

"تمذجة جدولة الأرصفة وروافع الرصيف خلال عملية التفريغ في محطة حاويات اللاذقية الدولية"

د. أيمن يوسف*

د. تمام سلوم**

شادية دشر***

(تاريخ الإيداع 20 / 10 / 2020. قُبل للنشر في 21 / 2 / 2021)

□ ملخص □

تبحث هذه الدراسة التكامل بين مشاكل تخصيص الأرصفة وروافع الرصيف، مع التركيز على عملية تفريغ السفينة في ميناء الحاويات. تم اختيار دراسة 10 رحلات لسفينة واحدة فقط، ووضع النماذج الرياضية الخاصة لكل معيار تم دراسته (الرصيف-روافع الرصيف)، وتم اقتراح الخوارزمية الجينية، كمنهجية لحل هذه النماذج وتطبيقها على برنامج Matlab 2016 التي تعطي الحل الأمثل (optimization solved) بعملية التخصيص المدروسة ضمن ميناء الحاويات في المرفأ، والتي تهدف لتقليل زمن إرساء السفينة. أظهرت هذه التجارب إن خوارزمية الحل، يمكن أن تُعالج بكفاءة مشكلة الجدولة، كما أظهرت النتائج الحسابية للنموذج وطريقة الحل المقترحة في هذه المقالة فعاليتها في حل مشكلة التفريغ المتكاملة لمحطة الحاويات.

الكلمات المفتاحية: محطة الحاويات، الجدولة، الخوارزمية الجينية، الأرصفة، روافع الرصيف.

*أستاذ مساعد، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

**أستاذ مساعد، قسم الهندسة الصناعية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة حلب، حلب، سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

shadiahdashar@gmail. Com

Modeling the Scheduling of Berth and Quay Crane During the Unloading Process at Lattakia International Container Terminal

Dr. Ayman Yousef*
Dr. Tammam Salloum**
Shadia Dashar***

(Received 20 / 10 / 2020. Accepted 21 / 2 / 2021)

□ ABSTRACT □

This study examines the integration between the problems of allocating berths and quay cranes, with a focus on the process of unloading a ship at the container port. A study of 10 voyages for one ship was selected only, and special mathematical models were developed for each criterion studied (berth - berth cranes). The genetic algorithm was proposed as a methodology for solving these models and applying them to the Matlab 2016 program that gives the optimization solved by the studied allocation process within Container port at the port, which aims to reduce ship berthing time.

These experiments showed that the solution algorithm can efficiently handle the scheduling problem, and the computational results of the model and the solution method proposed in this article have shown its effectiveness in solving the integrated unloading problem of the container terminal.

Keywords: container terminal, scheduling, genetic algorithm, berth, quay crane.

* Associate Professor, Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Associate Professor, Department of Industrial Engineering, College of Mechanical and Electrical Engineering, University of Aleppo, Aleppo, Syria.

*** Postgraduate student (MSc), Department of Design and Production Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
Shadiahdashar@gmail.com

مقدمة:

في الآونة الأخيرة، شهدت الموانئ نمواً كبيراً، وخاصة المتعلقة بمحطة الحاويات، إذ تعد القدرة التنافسية عاملاً مهماً لمحطات الحاويات في الموانئ، مع زيادة عدد محطات الموانئ في جميع أنحاء العالم، حيث كان هناك زيادة كبيرة في حجم حاويات الشحن داخل أنظمة النقل المتعدد الوسائط، وتمثل محطات الحاويات جزءاً هاماً من نظام الموانئ العالمي ضمن النقل المتعدد الوسائط [7].

أدى هذا النمو في نقل الحاويات، إلى زيادة متطلبات الخدمة في محطات الحاويات، التي تخدم الآن عشرات السفن حيث يتم تحميل وتفريغ آلاف الحاويات يومياً، وعليها القيام بذلك في الوقت المناسب من أجل تقليل الوقت الذي تستغرقه السفن في المحطة، وبالتالي الحصول على ميزة تنافسية مع الموانئ المجاورة لها في المنطقة [1]. نظراً للأهمية المتزايدة لمحطات الحاويات والتعقيد الكبير لعملياتها، أصبحت الحاجة إلى التحسين واضحة في السنوات الأخيرة، وذلك من خلال زيادة الأبحاث العلمية، حيث يتم تطبيق تقنيات بحوث العمليات على محطات الحاويات، وتركز استراتيجية الميناء على بناء ولاء العملاء بين شركات الشحن الكبرى من خلال زيادة إعادة الشحن من الحاويات الدولية، إضافة إلى الجهود المتواصلة لتحقيق نمو الانتاجية والكفاءة ونوعية الخدمة [2].

يوجد في محطات الحاويات ثلاثة أنواع رئيسية من معدات المناولة المستخدمة في عملية التحميل/التفريغ: روافع الرصيف (Quay Cranes (QC)، شاحنات الساحة (Yard Trucks (YT)، وروافع الساحة (Yard Cranes (YC)، وإضافة لساحة تخزين تُستخدم للتخزين المؤقت للحاويات الواردة قبل تسليمها إلى الشاحنات أو القطارات. قبل وصول السفينة إلى المحطة يتم تخصيص منطقة المرسى حسب الحمولة والوقت المقدر للوصول وأيضاً وقت المرسى [3]. وتعد إدارة محطة الحاويات عملية معقدة، تنطوي على عدد من القرارات، التي تحدد كفاءتها وإنتاجيتها، الرصيف هو المورد الأهم الذي يؤثر على قدرة المحطة.

يمكن أن تتم إدارة عمليات محطة الحاويات بحسم عند تلبية الطلب بفعالية وكفاءة عالية، ويمكن تحليلها بشكل أفضل باستخدام نماذج الطابور، بما إن عملية تشغيل محطة الحاويات بما يحقق تحليل نماذج الطابور تعد صعبة لذلك فأن المحاكاة تعد بديلاً فعالاً لتحليل نظام محطة الحاويات، المشكلة التي تؤخذ بعين الاعتبار، هي إذا كانت محطة الحاويات الموجودة فعالة بما فيه الكفاية للتعامل مع الحاويات الكبيرة، أو بحال كان استخدام النظام لروافع النقل والروافع الجسرية أكثر فعالية [6].

وإن التطور الحديث في محطات الحاويات الآلية أدى لاهتمام متزايد في دراسة مشاكل الجدولة في هذه المحطات، لأنها تمثل الاتجاه التي تقوم عليه المحطات التقليدية بما فيها بعض معدات مناولة الحاويات [8].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث من كونه يدرس كيفية جدولة العمليات داخل محطة الحاويات (عمليات الرصيف وروافع رصيف المرفأ، إضافة إلى شاحنات وروافع الساحة ضمن ساحات التخزين)، وذلك خلال عملية تفريغ السفينة ضمن حرم محطة حاويات اللاذقية، هذه الجدولة التي تمكن من التحكم بالعمليات التفصيلية (سرعة روافع الرصيف والزمن الذي يستغرقه إنجاز هذه العمليات)، وذلك من خلال تطبيق الخوارزمية الجينية التي تساهم في إيجاد الحل الأمثل لمعظم المشاكل التي تتعرض لها عملية مناولة الحاويات خلال عملية التفريغ للسفينة.

إذا فالهدف من هذه الدراسة هو البحث في جوانب العمليات سابقة الذكر ومناقشة تفاصيل العمل على أرض الواقع في كل مرحلة من مراحل هذه العمليات بكل ما يتضمنه هذا الواقع من محاسن ومساوئ وصولاً لوضع النتائج والحلول التي تمكن من الوصول إلى أعلى مستوى من التنسيق واستثمار الوقت والطاقة الفعلين للعمل أثناء تفريغ السفن، وبالتالي توفير الوقت والجهد لكل من السفن العاملة على أرصفة المرفأ من جهة وللمحطة وطاقم عمالها من جهة أخرى، /سنكتفي في هذه المقالة بدراسة جدولة الأرصفة وروافع الرصيف فقط/.

1- الدراسات السابقة (Literature Review):

الدراسة الأولى: قام (Henry Y.K. Lau, Ying Zhao) في عام (2008) بدراسة جدولة متكاملة لمعدات المناولة في محطات الحاويات الآلية، وتم صياغة نموذج برمجة متكاملة مختلطة، التي تأخذ بعين الاعتبار القيود المختلفة المتعلقة بالعمليات المتكاملة بين الأنواع المختلفة من معدات المناولة [1].

وتقترح هذه الدراسة طريقة heuristic تسمى الخوارزمية الجينية متعددة الطبقات (MLGA) Multi-Layer Genetic Algorithm للحصول على الحل الأمثل لمشكلة الجدولة المتكاملة للمعدات، وإضافة لتطبيق خوارزمية heuristic المحسنة وتدعى مطابقة الحد الأقصى للخوارزمية الجينية Genetic Algorithm Plus Maximum Matching (GAPM) لتقليل تعقيد الحساب لطريقة (MLGA) Multi-Layer Genetic Algorithm.

وتم تطبيق الخوارزميات على عمليتي التحميل والتفريغ معاً، وتم إجراء دراسات تجريبية عديدة لتقييم أداء الخوارزميات المطبقة، ثم تم مقارنة أداء الطريقتين من حيث قيمة وظيفة الهدف والوقت المحسوب.

وتم التوصل إلى النتائج التالية:

- تساهم هذه الجدولة في تقليل وقت إرساء السفينة في المرفأ ويزيد من إنتاجية المحطة.
 - يساهم النموذج الرياضي بوصف الخصائص المشتركة لمعدات المناولة.
 - إمكانية تأخير عمليات روافع الرصيف والوقت الكلي للتقل لكل من العربات المقادة بشكل مؤتمت وروافع الساحة المؤتمتة تحت قيود عملية لمناولة الحاويات.
 - إمكانية تعيين التسلسل الأمثل للمعدات من خلال تعيين المهام الأمثل للعربات المقادة بشكل مؤتمت.
 - إمكانية حل المشكلة من خلال تطوير الخوارزمية الجينية متعددة الطبقات (MLGA) ومطابقة الحد الأقصى للخوارزمية الجينية (GAPM) المستندة على (MLGA).
 - أثبت إن أداء (GAPM) في حساب الوقت اللازم لحل المشاكل الكبيرة أقل منه عند حسابه بطريقة (MLGA).
- الدراسة الثانية: قام (Der-Horng Lee، وآخرين) في عام (2010) بدراسة مشكلة الجدولة المتكاملة لرافعة الرصيف وشاحنة الساحة في محطات الحاويات، تم دراسة مشكلة جدولة متكاملة لرافعة الساحة وشاحنة الساحة للحاويات المستوردة. تم صياغة المشكلة بتطبيق نموذج البرمجة المتكاملة المختلطة (MIP)، من خلال تحديد مجموعة متغيرات وقيود ووظيفة هدف تمثل تقليل زمن إرساء السفينة، وبسبب تعقيد المشكلة يتم حلها من خلال تطبيق الخوارزمية الجينية (GA) بتحديد الكروموسوم بتسلسل المهام التي تقوم بها روافع الرصيف وشاحنات الساحة. الخوارزمية heuristic المستندة على قاعدة جونسون، حيث تستخدم قاعدة جونسون مشكلة جدولة تدفق السفن بهدف تقليل زمن عملها، ثم تم إجراء تجارب عديدة لكل من الخوارزميات المطبقة [2].
- وتُظهر هذه التجارب إن خوارزمية الحل يمكن أن تُعالج بكفاءة مشكلة الجدولة، وتعد الطرق المتكاملة مفيدة جداً. وتم التوصل إلى النتائج التالية:

- لم تتمكن الخوارزمية الدقيقة من حل المشاكل الكبيرة خلال فترة زمنية مقبولة.
 - إمكانية الحصول على الحلول المثلى ذات خواص مناسبة من خلال تطبيق الخوارزميات المقترحة.
 - الحصول على حلول للمشاكل الكبيرة خلال فترة زمنية مقبولة من خلال تطبيق الخوارزميات المقترحة.
 - تقليل زمن إرساء السفينة بتقليل زمن عملية تفريغ الحاويات المستوردة.
 - تقليل تكاليف عمليات محطة الحاويات.
- الدراسة الثالثة: قام كل من (Omid Motlagh، وآخرين) في عام (2014) بدراسة الخوارزمية الجينية لتحقيق الجدولة المتكاملة المثلى للروافع والعربات ومنصات التخزين في محطات الحاويات الآلية. تم اختراع نظام تقسيم منصات التخزين/استرجاع الحاويات Split-Platform Storage/Retrieval System (SP-AS/RS) لتخزين الحاويات بكفاءة أعلى والحصول عليها بسرعة. ويتم تشكيل وحل الجدولة المتكاملة لروافع الرصيف والعربات المقادة بشكل مؤتمت ومنصات المناولة في النظام باستخدام خوارزمية محاكاة التلدين simulation annealing (وهي نوع من أنواع خوارزميات الذكاء الصناعي القائم على إيجاد حل تقريبي لمشكلة التحسين على أساس تصميم مونت كارلو)، كنموذج البرمجة المتكاملة المختلطة الخطية (Mixed Integer Programming (MIP)).
- يستخدم هذا النظام منصات تخزين منفصلة للتحركات الأفقية والشاقولية ذات سرعة عالية نسبياً. ويعد هذا النظام أكثر فعالية بالمقارنة مع ساحات التخزين التقليدية[5].
- وتم تطبيق الخوارزمية الجينية Genetic Algorithm (GA) لحل المشكلة بشكل أكثر دقة، وتشمل هذه الخوارزمية حل جديد لترتيب السلسلة العشوائية من المهام والعمليات الموضحة للعلاقات السابقة التي تتم بين المهام. ولتقييم أداء الخوارزمية الجينية Genetic Algorithm (GA): تم حل 10 حالات اختبار ذات قياس صغير لعملية التخزين باستخدام الخوارزمية الجينية المقترحة ومقارنة نتائجها مع الدراسات السابقة.
- وتم التوصل إلى النتائج التالية:
- زيادة وقت الخدمة الإجمالي للسفينة نتيجة زيادة وقت مناولة المعدات.
 - أثبت استخدام نظام تقسيم منصات التخزين/ استرجاع الحاويات Split-Platform Storage/Retrieval System الجدوى المادية والاقتصادية.
 - التحسن الكبير في محطات الحاويات باستخدام الجدولة المتكاملة.
 - ساهمت محاكاة العربات المقادة بشكل مؤتمت في تقليل تعقيد مشكلة التخزين وحسنت من أداء محطة الحاويات الآلية.
- الدراسة الرابعة: قام كل من (Nathan Huynh، Narges Kaveshgar) في عام (2015) بدراسة جدولة شاحنات الساحة ورافعة الرصيف المتكاملة لتفريغ الحاويات الواردة. وطورت هذه الدراسة نموذج برمجي متكامل مختلط لجدولة روافع الرصيف Quay Cranes (QC) مع شاحنات الساحة Yard Trucks (YT)، آخذاً بعين الاعتبار القيود التشغيلية للعالم الحقيقي كالعلاقات بين الحاويات والكتل وتداخل روافع الرصيف Quay Cranes (QC).
- تم حل النموذج الأمثل المتكامل بدمج خوارزمية greedy مع الخوارزمية الجينية، وتم تخصيص عدد من روافع الرصيف للسفينة بما يحقق معدل إنتاجية موحدة، وكما خصص عدد كبير من روافع الساحة لدعم روافع الرصيف لمنع أي تأخير في عملياتها[6].

وُنسقت هذه الجدولة بشكل عالي من خلال استخدام منهجية جدولة تدفق السفينة الهجين Hybrid Flow Shop Scheduling (HFSS)، بما يحقق تعيين وظائف للآلات وتسلسل هذه الوظائف مع تقليل زمن انتهاء العمل من الحاويات. تم تحديد عدد من بارامترات المشكلة وتحديد متغيرات القرار و تم يحدد النموذج الكلي بتحديد دالة الهدف والقيود. وأستخدمت مجموعة من الحاويات في صياغة متغيرات القرار في المرحلة الأولى من المشكلة (جدولة روافع الرصيف Quay Cranes (QC) بدلاً من الحاويات الفردية. ولإيجاد الحل الأمثل تم حل هذا النموذج بواسطة الخوارزمية الجينية، ويتم تنفيذها على MATLAB 7.11. وكما تمتلك القدرة على حل مشاكل البرمجة غير الخطية المتكاملة المختلطة. توصلت الدراسة إلى النتائج التالية:

- تطوير نموذج البرمجة المتكامل المختلط لجدولة روافع الرصيف Quay Cranes (QC) مع شاحنات الساحة Yard Trucks (YT) معاً باستخدام تقنية الجدولة الهجينة لتدفق السفن Hybrid Flow Shop Scheduling (HFSS).
- تقلل هذه التقنية من عدد متغيرات القرار إلى حد كبير وبالتالي تخفض الوقت المحسوب للعملية.
- تستخدم الخوارزمية الجينية Genetic Algorithm (GA) مع خوارزمية greedy، لحل النموذج الأمثل والمتكامل.
- الحلول التي تم الحصول عليها من الخوارزمية المتكاملة Genetic Algorithm (GA) المقترحة تكون أفضل من المنهج التسلسل.
- إمكانية حل النموذج المتكامل المطور في غضون فترة زمنية مقبولة للمشكلة العملية من خلال الخوارزمية الجينية Genetic Algorithm (GA).
- إمكانية زيادة تعزيز نموذج متكامل لتمثيل الواقع من خلال:
 - (1) معالجة المهمة/نقل الحاوية بشكل عشوائي للمعدات الثلاث بدلاً من القيم المحددة.
 - (2) معدلات إنتاجية مختلفة لروافع الساحة Yard Cranes (YC) وروافع الرصيف Quay Cranes (QC).
 - (3) وقت أنظمة مختلف لروافع الساحة Yard Cranes (YC) وروافع الرصيف Quay Cranes (QC).
- الحلول التي تم الحصول عليها من قبل النموذج المتكامل أفضل بكثير مما تم الحصول عليه من النموذج غير المتكامل.

طرائق البحث ومواده:

- تم جمع بيانات إحصائية تتضمن (زمن وصول السفينة، زمن إرسائها، زمن بدء عملية التشغيل وزمن انتهائها وزمني مغادرة السفينة الفعلي والمتوقع) في الميناء، عدد الأرصفة في الميناء، عدد روافع الرصيف، مقدار حمولة السفينة في كل رحلة، الزمن المستغرق في تفريغ الحمولة من قبل الروافع وسرعتها.
- استخدام برنامج Matlab 2016.

2- الخوارزميات الجينية:

إن تطور الحوسبة وتزويد الحاسب بإمكانية حل المسائل المعقدة وتحويلها لنموذج حاسوبي جعل من الخوارزميات الجينية حلاً مغرياً وجذاباً من أجل حل بعض المسائل التي لم يكن من الممكن حلها باستخدام بنية الطرق التقليدية السائدة. [10]

1-2 منهجية العمل في الخوارزميات الجينية:

يوجد ثلاث مراحل أساسية للخوارزميات الجينية:

1. يجب ترميز الحلول المطروحة للمسألة بإحدى طرق الترميز (الكروموسوم) بما يناسب المسألة المطروحة، وهذا ما يسمى الخريطة الوراثية.
 2. الانتقاء: نختار بشكل عشوائي المجتمع البدئي، ثم باستخدام تابع الكفاءة fitness function الذي يستخدم لاختيار الحلول ولتقييمها نحدد الكروموسوم الذي يملك الكفاءة الأعلى ونهمل غيره.
 3. المؤثرات (العمليات) الجينية (التصالب والطفرة): نقوم بإجراء التصالب بين الكروموسومات المختارة والتي تابع الأمثلية لها هو الأفضل لتوليد جيل جديد مؤلف من كروموسومات جديدة بدلاً من التي تم استبعادها، تستخدم الطفرة على أحد كروموسومات الجيل الناتج لضمان عدم الوقوع في نهاية محلية. [10]
- 2-1-1 طرق الترميز:**

ولكن هنالك عدد من أساليب التمثيل الشهيرة التي تم تطبيقها على مسائل مناسبة لها ولاقت نجاحاً ملحوظاً، ومن بعض هذه الطرائق الشهيرة والناجحة المستخدمة في ترميز الحلول:

الترميز الثنائي Binary Encoding :

ويعد من أشهر الطرائق المستخدمة في تمثيل الحلول في الخوارزميات الجينية، وتتبع شهرته لكونه أول أسلوب تم استخدامه في ترميز الحلول في الخوارزميات الجينية، حيث يتم هنا ترميز كل حل (كروموسوم) على شكل سلسلة من البتات (0 أو 1).

تمثيل التباديل permutation Encoding :

في هذا النوع من الترميز كل كروموسوم يمثل سلسلة من الأعداد (أو الرموز) غير المتكررة، والمتوضعة وفق تتالي ما.

ترميز القيمة Value Encoding :

في هذا النوع من التمثيل يكون لدينا كل كروموسوم عبارة عن سلسلة من بعض القيم (المرتبطة بشكل وثيق بمسألة ما)، ويمكن لهذه القيم أن تأخذ عدة صيغ ممكنة وذلك حسب المسألة التي يتم معالجتها مثل سلاسل من الأرقام، الأعداد الحقيقية، محارف، أو حتى مجموعات من أغراض معقدة.

ترميز الشجرة Tree Encoding :

يستخدم هذا النوع من الترميز بشكل أساسي للتعبير والبرامج التطورية Evolving Programs Or Expressions Genetic Programming، حيث يكون كل كروموسوم في ترميز الشجرة بمثابة شجرة من بعض الأغراض objects مثل التوابع أو الأوامر في لغات البرمجة. [10]

2-1-2 تابع الصلاحية fitness function

في لحظة ما عندما يكون لدينا عدد من الحلول نحن بحاجة لآلية فعالة ومدروسة توجهنا نحو الحل الأفضل من بين مجموعة من الحلول المطروحة، أي نحن بحاجة لتابع الصلاحية الذي يرشدنا نحو الحل الأمثل ويعطينا تقييم أولي، أي من هذه الحلول هو أقدر على النجاة وأصلح لأن ينتقل للجيل التالي. لا يوجد تابع عام لحساب الصلاحية وعملية اختيار هذا التابع ذو علاقة وثيقة بالمسألة المطروحة.

3-1-2 الانتقاء Selection

مما اتضح لنا سابقاً من الاستراتيجية التي تسيطر عليها الخوارزميات الجينية، فإن الكروموسومات (الصبيغات) الآباء التي تخضع لعملية التصالب يتم اختيارها وفق آلية محددة من التجمع الحالي.

عملياً يوجد عدة طرق لتحديد كيفية انتقاء الكروموسوم (الصبغي) الأمثل، مثلاً: عجلة الروليت Roulette wheel Selection، انتقاء بولترمان Boltzman selection انتقاء النخبة Elitism selection ، انتقاء الحالة المستقرة Steady state selection إلخ.

2-1-4- العمليات الجينية Genetic Operators:

أولاً: عملية التصالب Crossover : وهي عملية منتجة، أي تنطلق من كروموسومين (صبغيين) من جيل الآباء لتعطي بشكل عام حلين أبناء Two Offspring.

ثانياً: الطفرة Mutation : هي عملية يتم فيها إجراء تبديل / تغيير / على بعض جينات كروموسوم (صبغي) ما، أن نتيجة كل من عمليتي التصالب Crossover والطفرة Mutation تعتمد بشكل أساسي على أسلوب الترميز المستخدم للمسألة، وتتغير بتغييره. [10]

3- توصيف منطقة الدراسة:

يقع ميناء اللاذقية في نقطة التقاء الشرق مع الغرب على ساحل المتوسط، ويعود إلى العهد الفينيقي وهو أهم ميناء حاويات في سوريا وواحد من الموانئ الهامة في المنطقة.

كان حوض ميناء اللاذقية الطبيعي عبارة عن حوض صغير وبدون أرصفة حتى عام 1925 وكانت السفن الكبيرة ترسو في عرض البحر وفي عام 1930 تم تنظيف الحوض ومدخله من الأنقاض المتراكمة منذ زلزال 1882. أنشأ الرصيف الجنوبي والشمالي بأعماق من 3-4.5 م ، وتم إحداث شركة مرفأ اللاذقية عام 1950 وأقيمت منشأته باتجاه الجنوب من حوض الميناء، حيث تم الانتهاء منها في العام 1958.

يتم تشغيل محطة الحاويات في مرفأ اللاذقية من قبل شركة محطة حاويات اللاذقية الدولية بناءً على عقد التشاركية الذي بدء تنفيذه في عام 2009 مع شركة CMA-CGM.

تضم محطة الحاويات البنية التحتية التالية:

- الرصيفان 12 و A12 بطول 370 م وعمق (12.5-13.30 م)

- الرصيفان 14 و 15 بطول 440 م وعمق 13.30 م.

المساحة البرية 67 هيكتار

3-1- توصيف المحور المدروس:

10 رحلات لسفينة Maersk ahram في عام 2018، رصيفان 14 و 15، 4 روافع الرصيف (كانتري) وعدد من شاحنات الساحة التي اشتغلت خلال 10 رحلات، وساحات التخزين القريبة من الأرصفة المخصصة لتخزين الحاويات الفارغة والمعبأة قبل نقلها لساحات التفريغ والتعبئة.

3-1-1 توصيف السفينة والبنى التحتية ومعدات المناولة المستخدمة:

1. السفينة Maersk ahram:

السفينة Maersk Ahram تحمل العلم المصري أنشأت عام 1998، ويعد ميناء الإسكندرية الميناء الأصلي لها ونوعها سفينة حاويات، يبلغ طول السفينة الكامل 155م وطولها بدون برج المراقبة وغرف التحكم والقيادة 145 م واتساعها (إي عرض السفينة) 25 م ، تبلغ الحمولة العظمى للسفينة (G.R.T) 14557 T، وتبلغ الحمولة الفارغة المتمثلة بالحمولة التي يمكن للسفينة حملها فقط (N.R.T) 7661 T، الحمولة الإجمالية المتمثلة بوزن جميع الأجهزة والمعدات الموجودة على السفينة (DWT) 17525 T، غاطس السفينة (max draft) يبلغ 9.50 م ، ويبلغ العمق

المقوالب أي أقصى غاطس يمكن للسفينة الوصول إليه (dept moulded) 13.90 م، وتبلغ سرعتها 18 KN وثقاس (عقدة في الساعة)، قدرة السفينة: (454 TEUS في العنابر، و 638 TEUS على السطح).

2. الأرصفة:

تملك محطة الحاويات 4 أرصفة، سيتم دراسة الرصيفان 14 و 15 فقط، ويبلغ طولهما 440م وعمق 13.5م، وتملك 4 روافع رصيف (كانتري).

3. روافع الرصيف (الكانتري):

يوجد 4 روافع تتحرك على سكة وتعمل كهربائياً، تحوي على غرفة تحكم PLC وغرفة محركات في أعلى الرافعة، المسؤولة عن حركتها وعملها، و تبلغ قدرتها على الحد الاعظمي للحمولة 50 طن، واستطاعتها الكهربائية 20 kv، يمكن أن تعمل 4 روافع معاً بحال كان لا يوجد سوى سفينة واحدة وكانت حمولتها كبيرة.

3-1-2 بيانات حالة الدراسة:

1. جدولة الارصفة:

البارامترات:

- N_i = عدد الأرصفة $i=1,2$
- M_i = عدد السفن $i=1,2,\dots,M$
- L = طول الرصيف
- P = عمق الرصيف
- L_i = طول السفينة
- P_i = عمق السفينة
- ETA = زمن الوصول المتوقع للسفينة
- A_i = زمن الوصول الفعلي للسفينة
- S_i = زمن بدء عملية تشغيل السفينة
- F_i = زمن انتهاء عملية تشغيل السفينة
- ETC = زمن المغادرة المتوقع للسفينة
- D_i = زمن المغادرة الفعلي للسفينة
- B_i = زمن الترصيف
- N = عدد الحاويات ب box
- P_w = احتمالية اختيار الرصيف
- N_1 = عدد الحاويات التي تم تفريغها من السفينة

المتغيرات:

- X_i = موضع الترصيف للسفينة $\left. \begin{array}{l} 1 \text{ بحال الرصيف الأفضل} \\ 0 \text{ غير ذلك} \end{array} \right\}$
- Y_i = السفينة z القادمة بعد السفينة i $\left. \begin{array}{l} 1 \text{ بحال كان ذلك} \\ 0 \text{ غير ذلك} \end{array} \right\}$
- $h_i = F_i - S_i$ زمن المناولة

$$W_i = D_i - B_i \quad \text{○} \quad \text{زمن تشغيل الرصيف}$$

معادلة الهدف:

$$\text{object function} = \text{Min} (x.* ((w.* N1)./N)) \dots \dots \dots (1)$$

$$\sum_{i=1}^{M_i} L_i \leq L \dots \dots \dots (2) \quad \text{مجموع أطوال السفن على الرصيف أصغر من الطول الكلي للرصيف}$$

$$S_i - A_i \geq 0 \dots \dots \dots (3) \quad \text{كل سفينة تُخدم وقت وصولها}$$

$$\sum_{i=1}^{M_i} X_i = 1 \dots \dots \dots (4) \quad \text{كل سفينة مخصص لها رصيف واحد}$$

$$\sum_{i=1}^{M_i} Y_i (H_i + W_i) \leq \sum_{i_2 \in N_i} (h_{i_2} + W_{i_2}) \dots \dots \dots (5) \quad \text{السفينة القادمة بعد السفينة المتواجدة على الرصيف تُخدم أولاً}$$

حيث إن وقت الخدمة على الرصيف 14 أفضل من وقت خدمتها على الرصيف 15، السفن التي تصل سيتم خدمتها أولاً على الرصيف 14 إلا في حال كانت متواجدة سفينة في الميناء في نفس الوقت.

لدينا 5 معادلات رياضية، سيتم تطبيق الخوارزمية الجينية بالشكل التالي:

- نختار الكروموسومات وهي زمن التشغيل الفعلي وزمن التشغيل المتوقع وعدد الحاويات الكلي وعدد الحاويات التي تم تفرغها فقط .

- يتم حساب Fitness لكل فرد على حدا (التي تمثل قيمة الإنتاجية للسفينة في كل رحلة) وهو عبارة عن:

$$\text{Fitness Function} = \max \left[\frac{N}{(x.* ((w.* N1)./N))} \right] \dots \dots \dots (6)$$

2. جدولة وتخصيص روافع الرصيف:

البارامترات:

$$N_{QC} = \text{عدد روافع الرصيف} \quad 1 \leq i \leq N_{QC} \quad \text{حيث } N_{QC} = 4$$

$$B = \text{عدد العنابر} \quad 1 \leq j \leq B$$

$$C_j = \text{عدد الحاويات في العنبر } j$$

$$N = \text{عدد الحاويات الكلي}$$

$$T = \text{الوقت التي تحتاجه QC لتفريغ الحاوية ووضعها في مكان التخزين}$$

$$S_i = \text{وقت بدء عمل الرافعة QC}$$

$$F_i = \text{وقت انتهاء عمل الرافعة QC}$$

$$T_{\text{stop}} = \text{زمن التوقفات}$$

$$T_i = \text{زمن مناولة كل عنبر}$$

المتغيرات:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ (إذا العنبر } j \text{ تم مناولته قبل الرافعة QC} \\ 0 \text{ غير ذلك} \end{array} \right\} = X_{i,j}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ (إذا تم انتهاء تفريغ العنبر } j \text{ قبل البدء بتفريغ العنبر } j' \\ 0 \text{ غير ذلك} \end{array} \right\} = Z_{j,j'}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ (إذا تم بدء تفريغ العنبر } j \text{ و العنبر } j' \text{ في نفس الوقت} \\ 0 \text{ غير ذلك} \end{array} \right\} = Y_{i,j}$$

• $j = t_j$ وقت بدء تنفيذ تفريغ العنبر

• $Makespan = C_{max}$

معادلة الهدف:

$$Min B.Ti = [(Fi - si) - tstop] \dots \dots \dots (1')$$

• كل عنبر يجب أن يتم مناولته من قبل رافعة واحدة (2') $\sum_{i=1}^{N_{QC}} X_{(i,j)} = 1 \dots \dots \dots$

• وقت تنفيذ العنبر أكبر أو يساوي وقت العمل في كل عنبر (3') $t_i \geq (Tc * C_j) \dots \dots \dots$

• حيث إن (وقت العمل = عدد الحاويات * الوقت التي تحتاج الحاوية للتفريغ من الباكورة وتخزينها)

• $z_{j,j} = 1$ أن يبدأ العنبر j قبل أن ينتهي العنبر j (4') $[t_j - t_j + (T_c * C_j)] Z_{j,j} \leq 0 \dots \dots \dots$

• عندما يبدأ تفريغ العنبر j والعنبر j في نفس الوقت (5') $[t_j - t_j + (T_c * C_j)] Y_{j,j} > 0 \dots \dots \dots$

إذا كانت روافع الرصيف (i, i') تعمل في العنابر (j, j') بالترتيب فإن $i' > i + 1$

$$C_{max} = \max t_j$$

لدينا 5 معادلات رياضية وفي تطبيق الخوارزمية الجينية:

نختار الكروموسومات وهي / زمن المناولة + عدد الروافع + عدد مهام الروافع/

يتم حساب fitness لكل فرد على حدا (وتمثل قيمة الإنتاجية للروافع خلال كل رحلة للسفينة) وهو عبارة عن :

$$Fitness\ function = \frac{X_1 * Y_1 + X_2 * Y_2 + X_3 * Y_3 + X_4 * Y_4}{B.Ti} \dots \dots \dots (6')$$

3-3 معايير عمل حالة الدراسة:

بعد زيارات ميدانية لموقع العمل وجمع البيانات واختيار حالة الدراسة، تم تحديد عدد من المعايير للعمل (أزمنة وصول السفينة وأزمنة بدء عملها الفعلية والمتوقعة وأزمنة عمل الروافع)، وعدد الحاويات التي يتم تفريغها، وتحديد ساحات التخزين المستخدمة، وتحديد فيما إذا كان يوجد سفينة قادمة في الانتظار.

وتم وضع نماذج رياضية كما سبق ذكره وإيجاد الحل الأمثل حسب الخوارزمية الجينية على ماتلاب 2016.

النتائج والمناقشة:

1. جدولة الأرصفة:

بعد زيارة محطة الحاويات في مرفأ اللاذقية وموقع الأرصفة ميدانياً وتحديد الرصيفان 14 و 15 للدراسة، تم تحديد حالة الدراسة المكونة من 10 رحلات لسفينة واحدة تم جمع البيانات المطلوبة وتم تحديد البيانات الأولية للحالة المدروسة وفق الجدول 1:

الجدول (1): البيانات الأولية لرحلات السفينة

الرحلة T	زمن الوصول الفعلي A _i	زمن الترسيف B _i	زمن بدء التشغيل S _i	زمن انتهاء التشغيل F _i	زمن المغادرة المتوقع ETC	زمن المغادرة الفعلي Di
7.30.2018	30.07.18 12:30	30.07.18 13:30	30.07.18 15:30	31.07.18 19:15	31.07.2018 14.00	31.07.18 20:50
8.27.2018	27.08.18 16:30	27.08.18 17:30	27.08.18 18:25	28.08.18 10:15	28.08.2018 11.00	28.08.18 11:35
9.1.2018	01.09.18 09:45	01.09.18 11:50	01.09.18 12:50	02.09.18 23:00	02.09.2018 12.00	03.09.18 00:15
9.9.2018	09.09.18 07:10	09.09.18 08:30	09.09.18 09:30	10.09.18 21:00	10.09.2018 16.00	10.09.18 23:05
9.16.2018	16.09.18 22:35	16.09.18 23:40	17.09.18 01:10	18.09.18 10:20	18.09.2018 08.00	18.09.18 11:45
9.23.2018	23.09.18 13:50	23.09.18 15:00	23.09.18 16:20	25.09.18 02:00	24.09.2018 21.00	25.09.18 03:00
10.2.2018	02.10.18 01:30	02.10.18 02:40	02.10.18 03:45	03.10.18 05:00	03.10.2018 05.00	03.10.18 08:00
10.9.2018	09.10.18 07:30	09.10.18 09:05	09.10.18 10:30	10.10.18 19:45	10.09.2018 12.00	10.10.18 21:25
10.17.2018	17.10.18 13:10	17.10.18 23:35	18.10.18 01:00	19.10.18 09:30	19.10.2018 05.00	19.10.18 10:10
10.24.2018	24.10.18 16:40	24.10.18 17:30	24.10.18 18:40	27.10.18 13:00	26.10.2018 08.00	27.10.18 14:35

تم حساب كل من زمن المناولة وزمن التشغيل الفعلي والمتوقع (واحدة الزمن الساعة) وفق المعادلتين التاليتين:

$$h_i = F_i - S_i \text{ زمن المناولة}$$

$$W_i = D_i - B_i \text{ زمن تشغيل الرصيف}$$

وتم حساب عدد الحاويات التي تم تفريغها من العدد الكلي للحاويات، وتمثل Y_i قيمة تساوي 1 في حال كان يوجد سفينة قادمة أخرى وتساوي 0 غير ذلك. وفق الجدول 2:

الجدول (2): أزمته عمل السفينة وعدد حاوياتها في كل رحلة

الرحلة T	الرصيف B	زمن المناولة الكلي H	زمن التشغيل الفعلي w	زمن التشغيل المتوقع w _i	عدد الحاويات الكلي N	عدد الحاويات التي تم تفريغها من السفينة N _i	قيمة Y _i
7.30.2018	14	27.75	31.33	24.5	1014	341	1
8.27.2018	14	15.83	18.08	17.5	633	385	1
9.1.2018	14	34.17	36.42	24.16	1005	523	1
9.9.2018	14	35.5	38.58	31.5	998	414	1
9.16.2018	15	33.16	36.08	32.33	997	577	1
9.23.2018	15	33.67	36	30	978	510	1
10.2.2018	14	25.25	29.33	26.33	1158	469	1
10.9.2018	15	33.25	36.33	26.91	1021	436	0
10.17.2018	15	32.5	34.58	29.42	1034	486	1
10.24.2018	15	66.33	69.08	38.5	1077	495	0

وبعد تحديد نموذج رياضي وفق ما سبق لحساب معادلة الهدف (1) التي تمثل حساب زمن التشغيل الفعلي فقط للحاويات التي تم تفريغها:

$$object\ function = Min((x.* ((w.* N1)./N)) \dots \dots \dots (1))$$

تم برمجته وفق الخوارزمية الجينية لحساب قيمة fitness function المحددة وفق المعادلة (6) التي تمثل إنتاجية السفينة في كل رحلة:

$$Fitness\ Function = \max \left[\frac{N}{(x_i * ((w_i * N1) / N))} \right] \dots \dots (6)$$

تمثل الكروموسومات أزمنة التشغيل الفعلية وعدد الحاويات الكلي، وعدد الحاويات التي تم تفريغها، وتم اختيار نوع السكان وفق (bit string)، وعدد السكان (يُقصد به أزمنة التشغيل وعدد الحاويات التي تنتج في كل تكرار رحلة وفق التغيرات التي تُحدد للكروموسومات وفق الخوارزمية الجينية) = 30، مقياس اللياقة scaling function من نوع rank، والاختيار تم وفق عجلة روليت (Roulette)

ومقدار معدل التزاوج crossover rate = 0.8 من نوع scattered . ومقدار معدل الطفرة mutation rate = 0.01 من نوع uniform . نوع الهجرة migration باتجاه واحد (forward) بمعدل 0.2 .

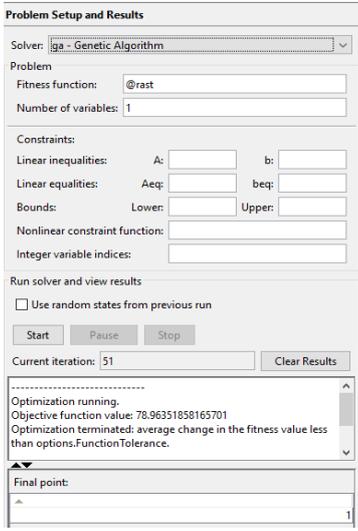
بعد تحديد جميع المعايير السابقة والبدء بتطبيق معادلة الهدف وتحديد عدد المتغيرات = 1 (يمثل اختيار الرصيف: 0 يمثل الرصيف 15 و 1 يمثل الرصيف 14)، تبدأ

الخوارزمية بالحل وفق الشكل (1) نلاحظ إن الخوارزمية تتوقف بعد 51 تكرار ويكون الحل الأمثل = 78.9635 حاوية بالساعة

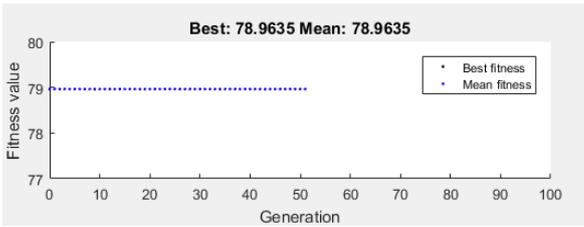
تُبين النتائج الشكل (2) العلاقة بين قيمة اللياقة المتمثلة بالإنتاجية للرصيفين والأجيال الممثلة لرحلات السفينة، إن أعلى قيمة إنتاجية مساوية 78.9635 حاوية بالساعة في كل رحلة تم تكرارها وفق التغيرات المحددة للخوارزمية الجينية.

يمثل الشكل (3) المسافة بين الأفراد التي هي في حالة دراستنا تمثل أزمنة التشغيل الفعلية وعدد الحاويات الكلي وعدد الحاويات التي تم تفريغها خلال الأجيال المتلاحقة أي الرحلات المتلاحقة المتكررة وفق تغيرات الخوارزمية الجينية، لاحظنا تكاثف في البداية أي أن الأزمنة وعدد الحاويات متقاربة من بعضها البعض مع زيادة عدد التكرارات بدأت القيم تتقارب لتصل إلى الحل الأمثل عند الجيل 9 (أي عند الرحلة 9)، لتستقر بعدها المسافة بين القيم بشكل تقريبي.

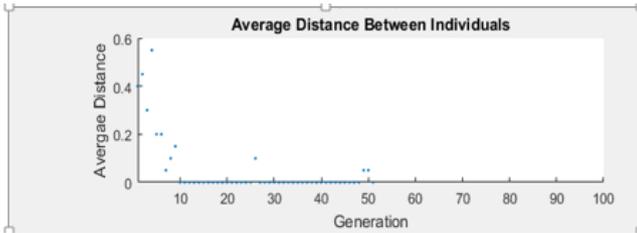
والشكل (4) يوضح مجال قيم الإنتاجية الأفضل للسفينة في كل رحلة، حيث نلاحظ تقارب القيم حول قيمة أفضل إنتاجية.



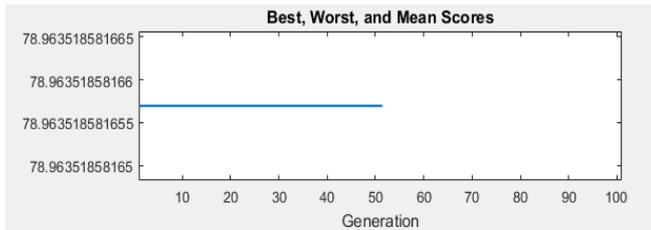
الشكل (1): تطبيق معادلة الهدف وفق الخوارزمية



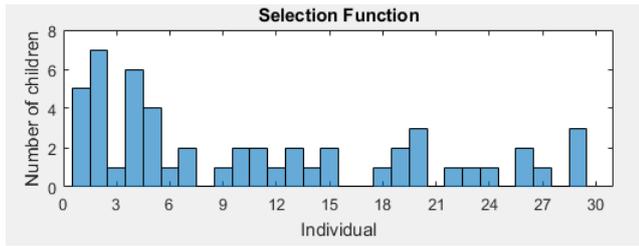
الشكل (2): قيمة الإنتاجية وفق معادلة fitness function



الشكل (3): المسافة بين الأفراد (العلاقة بين أزمنة التشغيل الفعلية وعدد الحاويات الكلي والتي تم تفريغها خلال الرحلات المتلاحقة)



الشكل (4): مجال قيم الإنتاجية الأفضل في كل رحلة



الشكل (5): احتمالية اختيار الرصيف في كل جيل

الجدول (3): إنتاجية السفينة وفق المحطة

إنتاجية السفينة وفق المحطة (box/hr)	الرحلة
36.54054054	30/07/2018
40.1061075	27/08/2018
29.4152081	01/09/2018
28.11267606	09/09/2018
30.06090575	16/09/2018
29.05525847	23/09/2018
45.86138614	02/10/2018
30.73684211	09/10/2018
31.81538462	17/10/2018
15.84430073	24/10/2018

ويُبين الشكل (5) احتمالية اختيار الرصيف الأفضل في كل رحلة، خلال الرحلات الأولى كان اختيار الرصيف 14 له الأفضلية التي تُعطي قيم إنتاجية أعلى للسفينة خلال زمن قياسي مقارنة مع اختيار الرصيف 15.

كما إن بتقسيم قيمة الإنتاجية على 2 (عدد الأرصفة المدروسة) نلاحظ إن إنتاجية السفينة على كل رصيف تصل لحدود 39.4818 حاوية بالساعة.

ومن خلال المقارنة مع إنتاجية السفينة وفق البيانات في المحطة نلاحظ تقارب بين القيم وفق الجدول (3)، إلا إنه تبين لدينا إن الرحلات التي تم العمل فيها على الرصيف 15 انخفاض قيم الإنتاجية بالمقارنة مع قيمة الإنتاجية التي تم الحصول عليها في الخوارزمية الجينية.

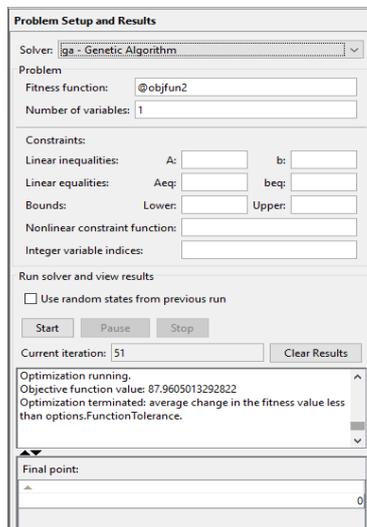
يدل ذلك على إن اختيار الرصيف 14 للعمل أفضل من الرصيف 15، إذ إنه حقق إنتاجية أعلى أقرب إلى الإنتاجية التي تم حسابها حسب الحالة المثالية المدروسة.

❖ جدولة الأرصفة وفق زمن التشغيل المتوقع من قبل قسم planning في محطة الحاويات :

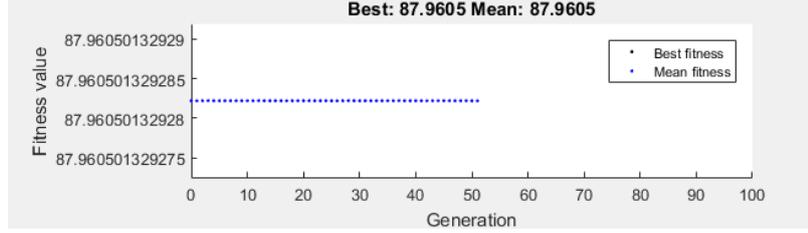
بنفس الطريقة السابقة وتطبيق المعايير نفسها للخوارزمية الجينية مع تغيير أزمدة التشغيل الفعلية واستبدالها بأزمدة التشغيل المتوقعة، نلاحظ ارتفاع الإنتاجية لتصل 87.9605 حاوية بالساعة وفق الشكل (6).

ويمثل الشكل قيمة اللياقة المتمثلة بأعلى قيمة إنتاجية للسفينة خلال رحلاتها وتكرارها كما هو موضح في الشكل (7)

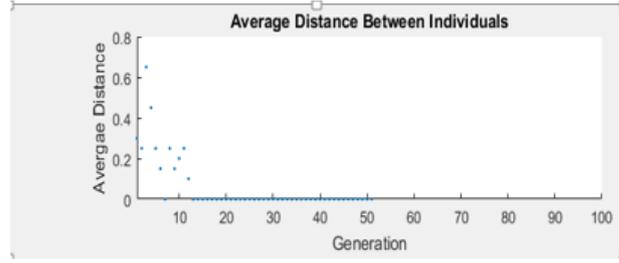
نلاحظ من الاشكال (8،9) اختلاف المسافة بين الأزمدة وعدد الحاويات ضمن الخوارزمية بشكل أكبر عن الخوارزمية السابقة في اختيار أزمدة، تقاربت المسافات واقتربت من بعضها القيم لتحقق الإنتاجية الأفضل بعد الجيل 10) وفق تكرار الرحلات وعمل الخوارزمية) .



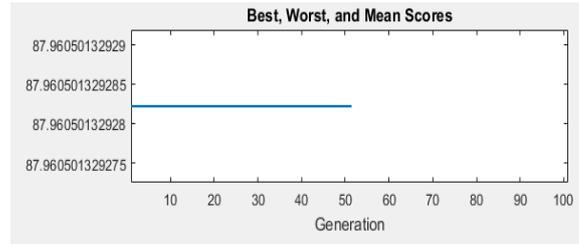
الشكل (6): تطبيق معادلة الهدف وفق الخوارزمية في حالة زمن التشغيل المتوقع



الشكل (7): قيمة الإنتاجية وفق معادلة fitness function في حالة زمن التشغيل المتوقع

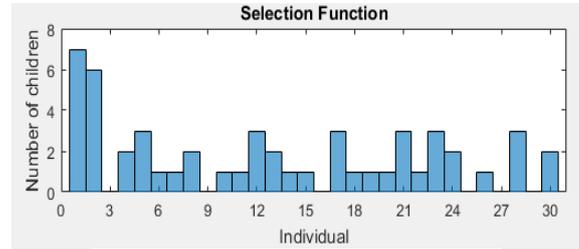


الشكل (8): المسافة بين الأفراد (العلاقة بين أزمنة التشغيل الفعلية وعدد الحاويات الكلي والتي تم تفريغها خلال الرحلات المتلاحقة



الشكل (9): مجال قيم الإنتاجية الأفضل في كل رحلة

يُبين الشكل (10) التفاوت الواضح في احتمال اختيار الأرصفة الأفضل بدءاً من الرحلة 3 حيث إنه وفق عمل الخوارزمية تبين اختيار الرصيف 14 الأفضل الذي يحقق إنتاجية أعلى لكن بتفاوت مختلف عن حالة الزمن الفعلي للتشغيل.



الشكل (10): احتمالية اختيار الرصيف في كل جيل

كما إنه بتقسيم قيمة الإنتاجية على 2 (عدد الأرصفة المدروسة) نلاحظ إن إنتاجية السفينة على كل رصيف تصل لحدود 43.9803 حاوية بالساعة. أيضاً بالمقارنة مع الجدول (3) نجد اقتراب القيمة من قيم الإنتاجية على الرصيف 14 أكثر مما هو على الرصيف 15.

نستنتج إن عملية الجدولة والتخصيص التي تتم قبل وصول السفينة من قبل المحطة تعطي إنتاجية أعلى مما يفرضه الواقع الفعلي (الذي يمثل واقع المحطة الحقيقي من أعطال وتوقفات خلال عملية تشغيل السفينة).
(حيث إنه يتم دراسة التخصيص والجدولة بالحالة المثالية أي دون حدوث توقفات ناتجة عن أعطال في المعدات أو قلة خبرة السائق بالعمل ودون وجود أي ظروف تؤدي إلى زيادة وقت التشغيل).
نلاحظ انخفاض الإنتاجية بمقدار:

$$\frac{(87.9605 - 78.9635)}{87.9605} = 0.10 * 100 = 10\%$$

2. جدولة روافع الرصيف:

يوجد 4 روافع كانتري يُخصص بالحالة التي تتواجد فيها سفينتين 2 روافع على الرصيف 14 و 2 روافع على الرصيف 15 وفي حالة سفينة واحدة تُحدد حسب الضرورة (أي حسب عدد الحاويات على السفينة المخصصة لمرافق اللانقية) إما 2 أو 3 أو في حالات خاصة يتم تخصيص 4 روافع للعمل، من خلال زيارتنا الميدانية والاطلاع على آلية العمل تم تحديد البيانات الأولية للحالة المدروسة كما هو مبين في الجدول 4:

الجدول (4): البيانات الأولية لروافع الرصيف									
الرحلة	زمن التوقفات	زمن التفريغ الكلي	QC1	QC2	QC3	QC4	عدد العنابر	حساب قيمة زمن التفريغ	حساب زمن مناولة كل عنبر
7.30.2018	5.72	16	228	113			8	2.742	0.34275
8.27.2018	2.3	10	225	95	65		8	3.415	0.426875
9.1.2018	2.72	19	168	259	96		7	7.476	1.068
9.9.2018	3.55	20	229	185			8	5.89	0.73625
9.16.2018	7.63	19		39	326	212	8	5.179	0.647375
9.23.2018	8.58	18			209	301	7	4.305	0.615
10.2.2018	10.88	15	179	196	94		8	0.707	0.088375
10.9.2018	5.33	19		11	289	136	8	4.823	0.602875
10.17.2018	10.38	18		107	176	203	8	2.759	0.344875
10.24.2018	10.08	35		112	310	73	8	10.61	1.32625

تم حساب زمن التفريغ وفق المعادلة التالية:

زمن التفريغ الكلي - زمن التوقفات

ويتم حساب زمن تفريغ كل عنبر = عدد العنابر * زمن المناولة للحاويات المفرغة بدون زمن التوقفات

وبعد وضع نموذج رياضي يحدد معادلة الهدف :

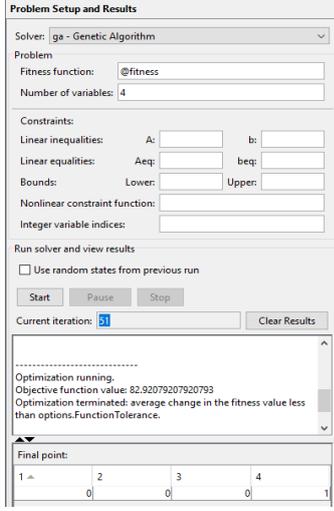
$$Min B.Ti = [(Fi - si) - tstop]$$

وحسابها برمجياً على الماتلاب:

تم برمجته وفق الخوارزمية الجينية لحساب قيمة fitness function المحددة وفق المعادلة 2:

$$Fitness\ function = \frac{X_1 * Y_1 + X_2 * Y_2 + X_3 * Y_3 + X_4 * Y_4}{B.Ti}$$

تمثل الكروموسومات عدد العنابر وعدد المهام لكل رافعة وفق كل رحلة وزمن مناولة كل عنبر بدون زمن التوقفات، وتم



اختيار نوع السكان وفق (bit string)، وعدد السكان = 30، مقياس اللياقة scaling function من نوع rank، والاختيار تم وفق عجلة روليت (Roulette) ومقدار crossover rate = 0.8 من نوع scattered .

uniform من نوع 0.01=mutation rate .

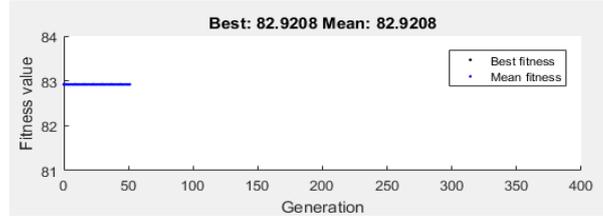
نوع الهجرة migration باتجاه واحد (forward) بمعدل 0.2.

بعد تحديد جميع المعايير السابقة وتطبيق معادلة الهدف وتحديد عدد المتغيرات = 4 (الذي يمثل اختيار الروافع العاملة في كل رحلة)، تبدأ الخوارزمية بالحل كما هو في الشكل (11)

نلاحظ إن الخوارزمية تتوقف بعد 51 تكرار ويكون الحل الأمثل = 82.9208 حاوية

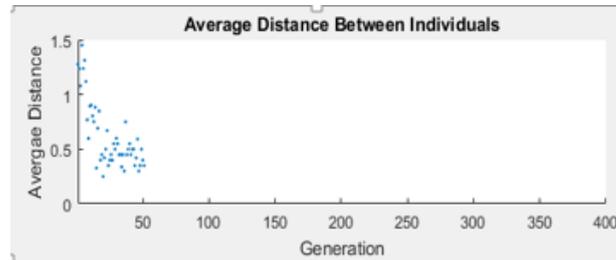
بالساعة

تُظهر النتائج العلاقة بين قيمة اللياقة المتمثلة بالإنتاجية للروافع الاربعة خلال رحلات السفينة المدروسة ونلاحظ من الشكل (12)، إن أعلى قيمة إنتاجية مساوية 82.9208 حاوية بالساعة



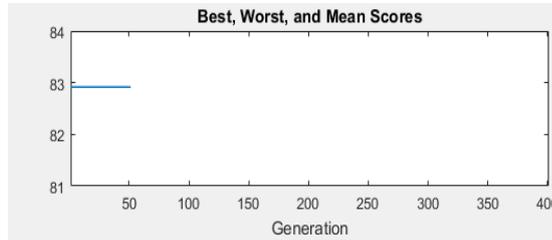
الشكل (12): قيمة الإنتاجية وفق معادلة fitness function

يُبين الشكل (13) تقارب المسافة لتوزع المهام في كل رحلة بين الروافع وهذا ما توضحه الكثافة السكانية التي تمثل عدد الحاويات المخصصة لكل رافعة في كل رحلة وتكرارها وفق التغيرات المحددة للخوارزمية الجينية.



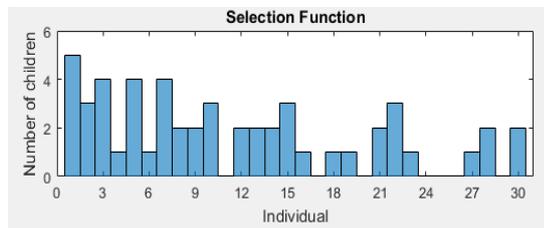
الشكل (13): المسافة بين الأفراد (العلاقة بين أزمنة المناولة وعدد مهام كل رافعة)

ويُبين الشكل (14) مجال قيم الإنتاجية لكل الروافع في كل رحلة، وتقاربه من قيمة أفضل إنتاجية حصلنا عليها.



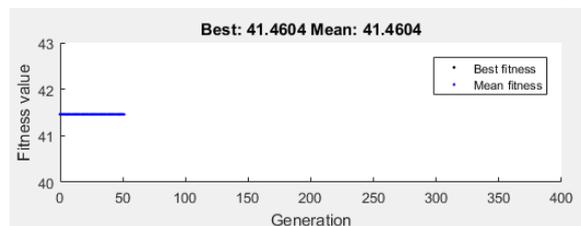
الشكل (14): مجال قيم الإنتاجية الأفضل في كل رحلة

الشكل (15) يدل على احتمالية اختيار عدد الروافع المناسب في كل رحلة مع زيادة عدد الحاويات المراد تفريغها من السفينة وعدد الروافع المخصص حسب تكرار الرحلات وفق تغيرات عدد الحاويات.

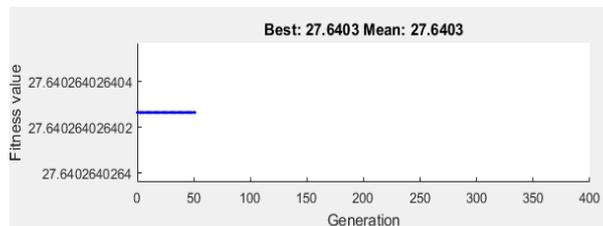


الشكل (15): احتمالية اختيار الروافع في كل جيل

لاحظنا خلال دراسة هذه الحالة بان السفينة المدروسة يتم تخصيص 2 أو 3 روافع عاملة فقط حسب عدد الحاويات وحسب فيما إذا وُجدت سفينة أخرى.



الشكل (16): قيمة الإنتاجية وفق معادلة fitness function في حال تخصيص رافعتين



الشكل (17): قيمة الإنتاجية وفق معادلة fitness function في حال تخصيص 3 روافع

لذلك بتقسيم قيمة الإنتاجية الناتجة على 2 من الروافع نجد أن إنتاجية كل رافعة تكون بمقدار 41.4604 حاوية بالساعة وبتقسيمها على 3 روافع تكون الإنتاجية 27.6403 حاوية بالساعة وهي أقرب للحالة الحقيقية للمحطة. وبالمقارنة مع نتائج المحطة نلاحظ ارتفاع إنتاجية الروافع للأفضل وبالتالي تقليل زمن تشغيل السفينة كما هو موضح في الجدول (5).

• الدراسة أيضاً تتم في الحالة المثالية السائق يمتلك مهارة عمل عالية ولا يوجد أعطال كبيرة تؤخر عمل الروافع وحالة الطقس الجيدة.

• لاحظنا تحقيق إنتاجية قريبة من الحالة الواقعية.

بحساب فرق الإنتاجية في حالة رافعتين بين إنتاجية دراستنا ومتوسط إنتاجية السفينة وفق حسابات المحطة في حال استخدام رافعتين فقط:

$$\frac{(41.4604 - 20.3133)}{41.4604} = 0.51 * 100 = 51\%$$

وبحساب فرق الإنتاجية في حالة 3 روافع:

$$\frac{(27.6403 - 19.035)}{27.6403} = 0.31 * 100 = 31\%$$

الجدول (5): إنتاجية الروافع وفق بيانات المحطة	
إنتاجية الروافع Box/hr	الرحلة
21.08	7.30.2018
25.27	8.27.2018
13.47	9.1.2018
21.86	9.9.2018
17.75	9.16.2018
19.55	9.23.2018
18.20	10.2.2018
18.00	10.9.2018
17.39	10.17.2018
19.57	10.24.2018

الاستنتاجات والتوصيات:

1. أعطت عملية الجدولة نتائج فعالة في اختيار الأرصفة والروافع العاملة.
2. ساهمت الجدولة في تقليل وقت إرساء السفينة في المرفأ مع ازدياد إنتاجية السفينة.
3. فرق الإنتاجية للسفينة عند جدولة الأرصفة وصل لحدود 10% ما بين زمن التشغيل المتوقع وزمن التشغيل الفعلي، وهذا يعني إن الزمن المتوقع يحقق إنتاجية أفضل.
4. نتائج جدولة وتخصيص الروافع حققت إنتاجية أعلى من إنتاجية الروافع في الحالة الحقيقية في حالة الوضع المثالي بنسبة 51% في حال استخدام رافعتين للعمل ونسبة 31% في حال استخدام 3 روافع للعمل.
5. خلال جدولة الروافع تم أتمتة الجدولة بحيث تعطي خطأ بحال زيادة أو تناقص الإنتاجية عن الناتجة ضمن الدراسة.

6. من خلال ما سبق نستنتج أن الخوارزمية الجينية حققت الحل الأمثل للحالة المدروسة السابقة في الحالة المثالية.

التوصيات:

1. ضرورة استكمال دراسة مستقبلية لعمليات الجدولة للآليات في محطة الحاويات بالتزامن مع زيادة عددها.
2. استكمال الدراسة المتكاملة بشكل متصل لجدولة الأرصفة وروافع الرصيف والشاحنات وروافع الساحة.
3. استكمال الدراسة الحالية مع تغيير بعض شروط العمل ومقارنتها مع الدراسة الحالية لدراسة إمكانية الحصول على إنتاجية أفضل مما تم التوصل إليه.
4. استكمال الدراسات المستقبلية بمنهجيات دراسة مختلفة عن الخوارزمية الجينية.
5. إمكانية تطبيق النماذج الرياضية لدراسة إنتاجية أي سفينة مرادة أو في أي مرفأ.
6. توصية لمحطة الحاويات باستخدام النماذج الرياضية والخوارزمية الجينية في زيادة إنتاجية السفن التي ترسو لتفريغ حمولتها.

References:

1. Lau, Henry YK, and Ying Zhao. "Integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals." *International journal of production economics* 112.2 (2008): 665-682.
2. Cao, Jinxin, Qixin Shi, and Der-Horng Lee. "Integrated quay crane and yard truck schedule problem in container terminals." *Tsinghua Science & Technology* 15.4 (2010): 467-474.
3. Wu, Yue, et al. "An integrated programming model for storage management and vehicle scheduling at container terminals." *Research in Transportation Economics* 42.1 (2013): 13-27.
4. Lu, Yiqin, and Meilong Le. "The integrated optimization of container terminal scheduling with uncertain factors." *Computers & Industrial Engineering* 75 (2014): 209-216.
5. Homayouni, Seyed Mahdi, Sai Hong Tang, and Omid Motlagh. "A genetic algorithm for optimization of integrated scheduling of cranes, vehicles, and storage platforms at automated container terminals." *Journal of Computational and Applied Mathematics* 270 (2014): 545-556.
6. Kaveshgar, Narges, and Nathan Huynh. "Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers." *International Journal of Production Economics* 159 (2015): 168-177.
7. Luo, Jiabin, and Yue Wu. "Modelling of dual-cycle strategy for container storage and vehicle scheduling problems at automated container terminals." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 79 (2015): 49-64..
8. Luo, Jiabin, Yue Wu, and André Bergsten Mendes. "Modelling of integrated vehicle scheduling and container storage problems in unloading process at an automated container terminal." *Computers & Industrial Engineering* 94 (2016): 32-44.
9. Zaghdoud, Radhia, et al. "A Hybrid Method for Assigning Containers to AGVs in Container Terminal." *IFAC-PapersOnLine* 49.3 (2016): 96-103.
10. Nagham Asfoury, Dr. Ali Janouda, Dr. Raed Jaafar / Supervision, "Estimating the initial costs of engineering projects using a hybrid model between genetic algorithms and neural networks." Department of Administration and Construction, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, (2013)