مجلة جامعة الفرات سلسلة العلوم الأساسية العدد : لعام

ايجاد تنظيم أفضلي للمخططات الزمنية للمشاريع الهندسية باستخدام الذكاء الصنعي

الدكتور المهندس محمد رشاد الجمعة

مدرس في كلية الهندسة المدنية – جامعة الفرات بالحسكة – سوريا

هاتف/فاكس : ٣١٥٩٧٩ ٥٢(٠) ٩٦٣+

بريد الكتروني : mraljoma@hotmail.com

المهندسة هيفاء علي درويش

قائم بالاعمال /معاون/ في كلية الهندسة المدنية – جامعة الفرات بالحسكة –سوريا

هاتف/فاكس :٥٢٣١٥٩٧٩(٠)٩٦٣+

بريد الكتروني:azindar٢٠١٠@hotmail.com

ايجاد تنظيم أفضلي للمخططات الزمنية للمشاريع الهندسية باستخدام الذكاء الصنعي

الدكتور المهندس محمد رشاد الجمعة

مدرس في كلية الهندسة المدنية – جامعة الفرات بالحسكة – سوريا

هاتف/فاكس : ٠٥٢ ٣١٥٩٧٩(٠) ٩٦٣+

بريد الكتروني : mrajoma@hotmail.com

المهندسة هيفاء علي درويش

قائم بالاعمال /معاون/ في كلية الهندسة المدنية – جامعة الفرات بالحسكة -سوريا

هاتف/فاكس :٠٥٢٣١٥٩٧٩(٠)٩٦٣+

بريد الكتروني:azindar٢٠١٠@hotmail.com

ملخص البحث :

إن تخفيض مدة و تكلفة أي مشروع هندسي هي حاجة ملحة لكل من مقاولي البناء و مهندسي التشييد، و لذلك يتم السعي باتجاه أي توافق بين هذين المفهومين، لكن مقاولو البناء في ورشات المباني العالية يواجهون مهمات ذات طبيعة تتكرر من طابق الى الطابق الذي يليه، و يحتاج هؤلاء المقاولون إلى تقييم الحلول المختلفة لجدولة المهام المتكررة من ناحية الزمن أو التكلفة أو الاثنين معا وإيجاد أكبر توازن ممكن بينهما، و لهذا فإننا نقدم عملنا الخاص بإيجاد الحلول المثلى لجدولة المهام المتكررة و غير المتكررة في ورشات المباني العالية وذلك من خلال تعريف المهام و توليد القيود بينها و أخيرا جدولة الحلول الممكنة و إيجاد الحل الأفضل بينها، فبداية يتم

تعريف تقسيمات المشروع و كميات العمل بادخالها في قاعدة البيانات العامة في برنامجنا، يقوم البرنامج بعدها بتوليد خيارات المهام و معظم القيود التي تربط

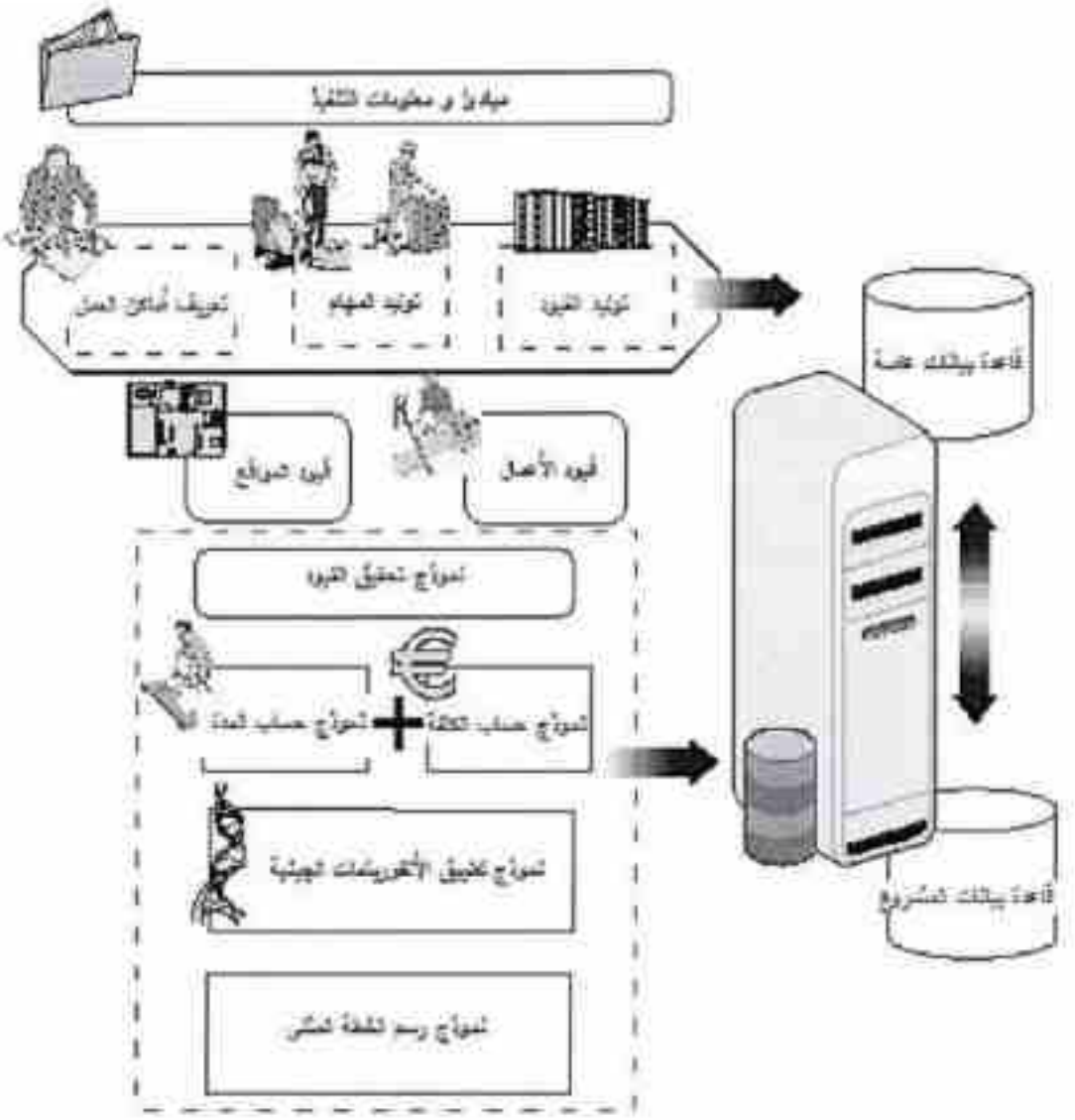
بينها بشكل تلقائي و يجب الموافقة عليها من أجل الانتقال الى المرحلة التالية، في المرحلة التالية يقوم البرنامج بتقييم مدد المهام و جدولتها و ايجاد الحل الامثل باستخدام طريقة الجينات الوراثية، هذه الحلول سيتم اختبارها و مقارنتها حسب المعايير التي يتطلبها مقاول المشروع و المهندس المنفذ و ذلك حسب وزن معياري كل من الزمن أو الكلفة، وفي المرحلة الأخيرة يتم إظهار الحل الأمثل على شكل مهام متكررة حسب التقسيمات التي أرادها المستخدم للبرنامج.

الكلمات المفتاحية : الجدولة – الجينات الوراثية – المهام المتكررة – مدة المشروع

١,١ مقدمة:

يعتبر تخفيض كل من مدة تنفيذ المشروع و تكلفته حاجة ملحة من قبل مقاولوا المشروع في ورشات المباني العالية الحديثة، إن مقدار تخفيض كل من المدة أو/و كلفة تنفيذ المشروع تحدد مقدار الفائدة التي ستنالها الشركة صاحبة المشروع، يواجه المهندسون و مقاولوا البناء تقسيمات مباني ذات طبيعة خاصة في ورشات المباني العالية و التي تحتوي على أعمال عديدة متماثلة، و تعتبر المهام التي يراد تنفيذها في هذه التقسيمات بأنها مهام متكررة بحيث يتكرر فيها نفس كمية العمل في المواقع و التقسيمات المتماثلة، هذه المهام كانت تحت مجهر البحث العلمي معتمدة على طريقة LOB: Line Of Balance مثل (Ricardo et al., ١٩٩٨, James and HIJAZI, ١٩٩٣)، كما تم اقتراح بعض الطرق الخاصة بجدولة المهام المتكررة في بعض الأبحاث (Thabet and Beliveau, ١٩٩٤, MANGIN & Aljoma, ٢٠٠٤) فلقد قام هؤلاء الباحثون بدراسة المهام

المتكررة من أجل تحقيق القيود بينها و قد أوجدوا بعض الطرق الرياضية الخاصة بهم لهذه الغاية، طرق أخرى اعتمدت على طريقة المسار الحرج Critical Path Method و طريقة LOB و هم (Robert and Photios, ١٩٩٨) حيث بينت الأبحاث كيف يمكن تصفية أوقات الانتظار الميتة في المشروع و المحافظة على استمرارية العمل فيها، فيما قام الباحثين (Khaled and Osama, ١٩٩٨) بالتفريق بين المهام المتكررة المتماثلة التي تكون مهامها العنصرية متماثلة على كافة مراحل المشروع و بين المهام المتكررة غير المتماثلة في مددها من مرحلة الى أخرى ضمن مراحل المشروع، من ناحية أخرى تم انجاز بعض الأبحاث الخاصة بالحلول المثلى للجدولة الزمنية للمشاريع ذات المهام العادية باستخدام تخصيص الموارد و تم فيها استخدام الجينات الوراثية (Leu et al., ١٩٩٩, PUTERA, ٢٠٠٢)، على الرغم أن هنالك الكثير من الأبحاث التي أجريت من أجل اتمتة حلول الجدولة و حل المشاكل المتعلقة بالزمن و التكلفة باستخدام طرق مختلفة الا أن هناك القليل منها الذي نجح في توثيق نتائجه و ايجاد الحلول المثلى باستخدام الجينات الوراثية في الحلول و لهذا فنحن نعرض هذه الطريقة من أجل جدولة المهام المتكررة أولا و ايجاد الحلول المثلى لها ثانيا و التي يمكن اثباتها بثلاثة احتياجات عملية أساسية و هي (١) استمرارية فرق العمل (٢) ايجاد الحلول المثلى بالمحافظة على استمرارية فرق العمل باستخدام الألغوريتمات الجينية (٣) ادخال تقنيات جدولة المهمات المتكررة و غير المتكررة لتقليص المدد الزمنية للمشاريع الهندسية، النموذج الذي نقترحه في الشكل (١) يتألف من قاعدة بيانات و نماذج تعين في إنشاء و حساب مدة تنفيذ المشروع و تكلفته:



الشكل (١) مخطط نموذج البرنامج

قاعدة بيانات عامة : يتم فيها تخزين كافة البيانات العامة للمهام و خيارات تنفيذها و نجد فيها كافة المواصفات المتعلقة بالمهام و مستوى تنفيذها و مدتها.....الخ.

قاعدة بيانات المشروع : و تضم كافة البيانات المتعلقة بالمشروع و هي بيانات اما مدخلة عن طريق المستخدم أو مستقاة من قاعدة البيانات الأساسية.

قاعدتي البيانات السابقتين يتم تعديلها و الاضافة عليها تقنيا من قبل الشركة صاحبة المشروعات كنتائج سابقة لمشروع سابق و فرق العمل و

عددها و التحريات الخاصة بالمشروعات الجديدة، وهذا البرنامج يحتوي على نماذج مختلفة:

١. نموذج توليد المناطق و التقسيمات في المشروع: يتم تعريف التقسيمات المختلفة مثل البنايات و الطوابق و الشقق و التي يتم توليدها تلقائيا في البرنامج، و أي تفصيلات أخرى في المشروع يتم تعريفها يدويا، وبالتالي كافة تقسيمات المشروع كالمباني و التقسيمات و الكتل المحلية يتم أخذها بعين الاعتبار.

٢. نموذج توليد المهام و القيود بينها : هذين النموذجين يتم فيهما تعريف المهام التي يراد تنفيذها في المشروع، يتم توليد المهام و الوحدات المكانية لتنفيذ المشاريع حسب خيارات التنفيذ، يتم بعدها توليد العلاقات بين المهام والتقسيمات المكانية تلقائيا بتعريف القيود الرابطة بين المهام، مثال: يتم تنفيذ أعمدة الطابق الأول و الجوائز الطابق الأول ثم بلاطة الطابق الأول و بعدها يتم الانتقال الى أعمدة الطابق الثاني فجوائزه فبلاطته و هكذا، أما بعض القيود الأخرى الخاصة فيتم تعريفها يدويا من قبل المستخدم.

٣. نموذج ايجاد الحل الأمثل و هو نموذج مدمج : هذا النموذج يستخدم الجينات الوراثية لايجاد الحل الأمثل للمشروع من ناحية الكلفة و المدة، يأخذ هذا البرنامج بعين الاعتبار العدد الكبير من المخططات الزمنية المحتملة للمشروع و المبنية على احتمالات التنفيذ المختلفة آخذين بعين الاعتبار التكلفة و الزمن، هذا النموذج يقدم الحل الأمثل أو القريب من الامثل، وهذا الحل الأمثل سوف يتم عرضه و كذلك تخصيص الموارد له في المرحلة الأخيرة قبل الاظهار.

١,٢ قيود التقسيمات المكانية و قيود الأعمال

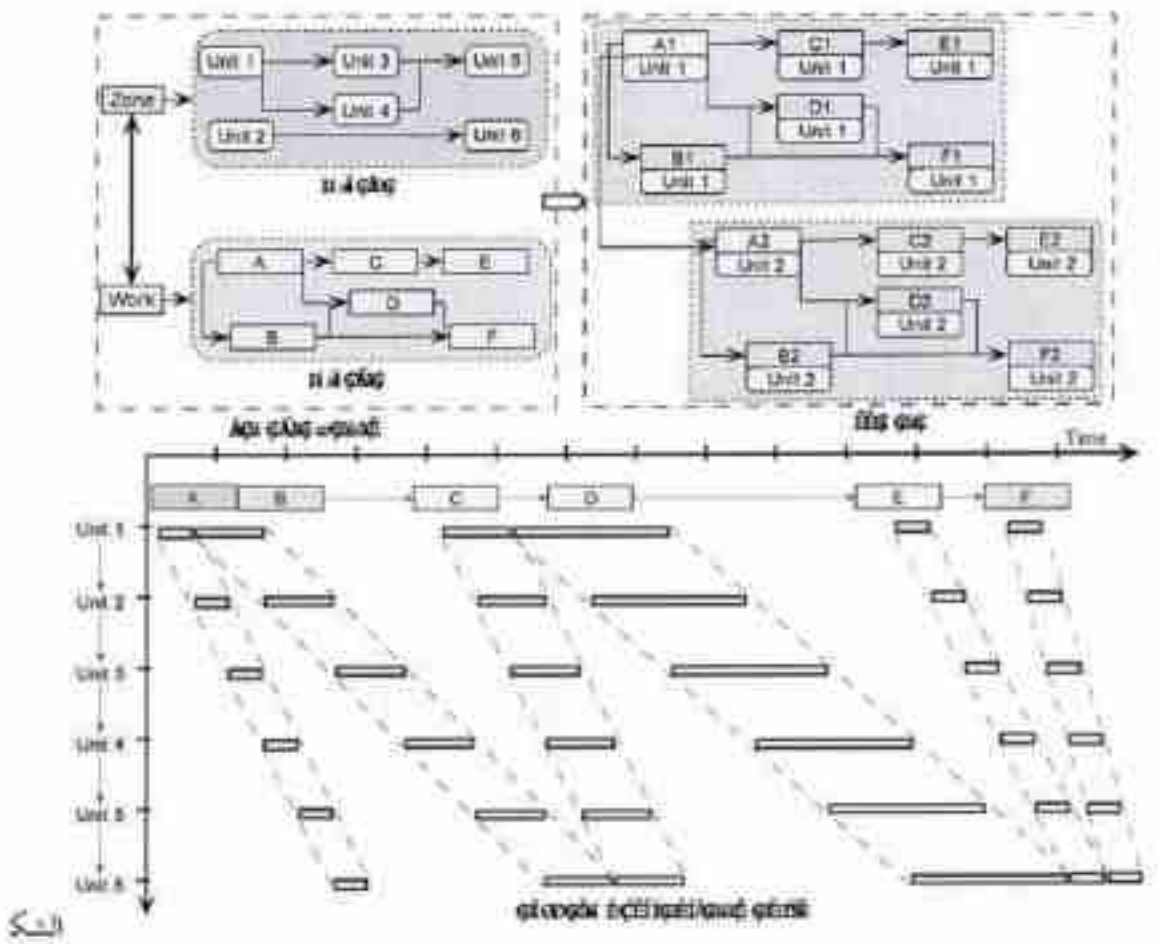
تحتاج المهمات المتكررة في ورشات المباني العالية الى توليد الأعمال بتتالي معين يحترم كلا المكان الذي سيتم فيه تنفيذ الأعمال و تسلسل المهام حسب تتاليها المنطقي، فالقيود الخاصة بالمكان تعني أنني لا أستطيع تنفيذ الأعمال في المكان التالي قبل الانتهاء من الأعمال في المكان الحالي، وضع القيود الخاصة بالمهام يعني تعريف طريقة الترابط بين هذه المهام ضمن المكان الواحد، أي ربط الأعمال المتماثلة في المكانات المختلفة، كما هو مبين في الشكل (٢)، و لهذا فإن المكانات المتماثلة يتم تجميعها مع بعضها البعض وفق القيود المنطقية للطوابق المتوضعة فوق بعضها البعض، فعلى سبيل المثال فإن الطابق الأول لا يمكن تنفيذه قبل الانتهاء الطابق الأرضي.

١,٣ استمرارية فرق العمل و نسبة أداء الأعمال في واحدة المكان

تتنقل فرق العمل من واحدة مكانية الى أخرى بدون توقفات و ذلك لتجنب تكرار العودة الى موقع العمل، و هذا يعتبر من المسلمات بالنسبة للتخطيط لموارد المهام المختلفة، ولاثبات ذلك نفترض وجود مهمتين A و B المبينتين في الشكل ٣-a نلاحظ فيها أن المهمة B تعرضت لتوقفات متكررة و ذلك لان نسبة أداء الأعمال في واحدة المكان فيها و التي سيأتي على تعريفها لاحقا هي اقل من تلك الخاصة بالمهمة A و لتجنب هذه التوقفات فإن المهمات العنصرية لـ B لا بد لها أن تتزلق في كل واحدة مكان كما هو مبين في الشكل(٣-b)، و بالتالي فإن مدة المهمة المتكررة الإجمالي يعطى بالمعادلة (١):

$$d_A = \frac{Q_{At}}{U_A \times QR_{At}} \qquad (١)$$

d_A: مدة المهمة العنصرية لـA



ل (٢) قيود الأعمال و المناطق و طريقة تخطيطها زمنيا

Q_A: كمية الأعمال المراد من المهمة A تنفيذها اعتمادا على المصدر r

QR_A: كمية المصدر التي نحتاجها لتنفيذ المهمة A

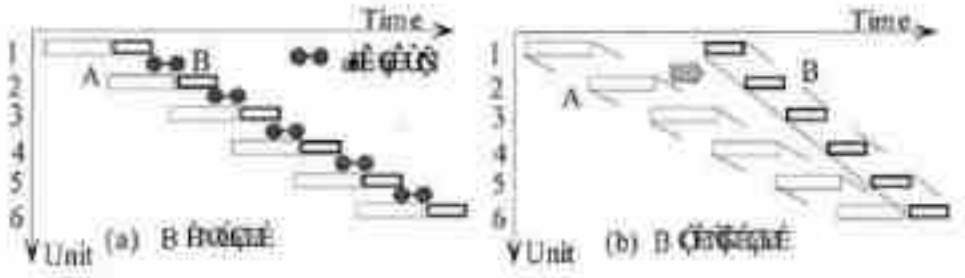
U_A: زمن الواحدي للمهمة A

و بعد هذه الافتراضات فإنه يمكن تعريف نسبة أداء الأعمال للمهامات المتكررة في واحدة المكان بالعلاقة التالية:

$$C_A = \frac{d_A}{q_A} \qquad (٢)$$

C_A: تعريف نسبة أداء الأعمال للمهمة المتكررة A

q_A: عدد فرق العمل للمهمة المتكررة A



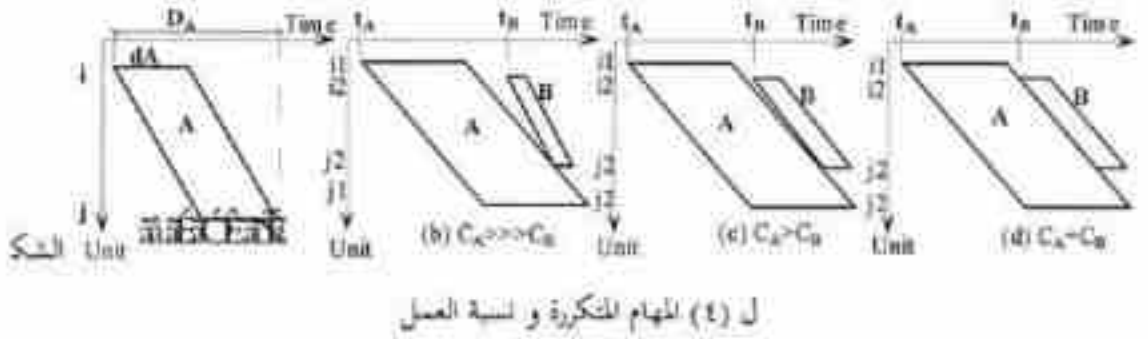
الشكل (٣) استمرارية فرق العمل

يمكن استخدام نسبة أداء الأعمال من أجل تعديل ميل كل مهمة، فعلى سبيل المثال فإن زيادة عدد فرق العمل لمهمة يقلل مدتها الإجمالية و هذا المبدأ مبين بالمعادلة (٣):

$$D_A = |j - i| \times C_A + d_A \qquad (٣)$$

D_A: مدة تنفيذ المهمة المتكررة، i: مكان البداية للمهمة A، j: مكان النهاية للمهمة A كما بالشكل ٤-a

إن تغيير نسبة العمل يقلص أو يلغي وقت التوقف بين المهمتين المتتاليتين شكل ٤-b-c-d.



ل (٤) المهام المتكررة و نسبة العمل

١,٤ نموذج تحقيق القيود

يجب تحقيق القيود المتتالية و الإجبارية بين المهام المتتالية و ذلك من أجل وضع تخطيط زمني صحيح. قيود التتالي تتبع لتتالي المهام و لتوفر فرق العمل في الورشة، والقيود المفروضة تكون عادة بين المهام العنصرية لمهمتين قد لا تقعان ضمن واحدة مكانية واحدة، و لهذه الغاية فإن تحقيق

القيود المتتالية في الحالات الخمس الأولى، و طريقة تحقيق القيود هذه تعتبر الأساس الذي بني عليه مشروع برنامج تخطيط المهام المتكررة.

فمن اجل حساب زمن البداية للمهمة التالية يجب تحقيق القيد بين المهمتين المتتاليتين A و B و هذا التحقيق يعطى بالعلاقة العامة (٤) و التي تضمن تحقيق هذا القيد:

$$t_B - t_A \geq \delta_{AB} \qquad (٤)$$

حيث t_A: زمن البداية للمهمة A، t_B: زمن البداية للمهمة B، δ_{AB}: زمن الانزياح الأصغري بين أزمنة البداية للمهمتين A و B.

١.٥ نموذج ايجاد مدة تنفيذ المشروع:

يمكن ايجاد مدة تنفيذ المشاريع الذي يحتوي على مهمات متكررة باستخدام طريقة CPM لكن هذه الطريقة قاصرة عن تمثيل تخصيص و استخدام الموارد، هذا المفهوم يتوجب توضيحه بمثال، فالشكل (٢) يمثل شبكة CPM لمجموعة من المهام التي تتكرر في ست طوابق متكررة، فهذه المهمات المتصلة مع بعضها البعض يجب تنفيذها من واحدة مكانية في طابق الى واحدة مكانية في الطابق الذي يليه، فعلى سبيل المثال فإن المهام العنصرية B١ و C١ و D١ لا يمكن أن تبدأ حتى يتم انجاز المهمة A١ أولا، فالمهمات المتشابهة يرمز لها بأحرف متشابهة اما الطوابق المتشابهة فيرمز لها برقم متماثل، و انطلاقا من هذا المفهوم فان المهمة B١ هي المهمة العنصرية B و التي تؤدى في الطابق الأول و A٢ هي المهمة العنصرية A في الطابق الثاني و هكذا، والمهام المتماثلة في الطوابق المتكررة متصلة مع بعضها البعض و تحتاج الى مصادر متماثلة مما يفرض توافر المصدر تمهيدا لانجاز المهمة التالية في الطابق التالي، فالمهمة A٢ لا يمكن ان تبدا قبل انتهاء فريق العمل من A١.

فطريقة المسار الحرج CPM و التي تبين شبكة المهمات و تتاليها يمكن استخدامها من أجل ايجاد تسلسل و تتالي معين للمهمات، هذا الترتيب يستخدم من أجل ايجاد مدة تنفيذ المشروع، فتتالي المهام (A–B–C–D–E–F) يحقق القيود و منه يحسب مدة تنفيذ المشروع بالعلاقة ٥-٦:

$$DD_j = \underset{i \in A_j}{Max}\left(DD_i + \delta_{i,j}\right) \quad (٥)$$

$$DF_j = \underset{i \in A_j}{Max}\left(DD_j + D_j - 1\right) \quad (٦)$$

حيث DD_j : زمن البداية للمهمة j، DD_i : زمن البداية للمهمة i، DF_j : زمن النهاية للمهمة j، $\delta_{i,j}$: القيد بين المهمتين i و j و التي تحسب حسب طريقة تحقيق القيود المبينة مسبقا، A_j : المهام المتولدة عن المهمة j. تستخدم المهام في المعادلات ٥-٦ في حساب المدة الاجمالية لتنفيذ المشاريع بحساب آخر مدة لتنفيذ آخر مهمة في المشروع، فتتالي المهام و امكانية جدولتها يكون بشكل عشوائي اعتمادا على امكانية تحقيق القيود في شبكة المهمات CPM المتتالية أو المتولدة تلقائيا من قاعدة البيانات أو تلك التي يتم ادخالها قبل المستخدم.

١,٦ نموذج حساب الكلفة:

معظم المقاولون مسؤولون عن تقدير استخدام الموارد خلال مرحلة تنفيذ المشروع، إن النموذج الذي نطوره يمكنه تقدير التكاليف المباشرة للمشروع من خلال مرحلة التحضير الزمني للمشروع، يمكن تقدير تكاليف مختلفة للمشروع من خلال تنويع خيارات التنفيذ و تقنياته، و من خلال المدد الزمنية و جدولة المشروع، فالتكلفة الاجمالية للمشروع تقدر من خلال التكاليف اليومية المقدرة من خلال كميات المصادر التي نحتاجها لتنفيذ المهمات، هذا التقدير يقوم بحسبان تكاليف المواد، تكاليف المعمل، تكاليف العمال (ضرائب، دراسات، تأمين الخ) و كذلك تكاليف الجزاءات، هذه

التكاليف تحسب من خلال تطبيق العلاقة (٧)، و التي تجنب المصادر غير المنتجة الوقت و ذلك حسب نموذج (PUTERA, ٢٠٠٢).

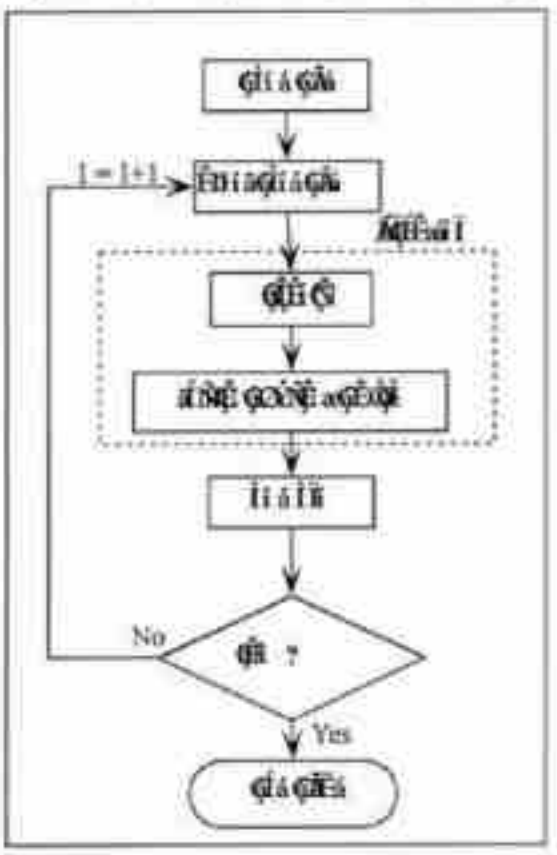
$$P = p^{m} + p^{r} + p^{m} + FC + FS + Penalty \quad (٧)$$

p^{m}: تكاليف المواد (المصادر القابلة للاستهلاك)، p^{r}: تكاليف المواد المتجددة المصادر، p^{m}: تكاليف المصنع في موقع الورشة، FC: تكاليف موقع العمل، FS: تكاليف خاصة، Penalty: فهي تكاليف الجزاءات عند تجاوز مدة المشروع عن المدة المفروضة.

١,٧ الجينات الوراثية:

إن الجينات الوراثية يمكن تطبيقها في مجالات مختلفة من العلوم و خاصة فيما يتعلق بإيجاد الحلول المثلى لمسألة تحتوي على قيود أو مسألة مطلقة لا تحتوي على قيود و كذلك في مجال الجدولة و تتالي المهام و كما تستخدم هذه الطريقة في الأمثلة المنطقية و الجينات الوراثية والذكاء الصنعي و كذلك في مجالات أخرى مختلفة، فلقد تم استخدام مبدا الجينات الوراثية من أجل إيجاد الحل الأمثل لمسائل مختلفة في جدولة المشاريع الانشائية (Chan et al., ١٩٩٦)، تعتبر الجينات الوراثية طريقة رياضية تعتمد على طريقة الانتخاب الطبيعي، و تعمل الطريقة حسب المخطط النهجي المبين في الشكل (٥)، و تعتمد هذه الطريقة على أن الحلول الممكن الحصول عليها هي أبناء للأجيال الحالية، فالكروموزومات تتطور عبر أجيال متتالية، فالذرية المتولدة من الكروموزومات يتم توليدها عن طريق التزاوج بين كرموزومين ابوين و بالتصالب أو بتوليد كروموزومات جديدة كليا عن طريق الطفرات، ففي كل جيل يتم تقييم الكروموزومات حسب أدائها و حسب قيمة تابع التأقلم أو تابع الهدف، فالكروموزومات تصنف الى كروموزومات مناسبة أو الأكثر ملائمة حسب احتمالية حدوثها و كذلك فان عملية توليد الكروموزومات تقاد بواسطة طريقة اختيار خاصة، و بعد عدة أجيال فإن

الأجيال تتحسن، و أخيرا و بعد عدة أجيال من التطور فإن الحلول المثلى او القريبة من المثلى تظهر كحلول فضلى كما بالشكل (٥).



الشكل (٥): طريقة تطبيق الألغوريتمات الجينية

١,٧,١ طريقة تطبيق الالغوريتمات الجينية لايجاد الحل الأمثل

١,٧,٢ تكوين الكروموزوم:

كل كرموزوم يبين حل لجدولة زمنية ممكنة، و كل جين هو مهمة في هذا الكرموزوم (الاب)، يبين الشكل (٦) كرموزوم يتالف من ٨ جينات و الذي يعني ٨ مهام، إن ترتيب المهام يأخذ بعين الاعتبار القيود التي تربط بين المهام في المخطط الشبكي، فكل جين يمثل مهمة مستقلة وقيمة هذا الجين هي مدة هذه المهمة حسب خيار التنفيذ فعلى سبيل المثال فإن الشكل (٦) فإن المدد الممكنة للمهمة C هي ٩ و ٨ و ٦ أيام (و ذلك حسب الأزمنة التشاؤمية و الأكثر تواترا و التفاؤلية أو حسب طريقة التنفيذ)، لقد قمنا بتعريف ثلاثة أنواع من الكروموزومات المتلازمة: (١) ترتيب المهام في

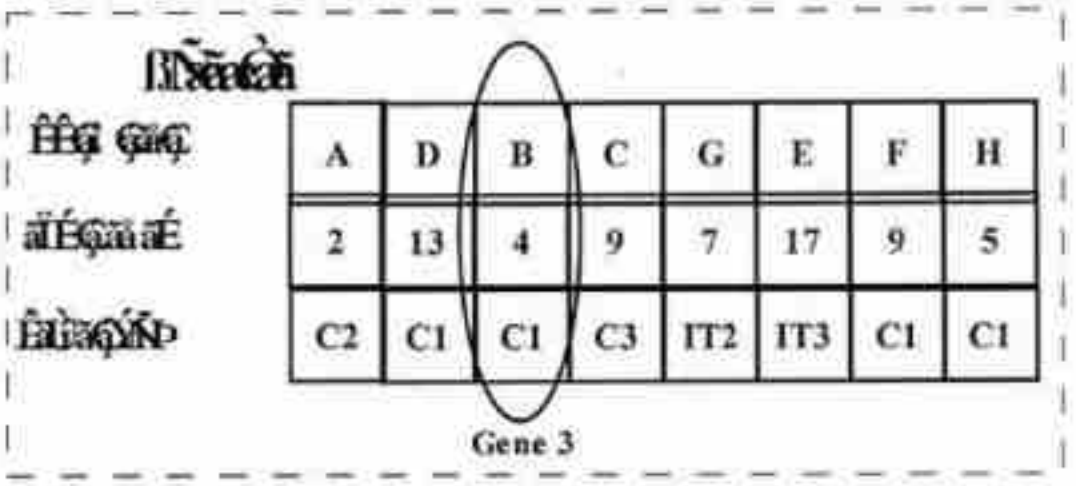
الكروموزوم (الشكل (٦))، (٢) كرموزوم المدد و الكلف، (٣) و كرموزوم المصادر و تخصيصها (الشكل ٦)، فكل ترتيب للمهام يتم توليده بشكل عشوائي باستخدام مولدات الألغوريتمات الجينية مع احترام القيود بين المهام.

كما أوضحنا سابقا فإن تتالي المهام يضمن احتياجاتها من المصادر فالمهمة السابقة في الكرموزوم لها الأولوية عن تالياتها في الترتيب بالاستئثار بالمصدر قبلهم، فالمهمة التي تقع أقرب الى الجهة اليسرى من الكرموزوم لها اولوية اكبر من تالياتها، و منه يمكن القول أن درجة الأولوية تزداد من اليسار الى اليمين.

فالمهمة A تتألف من مدد محتملة لها، و قد وجدنا ثلاث قيم و هي (٢ و ٣ و ٤) و هي كما بالشكل (٦)، هذه القيم تتبع خيارات التنفيذ كما أسلفنا، و بالنسبة للمهمة B فلها القيم (٣ و ٤ و ٥)، فتراكيب مختلفة للجينات تعطي جدولة ممكنة و تعطي بالنتيجة مدد مختلفة لتنفيذ المشروع، يقوم النموذج بالاخذ بعين الاعتبار كل المتحولات السابقة و التي لها تاثير اما على المدة أو على الكلفة، و هذا يشمل طرق التنفيذ و التي تعكس توافر المصادر في الورشات و التقنيات المستخدمة في الانشاء، كما تأخذ بعين الاعتبار ترتيب فرق العمل في الورشة، فمن اجل السيطرة و ايجاد الحل الامثل فإن نموذجنا جمع بين المفهومين و جعلها بتابع واحد، فعلى سبيل المثال فمشروع صغير يتألف من ٢٠ مهمة و بوجود ٥ مصادر متاحة لكل منها يمكن سبر ٩٥ تريليون (أي حوالي ٥٢٠) حل ممكن لتوزيع المصادر، و لهذا فإن نموذجنا مصمم ليساعد المهندس المخطط على تحديد الحل الأمثل لاستخدام المصادر و التي تلبي متطلبات العمل المثلى كما هو موضح بالشكل ٦.

فمن أجل تطبيق مبدأ الجينات الوراثية لحل مشكلة ايجاد الحل الأمثل لجدولة المهام المتكررة فإننا نحتاج الى كرموزوم اخر مع الترتيب و الذي يساعد على ايجاد الحل الامثل لهذه المسألة و هذا الكرموزوم يمثل

عند فرق العمل التي نحتاجها لكل مهمة، يبين الشكل ٦ هذا الكروموزوم، فكل جين يأخذ قيمتي تعريف تعطي الأولى نوع المهمة و الثانية عدد فرق العمل فالقيمة C٢ للمهمة A تعني أن المهمة A مستمرة و يتم تنفيذها بفريقي عمل، أما الرمز IT٢ فإنه يعني أن المهمة متقطعة و أنها تستخدم فريقي عمل (الشكل ٦).



الشكل (٦): تكوين الكروموزوم وفق التتالي و العدد و نوع المهمة و عدد فرق العمل

١,٧,٣ تابع التقييم:

يعتمد تقييم كل كروموزوم على تابع هدف، و يستمر هذا الكروموزوم في التطور عن طريقة قواعد اختيار و قد اعتمدنا طريقة اختيار نصف الجيل N/٢-elitism، هذه الطريقة تستثني الكروموزومات الضعيفة في الجيل الحالي و تاخذ الكروموزومات القوية بناء على قيمة تابع الهدف وذلك تمهيدا للانتقال للجيل التالي، لذا لا بد من تصنيف الجيل الحالي من الكروموزومات حسب قيمة تابع هدفها.

إن تقييم تابع الهدف يكون حسب المعيار الذي نفترضه فعليا كتكلفة المشروع أو مدته الاجمالية، فمن أجل اختيار الكروموزومات القوية كما أسلفنا سابقا، يجب أن نحسب قيمة تابع التأقلم لكل كروموزوم حسب المعايير التي نريدها و حسب وزن كل من معياري الوقت و الكلفة للمشروع بالنسبة للآخر، فالكروموزوم الأفضل هو الذي يحصل على القيمة الاكبر لتابع التأقلم.

يحسب تابع الهدف كما يلي : يتم أولا حساب الهدف القياسي حسب العلاقة (٨) وذلك باعتبار ان المدة هي المعيار الأساسي، ومن ثم يتم حساب تابع الهدف القياسي حسب العلاقة (٩) وذلك باعتبار الوقت هو الحكم الأساسي.

$$VD_i = \frac{1/DT_i}{\sum_i 1/DT_i} \qquad (٨)$$

VD_i : شعاع القيم القياسية لمدد تنفيذ المشروع

DT_i : مدد تنفيذ المشروع (حسب الكرموزومات)

$$VC_i = \frac{1/CT_i}{\sum_i 1/CT_i} \qquad (٩)$$

VC_i : شعاع القيم القياسية لتكاليف المشروع

CT_i : تكاليف المشروع (حسب الكرموزومات)

فكل كرموزوم يقيم حسب قيمة تابع التأقلم الذي يحسب بالعلاقة ١٠:

$$SA_i = \alpha VD_i + (1-\alpha)VC_i \qquad \alpha \in [0,1] \qquad (١٠)$$

و لذا فهذه المعادلة تعتبر ميزان لترجيح أي من المعيارين على الاخر حسب رغبة المستخدم الذي يقر أفضلية أحدهما على الاخر، وذلك حسب قيمة α.

فالكرموزوم الأقوى هو المقيم حسب القيمة الأكبر لتابع الهدف و الذي يعني أن الحل هو الأقدر على التأقلم مع غيره، و لهذا يمكن ترتيب الحلول حسب قيمة تابع الهدف لمعرفة الأفضل بينها.

وبالنتيجة فإن تابع الهدف الذي نقصده يقيم حسب مدة و تكلفة المشروع، أفضل حل يمكن الحصول عليه هو الحل الذي يعطي أفضل تناغم بين مدد تنفيذ المهام و أفضل تنسيق لفرق العمل. و هو الحل الذي يعطي الأمثل أو القريب للأمثل، فكل جيل جديد يمكن الحصول عليه باستخدام الطفرات و التزاوج يعطي حلول جدولية يجب تقييمها حسب الوقت و الكلفة بأخذ المعايير بعين الاعتبار SA = f (time, cost)، فالجينات

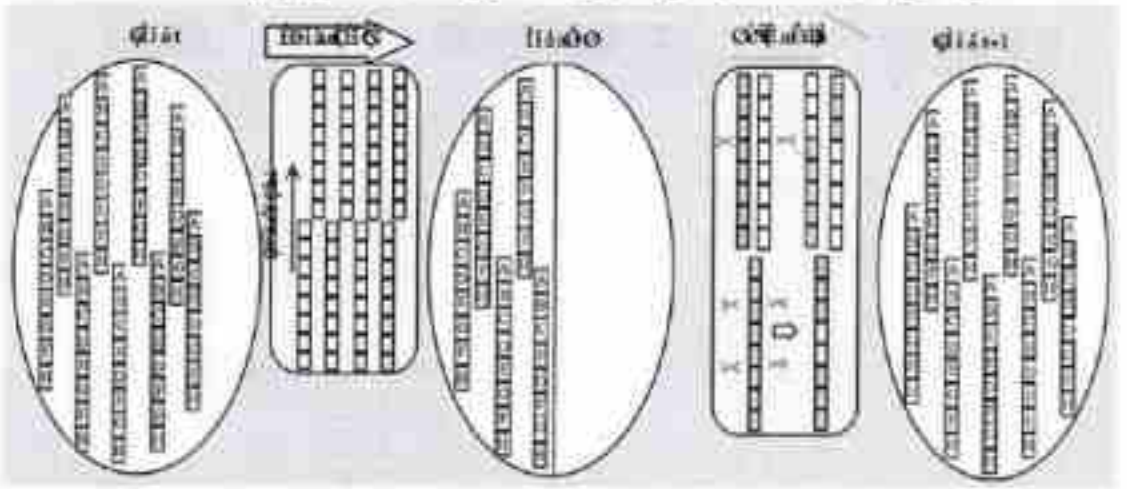
الوراثية قادرة بالتالي على التأقلم للحصول على أفضل حل، و طريقة الجينات الوراثية تعمل حسب الاتي:

١,٧,٤ توليد الجيل الأول:

حتى يتم توليد الجيل الأول فاننا نقوم بتحديد العدد الأساسي للكروموزومات بقيمة ثابتة يتم توليد هذه الكرموزومات عشوائيا كما هو مبين بالشكل (٧)، فهذا التابع يبحث بشكل منتظم ضمن فضاءات الحلول، و كل حل بالتالي يتم تقييمه حسب قيمة تابع التأقلم.

اختيار الكرموزوم:

تستخدم طريقة الاختيار في الجيل (t) لتكوين الجيل التالي (t+١)th، ان اختيار النصف الأقوى (N/٢ elitism) بين الحلول يتيح لنا الحصول على جيل جديد أكثر تاقلما، إن طريقة الاختيار صممت للحصول على تابع الهدف تلقائيا في الجيل الحالي كما بالشكل (٧).

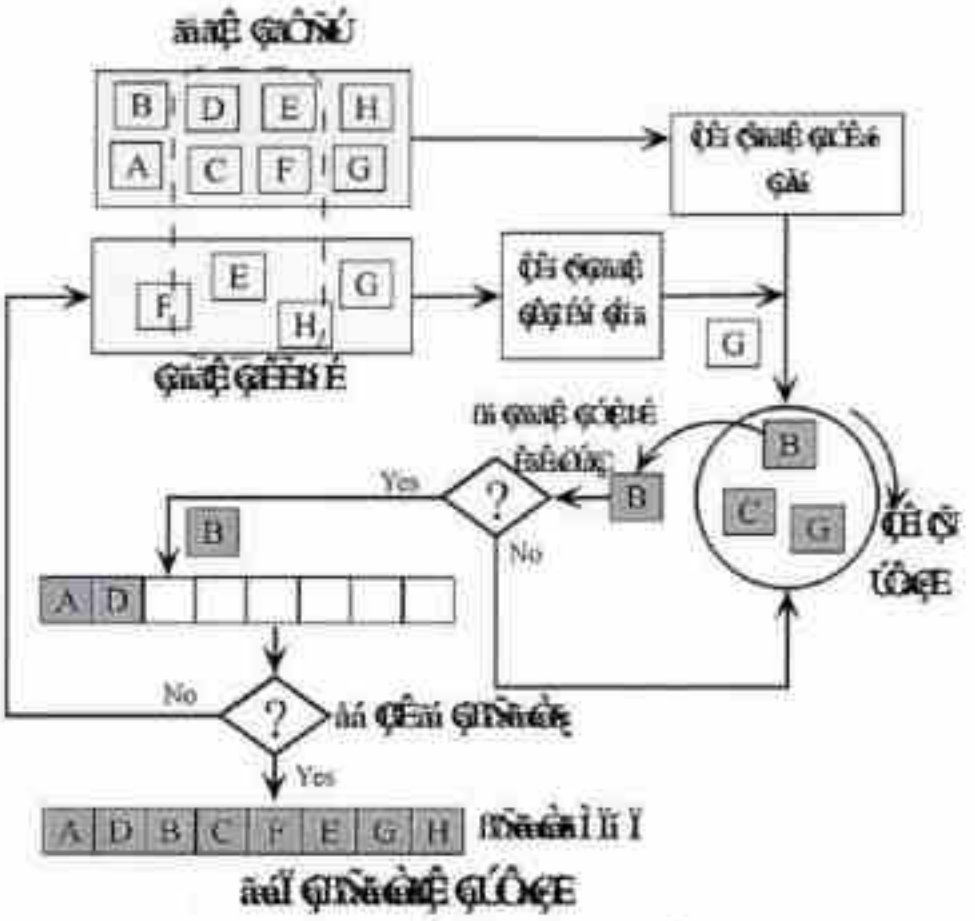


الشكل (٧): طريقة اختيار النصف الأقوى ضمن الجيل الحالي

١,٧,٥ طريقة التصالب (التزاوج) و الطفرات لتطوير حلول الجدولة للمهام

يبدأ توليد الكرموزوم باختيار مهمتين بدون مهام سابقة لهما، فاذا كان هناك عدة مهام في الترتيب الأول للمهام، يمكن اختيار احداها بشكل عشوائي، تأخذ هذه المهمة مكانها كأول مهمة ضمن الكرموزوم و تحذف هذه المهمة من المهام المتوفرة و التي سبق اختيار مهمتنا الحالية منها بشكل

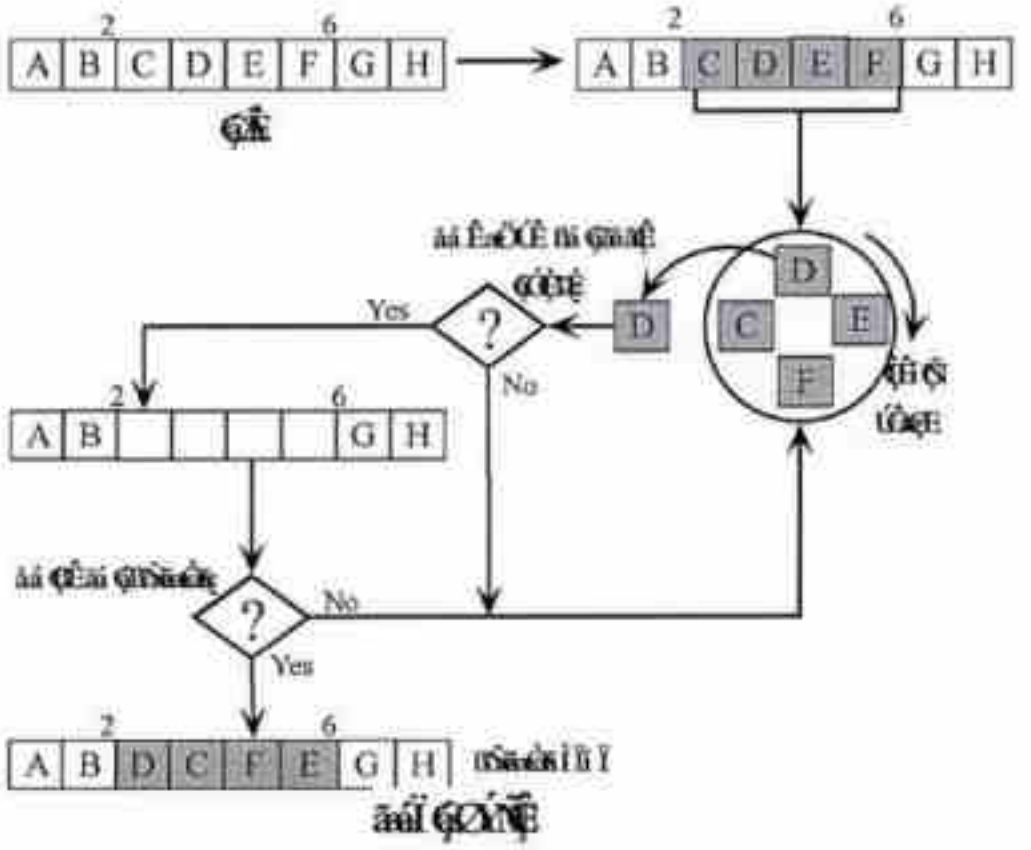
عشوائي، فاذا لم يتم اختيار كامل المهام ضمن الكرموزوم فانه يتم اختيار مهمة من بين المهام المتبقية و التي لم تجدول و يتم وضعها في المكان الفارغ التالي ضمن الكرموزوم، ففي الشكل (٨) المهمة الممكنة التالية التي تم اختيارها عشوائيا هي المهمة D ثم تم وضع المهمات B, C, G في دولاب الحظ و يتم اختيار احداها ولتكن المهمة B على سبيل المثال، هذه المنهجية يتم تكرارها حتى يتم املاء كافة المهام ضمن الكرموزوم كما هو موضح بالشكل ٨.



الشكل (٨): طريقة توليد الكرموزوم عشوائيا

تستخدم الطفرات أيضا من أجل توليد كرموزومات جديدة، فهي تسعى لتغيير الجينات من أجل توليد كرموزوم جديد مع احترام القيود بين المهمات، فيفرض أن الطفرة تعطي الكرموزوم A–B–C–D–E–F–G–H، فيقطع هذا الكرموزوم من مكانين يتم تحديدهما عشوائيا – فعلى سبيل المثال

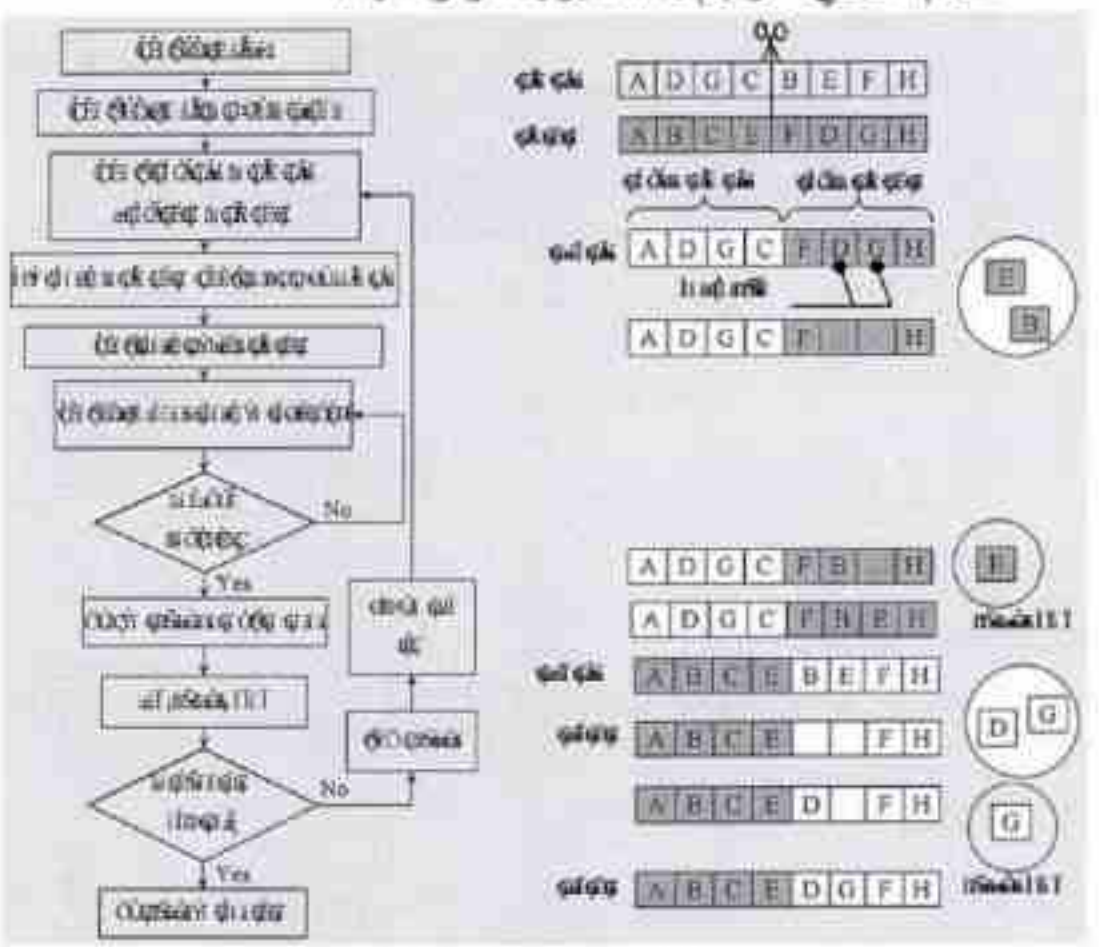
من ٢ الى ٦ –، يتم نزع المهمات المتوضعة بين هذين المكانين من الكرموزوم الأصلي، و توضع هذه المهمات ضمن دولاب الحظ، و يتم اختيار احدها عشوائيا، فإذا كانت كافة المهمات السابقة لها – حسب القيود – قد توضعت ضمن الكرموزوم فاننا نختارها، و إلا فأننا نعيدها الى الدولاب و نختار واحدة أخرى، حتى يتم ايجاد مهمة تم توضع كافة سابقاتها ضمن الكرموزوم.



الشكل (٩): توليد الطفرات

إن أهم المشاكل التي تعترض طريقة تطبيق الجينات الوراثية لجدولة المهام هي بتعريف طريقة تطوير الجيل الحالي (التزاوج و الطفرات) لتوليد كرموزوم جديد، إن طريقة تطوير الجيل في عملنا مبنى بالطريقة UM٣ التي تبناها كل من ليو و يانغ في بحثهم (Leu and Yang, ١٩٩٩)، لقد قنا بتطوير هذه الطريقة بانتقاء والدين عشوائيا و يتم القطع عند نفس الموقع – الذي يتم اختياره عشوائيا – لدى الوالدين (الأب)،

يتم اخذ القطعتين المختلفتين من الوالدين و لصقهما مع بعضهما البعض، و يتم تقييم الولدين الناتجين و تحقيقهما – من ناحية القيود حسب مخطط المهام الشبكي – و يتم بعدها قبولهما أو رفضهما.



الشكل (١٠): التعالب (التزاوج)

يمكن رفض الأولاد الناتجين عن المزاوجة لسببين:

- ✓ اذا كانت المهام لا تحقق القيود
- ✓ اذا كان هناك تكرار للمهام ضمن الكرموزوم

فاذا كان الولد لا يحقق القيود، فاننا لا نرفضه مباشرة بل نقوم بحذف المهمات التي تتكرر ضمن الكرموزوم و نقوم بعدها بتحقيق القيود التكنولوجية للبيقية اذا كانت محققة، ان طريقة التصحيح للأولاد المرفوضين بالبداية تعتمد على حذف المهام المتكررة و اخذ المهام التي لا يرد وجود لها في الكرموزوم، ووضعها ضمن دولاب الحظ، و انتقاء احداها عشوائيا، فاذا

كانت المهمة التي تم انتقاؤها لا تحقق القيود، فيتم اعادتها و انتقاء واحدة أخرى حتى نختار مهمة تحقق القيود، عندها يتم اختيارها و وضعها ضمن الكرموزوم، و اخيرا عند تحقيق كافة القيود للمهام المتواجدة ضمن الكرموزوم فاننا نعتمد هذا الكرموزوم للجيل التالي و هكذا، و إلا فاننا سنستثني هذا الكرموزوم و يتم اختيار مكانين للقطع أخريين، هذه الطريقة تختصر الزمن اللازم لايجاد الحل الأمثل و لتوليد الحلول للجيل التالي كما بالأشكال (٨-٩-١٠) التي تبين طريقتي التزاوج و الطفرات لتوليد الجيل التالي.

١,٨ الاستنتاجات:

ان الطريقة المستخدمة في هذا البحث تسمح بايجاد مجموعة من الحلول لجدولة المهام المتكررة و غير المتكررة، كما يسمح النظام المتبع ضمن البحث بتحقيق القيود بين المهام المتكررة و غير المتكررة و ايجاد مدة و تكلفة تنفيذ المشروع بالاخذ بعين الاعتبار العلاقات بين المهام و توضع فرق العمل و العلاقة بين الوقت و الكلفة، كما يساهم النموذج بايجاد الحل الامثل لجدولة المهمات المتكررة من ناحيتي مدة و تكلفة المشروع و ايجاد أفضل تمازج لهما في المشروع الواحد.

فطريقة ايجاد الحل الأمثل لجدولة المهام المتكررة هي حاجة ملحة فعليا و التي يمكن حلها باستخدام الالغوريتمات الجينية بكل كفاءة، فالجدولة تأخذ شكل كروموزوم ثلاثي الطبقات الذي تستطيع جيناته ابراز ترتيب المهام و تتاليها و المدد المتاحة لهذه المهام و طريقة تنسيق فرق العمل لتنفيذ المهام.

فالموديل الذي قمنا بتطويره من أجل إيجاد الحل الأمثل باستخدام الالغوريتمات الجينية يقوم بمسح فضاء الحلول الممكنة من أجل الحصول على الحل الأمثل باستخدام عوامل توليد الأجيال الجديدة وهي التصالب و الطفرات، فعامل التصالب يقارب الحلول إلى الحل الأمثل في منطقة الحلول

المتجاورة بينما الطفرات فهي تولد حلول متباعدة نسبيا نوعا ما مما يسمح بإيجاد مساحات حلول جديدة و يلغي التماثل في الحلول الذي ينشا فقط عن استخدام التصالب، الغاية الأخرى من الطفرات هي تسريع الوصول إلى الحل الأمثل بتوليد حلول جديدة في كل جيل، و تطوير الأجيال يقوم على طريقة N/٢- elitism و التي تستخدم النصف الأقوى من الجيل من أجل توليد الجيل اللاحق، طريقة الاختيار تلك أعطتنا نتائج مرضية مع تسريع وقت الحساب للوصول للحل الأمثل.

على الرغم من فوائد الالغوريتمات الجينية إلا أننا نلاحظ أن وقت الحساب يعد كبير نسبيا وهذا يبرر بطريقة التطوير المستخدمة من أجل مسح فضاء الحلول الممكنة، فوقت الحساب يعتمد على عدد المهام ومدة المشروع و طرق تنظيم فرق العمل، هذا النموذج الأولي يمكن أن يخفف العمل على أعضاء تنظيم المشروع و يختصر الوقت من أجل تحضير الجداول الزمنية بالمقارنة مع الظروف الحالية لتحضير الورشات.

وبالتالي فإن هذه الطريقة تساعد على ايجاد افضل تخصيص لفرق العمل بتكييف عدد الفرق مع مدد المهام مع احترام طريقة التنفيذ، ولهذا فيجب إدخال إمكانية تخصيص مهام ذات نوع متقطع وليس مستمر في مختلف التقسيمات من أجل اختصار وقت التنفيذ وكذلك يساعد تقسيم المشروع إلى أجزاء أصغر من أجل استخدام أمثلي للمهام المتكررة وبالتالي اختصار العدد الإجمالي لفرق العمل بما يضمن استمرارية المصادر.

١,٩ المراجع:

CHAN, W., CHUA, D. K. H. & KANNAN, G. (١٩٩٦)
Construction Resource Scheduling With Genetic Algorithms.
Journal of Construction Engineering and Management, ١٢٢, N°٢, ١٢٥-١٣٢.

JAMES, D. L. & HIJAZI, A. (١٩٩٣) **Planning repetitive construction: Current Practice. Canadian Journal of Civil Engineering,** ١١, ٩٩-١١٠.

KHALED, E. R. & OSAMA, M. (١٩٩٨) **Resource-driven scheduling of repetitive activities. Construction Management and Economics,** ١٦, ٤٣٣-٤٤٦.

MANGIN & AL JOMA, M. (٢٠٠٤) A Scheduling Model For Repetitive Activities. *ARCOM ١٠. th International Conference on Design Sciences & Technology.* Edinburgh.

LEU, S.-S., CHEN, A.-T. & YANG, C.-H. (١٩٩٩) **Fuzzy Optimal Model for Resource- Constrained Construction Scheduling.** Journal of Computing in Civil Engineering, ١٣, N°٣, ٢٠٧-٢١٦.

LEU, S.-S. & YANG, C.-H. (١٩٩٩) **GA-Based Multicriteria Optimal Model for Construction Scheduling.** Journal of Construction Engineering and Management, ١٢٥, N°٦, ٤٢٠ - ٤٢٧.

PUTERA, I. A. A. (٢٠٠٢) **Génération et évaluation des activités de construction des bâtiments:Optimisation de la planification par les algorithmes génétiques.** Université de Savoie.

RICARDO, M. J., LUIZ, F. & HEINECK, M. (١٩٩٨) **Preplanning Method for Multi-Storey Building Construction using Line of Balance.** ٦th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Guarujá-Brazil.

ROBERT, B. H. & PHOTIOS, G. I. (١٩٩٨) **Scheduling Projects With Repeating Activities. Journal of Construction Engineering and Management,** ١٢٤, ٢٦٩-٢٧٨.

THABET, W. Y. & BELIVEAU, Y. J. (١٩٩٤) **HVLS: Horizontal and Vertical Logic Scheduling for Multistory Projects.** Journal Construction Engeneering and Management, ١٢٠, ٨٧٥-٨٩٢.