

خوارزمية لجدولة المشاريع ذات الطابع التكراري بالاعتماد على المنطق الضبابي

الدكتور هاني صديق نجا*

(تاريخ الإيداع 24 / 4 / 2012. قُبل للنشر في 30 / 9 / 2012)

□ ملخص □

يهدف البحث الى تطوير خوارزمية للجدولة الزمنية للمشاريع الخطية أو المشاريع التكرارية باستخدام مفهوم المنطق الضبابي. الخوارزمية المطورة تقوم بعملية الجدولة الزمنية التي توافق شروط العلاقات المنطقية بين الأنشطة التكرارية إضافة إلى شرط ضمان استمرار عمل أطقم العمال المخصصة لتنفيذ الأنشطة التكرارية. لمعالجة عدم التأكد في تقدير مدة التنفيذ التي تحتاجها الأنشطة التكرارية، الخوارزمية المقترحة تستخدم الرقم الضبابي المثلي لتمثيل مدة التنفيذ التي تحتاجها الأنشطة التكرارية. الخوارزمية المقترحة تقدم طريقة للجدولة الخطية من منظور تحليلي قابل للبرمجة بسهولة باستخدام أي من لغات برمجة الحاسب.

الكلمات المفتاحية : جدولة زمنية- مشاريع تكرارية- منطق ضبابي

* مدرس - قسم هندسة وإدارة التشييد - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - سورية

Scheduling Algorithm For Repetitive Construction Projects Using Fuzzy Logic

Dr. Hani Naja*

(Received 24 / 4 / 2012. Accepted 9 / 5 / 2012)

□ ABSTRACT □

The aim of this paper is to highlight the development of scheduling algorithm for repetitive construction projects based on fuzzy logic concept. The developed scheduling algorithm provides a schedule that complies with precedence relationship and crew work continuity constraints. To consider the uncertainty in estimating the activities durations the proposed algorithm uses triangular fuzzy number (TFN) for presenting activities durations. The scheduling algorithm provides an analytical perspective for the linear scheduling method and makes it adaptable to be easy computerized by any computer programming language.

Keywords:Scheduling, Repetitive Projects, Fuzzy Logic

* Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Construction Engineering and Management Department, Tishreen University, Syria.

مقدمة:

غالباً ما يواجه مقاولي البناء مشروعات ذات طابع تكراري ، أي مشروعات مؤلفة من عدد من الوحدات المتماثلة أو المتشابهة مثل عدد من الطوابق المتماثلة في مشروع مبنى سكني، عدد من الأقسام أو القطاعات المتشابهة في مشروع تمديد خط انابيب أو في مشروع تنفيذ طريق. تتميز المشاريع ذات الطابع التكراري بأنها مؤلفة من مجموعة من الأنشطة التكرارية حيث يتشكل النشاط التكراري من تقسيم نشاط عام الى أنشطة جزئية كل منها مرتبط بأحدى الوحدات المكررة. فمثلاً نشاط إكساء الارضيات في مبنى سكني يقسم الى عدد من الأنشطة الجزئية التكرارية مثل نشاط إكساء الارضيات في الطابق الأول ، نشاط إكساء الارضيات في الطابق الثاني ، الخ . وبشكل عام يمكن تقسيم المشروعات التكرارية إلى صنفين :

1. المشاريع التكرارية النموذجية (Typical) وفيها يملك النشاط التكراري مدد تنفيذ متساوية على جميع وحدات المشروع ، نصادف هذا النوع في مشروعات الوحدات السكنية المتماثلة حيث يتم لكل نشاط تكراري تنفيذ كميات الأعمال نفسها في كل وحدة سكنية من المشروع.
2. المشاريع التكرارية غير النموذجية (Non-Typical) وفيها لا يملك النشاط التكراري مدد تنفيذ متساوية على جميع وحدات المشروع ، هذا ما نصادفه في مشروعات الطرق حيث ان المدة الزمنية لتنفيذ اعمال الحفر قد تختلف من قطاع إلى آخر وذلك بسبب اختلاف كميات الحفر (حسب طبوغرافية الأرض) و انتاجية طاقم الحفر (حسب نوع التربة) من قطاع إلى آخر. في هذا البحث سوف نستخدم مصطلح المشاريع التكرارية للإشارة إلى كلا الصنفين السابقين.

عادة ما تتم عملية التخطيط والجدولة الزمنية والمراقبة في ادارة مشروعات التشييد باستخدام المخططات الشبكية Network Diagrams مثل طريقة المسار الحرج CPM . إلا ان العديد من الدراسات (Johnston 1981; Reda 1990; Harris and Ioannou 1998) انتقدت طريقة المسار الحرج واعتبرتها غير مناسبة لتخطيط وجدولة المشاريع الخطية أو المشاريع ذات الطابع التكراري Linear or Repetitive Construction Projects . ويعود السبب في ذلك إلى ان طريقة المسار الحرج غير قادرة على النمذجة الدقيقة للطبيعة التكرارية للمشاريع الخطية للأسباب التالية:

- ينتج عن استخدام طريقة المسار الحرج في المشاريع الخطية جدولة زمنية معقدة زائدة عن الحاجة (Reda 1990, Suhail and Neale 1994) Complex and Redundant .
- طريقة المسار الحرج غير قادرة على ضمان استمرارية عمل اطقم العمل المخصصة للأنشطة التكرارية (Reda 1990, Harris and Ioannou 1998, Harmelink and Rowings 1998).
- يعود السبب في عدم ملاءمة التحليل الشبكي للمشاريع التكرارية الى الفرضيات الاساسية غير الواقعية لطرق التحليل الشبكي (مثل طريقة المسار الحرج CPM) المتمثلة بما يلي :
- الموارد غير المقيدة التي يمكن تخصيصها أو تحريرها للأنشطة.
- استقلالية الأنشطة وامكانية ازاحتها بحرية بين زمن البداية المبكر Earliest Start وزمن النهاية المتأخر . Latest Finish

مشكلة البحث:

ان طرق التحليلي الشبكي تهمل تماما الحاجة لضمان استمرارية عمل أطقم العمل وموازنة جميع الأنشطة للحصول على نظام انتاج متكامل Integrated Production System ، ونتيجة لذلك الجدولة الزمنية الناتجة عنها تكون غير مناسبة للاستخدام من قبل مدير الموقع.

كما إن مدة تنفيذ الأنشطة تعتمد على كمية أو حجم العمل الخاص بالنشاط وعلى إنتاجية طاقم العمل المخصص لإنجاز هذا النشاط ، ومن الملاحظ ان إنتاجية طاقم العمل في أحد الأنشطة تختلف من مشروع إلى آخر حيث ان الإنتاجية تتعلق بالعديد من العوامل والمؤثرات الخارجية التي يتعرض لها العمال والآليات المشكل منها طاقم العمل (مثل: درجة الحرارة، حالة الطقس، الحالة النفسية، درجة تنظيم العمل، ...) وجميع هذه العوامل تعدّ ضبابية لأنها غير محددة بشكل دقيق. ولهذا السبب فإنه من المفيد إدخال تأثير الضبابية في تقدير إنتاجية أطقم العمل المخصصة للأنشطة (وبالتالي الضبابية في تقدير مدة تنفيذ الأنشطة) في الخوارزميات المستخدمة لجدولة مشروعات التشييد ذات الطابع التكراري إضافة الى اعتبار ضمان استمرارية عمل أطقم العمل المخصصة للأنشطة التكرارية.

أهمية البحث وأهدافه :

يهدف البحث الى تطوير خوارزمية للجدولة الزمنية للمشاريع التكرارية تعتمد على المنطق الضبابي لمعالجة الضبابية في تقدير مدة تنفيذ الأنشطة، إضافة إلى اعتبار ضمان استمرارية عمل أطقم العمل المخصصة للأنشطة التكرارية. الخوارزمية المقترحة تقدم طريقة للجدولة الخطية من منظور تحليلي قابل للبرمجة بسهولة باستخدام أي من لغات البرمجة المتوفرة.

الدراسة المرجعية:

نظراً للصعوبات المحيطة بطريقة CPM في جدولة المشروعات الخطية أو المشروعات التكرارية فقد اقترح العديد من الباحثين تقنيات مختلفة للجدولة الخطية كطرق جدولة بديلة . حاولت هذه التقنيات المحافظة على مقيدات استمرارية عمل أطقم العمل المخصصة للأنشطة التكرارية، ويمكن تصنيفها في فئتين رئيسيتين : الفئة الأولى تتضمن طرق مصممة فقط من اجل المشاريع التكرارية النموذجية (Carr and Meyer, 1974) وتسمى مثل هذه الطرق عادة بطريقة خط التوازن (LOB) Line Of Balance وعلى اعتبار ان معظم المشاريع التكرارية من النوع غير النموذجي لذلك تعد طريقة LOB غير كافية.

أما الفئة الثانية فهي تتضمن طرق تعد مناسبة للمشاريع التكرارية النموذجية وغير النموذجية (Johnston, 1981; Harris and Ioannou 1998) وتسمى هذه الطرق غالباً بطريقة الجدولة الخطية Linear Scheduling Method (LSM) إضافة الى أسماء مختلفة مثل الجدولة المكانية الزمانية Time-Space Scheduling Repetitive Project Modeling (RPM) (Reda, Stradal and Cacha 1982)، نموذج الجدولة الأفقية والعمودية (HVLS) Horizontal and Vertical Logic Scheduling (1990)، نموذج الجدولة الخطية (Thabet and Beliveau 1994)، Linear scheduling Model (Harmelink and Rowings 1998)، طريقة الجدولة التكرارية (RSM) (Harris and Ioannou 1998). جميع الطرق السابقة تشترك بالمفهوم نفسه وهو المحافظة على استمرارية طاقم العمل خلال جدولة النشاطات التكرارية .

على الرغم من ان كل من الطرق السابقة تملك مزايا أفضل من طريقة CPM عند تطبيقها على المشاريع الخطية أو ذات الطابع التكراري (Johnson 1981; Harris and Ioannou 1998)، إلا انها تشترك باعتمادها على الرسم البياني أو الرسم التخطيطي الذي لا يمكن صياغته برمجياً، كما انها لم تأخذ بعين الاعتبار تأثير الضبابية في تقدير انتاجية أطقم العمل المخصصة للأنشطة (وبالتالي الضبابية في تقدير مدة تنفيذ الأنشطة).

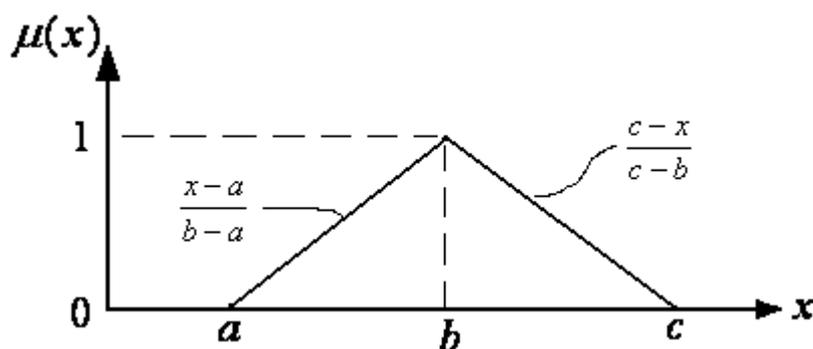
مفهوم المنطق الضبابي:

المنطق الضبابي Fuzzy Logic هو منهج رياضي يستخدم لنمذجة مسائل عدم التأكد، نظرية المجموعات الضبابية قدمت بداية من قبل الباحث Zadeh عام 1965 وأصبحت حديثاً من أهم الأدوات المستخدمة لنمذجة حالات عدم التأكد. يختلف مفهوم المجموعات الضبابية عن مفهوم المجموعات التقليدية في درجة انتماء العنصر إلى المجموعة، إذ تكون العناصر في نظرية المجموعات التقليدية إما منتمية أو غير منتمية إلى المجموعة، بينما في نظرية المجموعات الضبابية كل عنصر له درجة من العضوية تتراوح من الصفر إلى الواحد، حيث يدل الصفر على انعدام العضوية في حين يدل الواحد على العضوية الكاملة وتدل القيم بينهما على درجات العضوية الجزئية. يعتمد المنطق الضبابي على مفهوم الرقم الضبابي Fuzzy Number ويوجد العديد من أنواع العضوية التي تمثل الرقم الضبابي إلا ان أبسطها هو الشكل المثلثي Triangular Fuzzy Number (TFN) وهو الذي سنستخدمه في هذا البحث، ويمثل الرقم الضبابي المثلثي TFN بثلاث قيم هي a, b, c و تابع العضوية يعرف بالعلاقة التالية: (Shang and Zaiyue 2009)

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{if } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{if } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{if } \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

أي يملك الرقم الضبابي المثلثي TFN درجات عضوية خطية على كل من الطرف الأيمن والأيسر كما في

الشكل التالي:



الشكل (1) تابع العضوية للرقم الضبابي المثلثي

يوجد العديد من العمليات الجبرية التي يمكن تطبيقها على الأرقام الضبابية الممثلة بتابع عضوية بشكل مثلث. نستعرض بشكل مختصر أهم هذه العمليات الجبرية، بفرض $\tilde{A}(a^1, a^2, a^3)$ و $\tilde{B}(b^1, b^2, b^3)$ أرقام ضبابية مثلثية و k رقم ثابت:

$$\begin{aligned}
\tilde{A} \oplus \tilde{B} &= (a^1 + b^1, a^2 + b^2, a^3 + b^3) \\
k \oplus \tilde{A} &= (k + a^1, k + a^2, k + a^3) \\
\tilde{A} \ominus \tilde{B} &= (a^1 - b^3, a^2 - b^2, a^3 - b^1) \\
\tilde{A} \ominus k &= (a^1 - k, a^2 - k, a^3 - k) \\
\tilde{A} \otimes \tilde{B} &= (a^1 \times b^1, a^2 \times b^2, a^3 \times b^3) \\
k \otimes \tilde{A} &= (k \times a^1, k \times a^2, k \times a^3) \\
\tilde{A} \div \tilde{B} &= (a^1 \div b^3, a^2 \div b^2, a^3 \div b^1) \\
k \div \tilde{A} &= (k \div a^3, k \div a^2, k \div a^1) \quad , \quad k \geq 0
\end{aligned} \tag{2}$$

حيث : \oplus عملية الجمع الضبابي ، \ominus عملية الطرح الضبابي ، \otimes عملية الضرب الضبابي ، \div عملية القسمة الضبابية .

النتائج والمناقشة :

خوارزمية لجدولة المشاريع التكرارية

بفرض مشروع تكراري مكون من n نشاط تكراري اعطيت الارقام $1, 2, \dots, n$ وفق تسلسل تنفيذها ضمن وحدات أو أقسام المشروع. كل نشاط تكراري i مولف من m_i نشاط جزئي (أي ينفذ في m_i وحدة أو قسم)، وسوف يتم ترميزها بـ $(i, 1), (i, 2), \dots, (i, j), \dots, (i, m_i)$ وتتفد بنفس الترتيب. لنعتبر ان $Q_{i,j}$ تمثل حجم او كمية الاعمال للنشاط التكراري i في القسم او الوحدة j ، وعلى اعتبار ان حجم او كمية الأعمال يمكن قياسها بدقة من المخططات الهندسية فسوف نعتبرها في هذا البحث كقيمة محددة Crisp . ولنعتبر ان \tilde{R}_i تمثل معدل انتاجية طاقم العمل المخصص للنشاط التكراري i ، وهي قيمة ضبابية Fuzzy ممثلة بتابع العضوية المثلي المحدد بثلاث قيم $\tilde{R}_i = (R_i^1, R_i^2, R_i^3)$ ، وبالتالي مدة تنفيذ النشاط الجزئي (i, j) ستكون قيمة ضبابية يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\tilde{D}_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{\tilde{R}_i} = \left(\frac{Q_{i,j}}{R_i^3}, \frac{Q_{i,j}}{R_i^2}, \frac{Q_{i,j}}{R_i^1} \right) \quad \text{Where } i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m_i \tag{3}$$

الخوارزمية المقترحة تتم من خلال الخطوات التالية:

الخطوة 1 : يتم ترقيم الأنشطة التكرارية وفق ترتيب تنفيذها بالاعتماد على علاقات الربط التي تربط الأنشطة التكرارية في وحدة أو قسم تكراري.

الخطوة 2 : يتم جدولة النشاط التكراري الأول $i = 1$ باستخدام العلاقات التالية :

$$\begin{aligned}
\tilde{S}_{1,1} &= \text{project start} = (PS^1, PS^2, PS^3) \\
\left. \begin{aligned} \tilde{F}_{1,j} &= \tilde{S}_{1,j} + \tilde{D}_{1,j} \\ \tilde{S}_{1,j+1} &= \tilde{F}_{1,j} \\ \tilde{F}_{1,m_1} &= \tilde{S}_{1,m_1} + \tilde{D}_{1,m_1} \end{aligned} \right\} j = 1, 2, \dots, (m_1 - 1) \tag{4}
\end{aligned}$$

حيث :

- . $\tilde{S}_{1,j}$: زمن البداية الضبابي المخطط للنشاط التكراري الأول $i = 1$ في القسم أو الوحدة j .
- . $\tilde{F}_{1,j}$: زمن النهاية الضبابي المخطط للنشاط التكراري الأول $i = 1$ في القسم أو الوحدة j .
- . m_i : عدد الأقسام أو الوحدات التي يتخذ بها النشاط التكراري الأول $i = 1$.

الخطوة 3 : من اجل بقية الانشطة التكرارية $i = 2, 3, \dots, n$ يتم جدولتها بحيث يتم اعتبار الشرطين التاليين :

1. تحقيق شرط ارتباط النشاط التكراري الحالي مع الانشطة التكرارية السابقة له Predecessor أي مراعاة تسلسل عملية التنفيذ وفق الارتباط التكنولوجي للانشطة ، ولتحقيق هذا الشرط نحسب زمن البداية الضبابي الممكن $\tilde{PES}_{i,j}$ لكل نشاط تكراري i في كل قسم j . باعتبار ان للنشاط الحالي مجموعة الانشطة السابقة له $\{P\}$ حيث $P = P_1, P_2, \dots, P_{K_i}$ يمكن حساب القيمة $\tilde{PES}_{i,j}^P$ المرتبطة مع كل نشاط سابق بالاعتماد على العلاقات (5) بحسب نوع علاقة الارتباط بين النشاط الحالي والنشاط السابق المعتمد :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Finish-to-Start (FS)} \\ \tilde{PES}_{i,j}^P = \tilde{F}_{P,j} + Lag_i^P \\ \text{Start-to-Start (SS)} \\ \tilde{PES}_{i,j}^P = \tilde{S}_{P,j} + Lag_i^P \\ \text{Finish-to-Finish (FF)} \\ \tilde{PES}_{i,j}^P = \tilde{F}_{P,j} - \tilde{D}_{i,j} + Lag_i^P \\ \text{Start-to-Finish (SF)} \\ \tilde{PES}_{i,j}^P = \tilde{S}_{P,j} - \tilde{D}_{i,j} + Lag_i^P \end{array} \right\} P=p_1, p_2, \dots, p_{K_i} \quad j=1, 2, \dots, m_i \quad (5)$$

حيث :

- . $\tilde{F}_{P,j}$: زمن النهاية الضبابي المخطط للنشاط التكراري السابق P في القسم أو الوحدة j .
- . $\tilde{S}_{P,j}$: زمن البداية الضبابي المخطط للنشاط التكراري السابق P في القسم أو الوحدة j .
- . $\tilde{D}_{i,j}$: مدة التنفيذ الضبابية للنشاط التكراري i في القسم j .
- . Lag_i^P : المدة الزمنية الدنيا الفاصلة بين ازمنا البداية او النهاية للنشاطان المرتبطان .
- . K_i : عدد الانشطة التكرارية السابقة للنشاط التكراري i .

ومنه نستطيع حساب زمن البداية الضبابي الممكن من العلاقة :

$$\tilde{PES}_{i,j} = \text{MAX} \left\{ \tilde{PES}_{i,j}^P \right\} \quad \text{where } P = p_1, p_2, \dots, p_{K_i} \quad (6)$$

2. تحقيق شرط استمرار النشاط التكراري أي زمن بداية النشاط $\tilde{S}_{i,j}$ يجب ان يساوي زمن نهاية النشاط في القسم السابق $\tilde{F}_{i,j-1}$.

ولتحقيق الشرطين السابقين معاً يجب ان تتحقق العلاقات (7) :

$$\left. \begin{array}{l} \tilde{S}_{i,j} \geq \tilde{PES}_{i,j} \\ \tilde{S}_{i,j} = \tilde{F}_{i,j-1} \\ \tilde{F}_{i,j} = \tilde{S}_{i,j} + \tilde{D}_{i,j} \end{array} \right\} \text{Where } j=2, 3, \dots, m_i \quad (7)$$

إلا ان العلاقات (7) من غير السهل تحقيقها في المسائل العملية كما انها غير مناسبة لصياغتها برمجياً بأحدى لغات البرمجة المعروفة ، لهذا السبب تم اقتراح المنهجية التالية التي تؤدي إلى تحقيق العلاقات (7) وتجعل من السهل صياغتها برمجياً :

أ- جدولة النشاط التكراري i بشكل مؤقت باستخدام العلاقات (8) :

$$\left. \begin{array}{l} \tilde{SS}_{i,1} = \text{Larg Random number} \\ \tilde{FF}_{i,j} = \tilde{SS}_{i,j} + \tilde{D}_{i,j} \\ \tilde{SS}_{i,j+1} = \tilde{FF}_{i,j} \\ \tilde{FF}_{i,m_i} = \tilde{SS}_{i,m_i} + \tilde{D}_{i,m_i} \end{array} \right\} \text{Where } j = 1, 2, \dots, m_i - 1 \quad (8)$$

حيث :

$\tilde{SS}_{i,j}$: زمن البداية الضبابي المخطط بشكل مؤقت للنشاط التكراري i في القسم أو الوحدة j .

$\tilde{FF}_{i,j}$: زمن النهاية الضبابي المخطط بشكل مؤقت للنشاط التكراري i في القسم أو الوحدة j .

$\tilde{D}_{i,j}$: مدة التنفيذ الضبابية للنشاط التكراري i في القسم j .

ب- نحسب مقدار الانزياح $\Delta_{i,p}$ لأشعة الجدولة المؤقتة $\{\tilde{SS}\}$ و $\{\tilde{FF}\}$ مع كل نشاط تكراري سابق

Predecessor بالاعتماد على نوع علاقة الارتباط مع النشاط التكراري السابق باستخدام العلاقات (9) :

Finish-to-Start (FS)

$$\tilde{\Delta}_{i,p} = \text{Min} \left\{ \tilde{SS}_{i,j} - \tilde{F}_{p,j} - \text{Lag}_i^p \quad \text{where } j=1, 2, \dots, m_i \right\}$$

$$\tilde{\Delta}_{i,p} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \tilde{SS}_{i,m_i} - \tilde{F}_{p,m_i} - \text{lag}_i^p \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \tilde{SS}_{i,1} - \tilde{F}_{p,1} - \text{lag}_i^p \end{array} \right\} \quad (9.1)$$

Start-to-Start (SS)

$$\tilde{\Delta}_{i,P} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \tilde{S}S_{i,j} - \tilde{S}_{P,j} - \text{Lag}_i^P \quad \text{where } j=1, 2, \dots, m_i \\ \tilde{S}S_{i,m_i} - \tilde{S}_{P,m_i} - \text{lag}_i^P \\ \dots\dots\dots \\ \tilde{S}S_{i,1} - \tilde{S}_{P,1} - \text{lag}_i^P \end{array} \right\} \quad (9.2)$$

Finish-to-Finish (FF)

$$\tilde{\Delta}_{i,P} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \tilde{S}S_{i,j} - \tilde{F}_{P,j} - \text{Lag}_i^P + \tilde{D}_{i,j} \quad \text{where } j=1, 2, \dots, m_i \\ \tilde{S}S_{i,m_i} - \tilde{F}_{P,m_i} - \text{lag}_i^P + \tilde{D}_{i,m_i} \\ \dots\dots\dots \\ \tilde{S}S_{i,1} - \tilde{F}_{P,1} - \text{lag}_i^P + \tilde{D}_{i,1} \end{array} \right\}$$

(9.3)

Start-to-Finish (SF)

$$\tilde{\Delta}_{i,P} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \tilde{S}S_{i,j} - \tilde{S}_{P,j} - \text{Lag}_i^P + \tilde{D}_{i,j} \quad \text{where } j=1, 2, \dots, m_i \\ \tilde{S}S_{i,m_i} - \tilde{S}_{P,m_i} - \text{lag}_i^P + \tilde{D}_{i,m_i} \\ \dots\dots\dots \\ \tilde{S}S_{i,1} - \tilde{S}_{P,1} - \text{lag}_i^P + \tilde{D}_{i,1} \end{array} \right\} \quad (9.4)$$

ولحساب قيمة الانزياح الضبابية الدنيا $\tilde{\Delta}_{i,P}$ في العلاقات السابقة وباعتبار ان القيم ضبابية نعتمد القيمة الضبابية الدنيا Min هي القيمة المقابلة لأصغر القيم داخل القوسين بعد تثقيلها . ويوجد العديد من الطرق المقترحة من قبل العديد من الباحثين لتثقيل القيم الضبابية ، في هذا البحث سوف نعتمد على طريقة التثقيل المقترحة من قبل (Kaufmann and Gupta 1988)، فباعتبار الرقم الضبابي $\tilde{A} = (a, b, c)$ تستخدم علاقة التثقيل التالية لتحويله إلى رقم محدد Crisp .

$$A = \frac{a + 2b + c}{4} \quad (10)$$

ج- نحسب قيم الجدولة النهائية للنشاط التكراري i بتطبيق انسحاب على اشعة الجدولة المؤقتة $\{\tilde{S}S\}$ و $\{\tilde{F}F\}$ بالمقدار $\tilde{\delta}_i$ حيث :

$$\tilde{\delta}_i = \text{Min} \left\{ \tilde{\Delta}_{i,P} \quad \text{where } P = p_1, p_2, \dots, p_{K_i} \right\} \quad (11)$$

أي نستخدم العلاقات التالية :

$$\left. \begin{aligned} \tilde{S}_{i,j} &= \tilde{S}S_{i,j} - \tilde{\delta}_i \\ \tilde{F}_{i,j} &= \tilde{F}F_{i,j} - \tilde{\delta}_i \end{aligned} \right\} \text{ where } j=1, 2, \dots, m_i \quad (12)$$

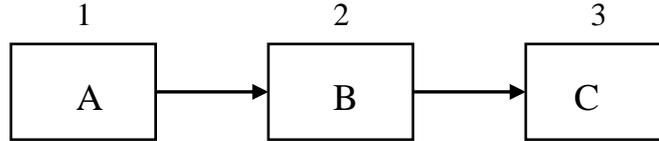
تطبيق عددي

لتوضيح طريقة استخدام الخوارزمية المقترحة لجدولة المشاريع ذات الطابع التكراري نستخدم مثال عددي لمشروع تكراري مكون من ثلاثة أنشطة تكرارية (حفر، تركيب أنابيب مع طبقة الفلتر، ردم وإعادة طبقات الرصف) تتفد على التسلسل في ثلاثة أقسام أو وحدات، يوضح الجدول (1) مدد التنفيذ الضبابية اللازمة لتنفيذ كل نشاط في كل قسم من أقسام المشروع.

الجدول (1) : مدد التنفيذ الضبابية للأنشطة التكرارية في كل قسم

Units \ Activities	\tilde{A} أعمال حفر	\tilde{B} تركيب أنابيب مع الفلتر	\tilde{C} ردم وإعادة طبقات الرصف
<i>I</i>	(8,10,12)	(7,8,9)	(11,12,13)
<i>II</i>	(11,12,13)	(4,6,8)	(13,14,15)
<i>III</i>	(13,15,17)	(6,8,10)	(14,16,18)

كل نشاط تكراري يتم تنفيذه من قبل طاقم عمل واحد بدون أي توقفات بين أقسام المشروع ، و يظهر الشكل (2) شبكة العلاقات التي تربط الأنشطة التكرارية في كل قسم من اقسام المشروع



الشكل (2) : شبكة علاقات الأنشطة التكرارية في كل قسم

الخطوة 1 : تقيم الأنشطة التكرارية وفق ترتيب تنفيذها بالاعتماد على علاقات الربط التي تربط الأنشطة التكرارية في وحدة أو قسم تكراري كما هو موضح في الشكل (2).

الخطوة 2 : جدولة النشاط التكراري الأول (النشاط A) $i=1$ باعتبار زمن بداية المشروع (0,0,0) باستخدام العلاقات (4):

$$\left[\tilde{S}_{1,j} \right] = \begin{bmatrix} (19,22,25) \\ (8,10,12) \\ (0,0,0) \end{bmatrix} \quad \left[\tilde{F}_{1,j} \right] = \begin{bmatrix} (32,37,42) \\ (19,22,25) \\ (8,10,12) \end{bmatrix}$$

الخطوة 3 : جدولة النشاط التكراري الثاني (النشاط B) $i=2$ وباعتبار ان للنشاط التكراري B نشاط تكراري سابق واحد هو النشاط A نضع $K_2=1$, $\{P\}=\{1\}$

أ- جدولة النشاط التكراري B بشكل مؤقت باستخدام العلاقات (8):

$$\left[\tilde{S}S_{2,j} \right] = \begin{bmatrix} (111,114,117) \\ (107,108,109) \\ (100,100,100) \end{bmatrix} \quad \left[\tilde{F}F_{2,j} \right] = \begin{bmatrix} (117,122,127) \\ (111,114,117) \\ (107,108,109) \end{bmatrix}$$

ب- باعتبار ان للنشاط التكراري B نشاط تكراري سابق واحد هو النشاط A نضع $K_2=1$, $\{P\}=\{1\}$ ونحسب مقدار الانزياح $\tilde{\Delta}_{2,1}$ لأشعة الجدولة المؤقتة $\{\tilde{S}_{2,j}\}$ و $\{\tilde{F}_{2,j}\}$ مع النشاط التكراري السابق A ، وباعتبار نوع علاقة الارتباط (FS) Finish-to-Start نستخدم العلاقات (9.1) :

$$\tilde{\Delta}_{2,1} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} (111,114,117) - (32,37,42) \\ (107,108,109) - (19,22,25) \\ (100,100,100) - (8,10,12) \end{array} \right\} = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} (69,77,85) \\ (82,86,90) \\ (88,90,92) \end{array} \right\}$$

ولحساب القيمة الدنيا Min في العلاقة السابقة نحسب القيمة المثقلة للقيم الضبابية داخل القوسين من العلاقة (10) المقترحة من قبل (Kaufmann and Gupta 1988) كما يلي :

$$\Delta_3 = \frac{69 + 2 \times 77 + 85}{4} = 74.5$$

$$\Delta_2 = \frac{82 + 2 \times 86 + 90}{4} = 86$$

$$\Delta_1 = \frac{88 + 2 \times 90 + 92}{4} = 90$$

وباعتبار ان القيمة الدنيا من القيم المثقلة هي $\Delta_3 = 74.5$ لذلك نعتبر مقدار الانزياح يساوي $\tilde{\Delta}_{2,1} = (69,77,85)$.

ج- نحسب قيم الجدولة النهائية للنشاط التكراري B بتطبيق انسحاب على اشعة الجدولة المؤقتة $\{\tilde{S}_{2,j}\}$ و $\{\tilde{F}_{2,j}\}$ بالمقدار $\tilde{\delta}_i$ المحسوب من العلاقة (11) وباعتبار ان للنشاط التكراري B نشاط تكراري سابق واحد هو النشاط A نجد :

$$\tilde{\delta}_2 = \tilde{\Delta}_{2,1} = (69,77,85)$$

نحسب قيم الجدولة النهائية للنشاط التكراري B من العلاقات (12):

$$[\tilde{S}_{2,j}] = \begin{bmatrix} (111,114,117) - (69,77,85) \\ (107,108,109) - (69,77,85) \\ (100,100,100) - (69,77,85) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (26,37,48) \\ (22,31,40) \\ (15,23,31) \end{bmatrix}$$

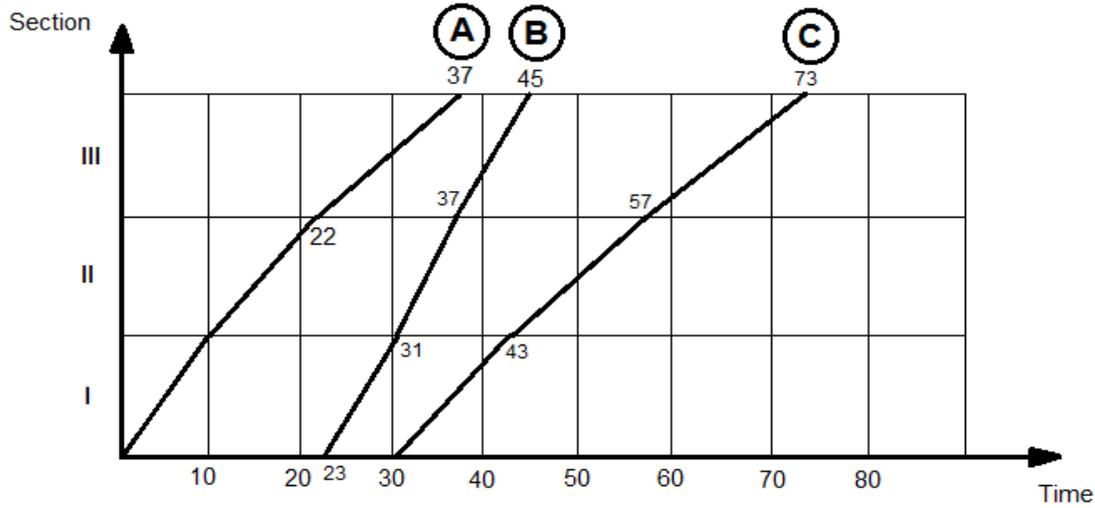
$$[\tilde{F}_{2,j}] = \begin{bmatrix} (117,122,127) - (69,77,85) \\ (111,114,117) - (69,77,85) \\ (107,108,109) - (69,77,85) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (32,45,58) \\ (26,37,48) \\ (22,31,40) \end{bmatrix}$$

تكرر الخطوة 3 لجدولة النشاط التكراري الثالث (النشاط C) $i = 3$ وذلك باعتبار ان للنشاط التكراري C نشاطاً تكرارياً سابقاً واحداً هو النشاط B (أي نضع $K_3=1$, $\{P\}=\{2\}$) فنحصل على النتائج التالية :

$$[\tilde{S}_{3,j}] = \begin{bmatrix} (124,126,128) - (60,69,78) \\ (111,112,113) - (60,69,78) \\ (100,100,100) - (60,69,78) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (46,57,68) \\ (33,43,53) \\ (22,31,40) \end{bmatrix}$$

$$[\tilde{F}_{3,j}] = \begin{bmatrix} (138,142,146) - (60,69,78) \\ (124,126,128) - (60,69,78) \\ (111,112,113) - (60,69,78) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (69,73,86) \\ (46,57,68) \\ (33,43,53) \end{bmatrix}$$

نلاحظ ان ازمنا البداية والنهاية للانشطة هي ارقام ضبابية وكذلك زمن نهاية المشروع فهو رقم ضبابي مثلي (69,73,86) أي ان مدة تنفيذ المشروع الأكثر توقعاً هي 73 يوماً (وهي نفس القيمة التي نحصل عليها بالطرق التقليدية أو التخطيطية باعتبار القيم الأكثر توقعاً كقيم محددة Crisp كما هو موضح بالشكل (3))، أما مدة تنفيذ المشروع المتشائمة فهي 86 يوماً ومدة تنفيذ المشروع المتفائلة فهي 69 يوماً.



الشكل (3) : حل المثال السابق بالطريقة التخطيطية باستخدام القيم الأكثر توقعاً كقيم محددة Crisp

الاستنتاجات والتوصيات :

اقترح البحث خوارزمية جديدة للجدولة الزمنية للمشاريع التكرارية تعتمد على المنطق الضبابي ، الخوارزمية المقترحة تقوم بجدولة الأنشطة التكرارية للمشروع باعتماد مفهوم المنطق الضبابي لمعالجة الضبابية في تقدير إنتاجية أطقم العمل المخصصة للأنشطة (وبالتالي الضبابية في تقدير مدة تنفيذ الأنشطة)، مع الأخذ بعين الاعتبار علاقات الربط المنطقية بين الأنشطة التكرارية واعتبار ضمان استمرارية عمل أطقم العمل المخصصة للأنشطة التكرارية. الخوارزمية المقترحة تقدم طريقة للجدولة الخطية من منظور تحليلي قابل للبرمجة بسهولة باستخدام أي من لغات البرمجة المتوفرة. كما ويمكن تطوير الخوارزمية المقترحة مستقبلاً لتأخذ بعين الاعتبار حالة محدودية توفر نوع معين من الموارد المخصصة لتنفيذ الأنشطة التكرارية، وكذلك استخدام توابع عضوية أخرى لنمذجة الأرقام الضبابية .

المراجع :

1. Carr, R. I., and Meyer, W. L. (1974). "Planning Construction of Repetitive Building Units," Journal of the Construction Division, ASCE, 100(CO3), 403-412.
2. Harris, R. B., and Ioannou, P. G. (1998). "Scheduling Projects with Repetitive Activities," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 124(4), 269-278.
3. Harmelink, D. J., and Rowings, J. E. (1998). "Linear Scheduling Model: Development of Controlling Activity Path," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 124(4), 263-268.
4. Johnston, D. W. (1981). "Linear Scheduling Method for Highway Construction," Journal of the Construction Division, ASCE, 107(CO2), 247-261.
5. Kaufmann A. and Gupta M. M. (1988) "Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science" Elsevier Science Publishers.
6. Reda, R. (1990). "RPM: repetitive project modeling," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 116(2), 316-330.
7. Shang Gao and Zaiyue Zhang (2009). "Multiplication Operation on Fuzzy Numbers" Journal of Software, VOL. 4 NO. 4 , pp 331-338.
8. Stradal, O., and Cacha, J. (1982). "Time Space Scheduling Method." Journal of the Construction Division, ASCE, 108(CO3). 445-457.
9. Suhail, S. A., and Neale, R. H. (1994). "CPM/LOB: New Methodology to Integrate CPM and Line of Balance," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 120(3), 667-684.
10. Thabet, W. Y., and Beliveau, Y. J. (1994). "HVLS: Horizontal and Vertical Logic Scheduling for Multistory Projects," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 120(4), 875-892.
11. Zadeh L. A.(1965). "Fuzzy Sets." Journal of Inform and Control, VOL. 8 NO. 3 , pp 338-353.