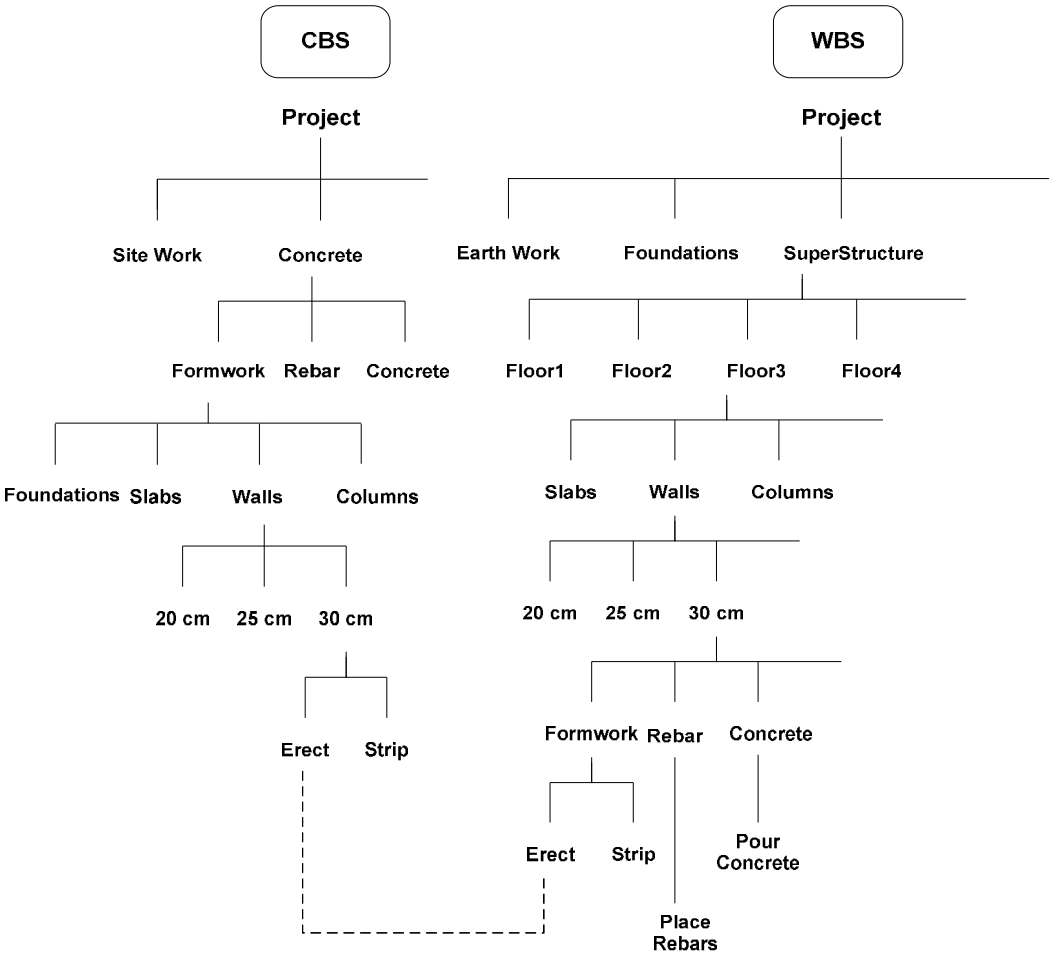
تتم عملية تقدير الكميات بالتفاعل بين المستخدم والحاسب، بحيث يقوم المستخدم باستخلاص العناصر الرئيسية المكونة للبناء بالإضافة إلى أبعاد هذه العناصر من مخططات المشروع ثنائية الأبعاد، تنقل معلومات العناصر إلى الحاسب الذي يقوم بعملية تقدير الكميات بناءً على تقنية تقدير الكميات المقترحة في النظام لكل عنصر ثم تفرز الكميات المحسوبة لكل عنصر بالاعتماد على وحدات قياس هذه الكميات (حجوم، مساحات بأنواعها، أوزان وغيرها ...).

بعد فرز الكميات يتولى محرك النظام الداخلي عملية تصدير الكميات المحسوبة إلى الأنشطة الموافقة لها في الجدولة الزمنية. كما هو موضح في الشكل(1)



الشكل (1): آلية تقدير الكميات

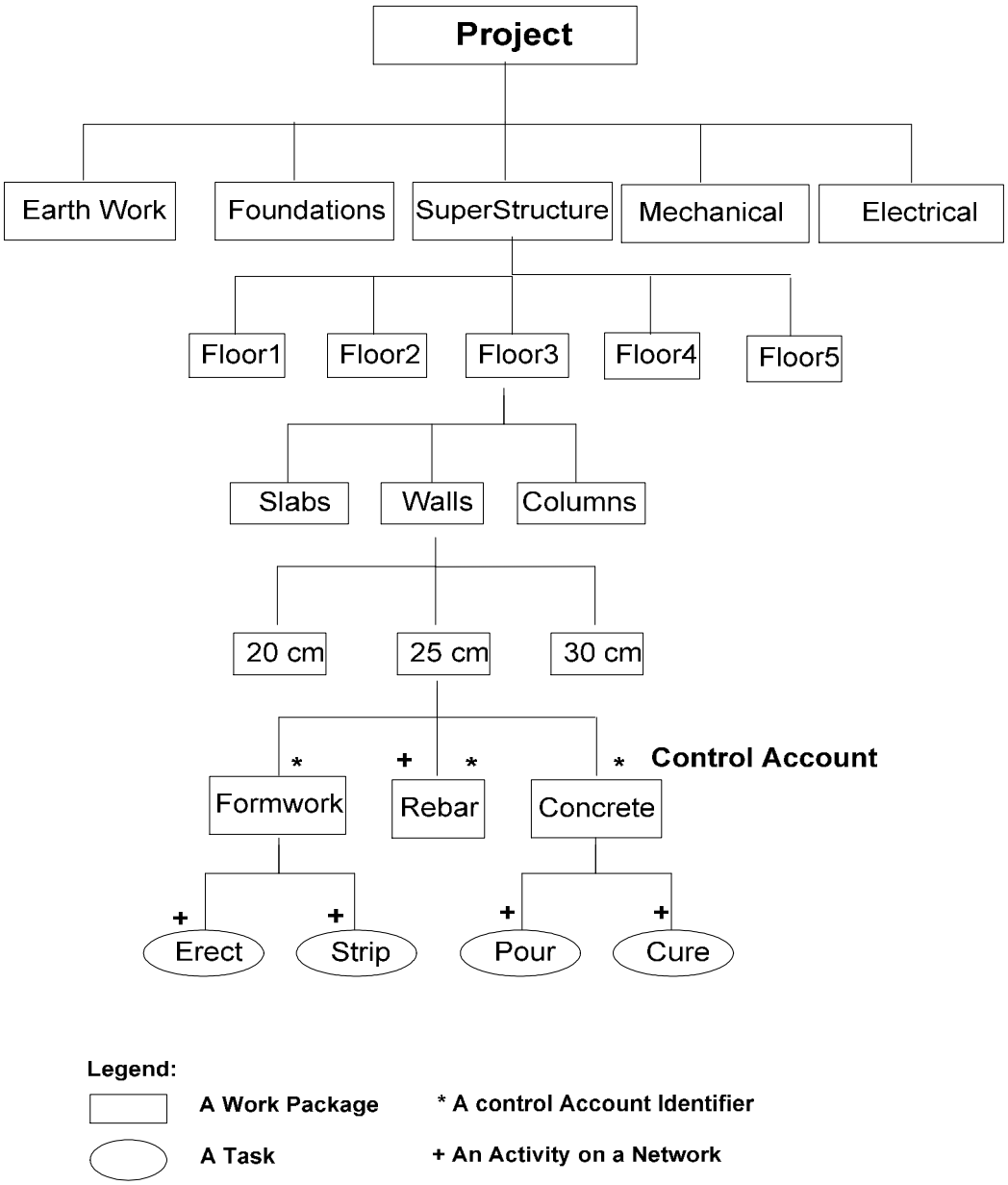
تتم عملية تقدير الكميات والكلف في أغلب الأنظمة بالاعتماد على البنية الهرمية لتقسيم الكلف (CBS)، وتتم بشكل مستقل تماما عن الجدولة الزمنية التي تعتمد البنية الهرمية لتقسيم العمل (WBS)، مما يجعل التكامل بين العمليتين معقد وذلك بسبب اختلاف مستوى التفصيل (التقسيم) المتبع في كل من العمليتين. كما هو موضح في الشكل(2). [William J. Rasdorf, 1991]



The Difference in Detail Level Between WBS & CBS

الشكل(2): الفرق في مستوى التقسيم بين (WBS) و(CBS)

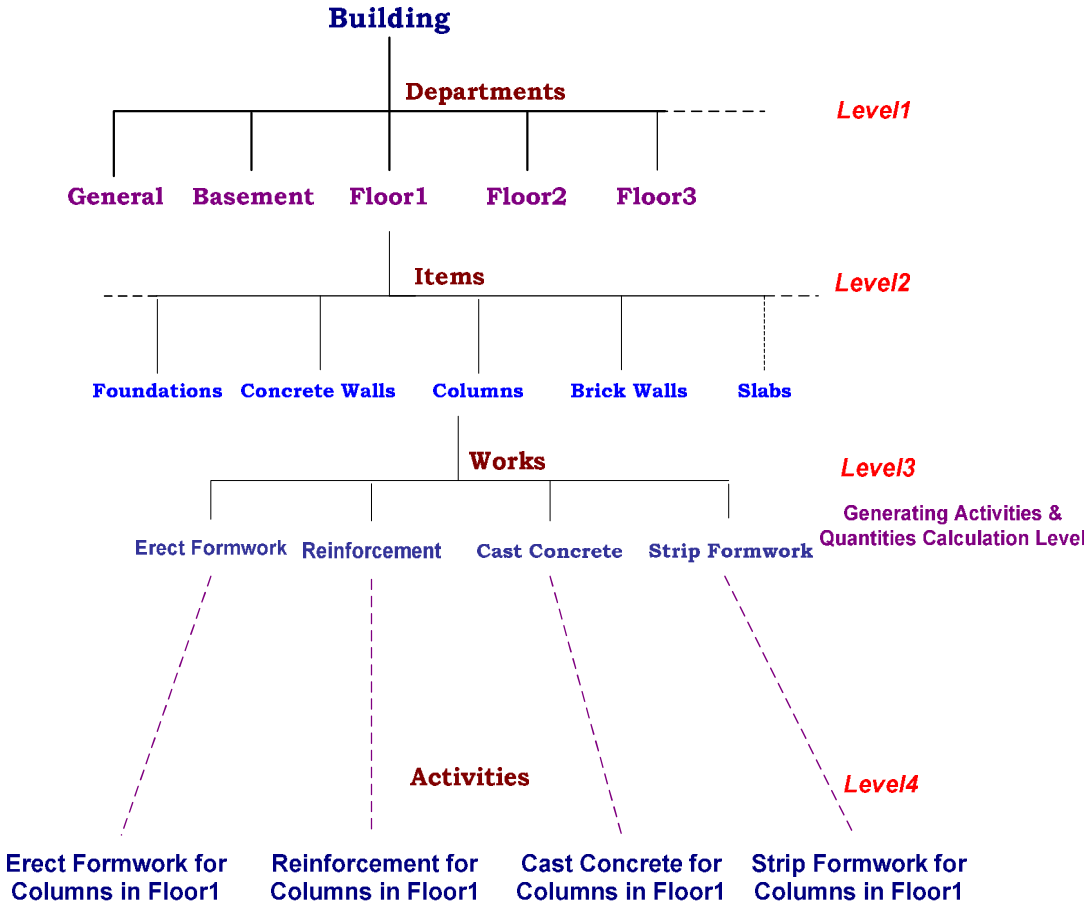
تطرّقت العديد من الدراسات السابقة لعملية الربط بين موديلي بنية تقسيم العمل وبنية تقسيم الكلفة، وقد اعتمدت معظم الموديلات المقترحة على إيجاد تقنية للربط بين الموديلين السابقين مع بقاء الاختلاف في مستوى التقسيم، والذي ينتج عنه عدم قدرة الموديل الناتج في تطبيق التكامل بين تقنيتي تقدير الكميات والجدولة الزمنية، وقد تم حل هذه المشكلة عن طريق الباحث [William J. Rasdorf, 1991] عندما قام بدمج الموديلين السابقين بموديل واحد، وكان الموديل الناتج (Work-Packaging Model) قادرا على التكامل بين تقنيتي تقدير الكميات والجدولة الزمنية. كما هو موضح في الشكل (3).



Work-Packaging Model

الشكل (3): الموديل الناتج عن تكامل (WBS) و(CBS)

وقد اعتمد النظام المقترح الموديل السابق كأساس للتكامل بين عملية تقدير الكميات والكلف من جهة وعملية الجدولة الزمنية من جهة أخرى. كما هو موضح في الشكل(3,1).

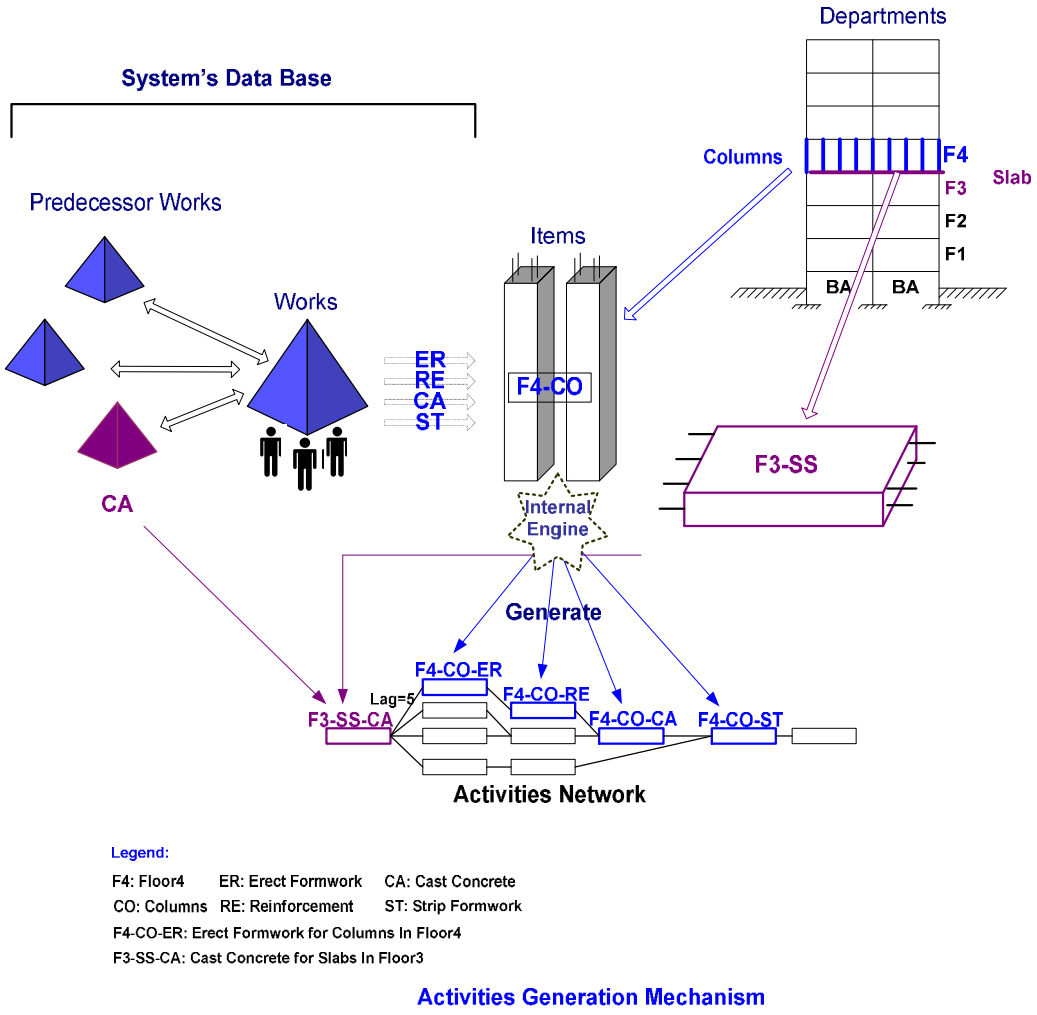


الشكل(3,1): الموديل المستخدم في النظام المقترح

التوليد الآلي للأنشطة وعلاقات الربط بينها (شبكة الأنشطة):

يقوم النظام المقترح بتوليد أنشطة المشروع آلياً كما يسمح بأن تتم هذه العملية بشكل تفاعلي مع المستخدم.

تمر عملية التوليد الآلي للأنشطة بأربع مراحل:1- تحديد الأقسام التي يتكون منها البناء بالإضافة إلى تسلسل تنفيذ هذه الأقسام. 2- تحديد العناصر التي يتكون منها كل قسم، حيث يحتوي النظام معظم العناصر التي تتألف منها الأبنية متعددة الطوابق وهي قابلة للتعديل من قبل المستخدم. 3- تعريف الأعمال اللازمة لإنجاز العناصر، يحتاج كل عنصر من عناصر المشروع إلى مجموعة من الأعمال الضرورية لإنجازه، يقوم النظام بهذه العملية بشكل آلي عن طريق محرّك داخلي يقوم بالبحث عن الأعمال اللازمة لإنجاز هذا العنصر ضمن قاعدة البيانات المخصصة لهذا الغرض، وإسنادها له. 4- توليد الأنشطة، يتم بإسناد العناصر مع الأعمال اللازمة لتنفيذها إلى الأقسام التي تنتمي إليها هذه العناصر، وبذلك يتم توليد الأنشطة الضرورية لإنجاز المشروع. كما هو موضح في الشكل(4).



الشكل(4): آلية توليد الأنشطة المنفصلة

يتطلب توليد شبكة الأنشطة لمشروع معين، معرفة الأنشطة التي يتكون منها المشروع بالإضافة إلى العلاقات والتداخل بين هذه الأنشطة. وقد تم تصميم النظام ليتعرف على خمسة أنواع من العلاقات تعكس مفهوم الارتباط بين الأنشطة (ارتباط تكنولوجي، ارتباط تنظيمي)، وهي كالتالي: FS بداية النشاط الحالي تعتمد على نهاية النشاط السابق، SS بداية النشاط الحالي تعتمد على بداية النشاط السابق، SF نهاية النشاط الحالي تعتمد على بداية النشاط السابق، FF نهاية النشاط الحالي تعتمد على نهاية النشاط السابق، FSR بداية النشاط الحالي تعتمد على نهاية النشاط السابق مع استمرار عمل طواقم العمل ضمن الأعمال ذات الطبيعة التكرارية.

يقوم النظام المقترح بتوليد شبكة الأنشطة بشكل آلي، وذلك بربط الأنشطة مع بعضها وفق علاقات الارتباط المقترحة، ويسمح النظام للمستخدم بالتدخل وإجراء التعديلات على شبكة الأنشطة المتولدة مع التقيد بعلاقات الارتباط المعرّفة والتأكد من خلو الشبكة المعدّلة من الحلقات المغلقة (Loop).

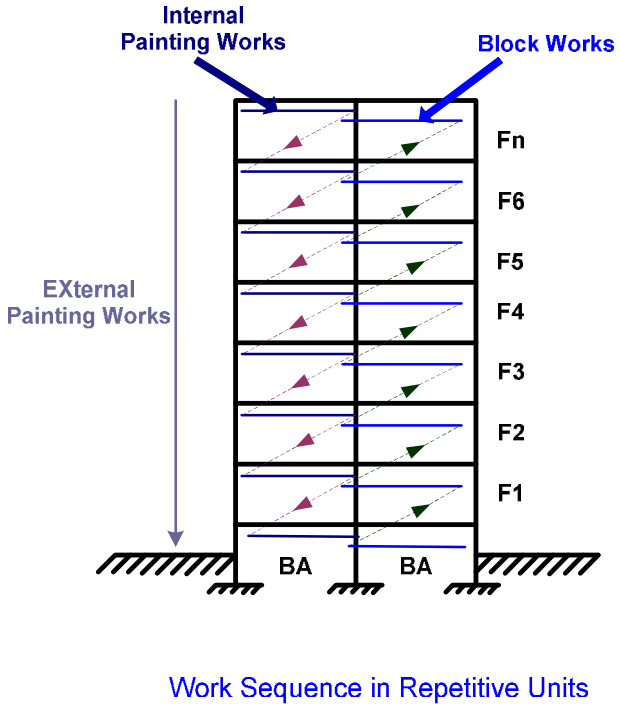
التوليد الآلي للأنشطة ذات الطبيعة التكرارية:

يمكن تمييز نوعين من الأنشطة في الأبنية متعددة الطوابق: 1- أنشطة منفصلة، مثل (أنشطة التأسيس، أنشطة الحفر،...الخ). 2- أنشطة مستمرة، مثل (أنشطة البلوك، أنشطة الصحية، ... الخ).

تعرّف الأنشطة المستمرة (ذات الطبيعة التكرارية): بأنها الأنشطة المتشابهة التي تنفذ عبر الأقسام المتتالية مع استمرار عمل طاقم العمل ضمن الأنشطة ابتداءً بالقسم التكراري الأول حتى القسم التكراري الأخير.

يمكن التعبير عن الأنشطة المستمرة المتشابهة بنشاط وحيد يبدأ مع بداية القسم الأول وينتهي مع نهاية القسم الأخير، وينفذ هذا النشاط من قبل طاقم عمل محدد وبشكل مستمر حتى نهايته بما يضمن الاستخدام الأعظمي لطاقم العمل. يقوم النظام المقترح بتوليد الأنشطة المستمرة للمشروع آلياً كما يسمح بأن تتم هذه العملية بشكل تفاعلي مع المستخدم. وتمر عملية التوليد الآلي للأنشطة المستمرة بأربع مراحل:

1- تحديد الأقسام التكرارية التي يتألف منها المشروع. 2- تحديد الأعمال التكرارية الضرورية لتنفيذ كل قسم والعلاقات والتداخل بين هذه الأعمال(شبكة الأنشطة ضمن القسم). 3- تحديد تسلسل تنفيذ الأعمال التكرارية عبر الأقسام التكرارية للمشروع، مثلا (أعمال الدهان تنفذ من القسم التكراري الأخير إلى الأول، أعمال البلوك تنفذ من القسم التكراري الأول إلى الأخير، بينما تنفذ أعمال أخرى بتسلسل آخر.)، ويتعامل النظام مع أي تسلسل مفتَرض للأعمال التكرارية ضمن أقسامها. كما هو مبين في الشكل(5)



الشكل (5): تسلسل العمل في الأقسام التكرارية

تخصيص الموارد لأنشطة المشروع:

تقسم الموارد بشكل عام إلى ثلاثة أقسام رئيسية المواد، العمالة، والآليات، ويتم تخصيص الموارد إلى أنشطة المشروع حسب كمية كل نشاط والمدة المقترحة لإنجاز هذا النشاط، وذلك من اجل إنجاز المشروع في الوقت المناسب، بالإضافة إلى معرفة كمية الموارد المطلوبة وكلفتها.

و يتبع النظام أسلوبا خاصا في تخصيص الموارد اللازمة لأنشطة المشروع، حيث يتم تصنيف موارد المشروع إلى (مواد) توزع على الأنشطة بشكل آلي وذلك بعد تحليل الكميات الخاصة بكل نشاط.

مثال: صب أعمدة الطابق الثالث، يقوم النظام أولا بحساب كميات الأعمدة وتجميعها حسب وحداتها (حجم، مساحة، وزن، ...) تلي الخطوة الأولى عملية تحليل هذه الكميات، فالحجم يمثل كمية البيتون في الأعمدة والتي يتم تحليلها إلى بحص، رمل، أسمنت، ماء بالنسب المعيارية.

و الصنف الثاني هو (العمالة والآليات) حيث يتم توزيعها على الأنشطة من قبل المستخدم حسب حاجة كل نشاط.

كما يتم تخصيص الموارد الضرورية لتنفيذ الأنشطة المستمرة بشكل مباشر من قبل المستخدم حسب حاجة كل نشاط.

الجدولة الزمنية لأنشطة المشروع:

يقصد بالجدولة الزمنية لأنشطة المشروع معرفة أزمنة البداية والنهاية الضرورية لتنفيذ كل نشاط وذلك عن طريق حل شبكة الأنشطة الممثلة للمشروع بإحدى طرق الجدولة المعروفة.

يقسِّم النظام هذه العملية إلى قسمين رئيسيين:

الجدولة الزمنية للأنشطة المنفصلة بطريقة المسار الحرج:

بعد توليد شبكة الأنشطة المنفصلة يقوم النظام بتوزيع كميات العناصر المحسوبة على أنشطة الشبكة حسب وحدات قياس هذه الكميات، وحساب المدد الزمنية لأنشطة الشبكة وذلك بقسمة كمية النشاط على إنتاجية طاقم العمل والتي تم تخصيصها للأنشطة من قبل المستخدم.

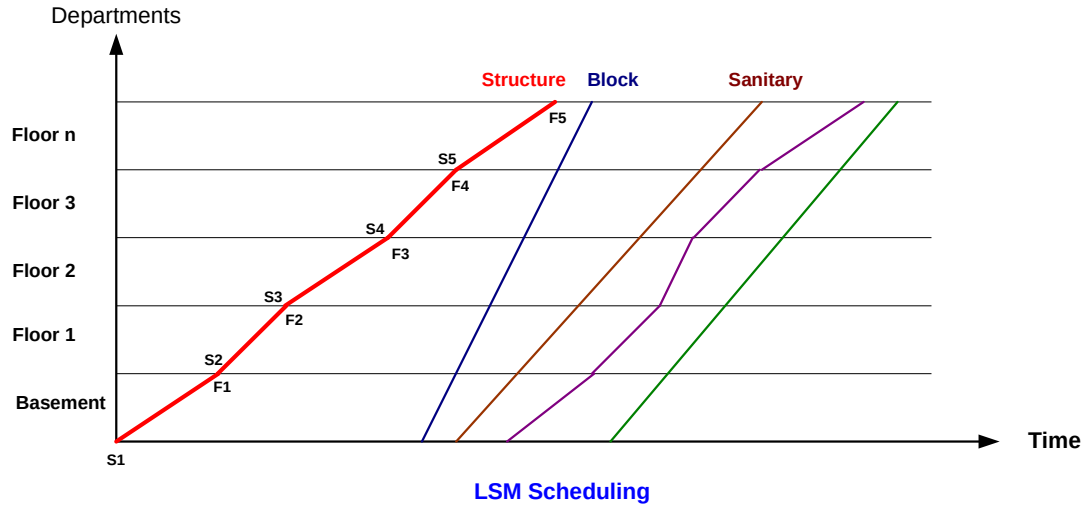
يقوم محرك النظام الداخلي بإجراء الجدولة الزمنية وذلك بترتيب الأنشطة حسب علاقات ارتباطها، ثم حساب الأزمنة المبكرة (ES: Early Start Time, EF: Early Finish Time) والأزمنة المتأخرة (LS: Late Start Time, LF: Late Finish Time) والعوم الكلي والحر (TF: Total Float, FF: Free Float).

والجدولة الزمنية للأنشطة المستمرة بطريقة الجدولة الخطية:

بما أنّ طريقة المسار الحرج لا تضمن استمرار طواقم العمل في الأقسام المتكررة وذلك بسبب أولويات إنجاز الأعمال ضمن القسم الواحد بالإضافة لقيود الموارد والمستخدمة بكثرة في شبكات المسار الحرج.

فقد اعتمد النظام طريقة الجدولة الخطية لجدولة الأنشطة المستمرة بما يضمن استمرار عمل طواقم العمل في الأقسام المتكررة حتى إنجاز النشاط بشكل كامل. ويقوم محرك النظام بإجراء الجدولة الخطية وذلك بترتيب الأنشطة حسب علاقات ارتباطها ثم حساب أزمنة البدء (Start Time) والنهاية (Finish Time) لكل نشاط. حيث يعبر عن الأنشطة التكرارية بخطوط إنتاجية مستمرة عبر الأقسام المتكررة، يستمر فيها طاقم العمل من بداية الخط حتى نهايته دون انقطاع، وتتأثر جدولة الأنشطة التكرارية بنوع علاقة الإرتباط بين الأنشطة ضمن القسم

الواحد، وكذلك بعلاقة النشاط التكراري مع النشاط المشابه له في القسم التكراري التالي. ويمثِّل نشاط تنفيذ الهيكل البيتوني (الأعمدة + الجدران المسلحة + البلاطة) الخط الإنتاجي الأول ضمن سلسلة الخطوط الإنتاجية المتتالية، وتعتبر أزمنته حجر الزاوية في حساب أزمنة الخطوط الإنتاجية التالية. تفرض طبيعة الإرتباط التكنولوجي بين عناصر الهيكل البيتوني المسلح ضمن الأقسام المتتالية اتجاه محددا للتنفيذ ابتداءً من القسم الأول بإتجاه القسم الأخير. إن تسلسل تنفيذ أنشطة الخط الإنتاجي للهيكل البيتوني المسلح من الأسفل بإتجاه الأعلى بالإضافة لكونه الخط الإنتاجي الأول ضمن سلسلة الخطوط الإنتاجية يسمح بإيجاد الأزمنة اللازمة لتنفيذه بطريقة المسار الحرج. الشكل(6)



الشكل(6): آلية الجدولة الخطية

يقوم النظام بعد حساب الأزمنة اللازمة لتنفيذ الخط الإنتاجي الأول بحساب الأزمنة اللازمة لتنفيذ الخط الإنتاجي الثاني، حيث يتم جدولة هذا الخط الإنتاجي في مكان بعيد (يعطى زمن بدائي عشوائي وكبير) ومن ثم يتم سحب هذا الخط إلى مكانه المناسب بحيث يتكامل مع الخط الإنتاجي الأول وفقاً لعلاقة الإرتباط بين النشاطين ضمن نفس القسم، ومحافظا على شرط استمرارية طواقم العمل. ثم يتم حساب باق الخطوط الإنتاجية وفقاً لعلاقات النشاطات المعبرة عن هذه الخطوط مع بعضها ضمن نفس القسم، [Hani Saddik Naja, 2001] كما يلي:

الأزمنة المؤقتة للنشاط الثاني:

$$\text{Large Random Number } SS_i^1 =$$

$$FF_i^j = SS_i^j + D_i^j$$

$$SS_i^{j+1} = FF_i^j$$

$$FF_i^{mi} = SS_i^{mi} + D_i^{mi}$$

$$(\text{Where } j = 1, 2, \ldots, mi\text{-}1)$$

بدائل لسحب الخط الإنتاجي، وذلك وفق علاقات الإرتباط مع النشاطات السابقة:

Finish-to-Start (FS):

$$D_i^p = \text{Min}\begin{Bmatrix} SS_i^{mi} - F_p^{mi} - lag_i^p \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ SS_i^1 - F_p^1 - lag_1^p \end{Bmatrix} = \text{Min}\left\{\left(SS_i^j - F_p^i - lag_i^p\right)\right\}$$

Start-to-Start (SS):

$$D_i^p = \text{Min}\begin{Bmatrix} SS_i^{mi} - S_p^{mi} - lag_i^p \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ SS_i^1 - S_p^1 - lag_1^p \end{Bmatrix} = \text{Min}\left\{\left(SS_i^j - S_p^j - lag_i^p\right)\right\}$$

Finish-to-Finish (FF):

$$D_i^p = \text{Min}\begin{Bmatrix} SS_i^{mi} - F_p^{mi} - lag_i^p + D_i^{mi} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ SS_i^1 - F_p^1 - lag_1^p + D_i^1 \end{Bmatrix} = \text{Min}\left\{\left(SS_i^j - F_p^j - lag_i^p + D_i^j\right)\right\}$$

Start-to-Finish (SF):

$$D_i^p = \text{Min}\begin{Bmatrix} SS_i^{mi} - S_p^{mi} - lag_i^p + D_i^{mi} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ SS_i^1 - S_p^1 - lag_1^p + D_i^1 \end{Bmatrix} = \text{Min}\left\{\left(SS_i^j - S_p^j - lag_i^p + D_i^j\right)\right\}$$

المقدار النهائي لسحب الخط الإنتاجي:

$$d_i = \text{Min}\left\{D_i^p\right\}$$

الأزمنة النهائية للخط الإنتاجي:

$$S_i^j = SS_i^j - d_i$$

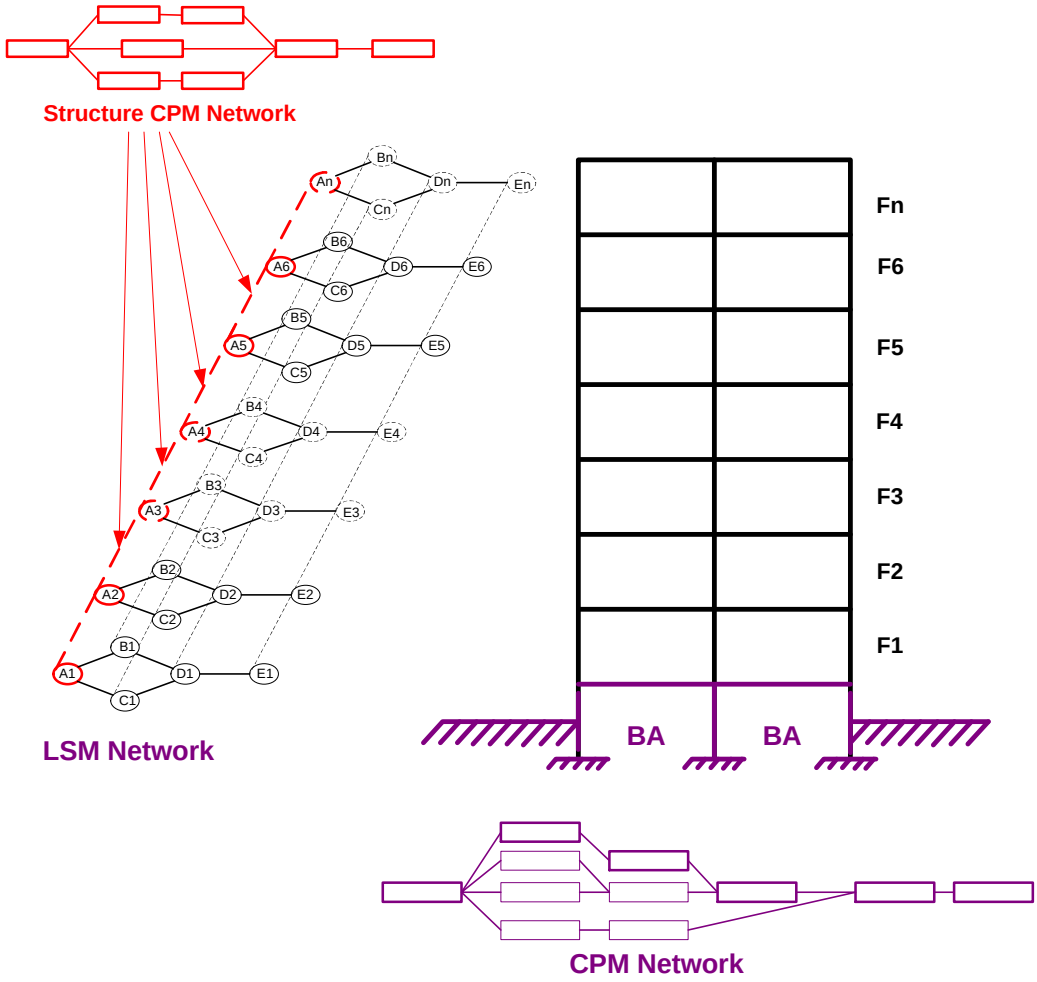
$$F_i^j = FF_i^j - d_i$$

Temporarily Scheduled Start date of Repetitive activity I in Unit j. SS_i^j :

Temporarily Scheduled finish date of Repetitive activity I in Unit j. FF_i^j :

توليد الجدولة النهائية للمشروع:

يقوم النظام بتقسيم المبنى من حيث آلية الجدولة الزمنية إلى قسمين رئيسيين، يشمل القسم الأول الأنشطة التي تتم تحت سطح الأرض (ابتداء بأعمال الحفر ثم التأسيس حتى الردم النهائي) بالإضافة لأنشطة الموقع العام (أعمال المساحة والتأكيس ...الخ)، فبعد توليد الأنشطة وحساب مددها الزمنية، يقوم النظام بجدولة الأنشطة المنفصلة الناتجة بطريقة المسار الحرج وحساب الأزمنة المبكرة والمتأخرة والعوم لكل نشاط. ويشمل القسم الثاني الأنشطة التي تتم فوق سطح الأرض ضمن الأقسام المتكررة (الأنشطة المستمرة) حيث يقوم النظام بجدولة الأنشطة المستمرة الناتجة بطريقة الجدولة الخطية وحساب أزمنة البداية والنهاية لكل نشاط. يقوم محرك النظام الداخلي بعملية الربط بين القسمين السابقين (شبكة الأنشطة المنفصلة وشبكة الأنشطة المستمرة)، وتتلخص عملية الربط بنقل المدد والأزمنة المحسوبة في الشبكة الأولى إلى الأنشطة المرتبطة بها في الشبكة الثانية، ويقصد هنا أنشطة الهيكل البيتوني. كما هو موضح في الشكل(7) وتمثل الشبكة الناتجة الجدولة الزمنية النهائية للمشروع مع مراعاة قيود ومبادئ كل نوع من أنواع الجدولة المستخدمة. كما هو موضح في الشكل(7)



Integrating Between CPM and LSM Scheduling

الشكل (7): التكامل بين طريقتي الجدولة الخطية والمسار الحرج

التحقق من صحة وقابلية استخدام النظام:

تم تطبيق النظام المقترح على مبنى مؤلف من 10 طوابق ويتألف من الأقسام والعناصر التالية:

قسم التأسيس:	الحُفر، الأساسات، الشناجات، الرقبات، جدران القص
القبو:	بلاطة الأرضية، الأعمدة، جدران القص، الدرج، البلاطة
الطابق التكراري الأول:	الأعمدة، جدران القص، جدران البلوك، الدرج، البلاطة
الطوابق التكرارية 2- 10:	الأعمدة، جدران القص، جدران البلوك، الدرج، البلاطة

تم إدخال معلومات العناصر التابعة لكل قسم، حيث قام النظام بتقدير كميات هذه العناصر وفرز هذه الكميات حسب وحدات قياسها وتوزيع هذه الكميات آليا على الأنشطة المتولِّدة من قبل النظام، ثم قام النظام بعملية الجدولة الزمنية لشبكات الأنشطة الناتجة وذلك بعد تخصيص الموارد لهذه الأنشطة، وتم تجميع النتائج لتوليد الخطة الزمنية النهائية للمشروع.

شرح آلية إدخال المعلومات ونتائج المثال موضحة في الملحق.

النتائج:

تتطلب برامج الجدولة الزمنية المتوفرة حاليا كم كبير من الإدخالات، كما تقتضي معرفة الخطة الزمنية بشكل مسبق حيث تقوم بأداء المهام التحليلية لهذه الخطة [K. E. E. Kahkonen, 1995]، بالإضافة إلى عدم قدرة هذه البرامج على التعامل مع المشاريع ذات الطبيعة التكرارية، وعدم قدرتها على نقل معلومات التصميم إلى الخطة الزمنية [Rene A.Yamin, 2001].

لذلك يهدف النظام المقترح إلى تقليل كمية الإدخالات إلى الحد الأدنى حيث يستقبل النظام معلومات الأقسام والعناصر وطواقم العمل كمدخلات ويقوم بحساب كميات العناصر وتوليد الأنشطة الضرورية لتنفيذ هذه العناصر وتوليد العلاقات بين هذه الأنشطة ثم يقوم بحساب الجدولة الزمنية للمشروع وذلك بعد تخصيص طواقم العمل الضرورية لتنفيذ الأنشطة من قبل المستخدم.

ومن مزايا النظام المقترح: 1- اعتماده آلية تكاملية لتجميع معلومات الكميات والكلف من جهة والجدولة الزمنية من جهة أخرى بما يختصر الزمن ويقلل التكرار الناجم عن اتباع طرق مختلفة لتجميع هذه المعلومات، 2- إمكانية استخدام النظام من اجل عملية تقدير الكميات فقط، أو الجدولة الزمنية فقط، 3- مرونة النظام وقابليته للتوسع ليلائم أنواع أخرى من مشاريع التشييد. 4- تعتبر قاعدة بيانات النظام كخزان يحوي كافة المعلومات المتعلقة بالأبنية متعددة الطوابق(مواد، موارد، أنشطة، أسعار) يمكن استخدامها كأداة مستقلة عن النظام.

تم اختبار النظام على عدة نماذج من الأبنية المتعددة الطوابق، وكانت النتائج مطابقة للأهداف الموضوعة.

توصيات:

يمكن تعزيز أهداف النظام من خلال إضافة المقترَحات التالية:

1- اعتماد تقنيات ذكية من أجل عملية تخصيص طواقم العمل آليا آخذين بعين الإعتبار مجموعة من الشروط والمعايير(نوع النشاط، كمية النشاط، موقع النشاط، طواقم العمل المتوفرة، الخ) التي تجعل عملية اختيار الطاقم فعّالة.

2- تكامل النظام مع مخططات التصميم ثنائية الأبعاد من اجل استخلاص أنواع وأبعاد العناصر المكونة للمشروع(معلومات التصميم) بشكل آلي مما يوفر الوقت في عملية تقدير الكميات ويزيد من دقة الحسابات. 3- توسيع النظام ليشمل أنواع أخرى من مشاريع التشييد.

الملحق:

مراحل إدخال المعلومات إلى البرنامج:

المرحلة الأولى: بناء قواميس الموارد (المواد –العمالة والآليات–أطقم العمل) متضمنة كافة المعلومات اللازمة مثل الأسعار للمواد والعمالة والآليات بالإضافة إلى تحديد مكوّنات طواقم العمل وإنتاجياتها الشكل(8).

المرحلة الثانية: تعريف مواصفات البناء، تحديد الأقسام التي يتكون منها البناء، تحديد العناصر التي يتكون منها كل قسم الشكل(9)، الشكل(10).

حيث يوضح الشكل 10: نموذج إدخال العناصر التي يتكون منها مشروع البناء، حيث يتم تحديد نوعية التأسيس ونوعية البلاطة المستخدمة كمرحلة أولى ثم يتم تحديد بقية العناصر التي يتكون البناء منها، يقوم النظام بتحديد الأقسام التي تتبع إليها العناصر السابقة وينسبها إلى هذه الأقسام.

المرحلة الثالثة: تتضمن إدخال معلومات العناصر التي يتكون منها المشروع بالتفصيل، يظهر الشكل(11) نموذج إدخال لعنصر الأساس المفرد.

حيث يبين الشكل 11: أحد نوافذ إدخال معلومات التصميم إلى البرنامج وهي خاصة بالأساسات المفردة والمشتركة والشريطية بكافة أنواعها(البسيطة والهرمية والمتدرجة). بعد إدخال كافة المعلومات الضرورية لهذا النوع من الأساسات يقوم النظام بحساب كميات الأساسات تبعا لوحدات قياسها(بيتون مسلح "حجم"، حديد "وزن"، مواد عزل "مساحة جانبية"، كوفراج "مساحة جانبية ") ثم تجميع هذه الكميات(مجموع حجوم البيتون، مجموع أوزان الحديد، الخ) بعد ذلك يتم تحليل الكميات (إسمنت، بحص، رمل، حديد، مواد عزل، الخ) ثم تحليل الأسعار (حجم البحص* سعر متر مكعب بحص، الخ) حيث يتم إدخال معلومات الأسعار منذ البداية في قاموس أسعار المواد.

المرحلة الرابعة: تصدير معلومات التصميم إلى الجدولة الزمنية، تتضمن هذه المرحلة عملية تجميع وفرز الكميات والكلف المحسوبة للعناصر، بما يتوافق مع إمكانية تصدير هذه المعلومات بشكل مباشر إلى الجدولة الزمنية المتولّدة الشكل(12)، وكمثال على ذلك:

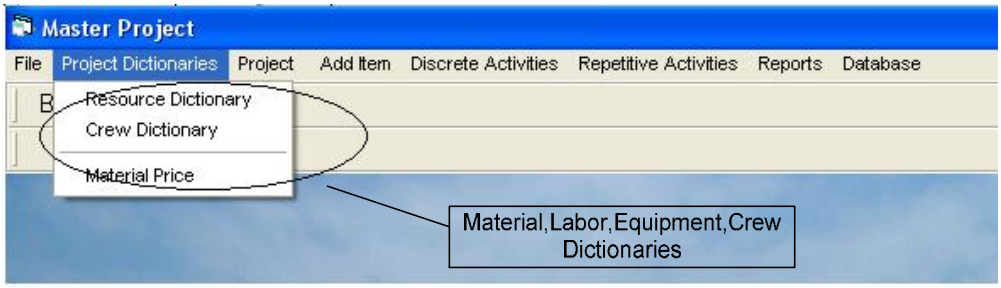
يتطلب نشاط صب البيتون للأساسات المفردة (مجموع حجوم البيتون المكونة لهذه الأساسات) وذلك من اجل تخصيص طاقم العمل الضروري وحساب المدة الزمنية اللازمة لتنفيذ النشاط، وكذلك الأمر بالنسبة لنشاط تركيب حديد التسليح وتركيب القالب.

المرحلة الخامسة: تخصيص الموارد إلى الأنشطة المتولدة للمشروع وحساب المدد الزمنية للأنشطة الشكل(13).

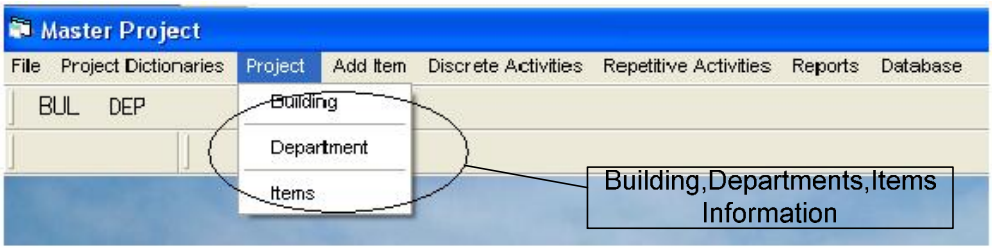
المرحلة السادسة: إجراء الجدولة الزمنية لشبكة الأنشطة الجاهزة (يمكن للمستخدم التدخّل والقيام بالتعديلات على الجدولة المتولدة)

المرحلة السابعة: عرض الخطة الزمنية مع كامل المعلومات المتعلقة فيها من أزمنة وكلف وغيرها الشكل(14).

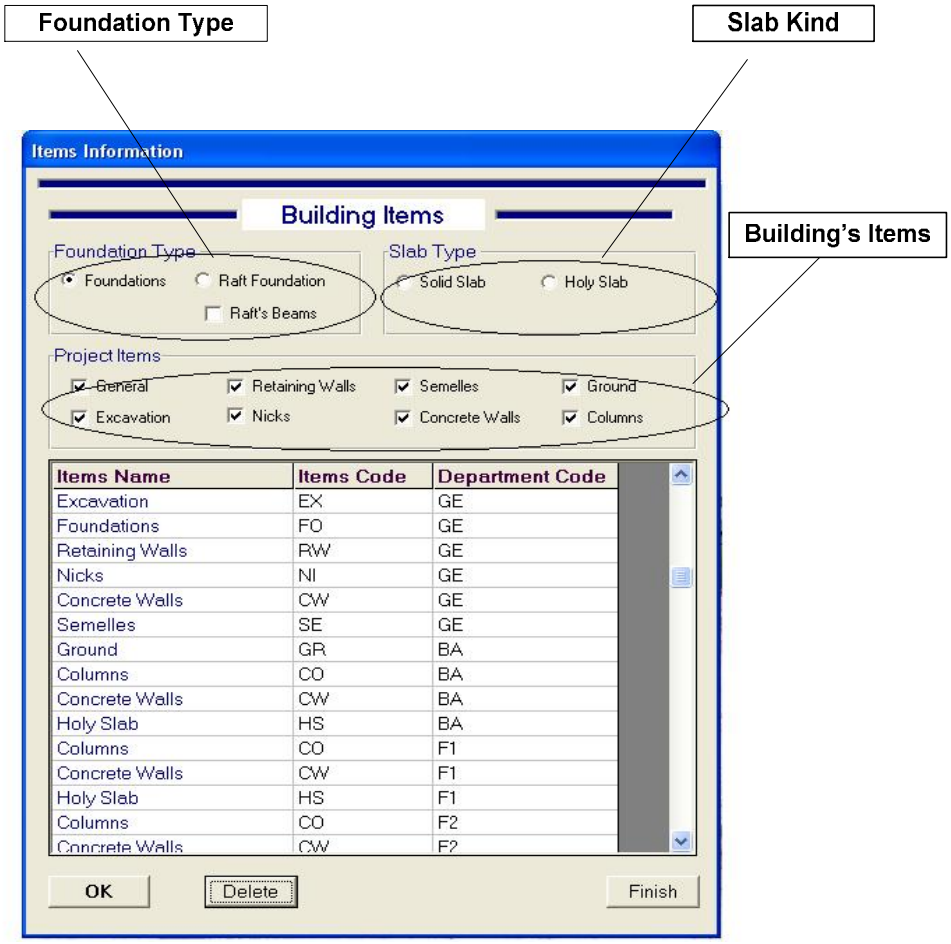
المرحلة الثامنة: وهي تتضمن عرض كافة التقارير اللازمة للمشروع والناتجة عن معلومات تحليل الكميات والكلف بالإضافة إلى معلومات الجدولة الزمنية وغيرها.



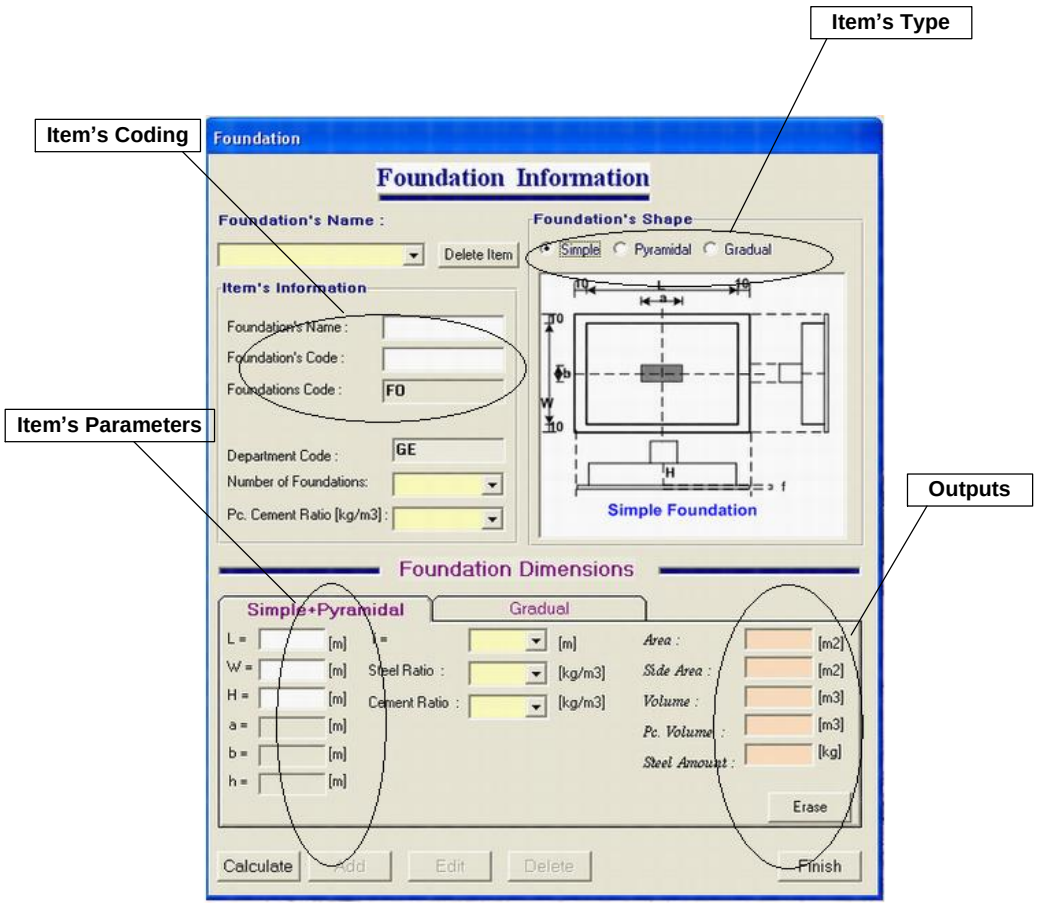
الشكل(8):بناء قواميس الموارد



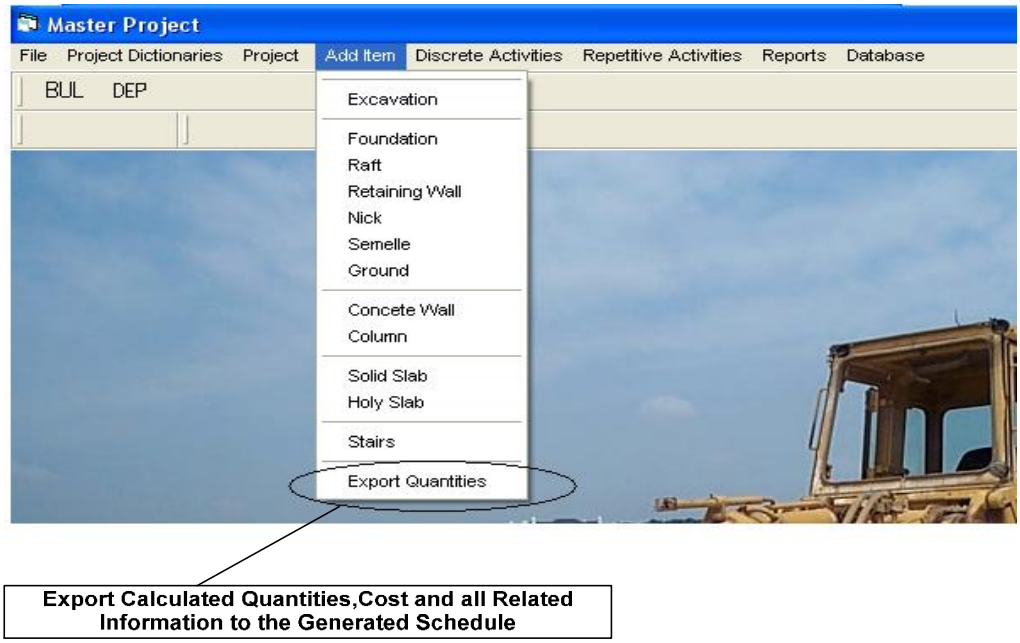
الشكل(9):إدخال معلومات البناء



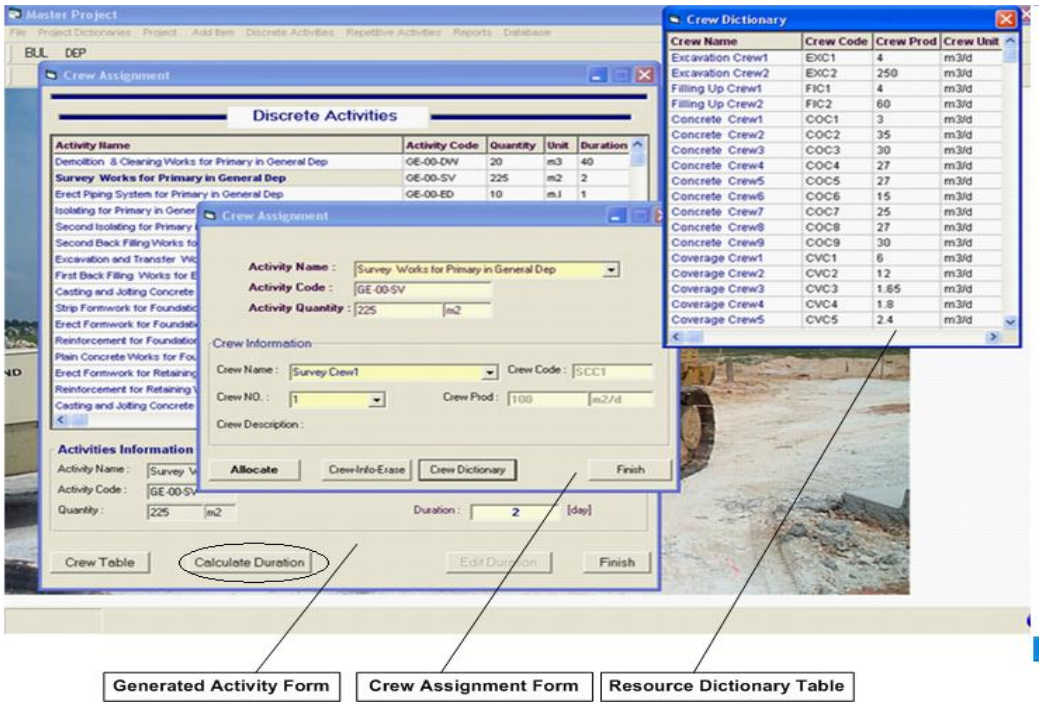
الشكل (10): نموذج إدخال العناصر المكونة للمشروع



الشكل (11): نموذج إدخال معلومات الأساسات



الشكل(12) : آلية تصدير معلومات التصميم إلى الجدولة الزمنية المتولّدة



الشكل (13): آلية تخصيص الموارد

Activity Name	Duration	ES	EF	LS	LF	TF	FF
Demolition & Cleaning Works for General in General Department	1	0	1	0	1	0	0
Survey Works for General in General Department	2	1	3	1	3	0	0
Excavation and Transfer Works for Excavation in General Department	4	3	7	3	7	0	0
Plain Concrete Works for Retaining Walls in General Department	2	7	9	117	119	110	0
Plain Concrete Works for Foundations in General Department	5	7	12	7	12	0	0
Erect Footing Formwork for Retaining Walls in General Department	3	9	12	119	122	110	0
Footings Reinforcement for Retaining Walls in General Department	5	12	17	122	127	110	0
Reinforcement for Foundations in General Department	3	13	16	13	16	0	0
Erect Formwork for Foundations in General Department	2	13	15	13	15	0	0
Casting and Jolting Concrete for Foundations in General Department	2	16	18	16	18	0	0
Casting and Jolting Footings for Retaining Walls in General Department	4	17	21	127	131	110	0
Strip Formwork for Foundations in General Department	3	20	23	20	23	0	0
Strip Footings Formwork for Retaining Walls in General Department	1	21	22	131	132	110	0
Erect Formwork for Retaining Walls in General Department	4	22	26	132	136	110	0
Erect Formwork for Nicks in General Department	2	23	25	26	28	3	0
Erect Piping System for General in General Department	3	23	26	37	40	14	14
Reinforcement for Nicks in General Department	1	23	24	26	27	3	0
Reinforcement for Retaining Walls in General Department	1	24	25	134	135	110	0
Casting and Jolting Concrete for Nicks in General Department	3	24	27	27	30	3	0
Casting and Jolting Concrete for Retaining Walls in General Department	2	25	27	135	137	110	0
Erect Formwork for Concrete Walls in General Department	5	25	30	25	30	0	0
Reinforcement for Concrete Walls in General Department	4	28	32	28	32	0	0
Strip Formwork for Retaining Walls in General Department	3	29	32	139	142	110	0
Strip Formwork for Nicks in General Department	5	29	34	32	37	3	3
Casting and Jolting Concrete for Concrete Walls in General Department	1	32	33	32	33	0	0
Isolating for Retaining Walls in General Department	2	32	34	142	144	110	0
Strip Formwork for Concrete Walls in General Department	2	35	37	35	37	0	0
First Back Filling Works for Retaining Walls in General Department	3	35	38	145	148	110	110
Isolating for General in General Department	2	37	39	37	39	0	0
First Back Filling Works for Excavation in General Department	1	40	41	40	41	0	0
Erect Formwork for Semelles in General Department	2	41	43	41	43	0	0

الشكل(14): وهو يتضمن فقط الأزمنة الناتجة عن عملية الجدولة الزمنية

المراجع:

.....

1- Hani Saddik Naja, (2001) "Intelligent DSS for Developing the Optimum Schedule for Repetitive Construction Projects", PH.D dissertation Cairo-University

2- Martin A.Fisher and Floria Aalami, (1996) "Scheduling with Computer-Interpretable Construction Method Models", ASCE, 122(4), 337-347

3- Ory Shaked and Abraham Warszawski, (1995) "Knowledge-Based System for Construction Planning Of High-Rise Building," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 121(2), 172-182

4- Robert B. Harris and Photios G. Ioannou, (1998) "Scheduling projects with Repetitive Activities" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 124(4), 269-278

5-Shou Qing Wang (2000) "ESSCAD: Expert System Integrating Construction Scheduling With CAD Drawing" Seminar at Department of Building, National University of Singapor.

6- William J. Rasdorf and Osama Y. abudayyeh, (1991) "Cost- and Schedule-Control Integration: Issues and Needs" ASCE, 117(3), 486-502

7- K. E. E. Kahkonen, (1995) "Interactive Decision Support System for Building Construction Scheduling" ASCE, 8(4), 519-535

8- Rene A.Yamin, (2001) "Comparison of Linear Scheduling Model (LSM) and Critical Path Method (CPM)" ASCE, 127(5), 374-381