استخدام الخوارزميات التطورية في دعم اتخاذ القرارات الاستثمارية

د. ورد كوجك[1]

الملخص

هدف البحث إلى تقييم مدى فعالية الاعتماد على الخوارزميات التطورية، وتحديداً خوارزمية أمثلة سرب الجسيمات، والخوارزمية التطوريّة لفرز الحلول غير المهيمنة في اتخاذ قرارات استثمارية تلائم المستثمر والمتداول في سوق دمشق للأوراق المالية، باعتماد حالات مختلفة. استناداً إلى سلسلة من بيانات الأسهم التاريخية لمجموعة من أسهم الشركات المدرجة في سوق دمشق للأوراق المالية خلال الفترة الممتدة من 2023/1/1 وحتى 2024/12/31، كونها مدَّة حديثة نسبياً. توصلت الدراسة إلى أن تطبيق خوارزميات أمثَلَة سرب الجسيمات، والخوارزمية الجينية لفرز الحلول غير المهيمنة على حالات متعددة، يؤدي إلى نتائج ملائمة ومتوافقة مع رغبات وتوجهات المستثمر تجاه العوامل المؤثرة في القرارات الاستثمارية مثل العائد والمخاطرة والربح. كما تختلف نتائج تطبيق خوارزمية أمثَلَة سرب الجسيمات عن الخوارزمية الجينية لفرز الحلول بشكلٍ واضح وفي جميع الحالات المدروسة كانت الأسهم الناتجة عنهما متباينة، وعلى الرغم من صعوبة تطبيق الخوارزميتين، إلا أنهما يقدمان حلولاً واضحة ويساعدان في اتخاذ قرارات استثمارية صائبة مع الأخذ بعين الاعتبار حالة السوق المالي والأهداف الاستثمارية.

تدعم الخوارزميات التطورية (أمثَلَة سرب الجسيمات، الخوارزمية الجينية لفرز الحلول غير المهيمنة) عملية اتخاذ القرارات الاستثمارية وتسهم بشكل فعال في ترشيدها، كما أنها تعد ملائمة في حالة المستثمر المؤسساتي مثل مدراء الصناديق والمحافظ الاستثمارية.

[1] مدرس، كلية العلوم الإدارية والمالية، الجامعة الوطنية الخاصة.

الكلمات المفتاحية: خوارزمية أمثَلَة سرب الجسيمات (PSO) – الخوارزمية الجينية لفرز الحلول غير المهيمنة (NSGA-II) – القرارات الاستثمارية.

Using evolutionary algorithms to support investment decision making

Dr. Ward Kojak[2]

Abstract:

This study aims to evaluate the effectiveness of evolutionary algorithms, specifically Particle Swarm Optimization (PSO) and the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) in supporting investment decision-making in the Damascus Securities Exchange. Using historical stock data from listed companies between January 1, 2023, and December 31, 2024, the research investigates multiple investment scenarios to determine the suitability of these algorithms in aligning with investor preferences regarding return, risk, and profitability.

The results demonstrate that both PSO and NSGA-II provide effective and practical solutions for portfolio selection, despite their computational complexity. However, the outcomes of the two algorithms differ significantly, with each generating distinct sets of optimal stocks across all tested cases. These findings highlight the value of evolutionary algorithms in enhancing decision-making

[2] Associate Professor, faculty of administrative and financial sciences, AL-Wataniya private University.

processes, particularly for institutional investors such as fund and portfolio managers.

Keywords: Particle Swarm Optimization (PSO); Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II); Investment Decision-Making; Portfolio Optimization.

1-مقدمة:

تطوّر ميدان اتخاذ القرارات الاستثمارية على نحوٍ ملحوظٍ خلال العقود القليلة الماضية، إذ تحوّل من تقييمات نوعية تقليدية إلى اتجاهات كميّة أكثر تعقيداً. يمثل هذا التحوّل محاولةً لاستغلال الكم الهائل من بيانات الأسواق المالية المتغيرة دوماً. من بين التقدّمات العلمية المتعددة التي لها تأثير على استراتيجيات الاستثمار، برزت الخوارزميات التطوريّة كأداة محورية، توفر قدرة محسّنة لحل مشكلات الأمثلة المعقدة ودعم عمليات اتّخاذ القرارات.

الخوارزميات التطوريّة أحد أبرز أجزاء الذكاء الاصطناعي والنماذج الحسابية المستلهمة من التطوّر البيولوجي، إذ تستخدم آليات مثل الانتخاب والتحور والتّبادل لإنتاج حلول عالية الجودة بشكل تكراري للمشكلات متعدّدة الأبعاد وغير الخطيّة التي تنتشر بكثرة في الأسواق المالية. تجذّرت تطبيقها المالية بسبب متانة الحلول وقابليتها للتكيّف في الوقت ذاته، وهي الصفات التي تتناسب بشكل خاص مع الطبيعة الديناميكية والمتقلّبة لبيئات الاستثمار والتمويل.

يّعدُّ اتخاذ القرارات الاستثمارية عمليةً معقدةً تتضمن تحليل كمياتٍ كبيرةٍ من البيانات وتحديد الأنماط لاتخاذ قرارات ناجعة. عادةً ما يستغرق ذلك الكثير من الوقت والجهد، وقد لا تنتج الطّرق التقليدية دائماً أفضل النتائج. ولمواجهة هذا التحدي، لجأ الباحثون والممارسون إلى استخدام الخوارزميات التطوريّة بهدف تحسين الحلول وتطويرها.

تسمح مرونة الخوارزميات التطوريّة بالتكيّف مع تغيرات ظروف السوق، كما أن قدرة الخوارزميات التطوريّة على معالجة مجموعات البيانات الهائلة وتحديد الأنماط التي تفوق

نطاق التّحليل البشري يمكن أن تساعد على اتخاذ قرارات استثمارية أكثر إحاطةً واستراتيجيةً عندما يتعلق الأمر بتخصيص الأصول، أمثلة المحفظة، وإدارة المخاطر. بشكلٍ عام.

مع استمرار تقدم القطاع المالي بما فيه الأسواق المالية في التعقُّد والتّنافسية، يمثل دمج الخوارزميات التطوريّة في عمليات اتّخاذ القرارات الاستثمارية ليس فقط تماشياً مع التقدم التكنولوجي، بل خطوة ضرورية للحفاظ على ميزة استراتيجية، ممهداً الطريق لأنظمة مالية أكثر مرونةً وازدهاراً.

2- مشكلة البحث: تتمثل في الحاجة إلى تحسين قدرات صانع القرار على اتخاذ القرارات الاستثمارية بما يتماشى مع التحديات التي تواجه الأسواق المالية على مختلف أنماطها ومستويات كفاءتها، والتي تشهد تقلّبات مرتفعة وتعقيدات كثيرة. فالطرق التقليدية لتحليل الاستثمارات، مثل النّمذجة المالية وتحليل الاتجاهات، قد تكون غير كافية أو بطيئة الاستجابة لتفاعلات السوق.

يُضيف التطور السريع في التكنولوجيا والبيانات الكبيرة طبقة من التعقيد ويقترح بالوقت ذاته إمكانية استدامة ممارسات التحليل بمساعدة الذكاء الصناعي والخوارزميات التطوريّة. وحتى الآن، لم يتم استثمار القدرات الكاملة لهذه الأدوات في عالم الاستثمار بشكل كامل. ومن هنا تأتي المشكلة البحثية: **كيف يمكن للخوارزميات التطوريّة أن تسهم في اتخاذ قرارات استثماريّة أكثر دقة وفعالية، مع مراعاة التقلّبات السريعة والمخاطر المرتبطة بالأسواق المالية؟**

ويتفرع عنه الأسئلة الآتية:

1- ما مدى فعالية استخدام الخوارزميات التطوريّة في تحليل البيانات المالية وتقديم مسارات حلول ملاءمة لحالة السوق المالي؟

2- هل يمكن الاعتماد على مخرجات تشغيل الخوارزميات التطوريّة في اتخاذ قرارات استثمارية تلبي أهداف المستثمر ومواقفه تجاه العائد والمخاطرة في سوق دمشق للأوراق المالية؟

3- ما هو تأثير الاختلافات بين مخرجات الخوارزميات المستخدمة في القرارات الاستثمارية؟ وهل يوجد حلول أفضل من غيرها؟

3- أهداف البحث وأهميته:

3-1- أهداف البحث: يمكن تلخيص أهداف البحث في النقاط الآتية:

- استخدام الخوارزميات التطوريّة في تحليل البيانات المالية وتقديم مسارات حلول ملاءمة لحالة السوق المالي.
- تقييم مدى فعالية الاعتماد على مخرجات تشغيل الخوارزميات التطوريّة في اتخاذ قرارات استثمارية تلبي أهداف المستثمر ومواقفه تجاه العائد والمخاطرة في سوق دمشق للأوراق المالية.
- دراسة وتحديد تأثير الاختلافات بين الخوارزميات المستخدمة في اتخاذ القرارات الاستثمارية، وتمييز أفضل الحلول.

3-2- أهمية البحث:

تكمن الأهمية العلميّة للبحث في استخدامه لأدوات وطرق جديدة في مجال اتخاذ قرارات الاستثمار، وتحسين فعاليتها ودقتها بشكل أفضل من نظيرتها التقليدية، إضافةً إلى استخلاص استراتيجيات استثمارية مُحسنة في إطار محاولة لتحقيق إضافة علمية. كما تتوضّح الأهمية العمليّة للبحث من كونه يساعد في تقليص الخسائر المحتملة ويزيد من قدرة المستثمر على التحوط واتخاذ موقف استثمارية متوافقة مع رغباته وتفضيلاته، ومنسجمة مع درجة التعقد السوقي، كما يرشّد القرارات الاستثمارية.

4- فرضيات البحث:

تحقيقاً لأهداف البحث وبناءً على التساؤلات الخاصة بالمشكلة البحثية فإنه يمكن صياغة الفرضية الرئيسة الآتية: اعتماداً على توجّهات المستثمرين في سوق دمشق للأوراق المالية بما يخصُّ أسهم الشركات عينة البحث، لا تسهم الخوارزميات التطورية في اتخاذ قرارات استثمارية أكثر دقة وفعالية من الطرق التقليدية، كما أنها لا تراعي التقلُّبات السريعة والمخاطر المرتبطة بالأسواق المالية.

5- حدود البحث ومصادر جمع البيانات:

يمكن تقسيم حدود البحث إلى: الحدود المكانية والحدود الزمانية، وفيما يلي توضيح لذلك:

- الحدود المكانية: تم تطبيق الدراسة العملية اعتماداً على البيانات التاريخية لأسهم الشركات المدرجة في سوق دمشق للأوراق المالية.
- الحدود الزمانية: تمثلت في سلسلة أسعار الإغلاق اليومية لأسهم الشركات ذات العوائد الإيجابية وذلك للفترة الممتدة من 2023/1/1 وحتى 2024/12/31، كونها مدَّة حديثة نسبياً حدثت خلالها مجموعة من التغيرات والإفصاحات الطارئة من قبل بعض الشركات المدرجة في السوق.

أما فيما يتعلق بمصادر جمع البيانات فقد تم الحصول عليها من الموقع الرسمي لسوق دمشق للأوراق المالية.

6- الدراسات السابقة:

يوجد العديد من الدراسات التي تناولت موضوع اتخاذ القرارات الاستثمارية باعتماد مقاربات مختلفة منها الخوارزميات التطوريّة وغيرها، كما استخدمت الخوارزميات التطوريّة في العديد من الأبحاث والأوراق العلمية ذات الصلة بمجال التمويل والاستثمار، وقد تم الاطلاع على عدد من هذه الدراسات نذكر منها ما يلي:

- دراسة: **كولي، محمد قاسم، السعدون، محمد فائز (2021)** بعنوان "**استخدام الخوار زميات العشوائية والعددية لتداول الأسهم لقطاعي المصارف والخدمات في سوق ال عراق للأوراق المالية**"

هدفت هذه الدراسة إلى تحقيق أفضل العوائد في ظل تقلب أسعار الأصول المالية وإيجاد طريقة لتحديد سعر الشراء والبيع الأمثل، إذ استخدمت الخوارزميات العددية والعشوائية لتقدير أسعار الشراء والبيع المرغوب بها التي تعظم العائد المتوقع، تكونت عينة الدراسة من سلسلة الأسعار اليومية لقطاعي المصارف والخدمات للفترة الممتدة من 1-1-2015 وحتى 30-6-2018 في سوق العراق للأوراق المالية، توصلت الدراسة إلى مجموعة من الاستنتاجات أهمها: لا تحتاج الخوارزميات المستخدمة إلى تحديد توزيعات احتمالية لسعر الأصل، كما أن تختصر الوقت اللازم لإجراء العمليات الحسابية إذا ما تم ذلك بالطرق التقليدية، بالإضافة إلى أن التسعير باستخدام الخوارزميات أكثر فعالية وانسجام

مع مستوى كفاءة سوق الأوراق المالية محل الدراسة، كما أن تطبيقها يحقق هوامش ربح معقولة بالنسبة للمتداولين والمستثمرين.

- دراسة **Lopes de Almeida, R., Neves, R. (2022)** بعنوان:

"Stock market prediction and portfolio composition using a hybrid approach combined with self-adaptive evolutionary algorithm"

قدمت الدراسة نهجاً جديداً لتعظيم عوائد الاستثمار، إذ يشمل على خوارزميتين تطوريتين بالإضافة إلى استراتيجيات الاستثمار الأساسية، وقد هدفت إلى تحديد التوقيت الأفضل لإدخال الأوامر وفتح أو إغلاق المراكز في السوق المالي، شملت عينة الدراسة بيانات مؤشر S&P 500 ، كما تم تدريب الخوارزميات لمدة سنتان، وقد توصلت الدراسة إلى تحقيق عوائد إضافية تفوق المؤشر المعني في كل من الخوارزميات المطبقة، إذ كانت العوائد المحققة ضعفي عوائد المؤشر في حال كان السوق هابطاً، بينما كانت العوائد المحققة تقارب تسعة أضعاف عوائد المؤشر في حال كان السوق صاعداً، كما أن نسب Sharpe توافقت مع النتائج سابقة الذكر في حال المقارنة ين نتائج تطبيق الخوارزميات وعوائد المؤشر.

- دراسة **Sepielak, J. & Dre˙zewski, R. (2008)** بعنوان:

"Evolutionary System for Generating Investment Strategies"

هدفت الدراسة إلى تحليل أكبر قدر ممكن من استراتيجيات التداول وذلك باستخدام الخوارزميات التطوريّة في إطار نظام دعم اتخاذ قرار متكامل، وأنظمة الخوارزميات متعدّدة الوكلاء، تم تطبيق الدراسة العملية على عينة بيانات تجريبية لمدة خمس سنوات بواقع مشاهدات يومية، وتم تشغيل الخوارزمية 30 مرة في كل مرحلة، واعتمد عدد الأجيال 500 في كل دورة تشغيل للخوارزمية باعتماد القيم المثلى للمعلمات. توصلت الدراسة إلى إمكانية إنشاء استراتيجيات استثمارية باستخدام ثلاث أنواع من الخوارزميات التطوريّة: الكلاسيكية، والمشتركة، والمشتركة القائمة على الوكيل، وهي مناسبة في الحالات التي يكون فيها الحل

دون الأمثل مناسباً تماماً لصانع القرار الاستثماري، كما توصلت الدراسة إلى أن الخوارزمية التطوريّة هي الأفضل من بين الأنماط الثلاث التي تم تشغيلها.

- دراسة **Sarich, M. D. (2001)** بعنوان:

"Using Genetic Algorithms to Improve Investment Decision Making"

هدفت الدراسة إلى التغلب على الصعوبات التي تواجه صناع القرارات الاستثمارية في مجالي النفط والغاز، وذلك بشأن المزيج الأمثل من المشاريع التي يجب متابعتها، اعتمدت الدراسة عينة من أسهم شركات قطاعات الطاقة، تحديداً النفط والغاز في الأسواق العالمية، إذ عملت على المقارنة بين الطرق التقليدية في صناعة القرارات الاستثمارية مثل تحليل القوائم المالية وحساب معدل العائد المخصوم وصافي القيمة الحالية، توصلت الدراسة إلى أن الطرق التقليدية سابقة الذكر لا تفضي إلى نتائج أفضل إلا إذا كان عدد المشاريع المحتملة قيد النظر صغيراً جداً، بينما كانت نتائج تطبيق الخوارزميات الجينية قريبة من المستوى الأمثل الحقيقي مع الأخذ بعين الاعتبار العديد من قيود العمل ضمن إطار زمني مقبول.

- دراسة **Karjalainen, R. & Allen, F. (1999)** بعنوان:

"Using genetic algorithms to find technical trading rules"

هدفت الدراسة إلى استخدام الخوارزميات الجينية بهدف إيجاد قواعد لتداول مؤشر S&P 500، باعتماد مجموعة من بيانات المؤشر توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها: يمكن للخوارزمية الخاصة التي طورها الباحثان أن تحدد الهياكل والمعلمات المتعلقة بنماذج قواعد التداول، إذ كانت كل قاعدة منظمة في مجموعة عقدية تتضمن إشارة مرجعية، نتج عنها خرج يفيد في كل حالة ما إذا كان من الأفضل الشراء أو البيع وبسعر معين. تضمن قواعد التداول: البيانات التاريخية، والثوابت العددية أو المنطقية، أما دالة الصلاحية فقد اعتمدت على العائد الفائض في حال تم اتباع استراتيجية الشراء والاحتفاظ، إلا أنه لم يتجاوز تكاليف المعاملات في الحالات التي تم تطبيقها.

بناءً على ما تم ذكره من دراسات سابقة، تختلف الدراسة الحالية عن سابقتها من ناحية مجتمع البحث، إذ لم يتم رصد أيّة دراسة عملت على تطبيق الخوارزميات التطوريّة في مجال اتخاذ القرارات الاستثمارية في سوق دمشق للأوراق المالية، وذلك في حدود ما اطلع عليه الباحث، كما تختلف عن الدراسات السابقة أيضاً من ناحية الأسلوب المطبق في تكوين وتشغيل الخوارزميات وأنماطها المستخدمة، بالإضافة إلى اختلافها من حيث المدة الزمنية، مما يؤكد على الأهمية والإضافة العلمية.

7- الإطار النظري للبحث:

7-1- القرارات الاستثمارية:

تُعرَّف القرارات الاستثمارية بأنها الخيارات التي يتخذها الأفراد أو المؤسسات فيما يتعلق بشراء، أو بيع، أو تحويل، أو الاحتفاظ بأصول استثمارية معينة. تشمل هذه الأصول عادةً: الأسهم، والسندات، والصناديق المشتركة، والعقارات، والسلع، وغيرها من الأدوات المالية.

يسعى متخذو القرارات الاستثمارية –المستثمرون ومدراء صناديق الاستثمار– لتحقيق أهداف خاصة مثل الربحية، أو الأمان، أو النمو، أو الدخل، وذلك استناداً إلى تفضيلاتهم تجاه العائد من الاستثمار، ومواقفهم تجاه عنصر المخاطرة المرتبطة بتلك الاستثمارات، التي ينتج عنها تصوراً واضحاً حول مواقفهم الاستثمارية[3].

7-1-1- أنواع القرارات الاستثمارية:

تُصنّف القرارات الاستثمارية عادةً إلى ثلاث فئات رئيسية: **أولاً؛** قرارات الاستثمار الاستراتيجية: تتضمن هذه القرارات تحديد الأهداف الطويلة الأجل، وتشكيل محفظة الاستثمارات الأساسية، وتحديد النسبة المثالية بين الأصول ذات المخاطر المختلفة. **ثانياً؛** قرارات الاستثمار التكتيكية: تتعلق بتعديلات مؤقتة في محفظة الاستثمار بناء على توقعات

[3] Virlics, A. (2013). **Investment decision making and risk**. *Procedia Economics and Finance, 6*, 169-177. P. 171.

السوق قصيرة الأجل أو لاستغلال الفرص التي تظهر نتيجة التغيرات في الظروف الاقتصادية أو السوق.

أخيراً؛ قرارات الزمن والتوقيت: تتمثل في تحديد الأوقات المثالية للشراء أو البيع بناءً على التحليل الفني أو الأساسي، أو تحليلات السوق الأخرى التي تهدف إلى تحديد توقيت الدخول أو الخروج من السوق لتحقيق أقصى مكاسب أو تقليل الخسائر[4].

7-1-2- طُرق اتخاذ القرارات الاستثمارية:

لاتخاذ القرارات الاستثمارية، يُعتمد عادةً على تحليل شامل ومنظم يتضمن النظر في مدى مقابلة المخاطر للعوائد، كما يؤخذ بعين الاعتبار درجة التنويع في حال كان الاستثمار في محفظة أصول أو أدوات مالية، إضافةً إلى تقييم البيئة الاقتصادية الداخلية والخارجية، واستخدام التقييمات الكمية والنوعية للسوق والأصول المالية.

تنقسم طرق اتخاذ القرارات الاستثمارية إلى مجموعتين أساسيتين: التحليل الأساسي والتحليل الفني، بالإضافة إلى استراتيجيات أخرى مثل التحليل الكمي واستخدام النماذج الحسابية، بما في ذلك الخوارزميات التطوريّة والذكاء الاصطناعي، كما يمكن أن تتضمن نماذج ونظريات مالية ورياضية متأصلة من مثل نظرية المحفظة الاستثمارية، ونظرية الألعاب، ونظرية الاختيار العقلاني، وقد تشمل المقاربات المعنية بالجوانب السلوكية للمستثمرين من مثل التحيزات السلوكية وغيرها.

7-2- الخوارزميات التطوريَّة:

هي فئة من الخوارزميات التحسينية المستلهمة من التطور البيولوجي وعمليات الانتقاء الطبيعي. تعمل هذه الخوارزميات على إيجاد مجموعة من الحلول المحتملة لمشكلة معينة، باستخدام آليات مثل التحور، التزاوج (التركيب الجيني)، والانتقاء لإنتاج حلول مرشحة جديدة عبر الأجيال المتعاقبة، تتطور "المجموعة" نحو حلٍ مثالي أو ملائم لظروف اتخاذ القرار.

[4] Trone, D. B., Allbright, W. R., & Taylor, P. R. (1996). **The management of investment decisions**. P. 73.

تقوم الخوارزميات التطورية بتمثيل الحلول المحتملة كمجموعة من المعلمات (مشابهة للتركيب الجيني للكائنات الحية)، وذلك باستخدام دالة الصلاحية Fitness Function لتقييم وتصنيف هذه الحلول حسب مدى جودة حلها للمشكلة، وتطبيق معاملات تطورية لإنتاج الجيل التالي من الحلول. تم تطبيق الخوارزميات التطورية على مجموعة واسعة من مشكلات الأمثلة المعقدة، بما في ذلك تلك الموجودة في أنظمة التحكم، والذكاء الاصطناعي، والهندسة، والاقتصاد.

7-2-1- أمثَلَة سرب الجسيمات Particle Swarm Optimization (PSO):

هي عبارة عن تقنية تعمل على إيجاد الحُلُول المُثلَى لحالة معينة "مشكلة رياضية أو منطقية" من خلال المحاولة المتكررة لتحسين حل مرشح فيما يتعلق بمقياس معين للجودة، تمثلها "الجسيمات المسماة" Dubbed Particles. انطلاقاً من وجود مجموعة من الحُلُول المرشحة، تتحرك الجسيمات في فضاء البحث عن الحُلُول وفقاً لصيغة رياضيّة تعتمد على موضع الجسيم وسرعته، والهدف هو التقارب نحو الحل الأمثل عن طريق البحث العشوائي في فضاء الحلول.

قدم Eberhart, Kennedy (1995) خوارزميات PSO وكان الغرض منها في البداية محاكاة السلوك الاجتماعي، من خلال تمثيل مبسط لحركة الكائنات الحية في سرب الطيور أو الأسماك. تم تبسيط الخَوَارزميّة فيما بعد ولوحظ أنها تؤدي إلى حُلُول أمثل عند تطبيقها على المشاكل الرياضيّة من النمط غير المقيّد.

تبدأ الخَوَارزميّة بتهيئة مجموعة من الجسيمات العشوائية، يرتبط كل منها بموقع وسرعة معينة، في المرحلة التالية يتم تعديل السرعة والموضع بناءً على المواضع السابقة لكل جسيم وأقرانه في فضاء البحث. يتم تحديث المواضع بشكل متكرر، إذ تميل الجسيمات إلى الانتقال نحو مناطق حلولٍ أفضل أثناء عمليّة البحث[5].

[5] Clerc, M. (2010). **Particle Swarm Optimization.** Germany: Wiley. P. 36.

وفقاً للخَوَارزميّة يتم تسمية كل حل مرشح "جسيم" أو "Particle" وهو عبارة عن نقطة في فضاء الحُلُول، فإذا كان D عدد المعلمات المراد أمثلتها، فإن موضع الجسيم من المرتبة i^{th} يمكن توصيفه بواسطة الشعاع X_i من خلال:

$$X_i = [X_{i1} X_{i2} X_{i3} \dots \dots X_{iD}] \qquad (1)$$

عندها يمكن التعبير عن "المجتمع" Population لـ N حل مرشح المشكل "للسرب" أو "Swarm" بواسطة:

$$\mathrm{X} = [X_1, X_2, \dots, X_N] \qquad (2)$$

وعند البحث عن الحل الأمثل للمشكلة، تحدد الجسيمات المسارات في فضاء الحل (مساحة البحث) الخاص بالمعلمات (أي تحديث مواقعها بشكل متكرر) بناءً على معادلة الحركة الآتية:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i\,(t+1) \qquad (3)$$

إذ تمثل t و $t+1$ "تكرارين متتاليين للخَوَارزميّة" Two Successive Iterations، ويمثل V_i المتجه الذي يراكم سرعة تحرك الجسيمات على طول أبعاد فضاء الحل.

تتحكم متجهات السرعة في الطريقة التي تتحرك بها الجسيمات عبر مساحة البحث، ويضم ثلاث مكونات: يمثل الأول "القصور الذاتي أو الزخم" Inertia or Momentum، يمنع الجسيم من تغيير الاتجاه بشكل جذري من خلال تتبع اتجاه التدفق السابق له. أما الثاني، يمثل "المكوّن المعرفي" Cognitive Component ويفسر ميل الجسيمات للعودة إلى مواقعها الأفضل التي سبق العثور عليها[6].

يسمى الأخير "المكوّن الاجتماعي" Social Component ويحدد ميل الجسيم للتحرك نحو أفضل موضع للسرب بأكمله (أو في الجوار المحلي للجسيم) اعتماداً على ما إذا كان يتم استخدام الخَوَارزميّة لإيجاد حُلُول عامة أو جزئية.

[6] كوجك، ورد، (2022) **"أمثلة المحافظ الاستثمارية بين المدخلين التقليدي والسلوكي"**، أطروحة دكتوراه منشورة، كلية الاقتصاد، جامعة حماه، سورية، ص: 215.

بناءً على ما سبق، تتحدد سرعة الجسيم من المرتبة i^{th} بواسطة الصيغة الآتية[7]:

$$V_i\ (t+1) = V_i\ (t) + c_1\big(P_i - X_i(t)\big)R_1 + c_2\big(g - X_i(t)\big)R_2 \quad (4)$$

حيث:

P : اختصاراً لـ Personal Best ويمثل أفضل حل تم الوصول إليه من قبل جسيم معين.

g : اختصاراً لـ Global Best ويمثل أفضل حل تم الوصول إليه من قبل السرب بأكمله.

c_1, c_2: ثوابت التسارع ، تكون قيما عادةً ضمن المجال $2 \le c_1, c_2 \le 4$.

R_1, R_2: عبارة عن مصفوفتين قطريتين من الأرقام العشوائية الناتجة عن توزيع موحد ضمن المجال [0،1]، بحيث يكون للمكونات الاجتماعية والمعرفية تأثير عشوائي على التحديث في شعاع السرعة في المعادلة المعنية.

7-2-2- الخَوَارزميّة الجينيّة لفرز الحُلُول غير المهيمنة Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm

هي أحد الأنواع المحدّثة للخوارزميات الجينيّة، يرمز لها اختصاراً (NSGA-II)، إذ تعتمد على طريقة استكشافية مستوحاة من عمليّة الاصطفاء الطبيعي، وتصنف ضمن الأجيال الثانية "الأحدث" من الخوارزميات التطوّريّة[8].

قدم (Holland, 1975; De Jong, 1975) الخوارزميات الجينيّة (GAs) وطوراها، إذ كانا أول من استخدم "التقاطع أو التصالب أو العبور" Crossover و"إعادة التركيب" Recombination و"الطفرة" Mutation و"الاصطفاء" Selection في دراسة الأنظمة التكيفيّة والاصطناعية. يُطلق على المراحل السابقة مصطلح "العاملات الجينيّة" Genetic Operators إذ تشكل أساس الخَوَارزميّة الجينيّة وتمكنها من العمل كاستراتيجية لحل المشكلات[9]. تم تطوير العديد من أنماط الخوارزميات الجينيّة وتطبيقها على مجموعة واسعة

[7] Marini, F., & Walczak, B. (2015). ***Particle swarm optimization (PSO). A tutorial***. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *149*, 153-165. P. 159.

[8] D. E. Goldberg, (1989). **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA. P. 22.

[9] Holland, J. H. (1975). **Adaptation in natural and artificial systems**, University of Michigan. press. Ann Arbor.

من المشاكل الرياضية والبرمجية وغيرها، من تلوين الرسم البياني إلى التعرف على الأنماط، ومن الأسواق المَاليّة إلى حل مشاكل الأمثلة الهندسية متعددة الأهداف.

يتوجب –قبل تطبيق الخَوَارزميّة الجينيّة – تمثيل فضاء الحلول ومجالاتها جينياً، أي إعادة صياغة الحُلُول بما يتلاءم مع طرق الحوسبة التطوّرية، كما يتم تحديد "دالة الصلاحية" Fitness Function وذلك من خلال تحويل دالة الهدف إلى دالة متوافقة مع آلية عمل الخوارزميات الجينيّة، وهي أهم وأصعب المتطلبات لتطبيق النوع المعني من الخوارزميات. بعد استيفاء المتطلبات السابقة، يتم الانتقال إلى عمليّة البحث عن الحُلُول التي تمر بالمراحل الآتية[10]:

1- **البدء Initialization**: يتم إنشاء مجتمع عشوائي من "الكروموسومات" Chromosomes، بالاعتماد على حجم المجتمع مع الأخذ بعين الاعتبار طبيعة المشكلة، إذ يحتوي عادةً على عدة مئات أو الآلاف من الحُلُول الممكنة.

2- **الاصطفاء Selection**: يتم اختيار مجموعة من أفراد المجتمع الحاليين ويتم تسميتهم كروموسومات الأبوين (Parents Chromosomes) من المجتمع الابتدائي الذي تم توليده عشوائياً بهدف إنشاء الجيل التالي، تتميز مرحلة الاصطفاء بفائدتها في تحسين الحل النهائي بناءً على دالة الصلاحية. جديرٌ ذكره بوجود العديد من طرق الاصطفاء التي إما تعتمد "النخبويّة" Elitism أو "دولاب الحظ" Roulette Wheel أو "الجولات" Tournament. يتم تقييم مدى ملاءمة كل حل والاختيار بينها تفضيلياً وقد يستغرق ذلك وقتاً طويلاً للغاية بحسب المعايير التي تقيم كافة الحلول، بينما تُقيّم طرقٌ أخرى عينة عشوائية فقط من المجتمع، وتوصف بأنها أسرع من سابقتها.

3- **التصالب Crossover**: يُعدُّ إحدى طُرق توليد حُلُول جديدة بشكل عشوائي من أفراد المجتمع الحاليين، فهو عبارة عن عامل جيني يستخدم لدمج المعلومات الجينيّة لوالدين

[10] Tang, Kit-Sang, ***et al.*** (2012). **Genetic Algorithms: Concepts and Designs**. United Kingdom, Springer London. Pp. 28-44.

(كروموسومين) لتوليد ذريّة جديدة. كما يمكن أيضاً إنشاء الحُلُول عن طريق استنساخ حل موجود.

4- **التطافر Mutation:** تمثل الطفرة احتمالية أن تتغير "بت" Bit عشوائية في تسلسل جيني عن حالتها الأصلية. إذ يتم إنشاء مُتَغَيّر عشوائي لكل بت في تسلسل، يوضح هذا المُتَغَيّر العشوائي احتمالية حدوث تغيير في بت من عدمه. تستخدم الطفرة للحفاظ على التنوع الجيني انطلاقاً من جيل واحد من مجموعة كروموسومات الخَوَارزميّة الجينيّة، انتقالاً إلى الجيل التالي، على نحوٍ مشابهٍ للطفرة البيولوجية.

يهدف معامل التطافر إلى إدخال التنوع في عينة الأفراد في محاولة لتجنُّب "الحدود الدنيا المحلية" Local Minima عن طريق منع تعداد الكروموسومات من أن تصبح متشابهة للغاية مع بعضها البعض، ومن ثم إبطاء أو حتى إيقاف التقارب إلى "المستوى الشامل الأمثل" Global Optimum. تساعد الطفرة على تجنُّب أخذ الأصلح من الأفراد فقط في توليد الجيل التالي، ولكن بدلاً من ذلك يتم اختيار مجموعة عشوائية (أو شبه عشوائية) مع ترجيح أولئك الأفراد الأكثر ملاءمةً.

5- **الاستبدال Replacement:** هي المَرحَلة الأخيرة، وعلى الرغم من وجود العديد من الطرق، إلا أن الأكثر شيوعاً هو الاستبدال الكامل للأجيال، إذ يتم وضع الجيل الجديد المتكون بحصيلة المراحل السابقة مكان المجتمع الابتدائي.

6- **الانتهاء Termination:** تتكرر الخطوات السابقة حتى يتم استيفاء "معيار إنهاء"Stopping Criteria محدد مسبقاً، ويأخذ ذلك عدة أشكال مثل الوصول إلى الحل الأمثل ضمن الأدنى أو الأعلى بحسب دالة الهدف، أو عند عدد محدد من الأجيال، أو في قيود متعلقة بالإمكانات البرمجية والحاسوبية، أو مجموعة مما سبق ذكره[11].

تُستخدم الخوارزميات التطورية في مجال اتخاذ القرارات الاستثمارية لمعالجة مشكلات الأمثلة المعقدة والتنبؤ بالأسواق وتطوير نماذج للتسعير وإدارة المخاطر وتحقيق التنوع في

[11] كوجك، ورد، (2022) **مرجع سبق ذكره،** ص: 240.

المحافظ الاستثمارية. عموماً، يمثل استخدام الخوارزميات التطورية في اتخاذ القرارات الاستثمارية حدوداً جديدة في مجال التمويل، ومن خلال تسخير قوة الذكاء الاصطناعي ومبادئ التطور، يمكن للمستثمرين اكتساب فهم أعمق للأسواق واتخاذ قرارات أكثر استنارة حول كيفية تخصيص مواردهم لتحقيق العائدات المثلى. يمكن توقُّع رؤية فوائد أكبر من هذه الأدوات المبتكرة في الفترات القادمة مع استمرار تطور التكنولوجيا وتحسنها.

8- الدراسة التطبيقية:

8-1- تحديد الأسهم عينة الدراسة وحساب متوسط العوائد وانحرافاتها المعيارية:

شملت الدراسة جميع أسهم الشركات المدرجة في سوق دمشق للأوراق المالية، للفترة الممتدة من 1-1-2023 وحتى 31-12-2024، إذ تم اعتماد الرموز الأساسية للأسهم بحسب ما هي مدرجة في السوق. بالاعتماد على سلسلة أسعار الإغلاق اليومية، تم حساب العوائد التاريخية من خلال الصيغة الآتية:

$$R = \frac{P_{t+1} - P_t}{P_t} \qquad (5)$$

تتوضح النتائج من خلال الجدول الآتي:

الجدول (1): المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لعوائد الأسهم عينة الدراسة

السهم	متوسط العائد	الانحراف المعياري	السهم	متوسط العائد	الانحراف المعياري
ARBS	0.435%	2.313%	UIC	0.441%	4.552%
BASY	0.484%	2.846%	AROP	0.397%	2.455%
BBSF	0.107%	2.879%	NIC	0.708%	2.205%
BSO	0.271%	2.322%	ATI	-0.173%	2.318%
IBTF	0.321%	2.901%	SAIC	0.021%	0.323%
SIIB	0.067%	2.286%	SKIC	0.266%	1.894%
BBS	0.618%	2.083%	AHT	0.348%	5.544%
QNBS	0.267%	2.352%	UG	0.000%	0.000%

0.000%	0.000%	NAMA	5.210%	0.580%	BOJS
2.740%	0.032%	AVOC	1.563%	0.156%	SGB
1.946%	0.271%	ABC	2.076%	0.702%	SHRQ
1.091%	0.086%	SYTEL	2.717%	0.341%	FSBS
0.000%	0.000%	MTN	2.501%	0.387%	CHB
			3.919%	0.057%	BBSY

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على البيانات المدرجة في موقع سوق دمشق للأوراق المالية.

يتضح من خلال الجدول السابق أن عوائد أسهم الشركات المدرجة في سوق دمشق للأوراق المالية منخفضة نسبياً، إذ حقق بنك الشرق العائد الأعلى بينها خلال فترة الدراسة، أما أسهم المتحدة للتأمين وشركة نماء وMTN كانت صفرية ولم يطرأ عليها أية تغير وذلك بسبب عدم تداولها بيعاً أو شراءً، ومن ثم فمن المفترض أنها غير جاذبة للمستثمر ولا ينصح بحيازتها، ولكن ولأغراض التأكد من كفاءة الخوارزميات المستخدمة، تم تضمين جميع الأسهم المدرجة في سوق دمشق للأوراق المالية.

8-2- استخدام خوارزمية أمثلة سرب الجسيمات (PSO) في اختيار الأسهم:

تم ضبط الخَوَارزميّة لتبحث عن أفضل الحلول في فضاء مكون من 200 حل كحد أقصى، بسبب محدودية القدرة البرمجية للحاسب، كما تم ضبط عدد التكرارات لتكون 200 أيضاً، وتحديد عدد أفراد السرب ليساوي (40)، واستخدمت القيمة الشرطية المعرضة للخطر كمقياس لمخاطرة الأسهم عند مستوى (α=95%) كونها أكثر تناسباً مع طبيعة الخَوَارزميّة من مقاييس التشتت. تم في المَرحَلة التالية، حساب مواضع الجسيمات، وتكلفة انتقال كل منها، والمخرجات المبدئية، وسرعة الجسيمات في الانتقال عند تحسين الحُلُول، ومن ثم المواضع الجديدة. تتكرر الخطوات السابقة إلى حين الوصول إلى العدد المضبوط (40) المساوٍ لعدد أفراد السرب.

تم إعادة تشغيل الخوارزمية وتكرار جميع الخطوات السابقة لتغطي ثلاث حالات وفقاً للآتي:

8-2-1- الحالة (1): المستثمر المخاطر: في هذه الحالة يتم إعطاء الأولوية في البحث عن الحلول بحيث تعطي أكبر عائد ممكن بالنسبة للمستثمر، إذ يتم ترتيب الأهمية النسبية للاستثمارات بحسب العائد الأعلى، وتكون المخاطرة أقل أهميةً، ذلك لأن المستثمر المخاطر يهتم بعنصر العائد، كانت النتائج كالآتي:

الجدول (2): الأسهم بحسب خوارزمية (PSO) الحالة (1)

السهم	متوسط العائد	الأهمية النسبية
BBS	0.618%	3
BOJS	0.580%	4
SHRQ	0.702%	2
NIC	0.708%	1

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج (MATLAB 2015a)

يوضح الجدول (2) الأسهم الأربعة المرشحة للاستثمار في حالة المستثمر المخاطر، ومن ثم يمكن له أن يقوم بالتداول على سهم الشركة السورية الوطنية للتأمين كونه يحتل الأهمية النسبية الأعلى في حال كان المستثمر يحبذ توجيه موارده المالية بما يحقق أعلى عائد ممكن، أما في حال رغبته بتنويع استثماراته يمكن أن يقوم بالتداول على سهم بنك الشرق، وسهم بنك بيبلوس، وأخيراً سهم بنك الأردن سورية.

8-2-2- الحالة (2): المستثمر المتحفظ: في هذه الحالة يتم إعطاء الأولوية لعنصر المخاطرة في البحث عن الحلول بحيث تعطي الخوارزمية أدنى مخاطرة ممكنة بالنسبة للمستثمر، إذ يتم ترتيب الأهمية النسبية للاستثمارات بحسب المخاطرة الأدنى، ويكون العائد أقل أهميةً، ذلك أن المستثمر المتحفظ يهتم بتخفيض المخاطرة قدر الإمكان، عُرضت النتائج في الجدول (3).

الجدول (3): الأسهم بحسب خوارزمية (PSO) الحالة (2)

السهم	المخاطرة (CVaR)	الأهمية النسبية
BSO	0.01%	2
BBS	0.24%	3
SAIC	-0.03%	1

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج (MATLAB 2015a)

يوضح الجدول (3) الأسهم الثلاث المرشحة لاستثمار في حالة المستثمر المتحفظ، ومن ثم يمكن له أن يقوم بالتداول على سهم شركة سوليدارتي للتأمين كونه يحتل الأهمية النسبية الأعلى، ولكن في هذه الحالة سوف يكون العائد منخفضاً جداً، أما في حال رغبته بتنويع استثماراته يمكن أن يقوم بالتداول على سهم بنك بيمو، وسهم بنك بيبلوس، إذ يرافقهما عائد مقبول بشكلٍ كبيرٍ عند مستوى مخاطرة منخفض جداً، لأن احتمال الخسارة عند مستوى (5%) مقاساً بالقيمة الشرطية المعرضة للخطر يكاد يكون شبه معدوم.

8-2-3- الحالة (3): المضارب: في هذه الحالة يتم إعطاء الأولوية للاستفادة من الفروقات بين أسعار الافتتاح والإغلاق خلال جلسة التداول، بحيث تعمل الخوارزمية على ترشيح الأسهم التي تحقق أكبر هامش سعري إيجابي ممكن بين سعر الافتتاح وسعر الإغلاق، إذ تم تمثلت مدخلات الخوارزمية بأسعار الأسهم بدلاً من العوائد والمخاطر، عرضت النتائج في الجدول (4).

الجدول (4): الأسهم بحسب خوارزمية (PSO) الحالة (3)

السهم	الهامش السعري	الأهمية النسبية
SHRQ	6862.15	1
NIC	5989.39	2
ABC	5712.41	3

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج (MATLAB 2015a)

يُلاحظ من الجدول السابق أن سهم بنك الشرق يحقق الهامش الأعلى بين الأسهم المدرجة في سوق دمشق للأوراق المالية، ومن ثم فإن المضارب يفضل التداول عليه في المرتبة

الأولى، وفي حال أراد تحقيق أرباح من الفروقات بين سعري البيع والشراء، من الممكن أن يتداول أسهم الشركة السورية الوطنية للتأمين، وشركة إسمنت البادية.

8-3- استخدام خوارزمية NSGA-II في اختيار الأسهم:

قبل البدء بتشغيل خوارزمية NSGA-II يتوجب تحديد مجموعة من المدخلات التي ترتبط بطريقة بحث الخوارزمية عن الحلول الممكنة وكيفية فرزها وانتقاء أفضلها، إذ تم استخدام القيمة الشرطية المعرضة للخطر كمقياس للمخاطرة عند مستوى (α=95%)، كما تم تحديد حجم المجتمع ليكون (50) فرداً وعدد التكرارات عند (200) كما حُددت معاملات العبور والتطافر عند مستوياتها الافتراضية لتشغيل الخوارزميات الجينية، يتوضح ذلك من خلال الجدول الآتي:

الجدول (5) مدخلات خَوَارزميّة NSGA-II

مقياس المخاطرة	CVaR (α=95%)
حجم المجتمع	50
التكرارات	200
معامل العبور	0.7
معامل التطافر	0.4

المصدر: من إعداد الباحث

تم إعادة تشغيل الخوارزمية وتكرار جميع الخطوات السابقة لتغطي ثلاث حالات وفقاً للآتي:

8-3-1- الحالة (1): المستثمر المخاطر: يهدف المستثمر المخاطر إلى تحقيق أقصى العوائد بغض النظر عن درجة المخاطرة المرافقة لها، ومن ثم تمَّ ضبط الخوارزمية لتعطي أقصى عوائد ممكنة من خلال ترتيب الاستثمارات في الأسهم عينة الدراسة وفقاً للأعلى عائداً، كانت النتائج كالآتي:

الجدول (6): الأسهم بحسب خوارزمية (NSGA-II) الحالة (1)

السهم	متوسط العائد	CVaR	الأهمية النسبية
BASY	0.484%	-0.670%	1
AHT	0.348%	0.000%	2

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج (MATLAB 2015a)

يوضح الجدول (6) السهمان المرشحان للاستثمار في حالة المستثمر المخاطر، وجديرٌ ذكره أن خوارزمية () بطبيعتها تتضمن مراحل اصطفاء، تطافر، واستبدال، فهي تحتاج إلى عوامل ترشيح، ومن ثم لا يمكن استبعاد أهمية عنصر المخاطر المقاسة بالقيمة الشرطية المعرضة للخطر حتى في حالة المستثمر المضارب، وفي حال تم ذلك تدخل الخوارزمية في حلقة لا متناهية من البحث عن الحلول.

بنتيجة الجدول السابق، يمكن له أن يقوم بالتداول على سهم بنك الائتمان الأهلي كونه يحتل الأهمية النسبية الأعلى في حال كان المستثمر يحبذ توجيه موارده المالية بما يحقق أعلى عائد ممكن مع مراعاة ان احتمال الهبوط في العائد المحقق هو (0.670%-)، كما يمكن للمستثمر أن يقوم بحيازة أسهم الشركة الأهلية للنقل كونها تحقق عائداً مرتفع نسبياً مقارنةً مع بقية الأسهم، كما أن احتمال الخسارة الشرطية هو (0.00%).

8-3-2- الحالة (2): المستثمر المتحفظ: تتوجه الخوارزمية إلى تثقيل عنصر المخاطرة عند البحث عن الحلول في هذه الحالة، والهدف من ذلك انتقاء أدنى الاستثمارات مخاطرةً، إذ يتم ترتيب الأهمية النسبية للاستثمارات بحسب المخاطرة الأدنى، ويكون العائد أقل أهميةً، عُرضت النتائج في الجدول (6).

الجدول (7): الأسهم بحسب خوارزمية (NSGA-II) الحالة (2)

السهم	متوسط العائد	CVaR	الأهمية النسبية
IBTF	0.321%	-2.240%	2
SIIB	0.067%	-2.580%	1

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج (MATLAB 2015a)

يتبين من الجدول (7) أن أفضل الأسهم المرشحة للاستثمار في حالة المستثمر المتحفظ هي بالدرجة الأولى هي؛ سهم بنك سورية الدولي الإسلامي عند عائد منخفض نسبياً مقداره

(0.067%) مترافق باحتمالية (5%) لهبوط العائد المتوقع بمقدار (2.580%-) وهو الأدنى بين الأسهم عينة الدراسة، ثم يليه سهم المصرف الدولي للتجارة والتمويل عند مستوى (-2.240%) لانخفاض العائد المتوقع (0.321%)، والتنويه هنا إلى أن تفسير القيم الشرطية المعرضة للخطر يكون معاكساً للحالة الطبيعيّة.

8-3-3- الحالة (3): المضارب: إذ يهتم بتحقيق أكبر ربح ممكن من الفروقات بين أسعار الافتتاح والإغلاق خلال جلسة التداول، تم تشغيل الخوارزمية اعتماداً على إسعار الأسهم كمدخلات، والهدف النهائي هو اصطفاء، تطافر، واستبدال للوصول إلى الأسهم التي تحقق أكبر هامش سعري إيجابي ممكن بين سعر الافتتاح وسعر الإغلاق، تتوضح النتائج من خلال الجدول الآتي:

الجدول (8): الأسهم بحسب خوارزمية (NSGA-II) الحالة (3)

السهم	الهامش السعري	CVaR	الأهمية النسبية
BBS	3029	0.280%	2
SHRQ	6862.15	0.750%	1

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج (MATLAB 2015a)

يتضح من خلال الجدول السابق أن الأسهم الأكثر ملائمةً في حالة المضارب، هي سهم بنك الشرق، إذ يحقق فرق بين هامش البيع والشراء مقداره (6862.15) ليرة سورية، مع مراعاة أن نسبة عدم تحقيق الربح المعني هو (0.750%) مقاساً بالقيمة الشرطية المعرضة للخطر، وفي المرتبة الثانية يأتي سهم بنك البركة إذ يحقق هامش ربح مقداره (3029) مترافقة باحتمال انخفاض (0.280%) وهي نسب مقبولة جداً بالمقارنة مع الأسهم عينة الدراسة.

9-النتائج: يمكن تلخيص النتائج التي توصلت إليها الدراسة فيما يلي:

- انخفاض عوائد أسهم الشركات المدرجة في سوق دمشق للأوراق المالية نسبياً، إذ حقق بنك الشرق العائد الأعلى بينها خلال فترة الدراسة، ويعود السبب وراء ذلك إلى قيام مجلس الإدارة باقتراح توزيع أسهم مجانية على المساهمين بقيمة (20 مليار ليرة سورية) أي ما يشكل نسبة 400% من رأس المال، وكذلك بالنسبة إلى بنك البركة إذ تم زيادة رأس المال

مرتين ليصل إلى (120 مليار ليرة سورية) خلال الفترة المدروسة مما يترك تأثيره على عائد السهم، ومن ثم القرار الاستثماري، كما أنه يؤثر وبشكل واضح في نتائج الخوارزميات المستخدمة.

– يؤدي تطبيق خوارزميات أمثَلَة سرب الجسيمات، والخوارزمية الجينية لفرز الحلول غير المهيمنة على حالات متعددة، إذ تتناسب كل حالة بشكل أكثر واقعية مع أنماط المستثمرين والمشاركين في التداول ضمن سوق دمشق للأوراق المالية، يؤدي إلى نتائج ملائمة ومتوافقة مع رغبات وتوجهات المستثمر تجاه العوامل المؤثرة في القرارات الاستثمارية مثل العائد والمخاطرة والربح.

– تختلف نتائج تطبيق خوارزمية أمثَلَة سرب الجسيمات عن الخوارزمية الجينية لفرز الحلول بشكلٍ واضح وفي جميع الحالات المدروسة كانت الأسهم الناتجة عنهما متباينة، مما يدل على اختلاف جذري في آلية البحث عن الحلول على الرغم من أن الخوارزميتين ينتميان إلى الفئة ذاتها، وتم تطبيقهما على ذات مفردات العينة.

– على الرغم من صعوبة تطبيق خوارزميتي أمثَلَة سرب الجسيمات، والخوارزمية التطوريّة لفرز الحلول غير المهيمنة من قبل المستثمر، إلا أنهما يقدمان حلولاً واضحة ويساعدان في اتخاذ قرارات استثمارية صائبة مع الأخذ بعين الاعتبار حالة السوق المالي والأهداف الاستثمارية.

– إن استخدام القيمة الشرطية المعرضة للخطر (CVaR) كمقياس للمخاطرة بدلاً من المقاييس التقليدية مثل التباين والانحراف المعياري يفضي إلى تقديرات دقيقة حول احتمال عدم تحقق العائد المعني، مما يوضح أفق المخاطرة بالنسبة للمستثمر ويقلل من حالة عدم التأكد والتكاليف البديلة المرتبطة بها.

– تدعم الخوارزميات التطورية (أمثَلَة سرب الجسيمات، الخوارزمية الجينية لفرز الحلول) عملية اتخاذ القرارات الاستثمارية وتسهم بشكل فعال في ترشيدها، كما أنها تعد ملائمة في حالة المستثمر المؤسساتي مثل مدراء الصناديق والمحافظ الاستثمارية.

10-التوصيات:

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يتبين أن تطبيق الخوارزميات التطورية، تحديداً خوارزمية أمثَلَة سرب الجسيمات والخوارزمية التطورية لفرز الحلول غير المهيمنة، يوفّر أدوات تحليلية فعّالة تدعم عملية اتخاذ القرار الاستثماري ضمن سوق دمشق للأوراق المالية، لاسيما في بيئة تتسم بتقلبات عالية ومحدودية البيانات. وبناءً على ما سبق، تقدم الدراسة التوصيات التالية:

أولاً: توصيات للمستثمرين والباحثين:

- ضرورة اعتماد خوارزميات الذكاء الاصطناعي والتحسين المتعدد الأهداف كوسائل فعالة لتحليل مزيج العائد والمخاطرة بما يتوافق مع تفضيلات المستثمرين.
- استخدام القيمة الشرطية المعرضة للخطر (CVaR) كمقياس حديث للمخاطرة لتمكين تقديرات أكثر دقة وتحسين جودة التوقعات الاستثمارية.
- توخي الحذر عند تفسير أثر توزيعات الأرباح وزيادات رأس المال على العوائد، كونها تؤثر جوهريًا على مؤشرات الأداء ومخرجات النماذج الخوارزمية.
- تشجيع تطوير واجهات استخدام مبسطة للخوارزميات، تتيح للمستثمرين الأفراد الاستفادة منها دون الحاجة إلى معرفة تقنية متقدمة.

ثانياً: توصيات لصنّاع القرار والجهات الرقابية:

- العمل على توفير بيئة داعمة لتطبيق الخوارزميات الذكية من خلال تشريعات مرنة وقواعد بيانات مفتوحة وشفافة.
- تعزيز الشفافية بخصوص قرارات الشركات المرتبطة بالأرباح وزيادات رأس المال، عبر إصدار إرشادات واضحة تسهّل على المستثمرين تحليل أثر هذه القرارات.
- إدراج مقاييس المخاطرة الحديثة ضمن التقارير الدورية للشركات، وفي مقدمتها (CVaR)، لتحسين جودة الإفصاح المالي.

- دعم بناء القدرات البشرية من خلال برامج تدريبية متخصصة في تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الأسواق المالية، موجّهة لكل من الكوادر الرقابية والمستثمرين المؤسساتيين.

11- المراجع:

11-1- المراجع العربية:

1- كولي، محمد قاسم، السعدون، محمد فائز (2021) بعنوان "**استخدام الخوارزميات العشوائية والعددية لتداول الأسهم لقطاعي المصارف والخدمات في سوق العراق للأوراق المالية**"، رسالة ماجستير في الإدارة والاقتصاد، جامعة القادسية، العراق.

2- كوجك، ورد، (2022) "**أمثلة المحافظ الاستثمارية بين المدخلين التقليدي والسلوكي**"، أطروحة دكتوراه منشورة، كلية الاقتصاد، جامعة حماه، سورية.

11-2- المراجع الأجنبية:

1. Allen, F., & Karjalainen, R. (1999). **Using genetic algorithms to find technical trading rules**. *Journal of financial Economics*, *51*(2), 245-271.
2. Clerc, M. (2010). **Particle Swarm Optimization.** Germany: Wiley. P. 36.
3. D. E. Goldberg, (1989). **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA. P. 22.
4. de Almeida, R. L., & Neves, R. F. (2022). **Stock market prediction and portfolio composition using a hybrid approach combined with self-adaptive evolutionary algorithm**. *Expert Systems with Applications*, *204*, 117478.
5. Dreżewski, R., & Sepielak, J. (2008, March). **Evolutionary system for generating investment strategies**. In *Workshops on Applications of Evolutionary Computation* (pp. 83-92). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
6. Holland, J. H. (1975). **Adaptation in natural and artificial systems**, University of Michigan. press. Ann Arbor.

7. Marini, F., & Walczak, B. (2015). ***Particle swarm optimization (PSO). A tutorial***. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, *149*, 153-165. P. 159.
8. Sarich, M. D. (2001, April). **Using genetic algorithms to improve investment decision making**. In *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition* (pp. SPE-68725). SPE.
9. Tang, Kit-Sang, ***et al.*** (2012). **Genetic Algorithms: Concepts and Designs**. United Kingdom, Springer London. Pp. 28-44.
10. Trone, D. B., Allbright, W. R., & Taylor, P. R. (1996). **The management of investment decisions**. P. 73.
11. Virlics, A. (2013). **Investment decision making and risk**. *Procedia Economics and Finance*, *6*, 169-177.

11-3- المواقع الالكترونية:

1. موقع سوق دمشق للأوراق المالية http://www.dse.gov.sy/