

جدولتا عمل الممرضات باستعمال خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة

أ.د. محمد صادق عبد الرزاق / كلية الإدارة والاقتصاد / جامعة بغداد
الباحث / علي ابراهيم هندي

تاريخ التقديم: 2018/1/7
تاريخ القبول: 2018/3/20

المخلص

تعد مسألة جدولتا عمل الممرضات (NSP) من مسائل الأمتلية المركبة والتي تنتمي بدرجة صعوبتها الى مسائل الامتلية الصعبة NP-Hard التي يصعب حلها بشكل امثل، اذ تقوم المسألة بإيجاد جدول زمني مناسب للممرضين وتوزيعهم على المناوبات وايام الغطل (الاستراحة) بشكل يضمن العدالة في فريق العمل الواحد وبأقل التكاليف ويتم ذلك بتحقيق انواع مختلفة من القيود الصعبة والبسيطة . فقد تم في هذا البحث انشاء خوارزمية مهجنة وهي خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة (GS-h) لحل مسألة جدولتا عمل الممرضات (NSP)، حيث اقترحنا اولاً تحسين خوارزمية محاكاة التلدين وتحسين الخوارزمية الجينية ايضاً من خلال الاستفادة من مزاياهما ومحاولة التغلب على نقاط الضعف الموجودة فيهما وبالتالي دمج التحسين لهاتين الخوارزميتين معاً حيث يتم ذلك من خلال دمج الافكار التطويرية للخوارزميتين، حيث أوضحت النتائج التجريبية مدى تفوق الخوارزمية المهجنة (GS-h) على الخوارزميات الاخرى، حيث إن نسب الحصول على الحل الامثل لجميع المسائل البالغ عددها (2000) مسألة هي (77%) باستعمال خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة (GS-h) وهي النسبة الاعلى في الحصول على الحلول المثلى من بين جميع الخوارزميات التي تم تطبيقها في هذا البحث، أما خوارزمية محاكاة التلدين التقليدية (SA) فقد حصلت على نسبة (28.75%) بينما نالت خوارزمية محاكاة التلدين المحسنة (SA*) على نسبة (35.7%)، أما الخوارزمية الجينية الاعتيادية فقد نالت على نسبة (26.25%) بينما حصلت الخوارزمية الجينية المحسنة (GA*) فقد نالت على نسبة (45.6%) .

المصطلحات الرئيسية للبحث/ جدولتا عمل الممرضات ، خوارزمية محاكاة التلدين ، الخوارزمية الجينية .



مجلة العلوم
الاقتصادية والإدارية
العدد 107 المجلد 24
الصفحات 572-589

*البحث مستل من رسالة ماجستير



البند الأول

1-1 المقدمة (Introduction):

ان الاهتمام المتزايد من قبل الحكومات على برامج الرعاية الصحية ادى الى زيادة عدد المستشفيات ومن ثم ادى الى زيادة اعداد الممرضين والموظفون في تلك المستشفيات لغرض خدمة المرضى وتقديم العناية المستمرة والكافية لهم، وفي نفس الوقت تطوير عمل هؤلاء الممرضين داخل المستشفيات وتنظيم جداول اسبوعية او شهرية ينظم لهم عملهم بحيث يتناسب عمل المناوبات لكل ممرض او ممرضة مع الممرضين الاخرين ولا يتقاطع عمل المناوبة لاحد الممرضين مع ممرض آخر، وكثيراً ما تجري هذه التطورات مصحوبة باستخدام اساليب وطرائق بحوث العمليات في جميع انحاء مراحل التخطيط والبناء والتشغيل.

وان الكثير من الباحثين قد عانوا في حل مسألة جدولة عمل الممرضات (Nurse scheduling problem) واختصاراً (NSP) ، اذ ان البرمجة الخطية والبرمجة الديناميكية والبرمجة الصحيحة تعد حلول كلاسيكية وصعبة وبالأخص عندما يكون حجم المسألة كبير اذ يكون الحل اشبه بالمستحيل لذلك اتجه الباحثون الى استعمال الخوارزميات الذكائية والتطويرية في حل هذه المسألة، واعطت هذه الخوارزميات نتائج مرضية وجيدة لبعض المسائل واستمر الباحثون في تجديد الحلول باستعمال خوارزميات اخرى مثل (خوارزمية التفرغ والتحديد ، والخوارزمية الجينية ، وخوارزمية البحث المحرم وخوارزمية محاكاة التلدين) وغيرها . ان فكرة الجمع بين اثنين من الخوارزميات المختلفة في خوارزمية مهجنة واحدة مستوحاة من امكانية اداء هذه الخوارزمية الجديدة أفضل من أي من خوارزمياتها المكونة على حدة، اذ ان النتيجة هي فئة جديدة من الخوارزميات تحت مظلة تقنيات الخوارزميات المهجنة (Hybrid Algorithms Techniques) [5].

ان الخوارزمية المهجنة تجمع بين نقاط القوة في الخوارزميات المفردة بحيث توفر الخوارزميات الناتجة مجموعة من المزايا مثل امكانية انتاج حلول افضل فضلاً عن امكانية التعامل مع المسائل ذات احجام الادخال الكبيرة بشكل فعال، وخاصة فيما يتعلق بالمسائل الصعبة NP-Hard [5].

2-1 مشكلة البحث (Problem of Research):

تكمّن مشكلة البحث في جدولة عمل الممرضين من خلال تعيين مناوبات العمل اليومية وايام الاستراحة للممرضين، حيث يوجد لدى الممرض رغبات وتفضيلات وتوصف المشكلة في ضوء ايجاد جدول زمني يراعي قيود ورغبات الممرضين ويحقق اهداف المستشفى في ان واحد، بصورة عامة يمكن للممرض العمل على 3 مناوبات بسبب كون التمريض عملاً تناوبياً، حيث يتم تقسيم اليوم الواحد الى ثلاث مناوبات (صباحية، مسائية ، ليلية) او يتم تقسيم اليوم الى مناوبتين (مناوبة صباحية ، مناوبة ليلية) كما في دراسة حالتنا. وتكون عدد المناوبات حسب نظام عمل المستشفى وحسب عدد الممرضين الذين يعملون في تلك المستشفى وحسب دورة الجدولة كأن تكون اسبوعية او شهرية، وان مشكلة جدولة عمل الممرضات تُعد واحدة من مشاكل الأمثلية الصعبة (NP-Hard) المركبة والتي يصعب حلها بشكل امثل .

3-1 الهدف من البحث (Objective of Research):

يهدف هذا البحث الى ايجاد حلاً مناسباً لمسألة جدولة عمل الممرضات (NSP) من خلال بناء جدول زمني للممرضين يؤثر تأثيراً ايجابياً في تقليل الكلفة الاجمالية للمستشفيات وفي نفس الوقت زيادة ايرادات تلك المستشفيات من خلال توظيف العدد المطلوب من الممرضين للعمل على المناوبات بشكل صحيح وبصورة عادلة ويسهم في رفع كفاءة أداء عمل الممرضين.

4-1 هيكلية البحث (Structure of Research):

سوف يتضمن البحث اربعة بنود وهي :



جدولة عمل الممرضات باستعمال خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة

البند الاول: يتضمن البند الاول المقدمة عن مسألة جدولة عمل الممرضات والمشكلة والهدف من البحث والاستعراض المرجعي وهو استعراض الدراسات السابقة لاهم تطبيقات وطرق حل مسألة جدولة عمل الممرضات .

البند الثاني: يتضمن هذا البند شرح مفصل لمسألة جدولة عمل الممرضات (NSP) من حيث الانموذج العام والصيغة والطرق المستخدمة لحل المسألة .

البند الثالث: ويحتوي هذا البند على الجانب التجريبي وفيه تم حل عدد من المسائل الخاصة بمسألة جدولة الممرضات وحساب معدل الكلفة ومعدل الوقت المستغرق في حل كل مسألة وتناول التطبيق العملي لمسألة جدولة عمل الممرضات في مستشفى كمال السامرائي.

البند الرابع: في هذا البند يتم توضيح اهم الاستنتاجات التي توصل اليها الباحث وما يوصيه الباحث من دراسات مستقبلية وعملية حول مسألة جدولة عمل الممرضات.

البند الثاني

1-2 مسألة جدولة عمل الممرضات (Nurse Scheduling Problem)

تعد مسألة جدولة الممرضات (NSP) واحدة من اهم المشاكل التي تواجهها جميع المراكز الصحية بشكل عام والمستشفيات بشكل خاص، حيث نلاحظ ان بعض المستشفيات تعاني من عدم تنظيم العمل للممرضين والممرضات فمن جهة ان لكل ممرض وممرضة حقوق التي تتمثل بالمرودود المالي واحتساب ايام الاجازات التي هي من حق كل ممرض وممرضة ومن جهة اخرى على الممرض او الممرضة الالتزام بالعمل وفق نظام المستشفى المحدد. حيث تتلخص المسألة في ضوء تعيين كل ممرضة او ممرض على نوع من انواع المناوبات (صباحي او مسائي او ليلي) او دون ان يعمل على اي نوع من انواع المناوبات التي ذكرت فيعطى استراحة (عطلة) لذلك الممرض او لتلك الممرضة. وتكمن اهمية هذه الجدولة في التخصيص العادل للممرضين والممرضات الذين يعملون في تلك المستشفيات وايضاً تقليل الموارد وساعات العمل الغير ضرورية وبالتالي تقليل التكاليف على المستشفى.

2-2 وصف المسألة (Description of The Problem)

توصف المسألة في ضوء ايجاد جدول زمني لجميع الممرضين وذلك بتعيينهم على عدد من المناوبات كأن تكون هذه المناوبات صباحية أو ليلية بحيث لا يتقاطع عمل احد الممرضين مع ممرض آخر وحسب الفترة الزمنية لدورة الجدولة التي تكون اسبوعية او شهرية ، وان ايجاد جدولة مناسبة يجب ان يكون مصحوباً بتحقيق اقل كلفة اجمالية ممكنة وتحقيق القيود المفروضة على الممرضين والممرضات من جهة وتحقيق رغبات هؤلاء الممرضين والممرضات من جهة أخرى وبما يتناسب والمصلحة العامة للمستشفى ، حيث ان مسألة جدولة الممرضات (NSP) هي احدى مسائل الأمثلية التوافقية (Combinatorial Optimization) التي يصعب حلها بشكل امثل باستعمال الطرائق التقليدية مثل البرمجة الخطية و اللاخطية وغيرها [19].

3-2 النموذج العام لمسألة جدولة عمل الممرضات (NSP)

تعد صيغة البرمجة الخطية الصحيحة (Integer programming) احدى الصيغ الشائعة في صياغة مسألة جدولة عمل الممرضات حيث قام كل من الباحث (Dowland و Ackelin) بصياغة المسألة عام (2000م) وان النموذج الرياضي العام للمسألة كما يلي : [4].



$$\text{Min } (Z) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ji} Y_{ji} \quad \dots (1)$$

Subject to :

$$\sum_{i \in S(j)} Y_{ji} = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad \dots (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m z_{js} b_{ik} Y_{ji} \geq D_{ks} \quad \forall k, s \quad \dots (3)$$

.... (1-2)

اذ ان:

(1) هي دالة الهدف (دالة الكلفة الاجمالية) المراد تقليل قيمتها الى اقل ما يمكن ، وهذه الدالة هي عبارة عن محصلة مجموع تكاليف الجزاء (penalty costs) لتخصيص الممرض j على نمط المناوبة i .

(2) هو القيد الاول للمسألة الذي يضمن بأن يعمل كل ممرض او ممرضة على نمط مناوبة واحد بالضبط من مجموعة المناوبات الممكنة.

(3) هو القيد الثاني للمسألة الذي يضمن تلبية الطلب على الممرضين او الممرضات لكل درجة وظيفية (رئيس ممرضين ، ممرض ماهر ، ممرض ،الخ)

وان متغيرات القرار Decision Variables للأنموذج هي كما يأتي :

$$Y_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{(الممرض } j \text{ يعمل على نمط المناوبة } i) \\ 0 & \text{(الممرض لا يعمل اية مناوبة)} \end{cases}$$

وان المعلمات Parameters الخاصة بالمسألة فهي كما يأتي :

$$b_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{(النمط } i \text{ يغطي اليوم } k) \\ 0 & \text{(عدا ذلك)} \end{cases}$$

$$z_{js} = \begin{cases} 1 & \text{(الممرض } j \text{ من درجة } s \text{ او اعلى)} \\ 0 & \text{(عدا ذلك)} \end{cases}$$



أذ ان :

m : عدد الممرضين

n : عدد أنماط المناوبة الممكنة

C_{ij} = كلفة الجزاء للممرض j الذي يعمل على نمط المناوبة i .

D_{ks} = الطلب لعدد الممرضين من الدرجة s او اعلى على اليوم/الليلة k .

$S(j)$ = مجموعة انماط المناوبة او الشفت للممرض j .

4-2 الصيغة المستخدمة للمسألة (The Formulation of The problem)

في هذه الفقرة سنتطرق الى صيغة مسألة جدولة الممرضات (NSP) المستخدمة والتي سوف نعتمدها في بحثنا هذا وهي صيغة مسألة تحقيق القيد (Constraint Satisfaction Problem) واختصاراً (CSP) والتي تنص على تحقيق مجموعة من القيود التي تخضع لها المسألة ، وان هذه القيود تكون على نوعين على حسب درجة تحقيقها وهي القيود الصعبة (Hard Constraints) والقيود البسيطة (Soft Constraint) وبالتالي تحقيق اقل كلفة اجمالية المتمثلة بدالة الهدف ، ويوجد نوعين لأنظمة جدولة الممرضات وهما نظام ذو المناوبتين ونظام ذو الثلاث مناوبات ، لذا سوف نركز على نظام المناوبتين (صباحي وليلي) الذي نعتمده في بحثنا هذا، حيث يمكن ان نعرض مسألة جدولة الممرضات (NSP) كالاتي [6]:

اولاً : قيود المسألة (Constraints of The Problem)

أ- القيود الصعبة (Hard Constraints) :

وهي القيود التي يجب ان تحقق للحصول على حل ممكن وهي على نوعين :

• قيود من النوع الاول : هذا النوع من القيود الصعبة يشمل عدد الممرضين او الممرضات الذين يعملون على المناوبات (مناوبة صباحية ، مناوبة ليلية) لكل يوم ، اي ان لكل مناوبة يجب ان يكون عدد الممرضين ضمن الحد الادنى والاعلى :

صباحي (min number – max number) ، ليلي (min number – max number).

اي ان عدد الممرضين والممرضات لكل مناوبة يجب ان يقع ضمن الفترات المحددة بالقيمة العظمى والصغرى لعدد الممرضين وسوف نتطرق لاحقاً الى هذه الفترات بالتفصيل في الجانب العملي من البحث.

• قيود من النوع الثاني : وهذا النوع من القيود الصعبة ينص على تجنب العمل على انماط العمل الممنوعة حسب بحثنا وكما يلي :

- المناوبة الصباحية بعد المناوبة الليلية .
- ثلاث مناوبات ليلية متتالية .

ب- القيود البسيطة (Soft Constraints) :

ان امكانية الحل تُحدد من خلال تحقيق القيود الصعبة ، ولكن جودة الحل الممكن تعتمد على درجة تحقيق القيود البسيطة.

وان القيود البسيطة تشتمل على ان يكون عدد الايام للمناوبات الصباحية والليلية وذلك عدد ايام العطل لكل ممرض او ممرضة وخلال دورة الجدولة (اسبوع، اسبوعين، 3 اسابيع، 4 اسابيع (شهر) محصوراً داخل الفترة المطلوبة لكل مناوبة او عطلة وكالاتي :

العدد الكلي لأيام العطل = [min_number , max_number]

العدد الكلي لأيام المناوبة الصباحية = [min_number , max_number]

العدد الكلي لأيام المناوبة الليلية = [min_number , max_number]

وان هذه الفترة تكون محددة من خلال نسبة مضروبة بعدد الايام التي سوف نتطرق لها بالتفصيل في الجانب العملي.

ومن المهم الاشارة الى ان توليد الجدولة يعتمد على تحقيق جملة من القيود التي ذُكرت اعلاه ، حيث ان القيود الصعبة يجب تحقيقها واما القيود البسيطة فينبغي تحقيقها قدر الامكان.



ثانياً : دالة الهدف (دالة الكلفة) (Cost Function)

لقد قمنا في بحثنا هذا بتكوين دالة هدف تعتمد على القيود الصعبة والبسيطة التي ذكرناها مسبقاً ، وعلى هذا الأساس فإن الكلفة الاجمالية سوف تكون محسوبة بجمع ثلاثة انواع من الكلف وهي :

1- الكلفة الاولى (C_1) : وهي كلفة الجزاء لمخالفة القيود الاكثر اهمية وهي (القيود من النوع الاول) ، حيث ان اذا تم تخصيص المناوبة على اي يوم يخالف القيود من النوع الاول من القيود فان لكل مخالفة سوف تؤدي الى زيادة الكلفة الاولى بمقدار (1) .

2- الكلفة الثانية (C_2) : وهي كلفة الجزاء لمخالفة (القيود من النوع الثاني) ، اذا سلسلة المناوبة لأي ممرض تخالف القيود من النوع الثاني من القيود فان لكل مخالفة سوف تؤدي الى زيادة الكلفة الثانية بمقدار (1) .

3- الكلفة الثالثة (C_3) : وهي كلفة الجزاء لمخالفة القيود البسيطة، وكمثال اذا كان العدد الكلي لأيام المناوبات او العطل ليس ضمن الفترة المطلوبة فان لكل مخالفة سوف تؤدي الى زيادة الكلفة الثانية بمقدار (1) .

وقد قمنا بتخصيص ثلاثة اوزان للقيود الثلاثة المذكورة مسبقاً ،اي ان الاوزان هي (W_3 ، W_2 ، W_1) للقيود الثلاثة على التوالي . ان دالة الكلفة الاجمالية سوف تكون كالآتي :

$$\text{Total Cost Function (f)} = W_1 * C_1 + W_2 * C_2 + W_3 * C_3 \dots (2-2)$$

اذ ان : ($w_1 = 100$ ، $w_2 = 100$ ، $w_3 = 1$)

واضافة الى ذلك سوف يكون الحل ممكن فقط اذا تحققت جميع القيود الصعبة وهذا يعني ان :

$$C_1 = C_2 = 0$$

وايضاً سوف نحاول جاهدين لتحقيق عدد من القيود البسيطة في المسائل والوصول بها الى الحل الامثل.

4-2 الطرائق المستخدمة لحل المسألة (Methods of Problem's Solution)

في هذه الفقرة نتطرق الى الطرائق التي استخدمت لحل المسألة (NSP) والتي هي خوارزمية محاكاة التلدين (Simulated Annealing) والخوارزمية الجينية (Genetic Algorithm) وهما من الخوارزميات التطويرية (Evolutionary Algorithms) .

1-4-2 الخوارزميات التطويرية (Evolutionary Algorithms)

ان ازدياد الصعوبات التقنية وتعقيدها وعدم قدرة الحلول البرمجية التقليدية على استيعابها ادى الى قيام الباحثين بإيجاد خوارزميات كفوءة تساعد في إيجاد الحلول المثلى والمناسبة للمسائل المعقدة وسرعة الوصول الى إيجاد الحلول وخرزنها واسترجاعها، ومن ثم الوصول إلى هيكلية مترابطة لبنية برمجية ذكية [1] .

ان الخوارزميات التطويرية تمثل أساليب بحث عشوائية مستعارة من الطبيعة والتي تحاكي التطور البيولوجي الطبيعي او السلوك الاجتماعي للأنواع، وتشمل على سبيل المثال كيف يجد النمل أقصر طريق للوصول الى مصدر الغذاء، كيف تجد الطيور وجهتها اثناء الرحيل، ويتم توجيه سلوك هذه الانواع عن طريق التعلم والتكيف والتطور. ولتقليد السلوك الكفوء لهذه الانواع فقد طور الباحثون أنظمة حسابية مختلفة تبحث عن حلول سريعة وقوية لمسائل الأمثلية المعقدة [14] .

وفي محاولة لتقليل وقت المعالجة وتحسين نوعية الحل ولاسيما لتجنب الوقوع في النقاط الصغرى المحلية (local minimum) أدخلت خوارزميات تطويرية أخرى خلال السنوات الماضية فضلاً عن التحسينات في الخوارزمية الجينية وتشمل الخوارزميات التطويرية الجديدة العديد من التقنيات الأخرى كخوارزمية محاكاة التلدين (Simulated Annealing Algorithm(SA)) وخوارزمية أمثلية سرب الطيور (particle swarm optimization (PSO))، وخوارزمية مستعمرة النمل (Ant Colony Optimization (ACO)) [6] .



وتختلف الخوارزميات التطورية كثيراً عن اساليب البحث التقليدية واساليب الأمثلية والاختلافات الأكثر أهمية تتمثل فيما يلي [7]:

- 1- الخوارزميات التطورية تتعامل مع الرموز (code) لمجموعة من المعلمات (Parameters) وليس مع المعلمات نفسها .
- 2- الخوارزميات التطورية لا تبدأ بالبحث من نقطة واحدة وإنما من مجموعة من النقاط .
- 3- الخوارزميات التطورية لا تتطلب معلومات مشتقة أو معارف أخرى مساعدة وإنما تتطلب دالة الهدف ومستويات المطابقة التي تؤثر تأثيراً مباشراً في البحث .
- 4- الخوارزمية التطورية تستخدم قوانين الاحتمالات وليس قوانين محددة .

ولأسباب أعلاه تستخدم الخوارزميات التطورية لإيجاد الأمثلية للمسائل التي تبحث عن التحسين للاقتراب من بعض النقاط المثلى .

2-4-1-1 خوارزمية محاكاة التلدين (Simulated Annealing Algorithm(SA)

تعد خوارزمية محاكاة التلدين (SA) من الخوارزميات الحدسية ذات الاحتمالية العامة المستخدمة في مسائل الأمثلية (Optimization Problems)، إذ يتم من خلالها العثور على تقريب جيد لدالة الهدف الأمثلية في فضاء بحث وتميل الى عدم التغيير في قيمة الحد الأدنى أو الأقصى المحلي (local minimum or maximum) ، وغالباً ما يتم استخدامها عندما يكون فضاء البحث متقطعاً كما هو الحال في مسألة البائع المتجول (Travelling Salesman Problem (TSP)، ومسألة التخصيص التربيعية (QAP)، ومسألة حقيبة الظهر (Knapsack Problem(KP)) وغيرها من المسائل الأخرى [15].

كما يستند أسلوب محاكاة التلدين (SA) على محاكاة نظم التلدين الحراري (Thermal Annealing System) في المواد الصلبة ، إذ أنه عند تحويل المعدن الى حالة الانصهار (Molten State) عن طريق تسخينه الى درجة حرارة عالية، فإن الذرات داخل المعدن المنصهر سوف تقوم بالتحرك بحرية تامة دون ان تتعرض احداها للأخرى، ولكن مع ذلك فإن تقييد حركة الذرات يتم بخفض درجة الحرارة، إذ أن خفض درجة الحرارة يجعل الذرات تميل الى الانتظام ومن ثم تشكيل البلورات (Crystals) التي تمثل الحد الأدنى من الطاقة الداخلية الممكن . ويمكن تلخيص خطوات عمل خوارزمية محاكاة التلدين على النحو الاتي [14]:

الخطوة 1: البدء بنقطة تصميم أولية X_i ، وجعل عداد التكرار $i=1$ مع قيمة عالية لدرجة الحرارة.

الخطوة 2: انشاء نقطة تصميم جديدة X_{i+1} بشكل عشوائي في محيط نقطة التصميم الحالية.

الخطوة 3: حساب قيمة دالة الهدف عند نقطتي التصميم X_i ، X_{i+1} .

الخطوة 4: حساب الفرق في قيمة الدالة من خلال العلاقة الاتية :

$$\Delta E = \Delta f = f_{i+1} - f_i \equiv E_{i+1} - E_i \dots\dots (3-2)$$

اذ ان : E_i أو f_i هي قيمة دالة الهدف عند نقطة التصميم الحالية X_i .

E_{i+1} أو f_{i+1} هي قيمة دالة الهدف عند نقطة التصميم الجديدة X_{i+1} .

الخطوة 5: اختبار قيمة ΔE ، فإذا كانت قيمة ΔE سالبة فهذا يعني قبول النقطة X_{i+1} بوصفها نقطة تصميم جديدة ثم العودة الى الخطوة الثانية، وبالعكس فإذا كانت قيمة ΔE موجبة فسوف يتم اللجوء الى استخدام معيار Metropolis (وهو معيار يتم من خلاله قبول النقطة المولدة او رفضها) والذي يكون وفق المعادلة الاتية :

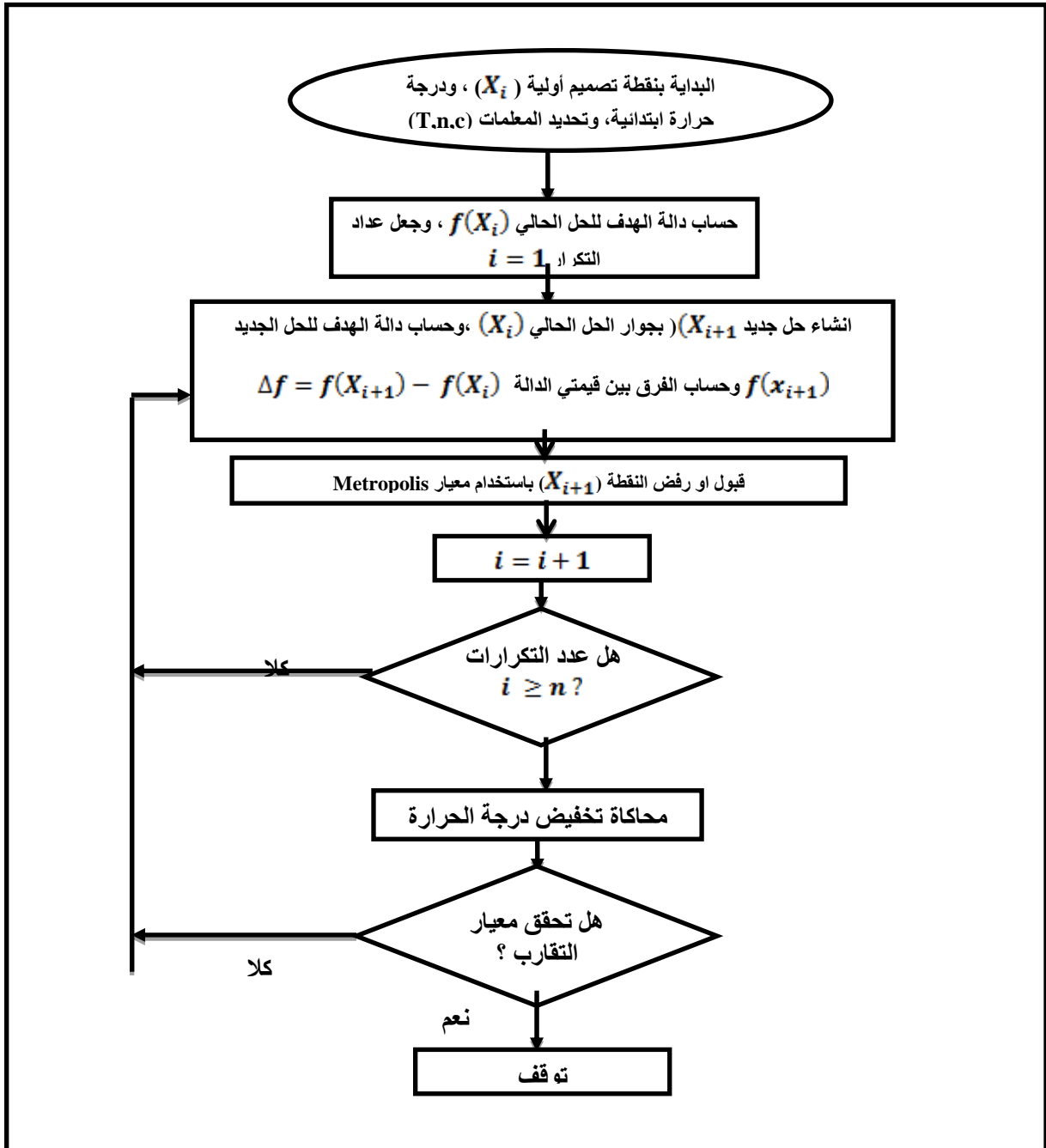
$$P(E_{i+1}) = e^{-\Delta E/KT} \dots\dots (4-2)$$



جدولة عمل المعرضات باستعمال خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة

اذ تقارن قيمة $e^{-\Delta E/KT}$ المحسوبة مع قيمة يتم توليدها عشوائياً عشوائياً ($0 < c < 1$) ، فإذا كانت القيمة المحسوبة اقل من القيمة المولدة عشوائياً فسوف تقبل النقطة X_{i+1} بوصفها نقطة جديدة، والا سوف ترفض النقطة X_{i+1} .

والشكل (1-2) ادناه يوضح المخطط الانسيابي العام لخطوات خوارزمية محاكاة التلدين (SA) كالآتي [14]:



شكل(1-2): المخطط الانسيابي العام لخوارزمية محاكاة التلدين



2-1-4-2 الخوارزمية الجينية (Genetic Algorithm (GA)

في عام 1975 قدم العالم (John Holland) وزملاؤه الخوارزمية الجينية (GA) في جامعة ميشيغان الأمريكية ، والتي تعتمد على المفهوم الطبيعي للتطور وتقتصر ان التنوع يساعد في ضمان بقاء السكان أحياء على الرغم من تغير الظروف [2].

ان فكرة الخوارزمية الجينية تكمن في توليد بعض الحلول للمشكلة عشوائياً ثم تفحص هذه الحلول وتقارن ببعض المعايير التي يصممها مصمم الخوارزمية وأفضل الحلول هي التي تبقى أما الحلول الأقل كفاءة فتهمل عملاً بالقاعدة البيولوجية (البقاء للأصلح)، والخطوة اللاحقة هي مزاجية الحلول المتبقية (الحلول الأكثر كفاءة) لإنتاج حلول جديدة على غرار ما يحصل في الكائنات الحية وذلك بمزج مورثاتها (جيناتها) إذ أن الكائن الجديد الناتج ستكون صفاته عبارة عن مزيج من صفات والديه وهذه الحلول الناتجة من التزاوج تدخل أيضاً تحت الفحص والتنقيح لمعرفة مدى كفاءتها واقترابها من الحل الأمثل، وهكذا تتم عمليات التزاوج والانتقاء حتى تصل العملية الى عدد معين من التكرارات (يقدره مصمم الخوارزمية) أو تصل الحلول الناتجة أو أحدها الى نسبة كفاءة كبيرة. وهكذا فالخوارزميات الجينية تولد بنجاح الفرضيات بواسطة تكرار الطفرة وإعادة تجميع أفضل أجزاء الفرضيات الموجودة. ان الخوارزمية الجينية يمكن أن تعالج أية دالة هدف مع أو بدون قيود سواء أكانت خطية أم لاخطية وفضاء الحل قد يكون ببعد واحد أو أكثر [7].

وتتمثل الخوارزمية الجينية بعدة خطوات التي يمكن ان تتلخص كما يلي:

أولاً: التهيئة (Initialization) [7]

في البداية هنالك العديد من الحلول الفردية هي تتولد عشوائياً على شكل أولي للكروموسومات فهي تعتمد على طبيعة المشكلة ولكن غالباً ما يوجد عدة مئات أو الاف من الحلول الممكنة، بهذا الشكل التقليدي يتم توليد الكروموسومات بشكل عشوائي، فهي تغطي مجموعة كاملة من الحلول الممكنة البحث الفضائي (Search Space) وفي بعض الأحيان فإن هذا الحل قد يكون المنصف في حالة الوصول الى الحل الأمثل (Optimal Solution).

ثانياً: الاختيار (Selection) [7]

ان كل الأجيال المتعاقبة تكون بها نسبة من الكروموسومات الحالية هي المختارة لإنتاج جيل جديد ويتم اختيار هذه الكروموسومات بالاعتماد على دالة الأمثلية حيث تكون نسبة الاختيار بالاعتماد على امثلية الدالة وهناك طريقة أخرى عن طريق اختيار مجموعة عشوائية من الكروموسومات، لكن هذه العملية قد تستغرق وقت طويل جداً.

ثالثاً: الاستنساخ (Reproduction) [7]

هي عملية لتوليد جيل ثاني من الكروموسومات التي تم انتقائها من خلال عملية الاختيار ومن ثم عمل عملية التهجين (crossover) والطفرة (mutation) للإنتاج الأبناء.

رابعاً: عملية التهجين (Process the Crossover) [12]

من خلال الآباء الذين تم اختيارهم من عملية الاختيار يتم تزاوج بين كل اثنين من الآباء لإنتاج طفلين جديدين وهذه العملية تستمر حتى يتم إيجاد مجموعة جديدة من الكروموسومات فضلاً عن مجموعة الآباء، توجد العديد من التقنيات التي تستعمل في عملية التهجين:

A. نقطة تهجين واحدة (Single-Point Crossover) هذه العملية تنتج الجيل القادم من المجتمع (الكروموسومات) التي تختلف عن الجيل الأول، إذ ان جميع البيانات تترتب بالاعتماد على هذه النقطة حيث تحدث عملية تبادل للبيانات بشرط عدم حدوث تكرار.

B. نقطتين تهجين (Two-Point Crossover) في هذه العملية ينتج الجيل القادم من المجتمع (الكروموسومات) اي تختلف عن الجيل الأول، وان جميع البيانات تترتب على هذه النقطتين وتحدث عملية تبادل للبيانات بشرط عدم حدوث تكرار.

C. القطع والوصل (The Crossover Interfaces) إذ ان هذه العملية تعمل على قطع البيانات من منطقة تختلف عن منطقة الكروموسوم الثاني مما يؤدي الى اختلاف في طول الكروموسوم.

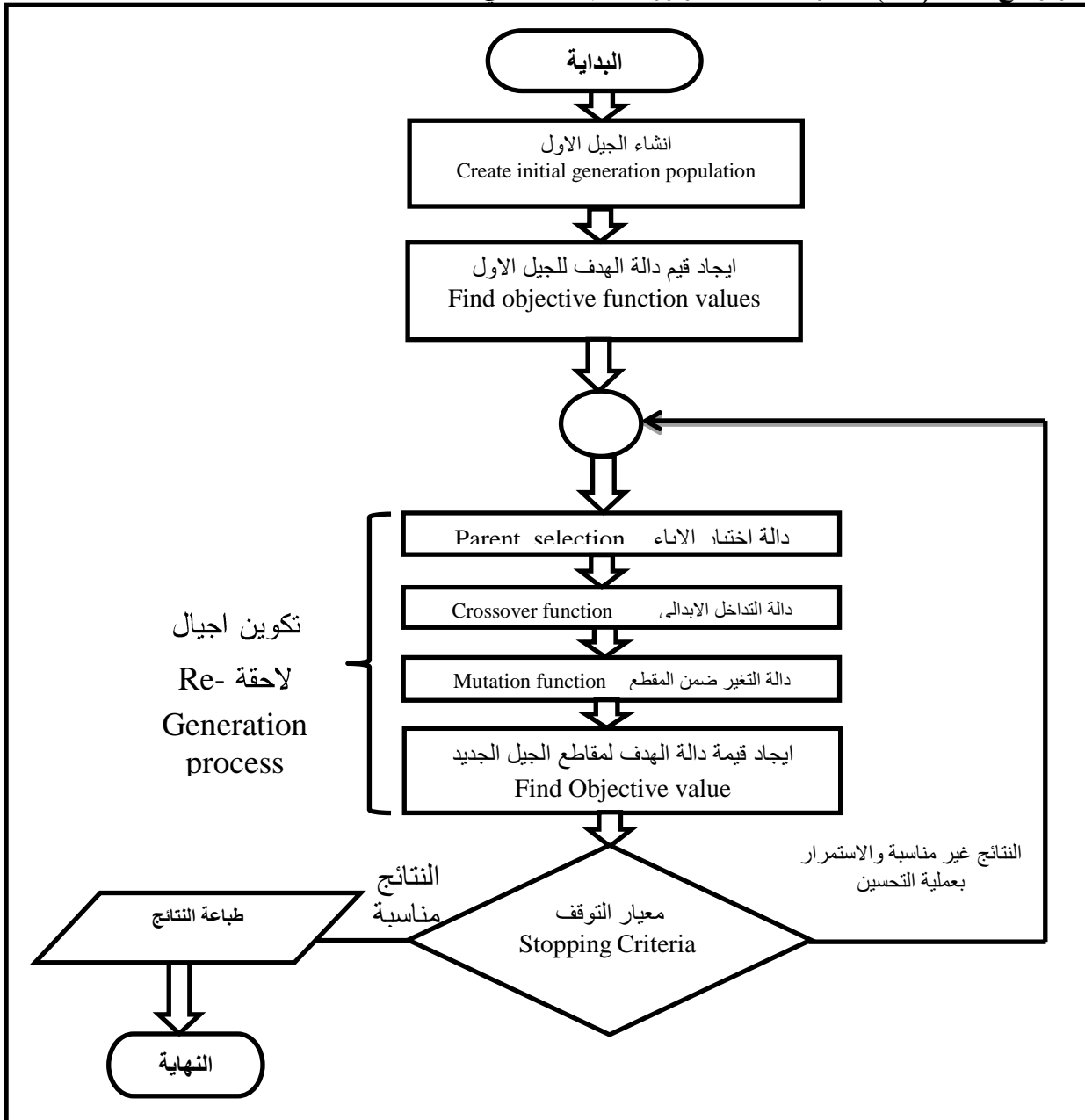


خامساً: الطفرة (Mutation) [13]

هي عملية تغيير مفاجئ في الأبناء الناتجة من عملية التهجين (الدمج) إذ ما تكون تغيير في شكل الكروموسوم عن طريق تغيير أحد مكونات الكروموسوم (بت) (Bit) وتغيير (بت) هذه العملية ليست ناتجة عن الأباء، عملية الاستنساخ في النهاية تؤدي إلى إنتاج الكروموسومات الجديدة فيطبق عليها الدالة الأمثلية للإنتاج أبناء جدد.

سادساً: معيار التوقف (Stopping Criteria) [13]

عملية إيجاد جيل جديد تستمر حتى يحدث أسباب الانتهاء وهي : الوصول إلى الحل الأمثل، الوصول إلى العدد من الأجيال المطلوبة، الوصول إلى قيمة معينة (Budget) مثل حساب (الزمن أو المال)، الوصول إلى (Local Minimum) وعدم المقدرة على الخروج منها، والتخمين باستعمال مجموعة من الأسباب السابقة. ويوضح الشكل (2-2) الخطوات العامة للخوارزمية الجينية كما في ادناه :





البند الثالث/الجانب العملي

1-3 المقدمة (Introduction)

ان الصحة هي اهم المستلزمات البشرية التي يحتاجها الانسان المريض ، وعليه فإن خدمة المريض يجب ان تكون بصورة كافية ومن هذا المنطلق يمكن القول ان جدولة الممرضات (NSP) هي احدى اهم المشاكل التي تواجهها المستشفيات كون عمل التمريض عملاً مستمراً بشكل يومي وعلى مدار الساعة لتقديم الخدمات الصحية اللازمة للمرضى ، وان عمل الممرضين والممرضات يكون بالتناوب للحفاظ على كفاءة كل ممرض وعدم اجهاد الممرضين للعمل لساعات طويلة ، وان هذا العمل التناوبي يكون بتقسيم اوقات اليوم الواحد على الممرضين الذين يعملون ويقدمون الخدمات الصحية في ذلك اليوم فمثلاً كل مستشفى تتبع نظاماً معيناً كأن يكون نظام ذو المناوبتين او نظام ذو الثلاث مناوبات وهذا يتعلق بطبيعة عمل المستشفى والزخم الموجود للمرضى الوافدين للمستشفى ولعدد الممرضين الذين يخدمون اولئك المرضى.

2-3 وصف البيانات (Description of The Data)

ان عدد الممرضين المطلوب في القيد من النوع الاول من القيود الصعبة (Hard Constraints) وعدد ايام المناوبات الصباحية والليلية وعدد ايام العطل في القيود البسيطة (Soft Constraints) يمكن ان ينحصر بالقيم الاتية :

$$MI=[\text{floor}(n*0.20) , \text{ceil}(n*0.50)]$$

$$NI=[\text{floor}(n*0.15) , \text{ceil}(n*0.40)]$$

النسب للفترات الخاصة

بعدد الممرضين

$$MR=[\text{floor}(d*0.25) , \text{ceil}(d*0.50)]$$

$$NR=[\text{floor}(d*0.20) , \text{ceil}(d*0.45)]$$

$$OR=[\text{floor}(d*0.18) , \text{ceil}(d*0.40)]$$

النسب للفترات الخاصة

بعدد الايام

وقبل تطبيق الخوارزميات يمكن الاشارة الى ان جدول العمل الشهري لكل ممرض وكما يلي :
جدول (1.3) : يوضح جدولة العمل الاسبوعي لكل ممرض

Day \ Nurse	1	2	3	4	.....	28
1	m	o	m	n	.....	n
2	n	m	o	n	.....	m
3	m	o	n		.....
⋮	.....	.....	.....	.....	.....	m
n	m	m	n	o	.....	m

وبافتراض ان $X_{ji}=(m,n,o)$

حيث ان الممرض j يعمل المناوبة (Shift) في اليوم i
حيث ان :

morning : m

night : n

off-day : o

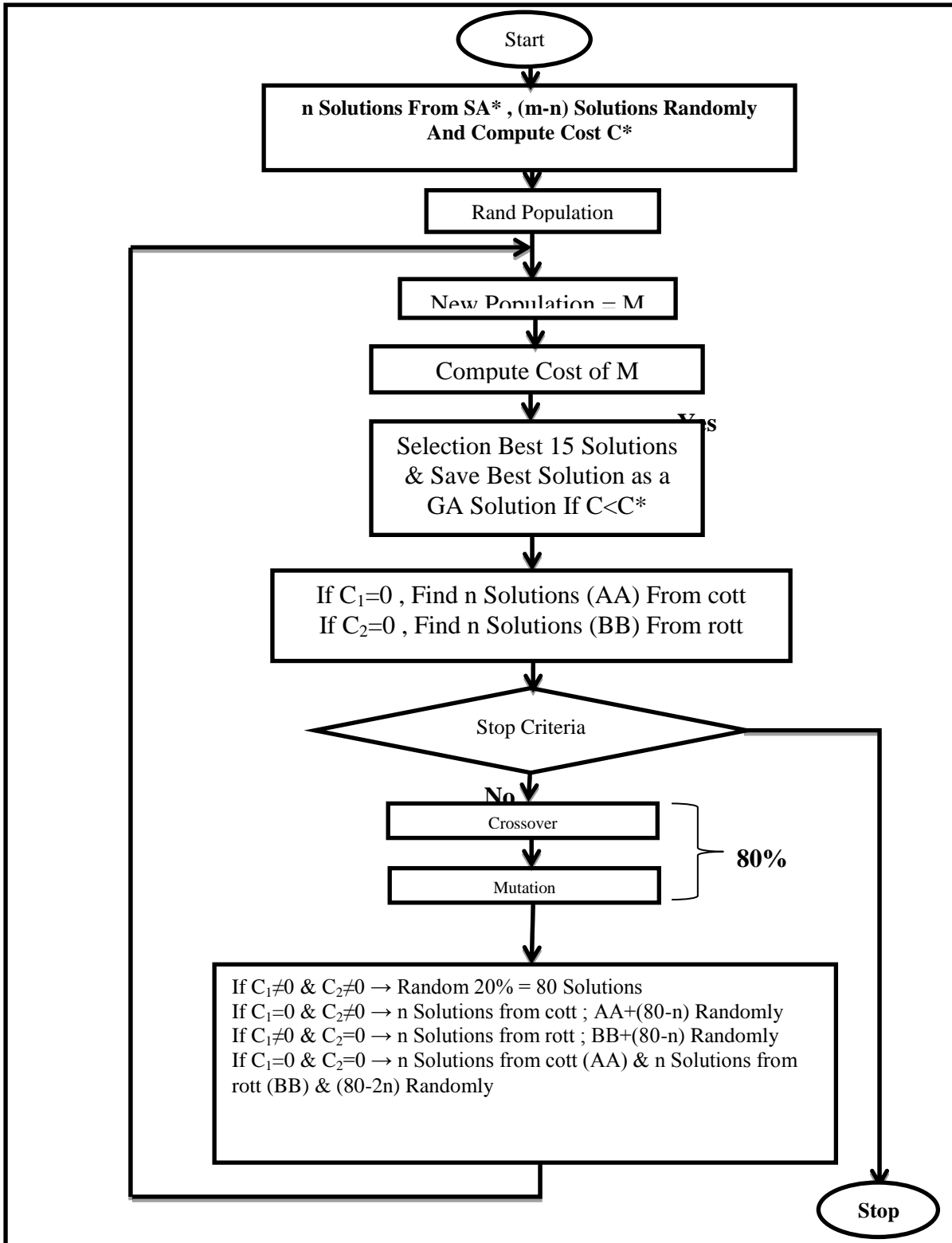


- 3-3 تطبيق خوارزمية محاكاة التلدين المهيمنة على مسألة جدولة عمل الممرضات (NSP) هنالك حالتين سوف نأخذها بنظر الاعتبار من أجل تحسين خوارزمية محاكاة التلدين (SA) والخوارزمية الجينية (GA) وبالتالي دمجهما لتكوين خوارزمية محاكاة التلدين المهيمنة (GS_h) ، فعند عدم الحصول على حل ممكن للمسألة (Infeasible Solution) والذي يعني عدم تحقيق احد القيود الصعبة (اما $c_1 \neq 0$) او $(c_2 \neq 0)$) فسنستعمل مع هاتين الحالتين بشكل خاص ويمكن ان نوضح هاتين الحالتين ادناه :
- الحالة الاولى : التي يكون فيها القيد الصعب من النوع الثاني متحقق ($c_2=0$) ولكن القيد الصعب من النوع الاول غير متحقق ($c_1 \neq 0$) وبهذا يكون الحل غير ممكن (Infeasible Solution) ، ولتلافي هذه الحالة نقوم بتدوير الصفوف (rott) حيث يتم سحب العنصر الاخير(اليوم الاخير) من كل صف(ممرض) ليكون العنصر الاول(اليوم الاول) في ذلك الصف لتكوين صف جديد وبالتالي تجمع جميع الصفوف الناتجة من هذا التدوير لتكوين حل جديد (مصفوفة جديدة) والتحسين عليه على امل تحقيق القيد الصعب من النوع الاول ($c_1=0$) وبالتالي الحصول على حلاً ممكناً .
- الحالة الثانية : التي يكون فيها القيد الصعب من النوع الاول متحقق ($c_1=0$) لكن القيد الصعب من النوع الثاني غير متحقق ($c_2 \neq 0$) وبهذا يكون الحل غير ممكن، ولتلافي هذه الحالة نقوم باختيار ترتيب عشوائية يكون عددها بقدر عدد الممرضين (n) وترتيب الاعمدة (الايام) عليها ويتم ذلك باستخدام (cott) ومن ثم تجمع جميع الصفوف الناتجة من هذا التدوير لتكوين حل جديد (مصفوفة جديدة) والتحسين عليه على امل تحقيق القيد الصعب من النوع الثاني ($c_2=0$) والحصول على حلاً ممكناً .
- وان خطوات الخوارزمية المهيمنة (GS_h) هي كالآتي :
- 1- البيانات الاولية (Initial Data): وهي التهيئة لتوليد مصفوفات عشوائية بأبعاد تتمثل بعدد الممرضين او الممرضات وعدد الايام ($n*d$) وتحديد معلمات الخوارزمية الجينية كالآتي:
 - حجم المجتمع (Population Size) = 500
 - عدد الدورات (Number of Iterations) = 50
 - شرط التوقف (Stop Condition): هنا يتمثل شرط توقف الخوارزمية في الحصول على الحل الامثل ، اي عندما تكون قيمة دالة الكلفة ($f_i = 0$) ، او اكمال عدد الدورات = 50 دورة.
 - 2- توليد مجتمع يحوي على (500) حلاً ، حيث يكون (n) من هذه الحلول متولدة عن طريق خوارزمية محاكاة التلدين (SA) وبقية الحلول تكون متولدة عشوائياً ، وبالتالي حساب قيمة دالة الكلفة بحسب المعادلة (2-2) المعرفة مسبقاً ، واختيار حل يكون الحل الحالي .
 - 3- اختيار افضل الحلول (Selection): حيث نختار افضل 15 من الحلول بالنسبة لقيمة دالة الكلفة (f) حسب المعادلة (2-2) المعرفة مسبقاً .
 - 4- المقارنة (Comparison): نقارن الحل الحالي مع افضل (15) من الحلول في الخطوة السابقة ، ونختار اقلهما من حيث قيمة دالة الكلفة (f) ليكون الحل الحالي .
 - 5- اذا تحقق شرط التوقف يكون الحل النهائي هو الحل الحالي ، اما اذا لم يتحقق شرط التوقف نذهب الى الخطوة اللاحقة .
 - 6- التداخل الابدالي (Crossover) : لإجراء التداخل الابدالي (Crossover) بين الحلول(المصفوفات) المختارة في الخطوة رقم (3) والتي تسمى الاباء (Parents) ، هنالك عدة طرق لانتاج حلول جديدة تسمى الابناء (Offspring) ، وفي هذا العمل تم اختيار الطريقة (Two Point Crossover) .
 - 7- الطفرة (Mutation) : يتم اجراء تغيير للمصفوفات الناتجة (Offspring) من الخطوة رقم (6) بحيث يتم ابدال عنصرين عشوائيين احدهما بالآخر في كل مصفوفة .
 - 8- نقوم باضافة طول اخرى الى الحلول البالغ عددها (420)، ويكون عدد الحلول المضافة كما يأتي:
 - اما (n) من الحلول الناتجة من الدالة (rott).
 - او (n) من الحلول الناتجة من الدالة (cott).
 - او y_1 من SA* حيث ان : $y_1 = \left(\frac{\max(n)}{\min(n)} \right)$ ، أي نختار افضل y_1 من بين الحلول في الخطوة (3).
 - او اضافة $(n+y_1)$ أو $(2n+y_1)$.
 - 9- اختيار المجتمع الجديد ليكون هو المجتمع الحالي ثم نذهب الى الخطوة رقم (3) وهكذا .



جدولة عمل المعرفات باستعمال خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة

ويمكن تلخيص هذه الخطوات العملية للخوارزمية المهجنة من خلال الشكل (1-3) الآتي :





جدولة عمل الممرضات باستعمال خوارزمية محاكاة التلدين المهيجنة

الشكل (1-3): الخطوات العملية لخوارزمية محاكاة التلدين المهيجنة (GS_h) في حل مسألة (NSP)
جدول (1.3) : يبين تفاصيل النظام المستخدم في تنفيذ الخوارزميات

Name	Type
Operating System	Windows 10
Programing Language	MATLAB 2016 b
C.P.U	Core i5 2.5 GHZ
RAM	12 GB

ويمكن ان نعرض نتائج تنفيذ الخوارزميات من خلال جدول 4 ممرضين وكما في الجدول الاتي:
جدول(2,3): يوضح نتائج عدد المسائل (المحلولة،الافضل،المتلى) ومعدل الكلفة ومعدل الوقت المستغرق
لجدولة 4 ممرضين خلال (7,14,21,28) أيام

Method	Days	Nurses	Examples	Solved	Best	Optimal	Cost Average	Time Average
GA	7	4	100	100	100	100	0	0.162400656
GA*	7	4	100	100	100	100	0	0.158405268
SA	7	4	100	89	64	64	0.820224719	0.271189016
SA*	7	4	100	94	84	84	0.574468085	0.657977109
GS_H	7	4	100	100	100	100	0	0.227689956
GA	14	4	100	100	97	97	0.07	0.385216604
GA*	14	4	100	100	99	99	0.03	0.35158664
SA	14	4	100	95	69	69	0.957894737	0.54654263
SA*	14	4	100	95	83	83	0.505263158	1.449967947
GS_H	14	4	100	100	100	100	0	0.594124447
GA	21	4	100	100	95	95	0.19	0.736552138
GA*	21	4	100	100	91	91	0.19	0.768032816
SA	21	4	100	56	53	53	0.142857143	0.468462771
SA*	21	4	100	58	57	57	0.034482759	1.17380692
GS_H	21	4	100	100	100	100	0	0.829887018
GA	28	4	100	100	96	96	0.05	1.102350635
GA*	28	4	100	100	91	91	0.16	1.156790362
SA	28	4	100	9	6	6	1.222222222	1.287696907
SA*	28	4	100	9	7	7	0.444444444	2.683263933
GS_H	28	4	100	100	100	100	0	0.978720827



البند الرابع

الاستنتاجات والتوصيات

1-4 الإستنتاجات (Conclusions)

1. إن اعتماد مسألة جدولة عمل الممرضات في المجال الصحي يُعد امراً بالغ الأهمية لما تسهم في تقليل الكلفة الاجمالية للدوائر الصحية .
2. إن استخدام مسألة جدولة عمل الممرضات تُسهم في تحقيق اهداف المستشفى من جهة وتحقيق تفضيلات ورغبات الممرضين من جهة أخرى .
3. إن نسب الحصول على الحل الامثل لجميع المسائل البالغ عددها (2000) مسألة هي (77%) بأستعمال خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة (GS_h) وهي النسبة الاعلى في الحصول على الحلول المثلى من بين جميع الخوارزميات التي تم تطبيقها في هذا البحث، أما خوارزمية محاكاة التلدين التقليدية (SA) فقد حصلت على نسبة (28.75%) بينما نالت خوارزمية محاكاة التلدين المحسنة (SA*) على نسبة (35.7%)، أما الخوارزمية الجينية الاعتيادية فقد نالت على نسبة (26.25%) بينما حصلت الخوارزمية الجينية المحسنة (GA*) على نسبة (45.6%) .
4. إن تطبيق مسألة جدولة عمل الممرضات على مستشفى كمال السامرائي يؤدي الى تنظيم عمل الممرضين على المناوبات الصباحية والليلية وكذلك على العطل ، وبذلك تتحقق الجدولة التي تضمن العدالة بين فريق العمل الصحي الواحد وحسب القيود الصعبة والقيود البسيطة التي تخضع لها المسألة .
5. إن تطبيق خوارزمية محاكاة التلدين المهجنة المقترحة (GS_h) ادى الى تحسين الجدولة بشكل ملحوظ ويمكن ملاحظة ذلك من خلال نتائج التجارب العددية حيث نلاحظ ان الخوارزمية المقترحة حققت اكبر عدد من المسائل المحلولة وبمتوسط كلفة اقل مايمكن اذا ما تم مقارنتها بخوارزمية محاكاة التلدين (SA) والخوارزمية الجينية (GA)، واذا ما قورنت ايضاً بخوارزمية محاكاة التلدين المحسنة (SA*) وخوارزمية الجينية المحسنة (GA*) .

2-4 التوصيات (Devises & Future Studies)

1. دراسة مسائل أمثلية مركبة أخرى مثل مسألة اعادة جدولة المركبة (Vehicle rescheduling problem) ومسألة توجيه المركبة (Vehicle routing problem) ومسألة تعبئة بن (Bin packing problem) ومسألة البائع المتجول (TSP) وبناء خوارزميات حدسية لحل مثل هكذا مسائل.
2. أستعمال مسألة جدولة الممرضات في مجال اوسع من المستشفيات والمراكز الصحية لما لها من أثر بالغ في تقليل المخالفات وتسريع عملية انجاز الخدمات الصحية.
3. دمج خوارزمية محاكاة التلدين مع خوارزميات أخرى لتشكيل خوارزمية مهجنة من اجل حل مسألة جدولة عمل الممرضات.



المصادر

- 1- البدراني ، مها محمد. (2007). استخدام الخوارزمية الجينية في تطابق أنماط الحرف الإنكليزي. مجلة التربية والعلم - المجلد (19) العدد(4) ، (ص ص.84-99).
- 2- ثابت ، همسة معن. (2005)، "بعض تطبيقات الخوارزمية الجينية في حل مسائل الامثلية"، رسالة ماجستير كلية علوم الحاسبات والرياضيات ، جامعة الموصل .
- 3- Alharbi, A., & AlQahtani, A. (2016). Genetic Algorithm Solution for the Doctor Scheduling Problem. The Tenth International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences.(pp.91-97)
- 4- Aickelin, Uwe and Dowsland, Kathryn (2000). Exploiting problem structure in a genetic algorithm approach to a nurse rostering problem'. Journal of Scheduling, 3 (3) .(pp. 139-153).
- 5- De Abreu, N. M. M., Querido, T. M., & Boaventura- Netto, P. O. (1999). Redinv-SA: la simulated annealing for the quadratic assignment problem. RAIRO- Operations Research, 33(3), (pp.249-273).
- 6- Fonseca, C. M., & Fleming, P. J. (1995). An overview of evolutionary algorithms in multio bjective optimization. Evolutionary computation, 3(1), (pp.1-16).
- 7- Goldberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning,. Reading: Addison-Wesley.
- 8- Jafari, H., & Salmasi, N. (2015). Maximizing the nurses' preferences in nurse scheduling problem: mathematical modeling and a meta-heuristic algorithm. Journal of Industrial Engineering International, 11(3), (pp.439-458).
- 9- Ko, Y. W., Kim, D., Jeong, M., Jeon, W., Uhm, S., & Kim, J. (2013). An efficient method for nurse scheduling problem using simulated annealing. In The 5th International Conference on Advanced Science and Technology, AST (Vol. 20, pp. 82-85).
- 10- Kundu, S., Mahato, M., Mahanty, B., & Acharyya, S. (2008). Comparative performance of simulated annealing and genetic algorithm in solving nurse scheduling problem. In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (Vol. 1, pp. 96-100).



- 11- Maenhout, B., & Vanhoucke, M. (2008). Comparison and hybridization of crossover operators for the nurse scheduling problem. *Annals of Operations Research*, 159(1), (pp.333-353).
- 12- Melanie, M. (1999). *An introduction to genetic algorithms*. Cambridge, Massachusetts London, England, Fifth printing.
- 13- Peter F., Hartmut P., Carlos F. (2004) . *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox For Use With Matlab. , Version 1, COPYRIGHT by The MathWorks, Inc.2004.*
- 14- Rao, S. S., & Rao, S. S. (2009). *Engineering optimization: theory and practice*. John Wiley & Sons.
- 15- Tseng, L. Y., & Liang, S. C. (2006). A hybrid metaheuristic for the quadratic assignment problem. *Computational Optimization and Applications*, 34(1), (pp.85-113).



Nurse Scheduling Problem Using Hybrid Simulated Annealing Algorithm

Abstract

Nurse scheduling problem is one of combinatorial optimization problems and it is one of NP-Hard problems which is difficult to be solved as optimal solution. In this paper, we had created an proposed algorithm which it is hybrid simulated annealing algorithm to solve nurse scheduling problem, developed the simulated annealing algorithm and Genetic algorithm. We can note that the proposed algorithm (Hybrid simulated Annealing Algorithm(GS-h)) is the best method among other methods which it is used in this paper because it satisfied minimum average of the total cost and maximum number of Solved , Best and Optimal problems. So we can note that the ratios of the optimal solution are 77% for the proposed algorithm(GS-h), 28.75% for Simulated annealing algorithm (SA), 35.7% for Improved Simulated annealing (SA*), 26.25% for Genetic algorithm (GA) and 45.6% for Improved Genetic algorithm for all problems (2000 problems).

Keywords/ Nurse scheduling problem, Simulated annealing algorithm, Genetic algorithm.