

حل مشكلة تحميل الآلات في نظم التصنيع المرنة اعتماداً على الخوارزميات الجينية

م. وفاء صالح *

(تاريخ الإيداع 2020/ 9/17. قُبِلَ للنشر في 2020/11/26)

□ ملخص □

نظام التصنيع المرن هو تركيب متكامل من الآلات التي يتم التحكم بها رقمياً (Computer Numerical Control: CNC)، وبعض معدات الإنتاج المساعدة ونظام معالجة مصمم لإنتاج مجموعة واسعة من المنتجات عالية الجودة ذات حجم منخفض إلى متوسط بأسعار منخفضة في نفس الوقت. عدم توازن النظام هو مجموع الزمن الذي تكون فيه الآلة غير مستخدمة وزمن الاستخدام الزائد لجميع الآلات في النظام. تعد مهمة تحميل آلة في نظام تصنيع مرن واحدة من أهم مهام تخطيط الإنتاج، لأنها يمكن أن تؤثر بشكل كبير على أداء نظام التصنيع هذا. ترتبط مهمة تحميل آلة على وجه الخصوص بتوزيع الوظائف على أجهزة مختلفة ومع قيود تكنولوجية لتحقيق متطلبات أداء معينة. تم في هذا البحث اقتراح خوارزمية تعتمد على الخوارزمية الجينية من أجل دراسة حالتها عدم توازن النظام وإنتاجية النظام بحيث يتم إيجاد حل أمثل في كل من الحالتين.

الكلمات المفتاحية: الخوارزميات الجينية (GA)، نظام التصنيع المرن (flexible manufacturing system:FMS)، عدم توازن النظام، مهمة تحميل الآلة (Machine loading problem :MLP)، التحكم الرقمي بالحاسب (CNC).

* مشرف على الأعمال في قسم هندسة الحاسبات و التحكم الآلي – كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية – جامعة تشرين – سوريا

Solving the problem of machines loading in flexible manufacturing systems depending on Genetic Algorithm(GA)

Eng. Wafa Saleh *

(Received 17/9/2020. Accepted 26/ 11/2020)

□ ABSTRACT □

Flexible manufacturing system is an integrated installation of Computer Numerical Control: CNC machines, some auxiliary production equipment and a processing system designed to produce a wide range of high quality products of low to medium size at low prices at the same time. System imbalance is the sum of the time during which a machine is unused and the time during which a machine is overused for all machines in the system. The task of loading a machine in a flexible manufacturing system is one of the most important tasks of production planning since it can greatly affect the performance of that manufacturing system. The task of loading a machine in particular is related to the distribution of jobs over different machines with technological limitations to fulfill certain performance requirements. In this paper, an algorithm based on genetic algorithm(GA) has been proposed in order to study two states: system imbalance and system productivity. The purpose is to find an optimal solution in each of the two cases.

Keywords: Genetic Algorithms(GA), Flexible Manufacturing System(FMS), system imbalance, Machine loading problem :MLP, Computer Numerical Control: CNC

* Supervisor, Computer and automatic control engineering department, Tishreen University

1. مقدمة

نظام التصنيع المرن هو تركيب متكامل من الآلات التي يتم التحكم بها رقمياً (CNC) وبعض معدات الإنتاج المساعدة ونظام معالجة مصمم لإنتاج مجموعة واسعة من المنتجات عالية الجودة ذات حجم منخفض إلى متوسط بأسعار منخفضة في نفس الوقت [1]. يمكن أن يوفر النظام (FMS) فوائد لمصانع الإنتاج، على الرغم من أن تركيبه يمكن أن يكون معقدًا نسبيًا بسبب درجات الحرية الإضافية المرتبطة بالمرونة. المزايا التي يمكن الحصول عليها عن طريق تركيب نظام FMS: هو زيادة معدل استخدام الآلات، وتقليل عدد الآلات، وتقليل المساحة المطلوبة في المصنع، وزيادة الاستجابة للتغيرات في الطلب، وتقليل متطلبات المخزون، وتقليل وقت الإنتاج، وزيادة إنتاجية العمل، وتوفير فرص الإنتاج الآلي، وما إلى ذلك [2]. بشكل عام، يمكن أن تُعزى القرارات التشغيلية في FMS إلى القرارات قبل وبعد الإصدار. الحلول الأولية، التي تسمى أيضًا تخطيط مهام ال FMS تأخذ بعين الاعتبار التخطيط الأولي للأجزاء والأدوات قبل بدء عملية FMS. تتعلق الحلول اللاحقة، والتي تسمى أيضًا تخطيط مهام FMS، بتسلسل وتوجيه الأجزاء عند تشغيل النظام. أما الحلول الأولية، فهي: تجميع الآلة، واختيار نوع الجزء، وتحديد علاقة الإنتاج، ومهام تخصيص الموارد والتحميل يجب حلها عند إعداد FMS.

يعتبر تحميل الآلة في نظام (FMS) أحد أهم مهام تخطيط الإنتاج، حيث يمكن أن يؤثر بشكل كبير على أداء نظام التصنيع المرن (FMS). ترتبط مهمة تحميل آلة، على وجه الخصوص، بتوزيع الوظائف على أجهزة مختلفة ومع قيود تكنولوجية لتلبية مؤشرات أداء معينة.

يمكن تقسيم مهمة تحميل الآلة في نظم التصنيع المرنة (MLP) إلى خمس مهام فرعية [3]:

(1) تجميع الآلة.

(2) اختيار نوع الجزء.

(3) تحديد سرعة الإنتاج.

(4) توزيع الموارد.

(5) تحميل الجهاز.

قد يكون من المستحيل صياغة كل هذه المشاكل في نموذج رياضي واحد لأن هذا سيؤدي إلى نموذج رياضي معقد إلى حد ما يصعب الحصول على حل له في فترة زمنية معقولة. دفعت هذه الحقيقة باحثين مختلفين إلى تطوير مناهج لحل كل مهمة فرعية على حدة. من وجهة نظر إدارية، يمكن أن يؤثر حل مشكلة تحميل الآلة على حل العديد من المشاكل.

حدد [3] [Stecke] ستة أهداف عند تحميل FMS:

(1) موازنة وقت المعالجة للآلة.

(2) التقليل من عدد الحركات.

(3) موازنة عبء العمل لكل آلة من الآلات المجمع ذات الأحجام المتساوية.

(4) عدم توازن عبء العمل لكل آلة من الآلات المجمع ذات الأحجام غير المتساوية.

(5) تعبئة مخازن أدوات القطع بأكبر عدد ممكن من الأدوات.

(6) زيادة مجموع أولويات العمليات.

2. أهداف البحث

يهدف البحث إلى تحسين كفاءة تصنيع المنتجات الهندسية في أنظمة التصنيع المرنة من خلال تحسين تحميل الآلات و ذلك من خلال ما يلي.

- (1) إعطاء تحليل لبنية نظم التصنيع المرنة.
- (2) تحليل طرق تحسين مسألة التحميل.
- (3) تطوير خوارزمية لتحسين التحميل.
- (4) تنفيذ الخوارزمية.

إن معايير الأمثلية بالنسبة للحلول المقترحة هي على الشكل التالي

- 1) بالنسبة لعدم التوازن في النظام: تحسين وقت تشغيل الآلات من أجل تقليل عطالة الآلة والاستخدام الزائد ، بما لا يتجاوز عدد أدوات القطع المتاحة في الآلات.
- 2) بالنسبة للإنتاجية: إنتاج أكبر عدد من الأجزاء بحيث لا يتجاوز عدد أدوات القطع المتاحة في الآلات.

3. أهمية البحث

تكمن أهمية البحث في حقيقة أن الآلات هي المحور الرئيسي لأي نظام إنتاج، وعند حل مشكلة تحميل الآلات، سيكون نظام الإنتاج هذا أمثلياً و يعطي النتائج المرجوة. هذا الإجراء ضروري لتحقيق أنظمة إنتاج تنافسية وتلبية الاحتياجات المتزايدة للسوق والتكيف مع متغيرات بيئة العمل. أدى تضخم الصناعات، وزيادة عدد الآلات التي تحتاجها الشركات، والمنافسة العالية في السوق التجاري والحاجة إلى الاستثمار الأمثل للموارد لتحقيق الفوائد الأكثر ربحية، إلى الحاجة لإيجاد حلول لمشكلة تحميل الآلات والتي تحد من الإنتاج.

4. الدراسات المرجعية

تسمح الدراسة التي أجراها Ammons و Lofgren و McGinnis بمهمة تحميل آلة في نظام التصنيع المرن MLP وذلك بأخذ هدفين بعين الاعتبار: موازنة العمل وتقليل عدد الحركات بين محطات العمل [4]. درس Chan, Abhary و Kazerooni المشاكل التشغيلية لنظام التصنيع المرن (FMS) من خلال النمذجة وقاموا بتقييم مجموعات مختلفة من قواعد التخطيط باستخدام نظام دعم قرار ضبابي متكامل [5]. قدم Chan و Chan دراسة محاكاة لتقييم كفاءة نظام التصنيع المرن (FMS) من حيث الاستخدام ومتوسط زمن التدفق ومتوسط زمن الاستجابة في المخازن المؤقتة المحلية ومتوسط استخدام الآلات مع مراعاة استراتيجيات التحكم المختلفة التي تتضمن مرونة التوجيه وقواعد الجدولة [6]. قام كل من Chan و Chung و Chan و Finke و Tiwari بدراسة محدودة صيانة الآلات في تخطيط أنظمة التصنيع المرنة الموزعة حيث قاموا في وقت واحد بحل سؤالين حول الخوارزمية الجينية مع الجين السائد: توزيع الأعمال في المعامل المناسبة وتعريف تخطيط الإنتاج في كل مصنع [7]. Mahapatra و Biswas اقترحوا طريقة تحسين معتمدة على خوارزمية الأسراب لحل مسألة التحميل في نظام التصنيع المرن العشوائي حيث كان التابع الهدف في الدراسة تقليل عدم توازن

النظام[8]. طور أيضاً Biswas و Mahapatra خوارزمية أسراب معدلة لحل مسألة التحميل في نظم التصنيع المرنة MLP التي تم البحث فيها في [8][9]. Prakash وآخرون طوروا خوارزمية تعتمد على خوارزمية مستعمرة النمل لمعالجة فضاء الحل المعقد [10، 11]. قام Prakash، و Chan، و Deshmukh بدراسة مهمة التخطيط في التصنيع السريع باستخدام الخوارزمية الجينية القائمة على المعرفة[12].

تم حل مشكلة اختيار الترتيب الأمثل لمعالجة مجموعة من الأجزاء على آلتين (مشكلة Bellman - Johnson)، التي أرست الأسس لنظرية الجداول الزمنية[14]. في نظرية الجدولة الحديثة، كقاعدة، تم اعتبار موقف مثل توافر الدفعة (الحمزة) بأكملها من الأجزاء المراد معالجتها حتى قبل بدء المعالجة[15،16]. هذا هو ما يسمى معالجة الدفعات. من الناحية العملية، يتم تنفيذ مثل هذا الوضع من أجزاء المعالجة، على سبيل المثال، باستخدام صندوق تخزين خاص عند دخل نظام الآلة، ويتم تغذيته بمعدات تكنولوجية منتجة وبالتالي يكون هناك باستمرار دفعة جاهزة. تم اقتراح أسلوب لاختيار ترتيب المعالجة الأمثل للأجزاء التي تدخل النظام في الزمن الحقيقي[17]. هذا الأسلوب هو تعميم للأسلوب المقترح سابقاً لحل مشكلة مشابهة لنظام معالجة الدفعات، والذي يتميز باستخدام أدوات خاصة (منطق القيمة اللانهائية والمحددات المنطقية) للحصول على وصف واضح للمشكلات عالية الأبعاد [18،19]. تم اقتراح حل مشكلة التخطيط الأمثل لعملية الإنتاج باستخدام شبكة بتري ملونة يتم التحكم فيها بواسطة خوارزمية جينية[20]. تم استخدام الخوارزمية الجينية لتحديد العلامات الأولية لمواقع التحكم في الشبكة. تم التعبير عن تحسين عملية الإنتاج في تقليل وقت الإنتاج. تم النظر في حل مشكلة تحميل معدات فريدة باستخدام الخوارزمية الجينية[21]. تبين أن المشكلة غير ثابتة، حيث تم استخدام خوارزمية جينية مختلطة غير ثابتة لحل هذه المسألة. تم عرض منهجية لتحسين الحمل وتأثيره على القدرات الإنتاجية، مع الأخذ في الاعتبار مجموعة من المعايير التي تميز الشركات العاملة في المعادن[22]. تم عرض مهمة الجدولة على شكل مخطط موزون يحتاج إلى توجيه، وكانت التوابع الهدف هي كل من الزمن المناسب لإكمال الخطة والحمل على معدات العملية. كطريقة فعالة لحل مشاكل الإنتاج هذه، تم استخدام خوارزمية مستعمرات النمل، والتي تحل تماماً المشكلات واسعة النطاق والمشكلات التي يتم تمثيلها بشكل مخطط. في المرحلة الأولية، في عملية إنشاء الخرائط التكنولوجية، لغرض التحسين الأولي، تم إجراء التجميع وفقاً لنوع وتسلسل العمليات التكنولوجية على الأجزاء. لتلبية احتياجات الإنتاج المرنة والسريع التغيير، تم إدخال مصفوفة من الأجزاء ذات الأولوية. في الخطوة التالية، تم حساب خطة التحميل المثلى وتم إظهار الحلول التي تم إنشاؤها على شكل جداول و مخطط موجه ومخطط Gantt.

قدمت التوصيات التي تمت مناقشتها أعلاه معلومات حول مهمة تحميل نظم التصنيع المرنة MLP وقدمت العديد من الحلول لمعالجة هذا الموضوع. كما هو موضح أعلاه، فإن FMS عبارة عن مجموعة من آلات CNC المرنة المتصلة بنظام معالجة المواد المؤتمت الذي يعمل تحت تحكم جهاز حاسب مركزي. وبالتالي، فإن نظام التصنيع المرنة عادة ما يكون وحدة إنتاج باهظة الثمن، وبالتالي فإن إدارته أمر بالغ الأهمية بحيث يستخدم بالشكل المطلوب و بحيث تكون مخاطر الاستثمار منخفضة. إن أحد الجوانب الهامة للاستخدام الفعال لنظام التصنيع المرنة (FMS) هو تقليل تكلفة أزمة عطالة الآلة و تكلفة الاستخدام الزائد للآلة. تم حساب هذه الأزمنة في هذا البحث، بالإضافة إلى ذلك، فإن أسلوب الحل المقترح في هذا البحث يأخذ بعين الاعتبار العديد من البارامترات الحقيقية بما في ذلك استطاعة الآلة وحجم الدفعة وزمن المعالجة وتكاليف المعالجة والأدوات المطلوبة و سعة علبة الأدوات التي تحوي القطع التي تدخل في الإنتاج.

5. طرائق البحث ومواده

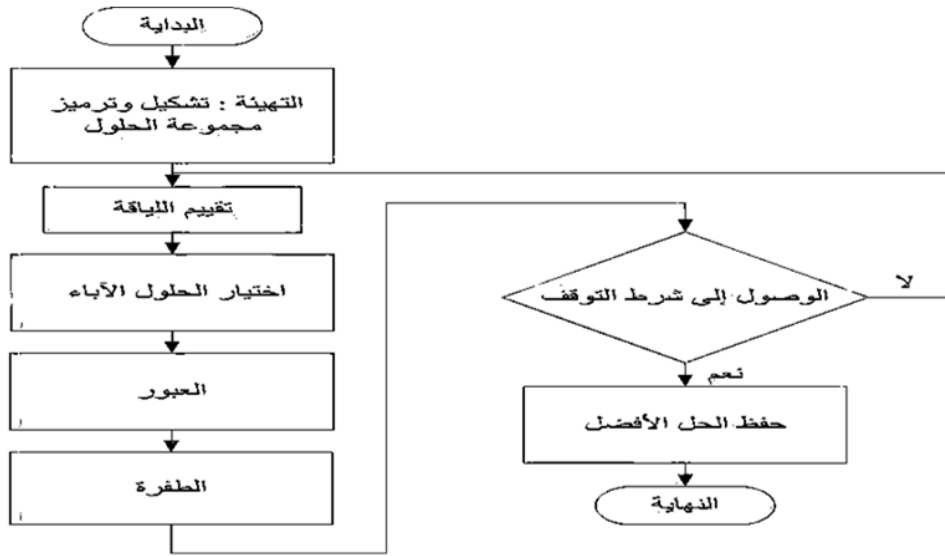
5.1 الخوارزمية الجينية

الخوارزمية الجينية هي طريقة ذكاء اصطناعي تعتمد على مبادئ التطور الطبيعي [13]. القانون الأساسي للتطور الطبيعي هو أن البقاء دائمًا للأفضل. تقتصر التطبيقات في هذا القسم على إيجاد أفضل حل للمشكلة. على سبيل المثال، إذا أراد ممثل شركة زيارة 20 مدينة مختلفة باستخدام سيارة، مع الأخذ بعين الاعتبار تقليل وقت السفر وعدد الكيلومترات المقطوعة، فسواجه مشكلة رياضية صعبة. هذه مهمة كلاسيكية تعرف باسم "مهمة البائع المتجول". ولكن حل هذه المشكلة وغيرها من المشكلات المشابهة أو الأكثر تعقيدًا يتم باستخدام GA. تقوم فلسفة الخوارزميات الجينية على توليد عدد كبير من الحلول الممكنة للمشكلة المطروحة. ثم يتم تقييم كل حل من هذه الحلول. توفر الحلول الأفضل خيارات أكثر لإنشاء حلول أخرى، في حين أن فرص تضاعف الحلول السيئة أقل. بتكرار هذه العملية، تتطور جودة الحلول المقترحة و تقترب من الحل الأمثل. إذا تم تطبيق GA بشكل صحيح، تكون فعالة للغاية في حل المشكلات المعقدة وغالبًا ما تكون قادرة على حلها. من نواح عديدة، يمكن نمذجة نظرية التطور. أهم شيء في هذه الطريقة هو ربط المشكلة التي يجب حلها بالخوارزميات الجينية. يتم هذا الربط من خلال عنصرين رئيسيين:

(1) الترميز

(2) تابع التقييم

قد يختلف الترميز من مسألة إلى أخرى، ولكن عادة ما يتم استخدام سلسلة من الأرقام الثنائية. على سبيل المثال، إذا كانت حلول مشكلة معينة صحيحة وتتراوح بين صفر و 15، فيمكن تشفيرها باستخدام أرقام ثنائية مثل 0000، 1010، 1110. بنفس الطريقة، يمكن ترميز أرقام موجبة أو سالبة. تسمى مجموعة الأرقام هذه بالكروموسومات. كل كروموسوم هو حل ممكن للمشكلة. يعتبر تابع التقييم مهم للغاية وهو الرابط الرئيسي بين المشكلة والخوارزمية الجينية. يأخذ هذا القسم في الاعتبار كل كروموسوم ويقيم مدى أدائه في حل المشكلة عن طريق تحديد قيمة معينة. كلما زادت القيمة، زادت كفاءة الكروموسوم. يُسمى هذا عادةً "تابع اللياقة". وبالتالي، من المرجح أن تستمر الكروموسومات ذات اللياقة الأكبر لأنها أكثر فائدة في حل المشكلة. بتكرار هذه الخطوات، تصبح الكروموسومات أكثر كفاءة. بعد تشغيل الخوارزميات إلى أعلى مستوى من الملاءمة، يتم إيجاد الحلول الجيدة للمشكلة التي تحتاج إلى حل. الرسم التخطيطي للخوارزمية الجينية المقترحة موضح في الشكل 1.



الشكل 1 - رسم تخطيطي للخوارزمية الجينية

يتألف المخطط في الشكل 1 مما يلي:

- (1) **التهيئة:** نقطة البداية هي دائماً توليد مجموعة الحلول الأولية من خلال توليد عدد كبير من الكروموسومات (الحلول) بشكل عشوائي. على سبيل المثال انتاج 100 كروموسوم. تحصل أفضل الكروموسومات على فرصة التزاوج والتكاثر والبقاء، وبالتالي الحصول 100 كروموسوم جديد والتخلص من الكروموسومات القديمة. وهكذا ينشأ جيل جديد أكثر ملاءمة من الجيل السابق له. على مدى أجيال، تصل ملاءمة الكروموسومات إلى مستوى عال.
- (2) **تقييم اللياقة:** يتم تقييم اللياقة من خلال تابع رياضي يعطي قيمة تعكس مدى لياقة الكروموسوم. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الخوارزميات الجينية ترتبط بالمشكلة التي يتم حلها من خلال تابع التقييم. وبالتالي، يمكن استخدام الخوارزميات الجينية لحل عدد كبير من المشاكل دون تعديل أي من أجزائها باستثناء تابع التقييم.
- (3) **اختيار الحلول الآباء:** تبدأ عملية الاكثار الجينية باختيار الكروموسومات الآباء ويكون المقياس الوحيد في هذا الاختيار هو تقييم اللياقة. وبالرغم من أن عملية الاختيار عشوائية، إلا أن فرص اختيار الكروموسوم ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمدى لياقته، ويتم اختيار أفضل الكروموسومات من وجهة نظر تقييم اللياقة لتوليد خيارات جديدة عدة مرات، بينما لا يمكن اختيار الكروموسوم الضعيف (ذو اللياقة المنخفضة) على الإطلاق .
- (4) **العبور:** إنها العملية التي تجسد عملية الإنجاب. بعد اختيار "سلسلتي" الوالدين، تتبادل أجزاء من الكروموسومات الجينات فيما بينها. تكون نقطة التبادل عشوائية تماماً، على سبيل المثال، أن يأخذ الكروموسوم الأول آخر 3 بتات من الكروموسوم الثاني وإعطاءه 3 بتات من سلسلته.
- (5) **الطفرة:** في هذه العملية يخضع كروموسوم جديد لتغيير عشوائي مفاجئ في جيناته. هذه العملية مهمة لأنها تضيف بعض الخصائص الجديدة التي قد لا توجد لدى الآباء لأنها توفر البحث عن حل شامل أمثل، بمعنى آخر: يتم استخدام طفرة للحفاظ على التنوع الجيني بين الأجيال. لكن هذا يحدث فقط بنسبة صغيرة جداً (من 0.5% إلى 1%) ، لأنه إذا زادت هذه النسبة، تصبح الخوارزمية الجينية مجرد خوارزمية بحث عشوائية.

5.2 الرموز المستخدمة في النموذج المقترح

من أجل إثبات النموذج المقترح يتم استخدام الرموز التالية:

J : عدد الأجزاء

M : عدد الآلات

O_j : عدد العمليات للجزء J

j : فهرس الجزء حيث أن $1 \leq j \leq J$

m : فهرس الآلة $1 \leq m \leq M$

o : فهرس العملية $1 \leq o \leq O_j$

$B(j, o)$: مجموعة من الآلات يمكن أن تنفذ عملية o على الجزء J

البارامترات:

T_m : الزمن المتاح على الآلة m

c_m : كلفة عطالة الآلة m

c'_m : تكلفة العمل الإضافي للآلة m

b_j : حجم دفعة العمل للجزء J

t_{jom} : زمن المعالجة للعملية o من الجزء J على الآلة m

S_m : عدد الأدوات المتوفرة في الآلة رقم m

S_{jom} : عدد الأدوات المطلوبة لإنجاز العملية o من الجزء J على الآلة m

U_m : الزمن الذي لا تكون فيه الآلة في الاستخدام

O_m : زمن الاستهلاك الزائد على الآلة m

x_{jom} : قيمته 1 إذا تم تخصيص العملية o للجزء J على الآلة m وصفر فيما عدا ذلك

y_j : تكون قيمته 1 فقط عندما يتم اختيار الجزء J و صفر فيما عدا ذلك

5.3 النموذج الرياضي

5.3.1 عدم توازن النظام

يؤثر حل مشكلة تحميل الآلات MLP في نظام التصنيع المرن على كمية الحمل على آلات مختلفة.

بما أن كل آلة لها سعة زمنية محدودة يمكن أن يؤدي حل MLP إلى عدم العمل (قلة الاستخدام) أو التحميل

الزائد الإضافي (الاستخدام المفرط) للآلة وفي الحالتين تزداد تكاليف الإنتاج في النظام. التابع الهدف للنموذج

المقترح هو تقليل التكاليف المرتبطة بزمن عدم الاستخدام (الزمن غير المستغل) و زمن الاستخدام الزائد.

إذا كانت c_m و c'_m هما تكاليف عدم الاستخدام و الاستخدام الزائد على الآلة m لوحدة زمنية، على

التوالي. يمكن أن يتم التعبير عن التابع الهدف بالمعادلة رقم (1):

$$\text{Min} \left(\sum_{m=1}^M c_m U_m + \sum_{m=1}^M c'_m O_m \right) \quad (1)$$

يتم تحديد قيود النموذج المقترح كما يلي:

(1) يُسمح بالتحميل الزائد والتحميل الخفيف للآلات. يمكن التعبير عن هذا كما في المعادلة (2):

$$\sum_{j=1}^J \sum_{o=1}^{O_j} b_j t_{jom} x_{jom} + U_m - O_m = T_m, \quad \forall m = 1, \dots, M \quad (2)$$

(2) يجب أن يكون عدد أدوات القطع المطلوبة لعمليات الأجزاء التي يتم إجراؤها على الآلة دائماً أقل من أو

يساوي عدد أدوات القطع المتاحة على هذه الآلة. يمكن التعبير عن هذا كما في المعادلة (3):

$$\sum_{j=1}^J \sum_{o=1}^{O_j} s_{jom} x_{jom} \leq S_m, \quad \forall m = 1, \dots, M \quad (3)$$

(3) بمجرد تحديد جزء j ، يجب أن يتم تنفيذ كل عملية في هذا الجزء بواسطة آلة واحدة فقط.

يمكن التعبير عن هذا بالمعادلة رقم (4):

$$\sum_{m \in B(j,o)} x_{jom} = y_j, \quad \forall j \in 1, \dots, J, \quad \forall o \in 1, \dots, O_j \quad (4)$$

(4) متحولات القرار ذات قيم ثنائية:

$$x_{jom} = 0, 1 \quad y_j = 0, 1$$

(5) الأزمنة غير المستغلة والمستخدمة بشكل زائد غير سلبية:

$$U_m, O_m \geq 0$$

يمكن أن يتم إرفاق قيم كل من الكلف c_m و c'_m في التابع الهدف بأوزان من أجل تصغير المجموع الموزون لهذه الكلف.

المتغير ذو القيمة إما 0 أو 1 في النموذج المقترح يعقد الحصول على حل شامل مثالي لهذه المشكلة في حالات الحجم الحقيقي. لذلك تم اقتراح الخوارزمية الجينية GA لحل المسألة المفروضة.

5.3.2 الإنتاجية

تم تصميم نموذج رياضي يعطي أكبر عدد من الأجزاء المنتجة مع الحفاظ على نفس القيود. يمكن التعبير عن تابع الهدف رياضياً بالمعادلة رقم (5):

$$\text{Max} \left(\sum_{j=1}^J b_j \cdot y_j \right) \quad (5)$$

نظراً لأن القيود لم تتغير، يمكن استخدام نفس الخوارزمية الجينية في كلتا الحالتين السابقتين (حالة دراسة عدم التوازن و حالة الانتاجية). فقط يتم تغيير تابع اللياقة. هذا ما تمت مناقشته لاحقاً في هذا البحث.

5.4 تحليل و تصميم النموذج

من أجل ترميز حلول مشكلة تحميل الآلات MLP في نظام التصنيع المرن من خلال الكروموسوم، تم ترميز خطط العمليات لكل جزء. خطط العملية هي فرص لإكمال عملية ما باستخدام آلات مختلفة. على سبيل المثال، تظهر مجموعة من خطط العملية للجزء 2 في مثال توضيحي في الجدول 2. بالنسبة إلى MLP، يتم تمثيل كل حل بواسطة كروموسوم به عدد l من الجينات، أي يتم أخذ جين واحد في الاعتبار لكل جزء. يوضح الجدول 3 مخطط التمثيل المقترح لكل كروموسوم. في هذا المخطط، يحتوي كل جين على قيمة من 0 إلى $s[j]$ ، حيث أن $s[j]$ هو عدد خطط

العمليات لكل جزء J . تشير القيمة الصفريّة في الجين إلى أن الجزء J لم يتم اختياره، وتعرض قيمة أخرى خطة العملية التي تم اختيارها للجزء المقابل. على سبيل المثال في المثال التوضيحي في الجدول 1 و الذي فيه خطط المعالجة 1، 2، 2، 1، 2، 6، 9، 6 للأجزاء من 1 إلى 8 فإن الكروموسوم النموذجي المناسب هو كما في الجدول 4. يشير هذا الكروموسوم أن الجزء 1 يجب أن تتم معالجته في خطة المعالجة 1 و الجزء 3 يجب أن يعالج تبعاً للخطة 2 و هكذا. يحتوي هذا الكروموسوم على الجزء 2 ولم يتم اختياره للمعالجة.

الجدول 1 مثال توضيحي ل MLP

الجزء	حجم الدفعة	رقم العملية	وقت معالجة العملية (دقيقة)	رقم أداة القطع المطلوبة	رقم الآلة
1	8	1	18	1	3
2	9	1	25,25	1,1	1,4
		2	24	1	4
		3	22	1	2
3	13	1	26,26	2,2	4,1
		2	11	3	3
4	6	1	14	1	3
		2	19	1	4
5	9	1	22,22	2,2	2,3
		2	25	1	2
6	10	1	16	1	4
		2	7,7,7	1,1,1	4,2,3
		3	21,21	1,1	2,1
7	12	1	19,19,19	1,1,1	3,2,4
		2	13,13,13	1,1,1	2,3,1
		3	23	3	4
8	13	1	25,25,25	1,1,1	1,2,3
		2	7,7	1,1	2,1
		3	24	3	1

الجدول 2 - مثال يوضح خطط العملية للجزء 2

خطط العملية	الآلة المستخدمة للعملية 1	الآلة المستخدمة للعملية 2	الآلة المستخدمة للعملية 3
1	1	4	2
2	4	4	2

الجدول 3 - تمثيل الحلول في الخوارزمية المقترحة

0-s[1]	0-s[2]	-----	0-s[J]
--------	--------	-------	--------

الجدول 4 الكروموسوم النموذجي

1	0	2	1	1	5	0	3
---	---	---	---	---	---	---	---

5.4.1 تابع اللياقة

يتم حساب قيمة تابع اللياقة لكل كروموسوم في مجموعة الحلول بناءً على جدوى و جودة هذا الكروموسوم. الإجراءات المستخدم لحساب قيمة اللياقة يستبعد الحلول السيئة. يتم الحصول على قيمة اللياقة لكروموسوم s على النحو التالي:

$$\text{fit}(S) = DC(S) + a(S)$$

حيث تشير $DC(S)$ إلى قيمة عدم توازن النظام بالنسبة للكروموسوم S ، بينما $a(S)$ هي عقوبة للحلول غير المجدية، والتي يتم تعريفها على النحو التالي:

$$a(S) = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum_{j=1}^J \sum_{o=1}^{O_j} S_{jom} X_{jom} \leq S_m, \quad \forall m \in 1, \dots, M \\ N & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

حيث N قيمة موجبة كبيرة. تتيح القيمة الإيجابية الكبيرة نسبياً لـ N للخوارزمية المقترحة إمكانية عزل الحلول غير المجدية. $N = 1000$ للخوارزمية المقترحة.

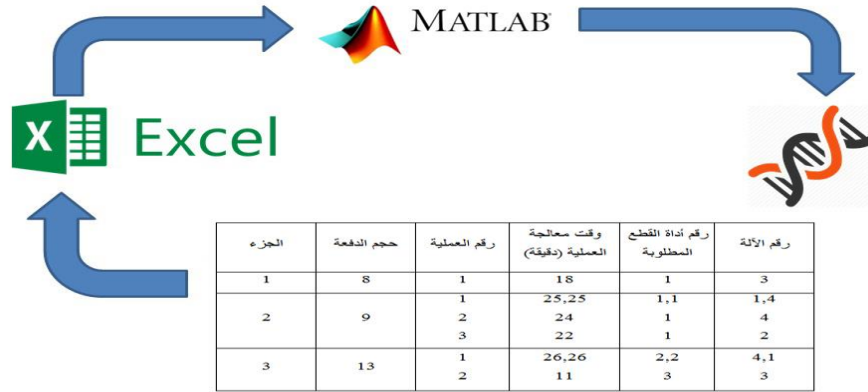
5.4.2 عملية الاختيار

تعتبر عملية الاختيار العملية الأهم و الأساس في الخوارزميات الجينية و هي العملية التي تقرر تطور المسار في الخوارزمية. الهدف الأساسي من استخدام عملية الاختيار في GA هو اختيار مجموعة من الحلول ذات قيمة معدل لياقة أعلى و نسخ المزيد من هذه الحلول ضمن مجموعة الاقتران. تم في الماضي اقتراح و مقارنة العديد من أساليب الاختيار. تم في هذا البحث استخدام كل من أسلوب الاختيار (Tournament و Elite preservation) حيث تقوم الخوارزمية باختيار اثنين من الكروموسومات و تقيس اللياقة لكل منهما. من بين هذين الكروموسومين، الكروموسوم ذو قيمة تابع اللياقة الأقل يتم استبداله بالآخر. تستمر هذه العملية حتى نحصل على عدد من الكروموسومات يساوي حجم مجموعة الحلول. يتم أخيراً استبدال الكروموسومات الأسوأ في مجموعة الحلول التي تم تجميعها بالنخب التي تم اختيارها حتى الآن.

وهذا ما يسمى طريقة الحفاظ على النخبة، والتي تحافظ على أفضل الحلول ضمن مجموعة الحلول. هذا يضمن بقاء أفضل الكروموسومات في المجموعة للأجيال القادمة.

6. دراسة الخوارزمية المقترحة

تمت كتابة الخوارزمية الجينية للنموذج المقترح باستخدام لغة البرمجة MATLAB، حيث أن المعطيات المصدرية التي استخدمت في التجارب تم تخزينها في ملف Excel ثم تمت قراءة هذا الملف عن طريق برنامج MATLAB. تم تطبيق الخوارزمية الجينية على المعطيات من أجل الحصول على نتائج أمثلية. يظهر الشكل 2 العملية السابقة:

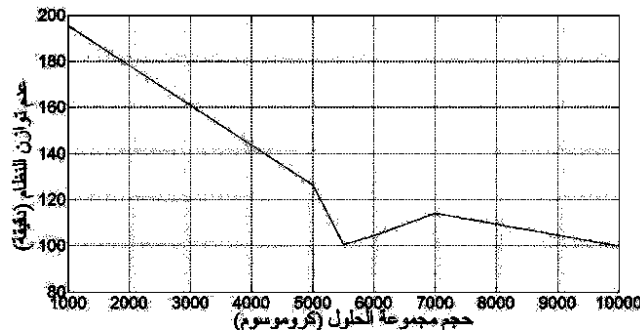


الشكل 2 طريقة عمل البرنامج المستخدم في هذا العمل

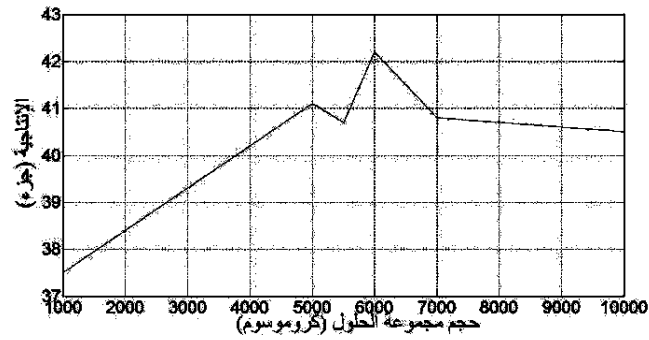
تمت كتابة كود الخوارزمية الجينية باستخدام MATLAB R2014a على حاسب محمول بمعالج 2.4 جيجا هرتز و ذاكرة بسعة 2 جيجا بايت.

6.1 حجم مجموعة الحلول

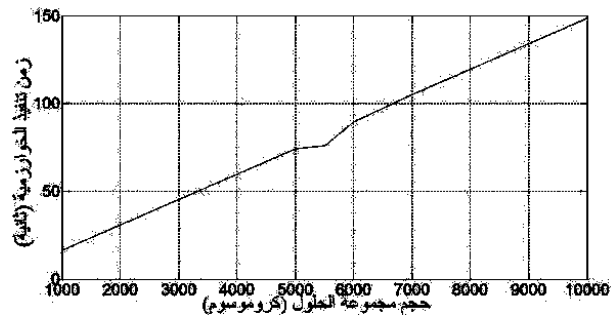
من أجل تحديد حجم مجموعة الحلول تم تثبيت البارامترات الباقية وهي نسبة العبور و نقاط العبور و عدد الأجيال و نسبة الطفرة الجينية. تم تطبيق الخوارزميات الجينية على المهمة الموجودة في الجدول 1 من أجل عدة قيم لحجم مجموعة الحلول ثم تم تكرار المحاكاة 10 مرات و تم استخراج القيم المتوسطة من أجل الحصول على النتيجة الأفضل. في هذه المهمة، تم الحساب من أجل زمن عمل متاح لكل آلة قيمته 480 دقيقة و الذي يكافئ 8 ساعات أو مناوبة واحدة و عدد أماكن توضع أدوات القطع المتوفر في كل آلة هو 5.



الشكل 3 التغير في عدم توازن النظام مع تغير حجم مجموعة الحلول



الشكل 4 التغير في الإنتاجية مع تغير حجم مجموعة الحلول



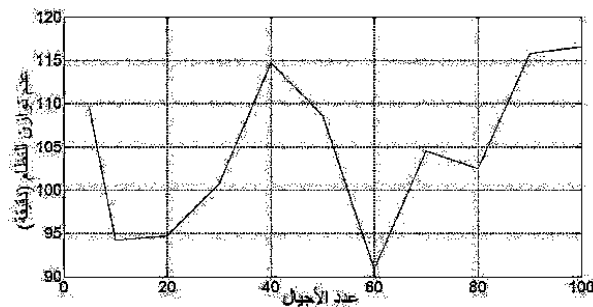
الشكل 5 التغير في زمن تنفيذ الخوارزمية مع تغير حجم مجموعة الحلول

تظهر الأشكال 2,3,4 النتائج التي تم الحصول عليها. وهكذا فإن الحل الأفضل يتم الحصول عليه عندما يكون تعداد مجموعة الحلول 5500 لأن قيمة الملاءمة منخفضة و بنفس الوقت فإن التعداد ليس ضخماً جداً كما هي الحالة في قيمة 10000. من أجل جعل الحجم عاماً أكثر، تم ربطه مع عدد حلول المسألة مع الأخذ بعين الاعتبار أن عدد الحلول هنا يساوي 52,920 حل و بالتالي فإن حجم مجموعة الحلول يساوي عدد الحلول مقسوماً على 10.

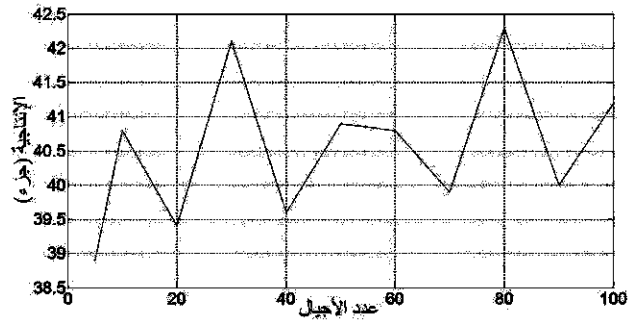
6.2 عدد الأجيال

من أجل إيجاد العدد الأمثل للأجيال، تم اتباع نفس الأسلوب السابق و هو تثبيت البارامترات البقية و إجراء المحاكاة.

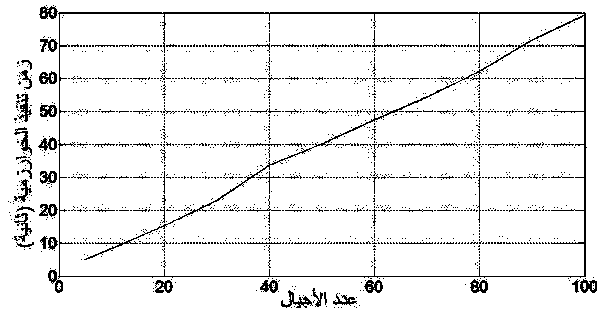
تظهر الأشكال 5,6,7 النتائج التي تم الحصول عليها. وهكذا فإن العدد الأمثل للأجيال هو عدد الأجيال المطابق للقيمة الأقل من عدم توازن النظام للحل الأفضل و بالتالي عدد الأجيال هو 60.



الشكل 6 التغير في عدم توازن النظام مع تغير عدد الأجيال



الشكل 7 التغير في الإنتاجية مع تغير عدد الأجيال

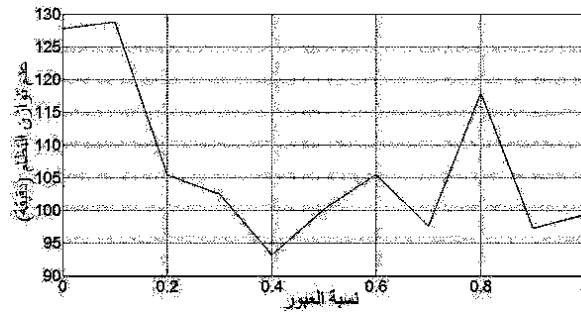


الشكل 8 التغير في زمن تنفيذ الخوارزمية مع تغير عدد الأجيال

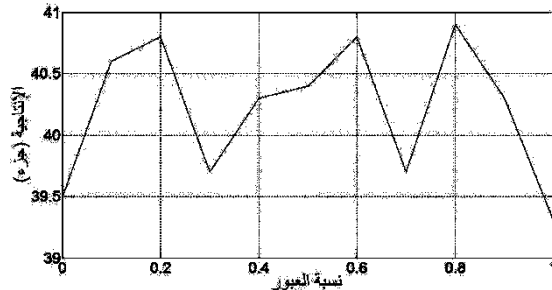
من الملاحظ من خلال الأشكال السابقة 6,7,8 أن عدد الأجيال التي يتم من أجلها تنفيذ الخوارزمية الجينية يؤثر على عدم توازن النظام وعلى تغير الإنتاجية و أيضاً على زمن تنفيذ الخوارزمية.

6.3 نسبة العبور

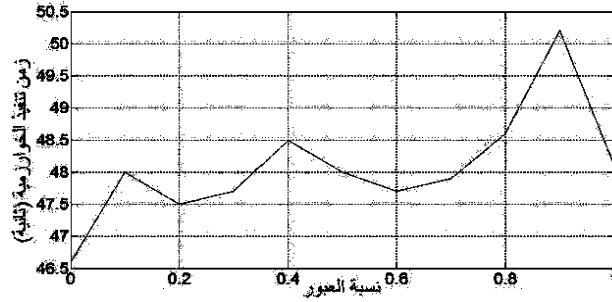
تظهر الأشكال النتائج التي تم الحصول عليها. نسبة العبور الأمثلية التي تم الحصول عليها هي 0.4



الشكل 9 التغير في عدم توازن النظام مع تغير نسبة العبور



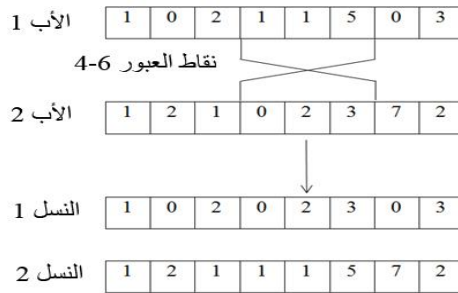
الشكل 10 التغير في الإنتاجية مع تغير في نسبة العبور



الشكل 11 التغير في زمن تنفيذ الخوارزمية مع تغير نسبة العبور

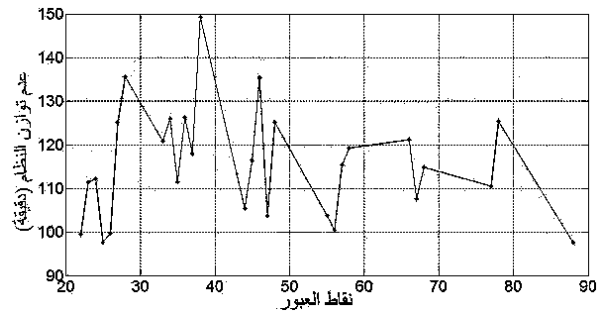
6.4 نقاط العبور

في الشكل 11 تظهر عملية العبور في نقاط العبور

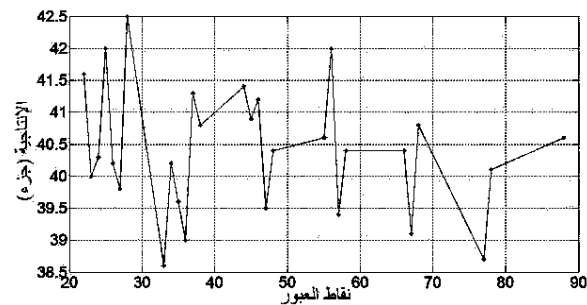


الشكل 11 مثال توضيحي عن عملية العبور

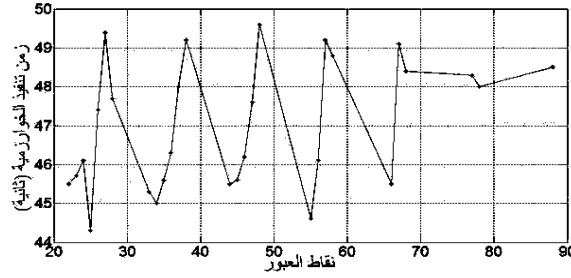
كما في السابق، تم إظهار النتائج في الأشكال 12 و 13 و 14 وبالتالي نقاط العبور الأمثلية هي 8-8



الشكل 12 تغير عدم توازن النظام مع تغير نقاط العبور



الشكل 13 تغير الإنتاجية مع تغير نقاط العبور

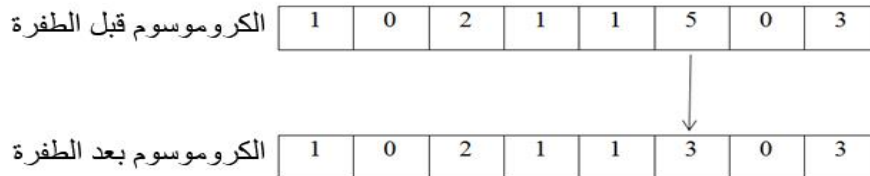


الشكل 14 تغير زمن تنفيذ الخوارزمية مع تغير نقاط العبور

يمكن القول هنا بأن البارامترات السابقة الموضحة في الأشكال يمكن أن تتغير عند تغيير نقطة العبور ولكن ليس الهدف من الدراسة هو دراسة تأثير ذلك. لذلك تم الاكتفاء بتسجيل النتائج عند نقطة عبور واحدة فقط.

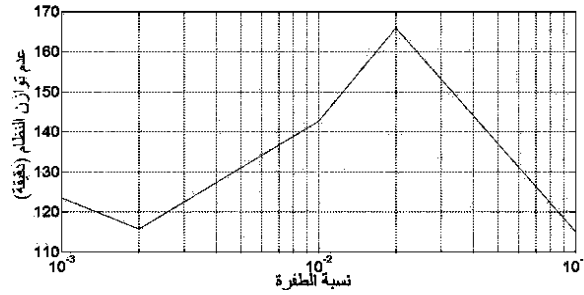
6.5 نسبة الطفرة الجينية

الشكل 17 يظهر عملية الطفرة الجينية

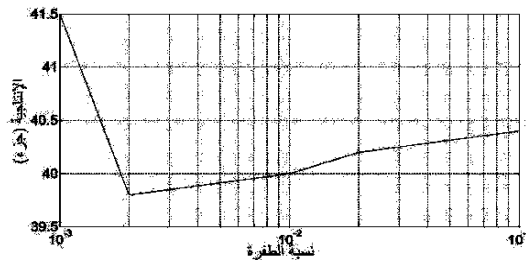


الشكل 15 عملية الطفرة الجينية

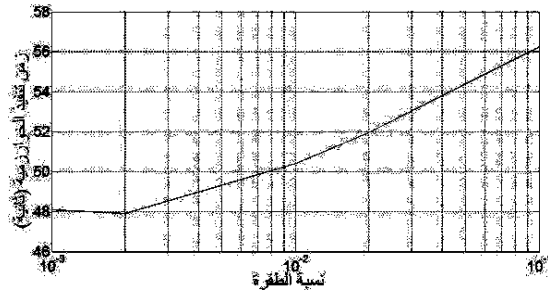
الأشكال 16, 17, 18 يظهر النتائج التي تم الحصول عليها. وبالتالي فإن نسبة الطفرة الجينية هي 0.002 وذلك لأنه عندما كانت نسبة الطفرة 0.1 فإن ملائمة الجيل لم تتحسن بل أصبحت أسوأ حيث أن الخوارزمية أصبحت خوارزمية بحث عشوائي.



الشكل 16 تغير عدم توازن النظام مع تغير نسبة الطفرة الجينية



الشكل 17 تغير الإنتاجية مع تغير نسبة الطفرة الجينية

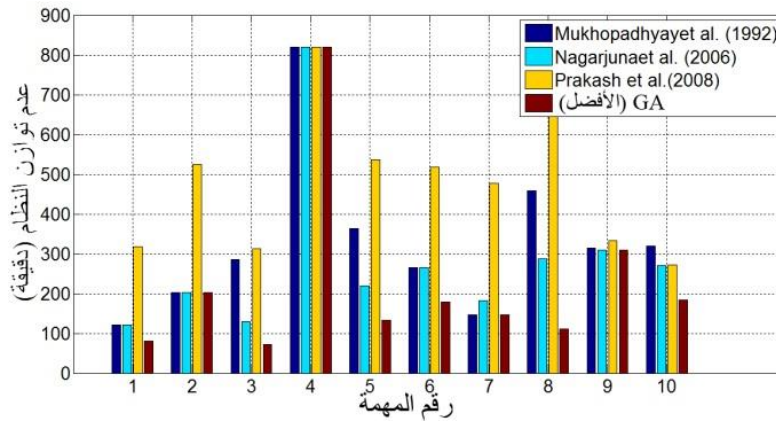


الشكل 18 تغير زمن تنفيذ الخوارزمية مع تغير نسبة الطفرة الجينية

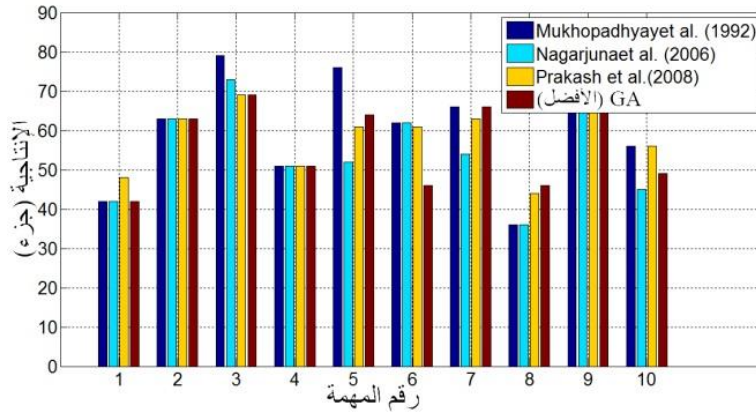
6.6 عدم توازن النظام

تم تقييم فعالية النموذج المقترح اعتماداً على بعض المهام المرجعية التي تم اعتمادها من قبل Mukhopadhyay وآخرون في العام 1992 حيث أن المعطيات المصدرية متوفرة لكل من هذه المهام. تمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام GA مع نتائج الخوارزميات الثلاثة المتوفرة في الدراسات المرجعية. وهذه الخوارزميات هي Modified Immune Algorithm (MIA) التي تم عرضها من قبل Prakash وآخرون في العام 2008 و heuristic approach المقترح من قبل Mukhopadhyay وآخرون في العام 1992 و multi-stage programming approach المقترحة من قبل Nagarjuna في العام 2006. تم تطبيق الخوارزمية الجينية إلى كل مسألة 10 مرات و من ثم تم اختيار الحل الأفضل من بين الحلول الـ 10 التي تم الحصول عليها.

تظهر الأشكال 19، 20 النتائج التي تم الحصول عليها. إن قيمة عدم توازن النظام التي تم الحصول عليها كنتيجة للنموذج المقترح أصغر من القيم التي تم الحصول عليها في الأساليب الأخرى أي أن النموذج المقترح يقوم بتحسين النظام.



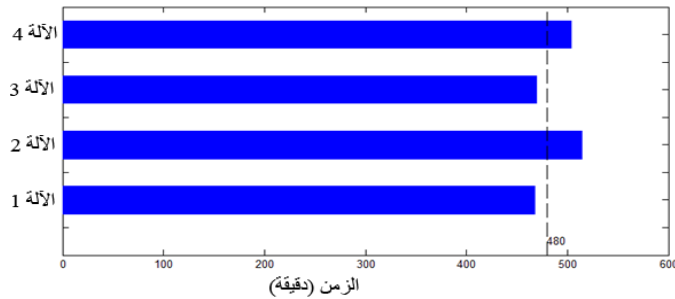
الشكل 19 مقارنة النتائج من ناحية عدم توازن النظام



الشكل 20 مقارنة النتائج من ناحية الإنتاجية

يظهر الشكل 21 مثال توضيحي عن عمل الآلات في الحل الأمثل من أجل عدم توازن النظام للمهمة

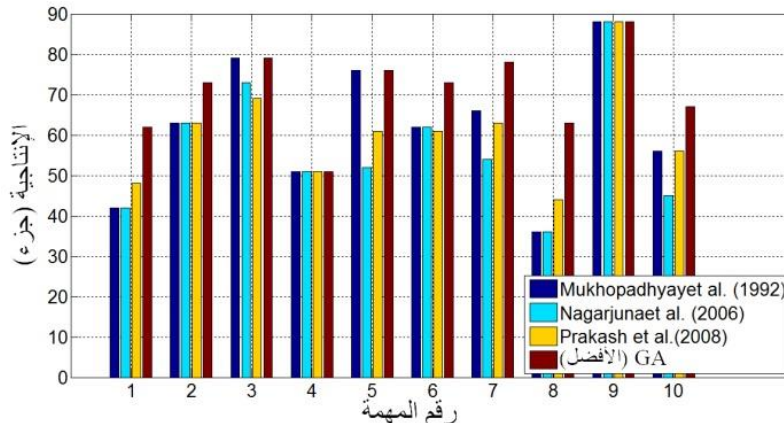
رقم 1.



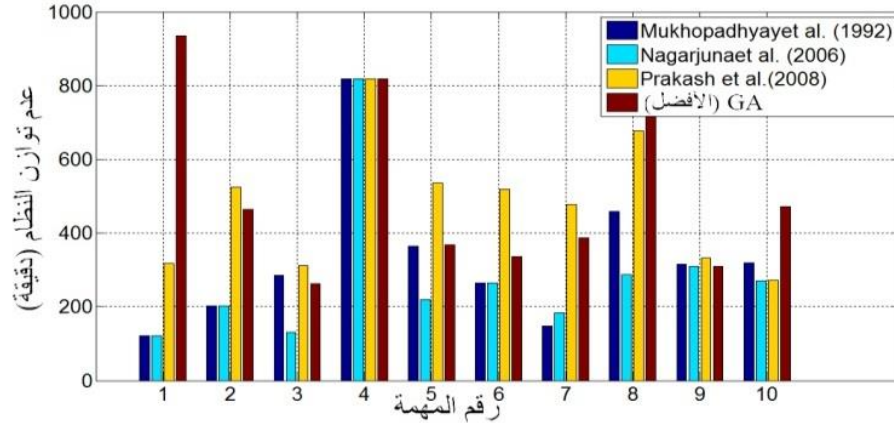
الشكل 21 الحل الأمثل لعدم توازن النظام من أجل المهمة رقم 1

6.7 الإنتاجية

تم تطبيق نفس الخوارزمية الجينية مع تغيير تابع اللياقة بما يتناسب مع النموذج الرياضي للإنتاجية و تم تنفيذ نفس المهام و من ثم المقارنة مع نتائج حلول أخرى موجودة في الدراسات المرجعية. تم تطبيق الخوارزمية الجينية لكل مسألة 10 مرات ثم تم اختيار الحل الأفضل من بين 10 حلول تم الحصول عليها. الأشكال 22، 23 تظهر النتائج التي تم الحصول عليها. إن قيمة الإنتاجية التي تم الحصول عليها كنتيجة للنموذج المقترح هي الأعلى بين كل القيم التي تم الحصول عليها كنتيجة لاستخدام أساليب متنوعة. أي أن النموذج المقترح يقوم بتحسين النظام.

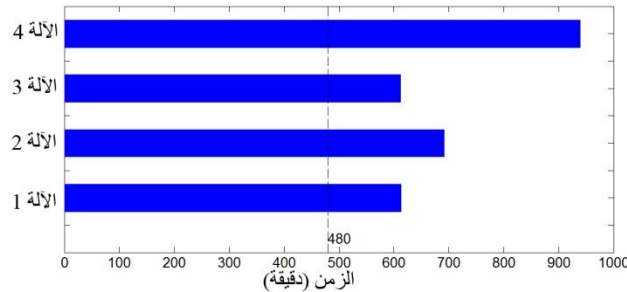


الشكل 22 مقارنة النتائج من ناحية الإنتاجية



الشكل 23 مقارنة النتائج من ناحية عدم توازن النظام

يظهر الشكل 24 مثال توضيحي عن عمل الآلات في الحل الأفضل من ناحية الإنتاجية و ذلك من أجل المهمة رقم 1.



الشكل 24 الحل الأفضل من ناحية الإنتاجية من أجل المهمة رقم 1

من الملاحظ من خلال الأشكال السابقة و مقارنة بالأعمال السابقة المدروسة بأن الحل المقترح في هذا العمل و المعتمد على الخوارزمية الجينية أفضل من الحلول السابقة عند دراسة توازن النظام و دراسة الإنتاجية. يمكن تعلق السبب بأن الخوارزمية الجينية تستخدم التتابع الجينية كالعبور و الطفرة الجينية مما يؤدي غالباً بالضرورة إلى إنتاج حلول أفضل من الحلول المولدة سابقاً و هذا ما تقتفر إليه الحلول السابقة.

7. الاستنتاجات

تم في هذا العمل بناء نموذج رياضي لمهمة تحميل الآلات و تم تعريف أسلوب من أجل اختيار الحلول الآباء اعتماداً على الخوارزمية الجينية. بعد ذلك تم اختيار بارامترات العبور و الطفرة الجينية و عدد الأجيال و حجم مجموعة الحلول. ثم تم تطبيق النموذج المقترح على بعض المسائل و تمت المقارنة مع النتائج الموجودة في الدراسات المرجعية. كنتيجة، تم إيجاد حلول جيدة و تم تحسين أداء النظام المرن حيث أن كل الحلول التي تم التوصل إليها أفضل من الحلول المقدمة في الدراسات المرجعية. تم أيضاً إنقاص الضياعات في النظام و قد تم أيضاً الاستفادة القصوى من الموارد المتاحة و التي تزيد فعالية النظام و تزيد الدخل الاقتصادي.

تم التوصل إلى نتيجة أن الخوارزمية الجينية تعطي الحل الأفضل في معظم المسائل و لكن ليس في جميعها و تتطلب وجود عدد ضخم من الحلول المبدئية من أجل إيجاد الحل الأفضل. وبالتالي عند استخدامها في مهام معقدة جداً لها الملايين من الحلول، يكون من الصعب تنفيذها و تستهلك الكثير من الزمن و تتطلب أيضاً خصائص تقنية عالية مثل كمية كبيرة من الذاكرة و سرعة معالجة كبيرة.

8. المراجع

- [1]. Nagarjuna N., Mahesh O., Rajagopal K. A heuristic based on multi-stage programming approach for machine loading problem in a flexible manufacturing system // *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 2006. 22. P. 342-352.
- [2]. Groover, M. P. *Automation, production systems and computer integrated manufacturing* // India: Pearson. 2003.
- [3]. Stecke K. E. Formulation and solution of non-linear integer production planning problem for flexible manufacturing system // *Management Science*. 1983. 29. P. 273-288.
- [4]. Ammons, J. C., Lofgren, C. B., McGinnis, L. F. A large scale machine loading problem in flexible assembly // *Annals of Operations Research*. 1985. 3. P. 319-322.
- [5]. Kazerooni, A., Chan, F. T. S., Abhary, K. A fuzzy integrated decision-making support system for scheduling of FMS using simulation // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing Systems*. 1997. 10(1). P. 27-34.
- [6]. Chan, F. T. S., Chan, H. K. Analysis of dynamic control strategies of an FMS under different scenarios // *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 2004. 20(5). P. 423-437.
- [7]. Chan, F. T. S., Chung, S. H., Chan, P. L. Y., Finke, G., & Tiwari, M. K. Solving distributed FMS scheduling problems subject to maintenance: Genetic algorithms approach // *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 2006. 22. P. 493-504.
- [8]. Biswas, S., & Mahapatra, S. S. Machine loading in flexible manufacturing system: A swarm optimization approach. // 8th International conference on operations & quantitative management. 2007.
- [9]. Biswas, S., & Mahapatra, S. S. Modified particle swarm optimization for solving machine loading problems in flexible manufacturing systems // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2008. 39. P. 931-942.
- [10]. Prakash, A., Khilwani, N., Tiwari, M. K., & Cohen, Y. Modified immune algorithm for job selection and operation allocation problem in flexible manufacturing systems // *Advanced Engineering Software*. 2008. 39. P. 219-232.
- [11]. Prakash, A., Tiwari, M. K., & Shankar, R. Optimal job sequence determination and operation machine allocation in flexible manufacturing systems: An approach using adaptive hierarchical ant colony algorithm // *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2008. 19. P. 161-173.
- [12]. Prakash, A., Chan, F. T. S., & Deshmukh, S. G. FMS scheduling with knowledgebased genetic algorithm approach // *Expert Systems with Applications*. 2011. 38(4). P. 3161-3171
- [13]. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems: Per. from Polish. I. D. Rudinsky // *Hot line - Telecom*. 2006. 452 p.
- [14]. Johnson S. M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included // *Nav. Res. Log. Quart.* 1954. V. 1. № 1. P. 15-25.
- [15]. Koleyey R. V., Maxwell V. L., Miller L. V. *Schedule theory* // Nauka. 1975. 360 p.

- [16]. Schedule theory and computing machines / Ed. E. G. Koffman// Nauka. 1984. 334 p.
- [17]. Levin, V. I. The problem of machine tools with real time ingot arrival // Avtomat. i Telemekh. 1989. № 1. P.141–154.
- [18]. Levin, V. I. To optimizing the schedule of parts processing // Math. Operationsforsch. u. Statist. Ser. Optimization. 1982. V. 13. № 4. P. 515-522.
- [19]. Levin, V.I. Optimizing the operation of m machine tools with constrained part sequencing // Avtomat. i Telemekh. 1987. № 3. P. 107-116.
- [20]. Sochnev A. N. Optimization of Flexible Manufacturing Complex Loading Based on a Colored Petri Net Controlled by a Genetic Algorithm // Information and Control Systems. 2012. № 6. P. 85-89.
- [21]. Neumark E.A. Optimal use of unique equipment problem solving by means of genetic algorithm // Engineering Journal of Don № 1. Part 2 (2015). 10 p.
- [22]. Danilov A. D., Lomakin V.A. Intelligent system of flexible automated manufacturing scheduling // Bulletin of Voronezh State Technical University. 2019. Vol. 15. № 1. P. 7-11.
- [23]. Mukhopadhyay, S. K., Midha, S., & Krishna, V. M. A heuristic procedure for loading problems in flexible manufacturing systems // International Journal of Production Research. 1992. 30. P. 2213–2228.