المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات
journal homepage:www.ijeit.misuratau.edu.ly

تحديد الكمية الاقتصادية للمخزون باستخدام تقنيات التحسين المثلى

الصديق علي مليطان
كلية التقنية الصناعية، الهندسة الصناعية،
مصراتة، ليبيا
Sadek.am90@gmail.com

علي قاسم شتوان
جامعة مصراتة، كلية الهندسة،
الهندسة الصناعية والتصنيع، مصراتة، ليبيا
ali.shetwan@eng.misuratau.edu.ly

عمر علي شنب
كلية التقنية الصناعية، الهندسة الصناعية،
مصراتة، ليبيا
omar_shaneb@yahoo.com

الملخص— **يشكل المخزون بالمؤسسات الصناعية والخدمية نسبة قد تصل إلى 50% من إجمالي التكاليف سنوياً، ولذلك تعمل المؤسسات على تخفيض تكاليفها وزيادة أرباحها، لتعزز من قدرتها التنافسية في السوق. تهدف الدراسة إلى بناء نموذج رياضي لحل مشكلة المخزون من خلال تطبيق النموذج على حالة دراسية بشركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء الكائنة بمدينة مصراتة باستخدام نموذج الكمية الاقتصادية للطلب Economic Order Quantity (EOQ) ومقارنته مع تقنيات التحسين المثلى Optimization Techniques المتمثلة في خوارزميتي أسراب الطيور ومحاكاة التلدين لتحديد الكمية الاقتصادية المثلى من المخزون، والتي تقلل من التكاليف الإجمالية للمؤسسة، وتغطي الطلب خلال الفترة الزمنية المحددة. تم جمع البيانات من خلال منظومة المخازن والمشتريات بالشركة، وكذلك من خلال المقابلات الميدانية التي تمت مع رؤساء الأقسام المختصين بإدارة المخازن وإدارة المشتريات. تم بناء النموذج الرياضي للحالة الدراسية وحله باستخدام الكمية الاقتصادية للطلب وكذلك بواسطة الخوارزميتين PSO، SA بالاستعانة ببرنامج الماتلاب. أظهرت نتائج الدراسة أن الكمية الاقتصادية المثلى لطلب مادة محلل الطينات بلغت 134.06 طن، فيما تقدر الكمية التي تطلبها الشركة حالياً بحوالي 326.25 طن، بنسبة تخفيض تقدر بحوالي 41 %. كذلك أظهرت نتائج الدراسة انخفاضاً في التكاليف الإجمالية للحالة الدراسية بلغت 23,490 دينار. كما أثبتت الدراسة أن خوارزمية PSO تحقق وصول أسرع للحل الأمثل بالمقارنة مع خوارزمية SA، حيث تحتاج خوارزمية SA لعدد كبير من التكرارات للوصول للحل الأمثل. كما بينت نتائج المقارنة للدراسة إمكانية تحقيق وفورات مالية لخفض التكاليف الإجمالية لباقي البنود التي يتم الاحتفاظ بها في الشركة.**

الكلمات المفتاحية— **الكمية، الاقتصادية، المثلى، مخزون، الطلب.**

1. المقدمة

تختلف احتياجات المؤسسات للمخزون وفقاً لنوع النشاط. تعتبر قدرة المؤسسة على إدارة المخزون بكفاءة وفاعلية من المهارات الأساسية لنجاحها، فالمواد الخام وقطع الغيار، وكذلك المنتجات النهائية تحتاج إلى مخازن لكي يتم توريدها إلى الزبائن، وفي حال إدارة المخزون بالشكل الصحيح ينتج عنه زيادة في المبيعات وتحسين الإنتاجية وزيادة في مستوى الخدمة المقدمة، وبالتالي خفض التكاليف وزيادة الأرباح. تتزايد أهمية إدارة المخزون من حقيقة أن المواد تشكل ما نسبته بين 60% إلى 65% من قيمة المبيعات للمنتج، وهذا يشير أيضا لأهمية حجم الأموال المستثمرة في المخزون والتي يجب الحفاظ عليها بطريقة فعالة [1]. من هنا تتجلى الأهمية البالغة لمخزون المؤسسة، فضعف إدارته لا يمكن معالجته بسرعة، وبالتالي قد يؤدي إلى نهاية المؤسسة وخروجها من المنافسة. أصبحت إدارة المخزون جزءً حيوياً في نشاط المؤسسات على اختلاف أنواعها والأهداف التي ترمي إليها، فهي تحتاج إلى وجود مخزون في المستودعات من أجل تلبية طلب زبائنها، وفي نفس الوقت يحتفظ المخزون برأس مال مجمد وعرضة للتلف. لذلك فإن مهمة إدارة المخزون هي تحديد الكمية الاقتصادية المثلى الواجب الاحتفاظ بها خلال فترة زمنية معينة لتلبية الطلب، وتجنب الطلبات الزائدة لتقليل التكاليف الإجمالية.

استلمت الورقة بالكامل في 15 فبراير 2021 وروجعت في 20 فبراير 2021
وقبلت للنشر في 6 ابريل 2021،

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 10 ابريل 2021.

2. الدراسات السابقة

تناولت الدراسة الحالية العديد من الدراسات والبحوث العلمية السابقة التي تهتم بموضوع إدارة المخزون والذي يركز على تحديد الكمية الاقتصادية المثلى من المخزون. تسير التنبؤات والتحسينات جنباً إلى جنب عندما يتعلق الأمر بإدارة المخزون، فالتوقعات الدقيقة تؤدي إلى تقليل تكاليف المخزون، فقد تناولت دراسة Gundavarapu وآخرون قياس تأثير دقة التنبؤ بتكاليف المخزون التي يتكبدها بائع التجزئة باستخدام النموذج الديناميكي الأمثل للمخزون. تم اقتراح نموذج يستخدم توزيع الطلب لكل عنصر مع مستوى الخدمة المستهدف لتقليل التكلفة الإجمالية لكل عنصر، ومراقبة مدى دقة تأثير توقعات الطلب على تكاليف المخزون. أظهرت النتائج أنه يمكن توفير 13.7% باستخدام الطلب الفعلي بمعدل دقة 85%، إضافة إلى توفير ما يقارب 20% من تكاليف المخزون باستخدام النموذج الديناميكي المطور [2]. لو أمكننا دراسة السوق وتوقع طلبات الزبائن بشكل جيد فإننا نستطيع الاحتفاظ بمستويات أولية مقبولة من المخزون، لقد تناولت دراسة Park و Kyung طريقة لضبط مستويات المخزون الأولية لجميع المستويات المشاركة في سلسلة التوريد من خلال النظر في مستوى جودة المعلومات Information Quality Level (IQL) المقدمة من دراسة السوق، استخدم الباحثان تحليل التباين لفحص ما إذا كانت هناك أي آثار لـ IQL على التكلفة الإجمالية ومعدلات تلبية الطلبات. أظهرت نتائج الدراسة أن الطريقة المقترحة قدمت حلولاً أفضل لتوفير أقل مستوى للمخزون مع الحفاظ على معدلات عالية لتلبية طلبات الزبائن [3].

مع ظهور الثورة الصناعية الأوروبية وتوسِعة الأسواق ظهرت الحاجة الشديدة والملحة إلى عملية التخزين والاهتمام بالمخزون من مدخلات ومخرجات لعمليات التصنيع، ويعتبر العالم Harris في عام 1915 أول من وضع نموذجاً علمياً ينظم المخزون ويحدد EOQ وفترة إعادتها [4]. منذ ذلك الحين زاد الاهتمام بهذا الموضوع، وبرزت العديد من المؤلفات العلمية التي تعنى بهذا الشأن، فعلى سبيل المثال، فقد خلصت دراسة Gottfridsson وFarbäck إلى اقتراح نموذج EOQ الملائم للشركة ليأخذ التكاليف والمتغيرات ذات الصلة في الاعتبار عند تحديد حجم الدفعة الإنتاجية، والغرض من ذلك تقييم التأثير الذي سيحدثه النموذج على مخزون البضائع الجاهزة والقدرة الإنتاجية، وساهم النموذج المقترح في تخفيض تكلفة العجز وزيادة حجم الدفعة الإنتاجية [5].

فيما تناولت دراسة Valentin وآخرون تحليل نموذج EOQ مع معدل الطلب وتكلفة التخزين لكل وحدة زمنية مع الأخذ بعين الاعتبار تكلفة الإعداد والتجهيز، وتكلفة الاحتفاظ بالمخزون وصافي الربح. هدفت الدراسة إلى تعظيم متوسط الربح في وحدة الزمن، كما قدمت صياغة تحليلية للمشكلة. أظهرت النتائج أن النماذج المستخدمة في التحاليل السابقة كانت تركز على تخفيض التكلفة الإجمالية للمخزون بينما في الواقع يجب أن تركز على تعظيم الأرباح [6]. Dye و Hsieh قاما بتوسيع نموذج EOQ من خلال إضافة دالة تعتمد على الأسعار ومتغيرة زمنياً، لإيجاد النقطة المثلى لإعادة الطلب والفترة الزمنية بين الطلبيات وسعر البيع الدوري لتحقيق أقصى ربحية. خلص الباحثان إلى أن النموذج المقترح ملائم للمدراء لتخطيط استراتيجيات التسويق، ولمواجهة التحديات التي من المحتمل أن تواجه منتجاتهم [7].

تبرز العديد من التحديات عند استخدام نموذج EOQ ذو الطلب الثابت والمحدد خاصة في المؤسسات التي تمس حياة الإنسان بصورة مباشرة كالمستشفيات والمراكز الصحية والصيدليات، عندما يتعلق الأمر بالاحتفاظ بكميات معينة من الأدوية والأقراص والكبسولات وأكياس الدم والأدوات الجراحية وغيرها، فقد تناول Rajput وآخرون دراسة حول برنامج الرعاية الصحية، حيث يعد الطلب على الأدوية وأكياس الدم من العوامل الرئيسية التي تدفع إلى الاحتفاظ بمخزون كافي. هدفت الدراسة إلى إيجاد التكلفة الإجمالية المثلى لبرنامج الرعاية الصحية لحالات الطلب المختلفة مع المتغيرات الغامضة، وخلص الباحثون إلى أن نموذج EOQ ذو المتغيرات الغامضة قدم نتائج مقبولة للغاية [8]. بينما تناولت دراسة Wang وآخرون نموذج EOQ المتعلق بعناصر الجودة في حالة عدم اليقين، حيث تم وصف النسب المئوية لعناصر الجودة والتكاليف في كل قطعة على أنها متغيرات غامضة، من أجل زيادة متوسط الربح على المدى الطويل المتوقع، وقد تم إجراء محاكاة ضبابية عشوائية للنموذج. خلص الباحثون إلى نتائج فعالة ومرضية [9].

في كثيرا من الأحيان تستهلك بعض الأنظمة المنتجة من نفس البضاعة التي تنتجها، فمن الطبيعي عندئذ أن لا تقوم هذه الأنظمة باستيراد بضاعة تنتجها من ممول خارجي؛ أي أنها تستهلك مما تنتجه، كما أن إنتاجها قد يستخدم لتمويل أنظمة أخرى، وفي مثل هذه الحالات فإن النموذج السابق EOQ لا يصلح لتحديد الكمية الاقتصادية المثلى، بل لابد من استخدام ما يسمى بنموذج Economic Production Quantity (EPQ)، فقد تناولت دراسة Wang و Tang نموذج EPQ مع الطلبات المرجعة والتي يتم فيها وصف تكلفة الإعداد والتجهيز وتكلفة العجز وتكلفة الطلبات المرجعة على أنها متغيرات غامضة. اقترح الباحثون بناء نموذج Fuzzy Expected Value (FEV) ونموذج Chance Constrained Programming (CCP)، وتم استخدام عملية محاكاة ضبابية لتقدير القيمة المتوقعة للمتغيرات وأقل متوسط تكاليف. أظهرت النتائج كفاءة وفعالية النموذج المقترح [10].

إن معظم نماذج المخزون يتغير الطلب فيها بمرور الزمن إما زيادة أو نقصاناً، وتسمى تلك النماذج بنماذج المخزون الديناميكية (المتحركة)؛ وهي التي يكون فيها معدل الاستهلاك (الطلب) معروفا ومحدداً، لكنه ليس ثابتا بمرور الزمن، وهناك مجموعة من الطرق والأساليب التي تمكن من إيجاد الحل الأمثل لهذه النماذج. لقد مرت نماذج المخزون بمراحل مختلفة منذ إنشائها فكانت النماذج في البداية بسيطة جدا استخدمت عدداً محدوداً من المتغيرات للإحاطة بالعوامل الرئيسية، وبإضافة المزيد من المتغيرات لاحقاً، ازدادت هذه النماذج تعقيداً، ومع ذلك فقد ظلت تهمل أثر الاحتمالية والتغيرات [11]. بالتدريج ظهرت النماذج الاحتمالية لاستيعاب التأثير الناجم عن الطلبات Demands وفترات التوريد Lead times غير القابلة للتنبؤ. فقد تناولت دراسة السبعاوي ونور حالة طلب حقيقية وواقعية في الحياة العملية والتي يكون فيها الطلب متغيراً Dynamic واحتماليا Probabilistic لعدد N من الفترات الزمنية، بحيث تتم مراجعة المخزون بشكل دوري. هدفت الدراسة إلى إيجاد أقل تكلفة إجمالية متوقعة للفترات الزمنية المحددة، وحساب حجم الطلبية المثلى وتحديد فترات إعادة الطلب باستخدام أسلوب البرمجة الديناميكية الاحتمالية. أظهرت النتائج أن فترات إعادة الطلب تم الحصول عليها باستخدام خوارزمية Wagner Whitin (WW)، بينما تم الحصول على الحجم الأمثل للطلبية عن طريق خوارزمية البرمجة الديناميكية بأقل تكلفة ممكنة [11]. أظهرت دراسة Rajhansb و Kulkarnia التي تم إجراؤها على 12.5% من الأصناف التي تحتفظ بها إحدى الشركات في المخازن أنه يمكن توفير ما يقارب 18% من إجمالي التكاليف باستخدام خوارزمية WW الديناميكية [12].

في أواخر التسعينات وأوائل القرن الواحد والعشرين ظهرت تقنيات الذكاء الاصطناعي كأكثر الطرق تفضيلاً في حل المشاكل وبأقل جهد وأقصر زمن، وقد أجريت العديد من الدراسات والأبحاث للمقارنة بين مختلف تقنيات الذكاء الاصطناعي، فقد تناول Ganji و Zamani استخدام إحدى تقنيات الذكاء الاصطناعي وهي Genetic algorithm (GA) لتحسين كفاءة إدارة المخزون وإيجاد الكمية الاقتصادية للطلب والكمية الاقتصادية للإنتاج التي يمكن أن تقلل من تكاليف المخزون وتحسن رضا الزبائن في ظل قيود المساحة التخزينية والميزانية المحدودة.

تم إجراء 696 اختباراً على الوظائف المختلفة في نطاق 2000 وظيفة. خلصت الدراسة إلى أن النتائج التي تم الحصول عليها من الخوارزمية الجينية مرضية وفعالة للغاية بمتوسط خطأ في الحل بلغ 10.93% [13]. فيما هدفت دراسة حمادي وعبد الستار إلى إجراء تحسين على تطبيق الطرق التقليدية باستخدام Genetic Algorithm (GA) التي تعتمد على البحث العشوائي. هذا التحسين تم تنفيذه على نموذج المخزون لمادة البنزين بأحد المستودعات بوجود عجز. توصل الباحثان إلى أن GA حسنت نتائج الطرق التقليدية لتغطية وتقليل العجز بنسبة تتراوح بين 1.84% إلى 28.61%، وبما أن تكلفة العجز لمادة البنزين تبلغ 650,000 دينار للمتر المكعب الواحد فقد انخفضت التكلفة الكلية للمخزون باستخدام GA إلى ما يقارب ثلث المبلغ مقارنة بالطرق التقليدية [14]. كما أظهرت دراسة متراس وثابت أن استخدام الخوارزمية الجينية في حل نماذج المخزون، قد حققت نتائج أفضل من نتائج الحل اليدوي أو قريبا منه بزمن قصير جدًا وجهد أقل من خلال إيجاد حجم الطلب الاقتصادي بأقل تكلفة ممكنة، وكذلك الحجم الإنتاجي الأمثل [15]. فيما استخدم الباحثان Sarker و Yao في دراستهما تقنية أخرى من تقنيات الذكاء الاصطناعي تسمى خوارزمية Simulated Annealing (SA) لتحديد سياسة الطلب الأمثل لشراء المواد الخام وكذلك لتحديد حجم دفعة التصنيع لتقليل التكلفة الإجمالية ولتلبية متطلبات الزبائن في الوقت المناسب. تمت مقارنة الحلول التي تم الحصول عليها من خوارزمية SA مع الحلول المقدمة بواسطة الطرق التقليدية. أظهرت النتائج أن خوارزمية SA تنتج حلول عالية الجودة وموثوق بها وبكفاءة عالية [16].

يعتبر تحديد الحجم الاقتصادي للدفعة مع قيود الطاقة المتاحة مشكلة معقدة في كثير من الأحيان في الحياة العملية، ولكي يتم تحديد الحجم الاقتصادي للدفعة لكل منتج بحيث يتم تقليل التكلفة الإجمالية، اقترحت دراسة Hajipour و Fattahi مزيج بين تقنية جديدة من تقنيات الذكاء الاصطناعي تسمى خوارزمية Hybrid Ant Colony Optimization (HACO) مع طريقة إرشادية تسمى تقنية التحويل، وتمت مقارنة النتائج بخوارزميات أخرى شملت SA and GA بالإضافة إلى Tabu Search (TS). خلصت نتائج الدراسة إلى كفاءة الخوارزمية المقترحة مقارنة مع خوارزميات الاستدلالات الأخرى [17].

من أهم تقنيات الذكاء الاصطناعي وأكثرها استخداماً خوارزمية Particle Swarm Optimization (PSO)، والتي تعد من الخوارزميات الحديثة والمتطورة والمستوحاة من الناحية السلوكية في الطبيعة كما في أسراب الطيور ومجاميع الأسماك، وتعد خوارزمية PSO من الأساليب التي تعطي الحل الأمثل للمشكلة بكفاءة ودقة عالية وسرعة في الأداء. أظهرت دراسة Öztürk و ŞENEL التي كانت تهدف إلى تحديد كمية الطلب المثلى والعدد الأمثل للطلبيات، أن خوارزمية PSO تعطي نتائج أفضل من GA تحت نفس العدد من التكرارات وباستخدام نفس العينات، من خلال تطوير نموذج EPQ بقيد سعة تخزينية محدودة، وخلص الباحثان إلى أن أداء خوارزمية PSO أفضل من GA فيما يتعلق بخفض التكاليف الإجمالية وزمن التشغيل الكلي [18]. فيما تناول Arijit وآخرون مشكلة إدارة المخزون البحري لتلبية الطلب في المنافذ المختلفة خلال فترة زمنية محددة؛ حيث تم تطوير نموذج رياضي لمعالجة المشكلة. يدمج هذا النموذج ذو العلاقة غير الخطية بين سرعة السفينة واستهلاك الوقود، وتم صياغة المشكلة كنموذج برمجة صحيحة مختلطة غير خطية وحلها باستخدام خوارزميات Particle Swarm Optimization Particle Swarm Optimization (PSO-CP)، Composite Particle Optimization Differential Evolution (PSO-DE)، Basic PSO، ومقارنة النتائج باستخدام GA. أظهرت نتائج الدراسة كفاءة PSO-CP على الخوارزميات الأخرى من حيث دقة الحل الذي تم الحصول عليه [19]. اقترح Mousavi وآخرون استخدام خوارزمية Modified Particle Swarm Optimization (MPSO) لإيجاد المواقع المثلى للبائعين المحتملين (المصنعين، المشتريين، تجار التجزئة)، بالإضافة إلى الكمية المطلوبة والمخصصة من قبل المشترين، بحيث يتم تقليل تكاليف المخزون، إلى جانب أن الميزانية الإجمالية لشراء المنتجات محدودة، ويتم تقييد القدرة الإنتاجية لكل بائع، وقد تمت مقارنة نتائج الخوارزمية المقترحة مع الخوارزمية الجينية، وأظهرت النتائج أن خوارزمية MPSO تعطي كفاءة أفضل من GA [20].

ركزت سياسة المخزون لسلسة التوريد على خفض تكاليف المنتج، ومع ذلك فإن اتجاهات الطلب في السوق تتغير بسرعة تحت تأثير متطلبات الزبائن المختلفة. بالتالي، يمكن تحقيق التشغيل الفعال لسلسلة التوريد من خلال الحفاظ على المستوى الأمثل للتوزيع وتكلفة المخزون. تُعد السياسة التخزينية للتاجر في مجال الأدوية مسألة مهمة للغاية لأن سلسلة توريد الأدوية ترتبط مباشرة بحياة الإنسان، حيث قاما Kim و Lee ببناء نموذج فعال لمراقبة المخزون لتاجر جملة في سلسلة توريد الأدوية بغرض تقليل المفاضلة بين الاستهلاك والطلب لزيادة الربح. اقترح الباحثان تطبيق خوارزمية PSO لحل النموذج، من خلال مقارنة النموذج المستخدم من قبل تاجر الجملة والمعتمد على تطبيق Periodic Order Quantity (POQ) و Fixed Order Quantity (FOQ) لإدارة مخزون الأدوية مع النموذج المقترح. أظهرت نتائج الدراسة كفاءة النموذج المقترح باستخدام خوارزمية PSO لإدارة مخزون الأدوية لتاجر الجملة [21].

في معظم نماذج المخزون ينظر إلى معدل الإهلاك في السلع على أنه متغير خارجي، لا يخضع للتحكم. في الأسوق الحقيقية يمكن لتجار التجزئة تقليل معدل الإهلاك في المنتج عن طريق الاستثمار الفعال لرأس المال في معدات المخازن، فقد تناولت دراسة Chen و Dye بناء نموذج لحساب معدل الإهلاك للمخزون مع الطلب المتغير بمرور الوقت من خلال السماح بتكلفة تكنولوجيا الوقاية أو الحماية بالتزامن مع سياسة الإحلال. هدفت الدراسة إلى إيجاد سياسة الإحلال الأمثل واستراتيجية الاستثمار لتكنولوجيا الوقاية مع تقليل التكلفة الإجمالية على مدى التخطيط؛ حيث اقترح الباحثان نموذج برمجة صحيحة مختلطة غير خطية وتم حله باستخدام خوارزمية PSO. أظهرت نتائج الدراسة بأن الخوارزمية المقترحة ذات كفاءة مقبولة ودقة مناسبة [22]. فيما ركزت دراسة Taleizadeh وآخرون على منتجات متعددة وقيود مشتركة لبائع واحد ومشتري واحد. هدفت الدراسة إلى تحديد نقطة إعادة الطلب لكل منتج بحيث يتم تقليل إجمالي التكاليف. اقترح الباحثون نموذج برمجة صحيحة غير خطية يتضمن تكاليف النقل والطلب الثابت والاحتفاظ والعجز وحله باستخدام خوارزمية PSO وتقييم الحل باستخدام خوارزميات GA and SA. أظهرت نتائج الدراسة كفاءة خوارزمية PSO المقترحة من حيث تقليل التكاليف الإجمالية [23].

من خلال استعراض الدراسات السابقة نجد أن بعض من الدراسات تناولت المفاضلة بين الطرق التقليدية المختلفة منها نموذج الكمية الاقتصادية للطلب ونموذج الكمية الاقتصادية للإنتاج، والنماذج المحددة الساكنة والديناميكية لتحديد الكمية الاقتصادية المثلى من المخزون، فيما ركز البعض الآخر على المفاضلة بين تقنيات الذكاء الاصطناعي (تقنيات التحسين المثلى) لتحديد الكمية الاقتصادية المثلى، بينما تناولت بعض من الدراسات المقارنة بين إحدى الطرق التقليدية وتقنيات التحسين المثلى. تهدف الدراسة الحالية إلى بناء نموذج رياضي يأخذ في الاعتبار تكلفة إعادة الطلب وتكلفة الاحتفاظ بالمخزون، وتطبيق النموذج على أحد عناصر المخزون بالمجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء "سيراميك ليبيا" والكائن بمدينة مصراتة لتحديد الكمية الاقتصادية المثلى من مخزون هذا العنصر، خاصةً وأن عملية تحديد الكمية الاقتصادية المثلى من المخزون داخل مخازن الشركة تتم بالطرق التقليدية، ولم يتم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مخازن الشركة من قبل، وهذه تعتبر أول دراسة تجرى في هذا المكان، والملاحظ بصورة عامة ندرة وجود دراسات تهتم بهذا المجال في البحوث العربية وبصفة خاصة في ليبيا، وسيتم التركيز على المقارنة بين إحدى الطرق التقليدية المتمثلة في نموذج EOQ لتحديد الكمية الاقتصادية للطلب وتقنيات التحسين المثلى.

3. مفهوم المخزون

يشير المخزون عموماً إلى وجود مواد في المخزن، ويسمى أيضاً بالمصدر العاطل في المؤسسة. كما يعتبر أحد أهم المصادر التي تحتاجها العمليات يومياً، فالمؤسسات الصناعية خاصة تحتاج للمواد الخام إضافة للمشتريات لمعالجتها، ومن ثم تجميعها للحصول على السلع النهائية، وفيما يلي بعض التعاريف الخاصة بالمخزون:

المخزون: يعبر عن أية كمية من المواد (خام أو أجزاء أو منتجات تحت التشغيل أو منتجات تامة) تحت سيطرة مشروع ما يحتفظ بها لفترة زمنية معينة في حالة ساكنة نسبياً، انتظاراً لاستخدامها أو بيعها [1].

تعني كلمة مخزون: الموجودات المادية من المواد أو السلع أو مصادر اقتصادية أخرى محفوظة أو مخزنة أو متاحة لأجل تغطية الاحتياجات الحالية والمستقبلية في مؤسسة ما عند أدنى تكلفة للأموال أو لرأس المال المجمد في شكل مواد أو سلع [1].

الجمعية الأمريكية للمحاسبين القانونيين: عرفت المخزون على أنه مجموعة العناصر الملموسة من الممتلكات الشخصية التي يتم حيازتها بغرض البيع في دورة النشاط التجاري العادي أو التي في مرحلة الإنتاج بغرض البيع أو التي ينتظر استخدامها حالياً في إنتاج السلع والخدمات اللازمة للوفاء باحتياجات الزبائن [24].

أ) *أسباب ودوافع الاحتفاظ بالمخزون*

يختلف المخزون من مؤسسة لأخرى وفقاً لنوع النشاط، وتختلف الأسباب التي تستدعي وجوده والاحتفاظ به، ويمكن تحديد جملة من الأسباب متمثلة في الآتي [25]:

- تحقيق الاستقرار في الإنتاج

يتقلب الطلب على عنصر ما بسبب عدة عوامل منها؛ الموسمية، الجدول الزمني للإنتاج وما إلى ذلك، فالمخزون (المواد الخام ومستلزمات التشغيل) ينبغي أن يتوفر للإنتاج حسب الطلب، وإلا توقف الإنتاج؛ وبالتالي يتم الاحتفاظ بالمخزون لمواجهة هذه التقلبات حتى تستمر عملية الإنتاج بالشكل المطلوب.

- الاستفادة من تخفيضات الأسعار

عادة ما تقدم المؤسسات الصناعية خصومات عند الشراء بكميات كبيرة، وللحصول على هذه الميزة السعرية يتم شراء المواد بكميات كبيرة حتى لو لم تكن مطلوبة على الفور؛ وبالتالي، يتم الاحتفاظ بالمخزون لكسب التخفيض في الشراء.

- لتجنب فقدان المبيعات

في ظل المنافسة، يتعين على المؤسسة أن تحقق جداول التسليم بنسبة 100% على مستوى الخدمات، يعني أنها لا تستطيع أن تفوت الجدول الزمني للتسليم، الأمر الذي قد يؤدي إلى فقدان المبيعات ولتتجنب المؤسسة ذلك عليها الاحتفاظ بالمخزون.

- مواكبة الظروف المتغيرة في السوق

يتعين على المؤسسات أن تتوقع تغير السوق، وعليها أن تحتفظ بمخزون المواد تحسبا لعدم توافر المواد أو الزيادة المفاجئة في الأسعار.

ب) *التكاليف المرتبطة بالمخزون*

تختلف قيم التكاليف المرتبطة بالمخزون من منظمة إلى أخرى، فقد تكون تكاليف رأس المال المستثمر مرتفعة جداً في بعض المؤسسات، وفي بعضها الآخر نجد أن تكاليف مساحات التخزين هي الأكثر ارتفاع من تكاليف رأس المال، نتيجة لعدم توفر هذه المساحات. أما في بعضها الآخر نجد أن تكاليف التقادم نتيجة انتهاء الصلاحية هي الأكثر ارتفاع من التكاليف الأخرى لبعض المواد، كما أن مخاطر انتهاء الصلاحية، يزيد بنقص عمر المواد كذلك الكمية الموجودة. يترتب على اتخاذ قرار الاستثمار بالمخزون مجموعة من التكاليف يجب التعرف عليها بغرض دراستها وإيجاد العلاقة التي تربط بينها وبين كمية الطلب للوصول إلى أقل تكلفة ممكنة للمخزون. هذه التكاليف تتلخص في التالي [26]:

- **تكاليف الطلب**

يتم الإنفاق السنوي لقسم المشتريات على طلبات الشراء خلال تلك السنة، والنقاط التالية تمثل التكاليف المرتبطة بالطلب:

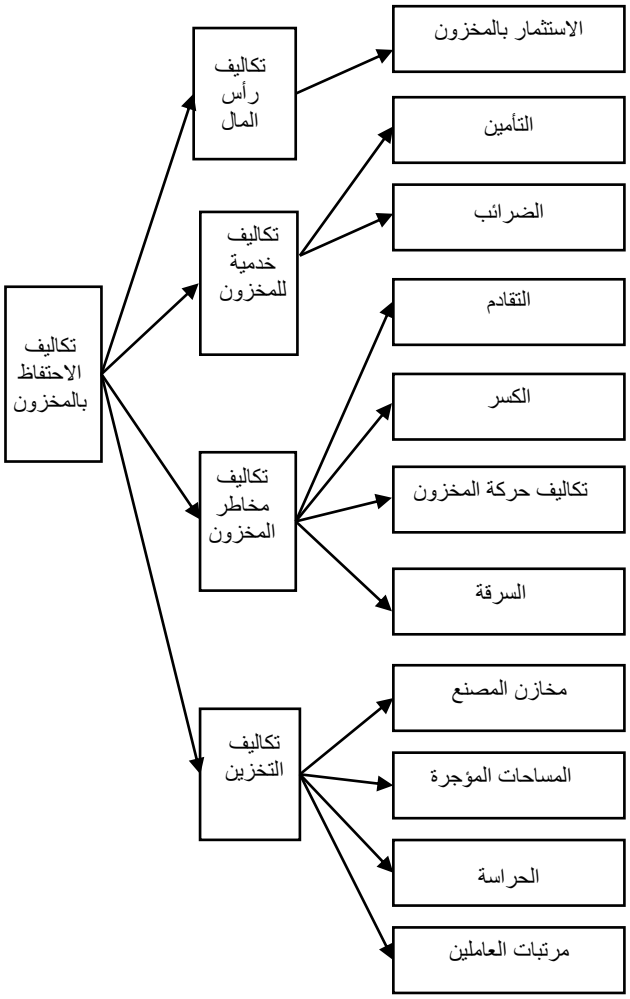
- إيجار المساحات المستخدمة من قبل قسم المشتريات.
- مرتبات العاملين بقسم المشتريات.
- المراسلات والمواد المستهلكة من قبل قسم المشتريات.
- التكاليف والنفقات المرتبطة بالسفريات لقسم المشتريات.
- تكاليف التأمين والشحن.

- **تكاليف الاحتفاظ بالمخزون**

تتضمن جميع التكاليف المتعلقة بالاحتفاظ بالمخزون منذ وصول المواد إلى مخازن المؤسسة، ويمكن تقسيم هذه التكاليف إلى أربعة عناصر، كما هو موضح بالشكل (1).

4. نموذج الكمية الاقتصادية للطلب

يهدف هذا النموذج إلى إيجاد حجم الطلبية الأمثل الذي يجعل التكاليف ذات الصلة أقل ما يمكن ويسمي هذا الحجم بالكمية الاقتصادية للطلب، ويستخدم هذا الحجم لمعرفة المستوى الأمثل للمخزون، وتوقيت بطلب الكمية. يعود تاريخ وضع ودراسة هذا النموذج إلى سنة 1915 عن طريق الباحث هاريس Harris لكن الباحثين ينسبونه إلى ويلسون Wilson الذي قام بنشره وتوزيعه في سنة 1930 بطريقة مستقلة وبدون أن يكون على علم بنتائج أبحاث هاريس. يعتبر نموذج Economic Order Quantity (EOQ) مدخلاً لابد منه للمرور إلى النماذج الأكثر قرباً للواقع والتي يكون فيها الطلب عادة متسماً بالعشوائية.



شكل (1): تكاليف الاحتفاظ بالمخزون [27]

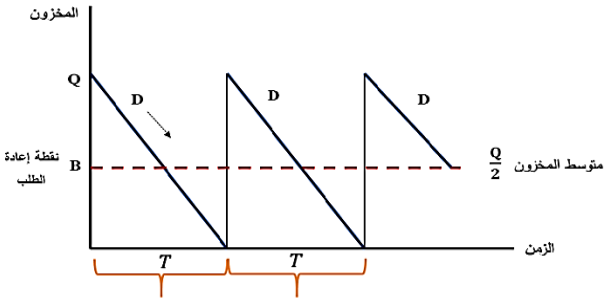
أ) *فرضيات النموذج*

لبناء نموذج كمية الطلب الاقتصادية يتطلب توفر مجموعة من الشروط أو الفرضيات، والتي بدونها لا يتحقق بناء هذا النموذج ومن أهم هذه الفروض ما يلي [27]:

- معدل الطلب معلوم وثابت. بمعنى آخر لا يصلح هذا النموذج للطلبات الموسمية أو الدورية أو الفجائية.
- زمن التوريد معلوم وثابت.
- أن تكون البنود مستقلة عن بعضها.
- تسليم الكمية الاقتصادية دفعة واحدة.
- تكلفة الوحدة الواحدة ثابتة ولا يوجد خصم على الكمية.
- غير مسموح بنفاذ المخزون، لذا فإن الطلب وزمن التوريد معلومان.

ب) *بناء النموذج*

يبين الشكل (2) نموذج تحديد كمية الطلب أو كمية الشراء الاقتصادية، حيث Q هي كمية الطلب والتي تمثل مستوى المخزون بعدد الوحدات. لذا عند سحب هذه الوحدات من المخزون بمعدل طلب ثابت D يصبح الميل في الاتجاه السالب إلى أن يصل إلى نقطة إعادة الطلب B، ليتم عندها استلام كميات جديدة من الوحدات بعد فترة زمنية معلومة T، أما الخط العمودي فيشير إلى استلام عدد Q من الوحدات. عند استلام هذه الوحدات يقترب مستوى المخزون من الصفر، عليه فإن متوسط المخزون يعادل Q/2 [28].



شكل (2): نموذج إعادة الطلب [28]

بما أن نفاذ المخزون غير مسموح به، فإن إجمالي التكاليف السنوية الموضحة في الشكل (2) يمكن حسابها من خلال المعادلة (1). إن قيمة EOQ تكون أقل ما يمكن عندما تتساوى تكاليف الطلب مع تكاليف الاحتفاظ بالمخزون. كذلك عندما تكون تكلفة الطلب للبند مرتفعة سينتج عنها انخفاض في كمية الطلب، بمعنى آخر أن توفير المبالغ المستثمرة بالمخزون سوف تدفع في زيادة تكاليف الطلب. كما أن تكلفة الطلب للبند المنخفض ينتج عنها زيادة في كمية الطلب. أما تكاليف الاحتفاظ بالمخزون فهي تزداد مع زيادة الطلب [28].

إجمالي التكاليف السنوية = تكلفة الشراء + تكلفة الاحتفاظ بالمخزون + تكلفة الطلب

$$TC = \frac{D}{Q} \times RC + \frac{Q}{2} \times HC + UC \times D \qquad (1)$$

حيث أن:

UC : تكلفة الشراء
RC : تكلفة الطلبية
D: الطلب السنوي
HC : تكلفة الاحتفاظ بالمخزون للوحدة بالسنة.
Q: الكمية الاقتصادية للطلب.
TC: التكاليف الإجمالية.

D/Q: عدد الطلبيات

$1/2 \times Q$: متوسط المخزون

$UC \times D$: التكاليف الثابتة

$D/Q \times RC + Q/2 \times HC$: التكاليف المتغيرة

من المعادلة (1) وللحصول على أقل تكلفة لكمية الطلب الاقتصادية يتم أخذ المشتقة الأولى لإجمالي التكلفة السنوية بالنسبة إلى Q ومساواة المعادلة بالصفر نحصل على المعادلة (2)، والتي تمثل الكمية الاقتصادية للطلب [1].

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times RC \times D}{HC}} \qquad (2)$$

5. الحالة الدراسية

تأسست شركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء المساهمة والمعروفة تجارياً باسم انكوما (The Investment Complex for the Construction Materials Industry (INCOMA بتاريخ 2005/02/22، وفقاً لأحكام القانون رقم 5 لسنة 1997، بسجل تجاري رقم 45890، وسجل استثماري رقم 40، على مساحة تزيد عن6 هكتارات في المنطقة الصناعية بالكراريم شرق مدينة مصراتة بنحو 22 كيلومترا. يتكون المجمع من خطين لإنتاج البلاط الخزفي بنوعيه الحائطي والأرضي يشتملان على المعدات والآلات الآتية [29]:

- معدات طحن وخلط المواد الخام .
- المجففات.
- صوامع التخزين.

- منظومة وزن وتجهيز المواد الخام.
- المكابس.
- الأفران.
- خطوط الطلاء.
- منظومة الفرز والتعبئة والتغليف.

كما يضم المصنع منظومة آلية لنقل حاملات البلاط الخزفي الحائطي والأرضي من مرحلة إنتاج إلى أخرى، ووحدة متكاملة لإعداد وتحضير الطلاء، إضافة إلى روافع شوكية، وجرافة لمناولة المواد الخام والإنتاج التام، بالإضافة إلى المرافق الأخرى مثل المعامل والمخازن والمباني الإدارية. تبلغ الطاقة التصميمية 4 مليون متر مربع سنوياً، ويعمل المصنع الآن بواقع 3 ورديات يومياً. تنقسم أنواع وأصناف المنتجات إلى الآتي [29]:

- بلاط سيراميك حائطي مقاس 200×500 مم
- بلاط ديكور سيراميك حائطي مقاس 200×500 مم
- بلاط سيراميك أرضي مقاس 400×400مم، داخلي وخارجي

نظراً لكثرة المخازن الرئيسية والفرعية الموجودة بالمجمع، وكذلك الساحات التخزينية الأمر الذي يصعب معه دراسة كل تلك المخازن وتحليلها، عليه ركزت هذه الدراسة على مخزن المواد الخام ومستلزمات التشغيل باعتباره يمثل الجزء الأكبر من مجموع أصول الشركة، ولقد اختيار مادة محلل الطينات التي تدخل في تركيب البلاط الحائطي بنسبة 1.43% وفي تركيب البلاط الأرضي بنسبة 1.38% [30]، وذلك لأنها تستورد من الخارج ومرتفعة السعر مقارنة بباقي المواد. ويمكن فيما بعد تطبيق نفس الإجراءات على باقي المواد. مادة محلل الطينات هي عبارة عن مادة سائلة، يتم استيرادها في خزانات تبلغ سعة كل خزان 1450 كيلوجرام؛ وظيفتها تفكيك التربة إلى جزيئات صغيرة ذات لزوجة وكثافة منخفضة، لكي يسهل ضخها إلى المجفف بواسطة مضخات ذات ضغط عال يبلغ 22 bar.

بناءً على الخطة الإنتاجية الموضوعة والتي تستهدف 300,000 متر مربع شهرياً من البلاط الخزفي، تم تحديد كمية الاستهلاك اليومي من مادة محلل الطينات بحوالي 3.625 طن. تصدر الشركة طلب شراء يقدر بوزن 326.25 طن أي حوالي 225 خزان ليغطي فترة استهلاك تمتد لفترة ثلاثة أشهر، وعادة ما يصدر أمر الشراء قبل نفاذ المخزون من مادة المحلل بشهر كامل، وهي تقريبا الفترة الزمنية التي تحتاجها الطلبية حتى تصل إلى مخازن الشركة [30].

أ) تحديد كمية الطلب المثلى من مادة محلل الطينات

يكون الطلب D على مادة محلل الطينات محدداً وثابتاً في السنة، ويقدر بحوالي 1305 طناً، فيما تصل تكلفة الطن الواحد UC من المادة 2550 ديناراً، وتتكلف الشركة مبلغ يقدر بحوالي 2858 ديناراً لإعداد الطلبية الواحدة RC عند الشراء. تبلغ تكلفة الاحتفاظ للطن الواحد من مادة المحلل 415 ديناراً في السنة [31]. كما أنه غير مسموح نهائياً بالعجز في المادة؛ لأنها ستؤدي لتوقف العملية الإنتاجية بالكامل، لذلك ينبغي أن تركز الشركة بشكل كبير على هذه المادة باعتبارها من أهم المواد الداخلة في صناعة السراميك ونتيجة لارتفاع تكلفتها. وفقاً للمعطيات السابقة، يمكن ايجاد الكمية الاقتصادية لطلب على مادة محلل الطينات من خلال المعادلة (2)، وكما يلي:

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times 2858 \times 1305}{415}} = 134.06 \text{ طن}$$

أما الوقت الأمثل بين الطلبيات:

$$T = \sqrt{\frac{2 \times RC}{D \times HC}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2 \times 2858}{1305 \times 415}} = 0.1027 \text{ سنة}$$

$$T = 0.1027 \times 365 = 38 \text{ يوم}$$

التكلفة المتغيرة:

$$VC = \sqrt{2 \times RC \times D \times HC}$$

$$VC = \sqrt{2 \times 2858 \times 1305 \times 415} = 55{,}638.5 \text{ L.D}$$

التكلفة الإجمالية:

$$TC = (UC \times D) + VC$$

$$TC = (2550 \times 1305) + 55{,}638.50 = 3{,}383{,}388.5 \text{ دينار}$$

استناداً على الكمية الاقتصادية للطلب EOQ التي تم إيجادها والبالغة 134.06 طن؛ أي حوالي 92.4 خزانا، وبما أن الشركة تطلب في محلل الطينات من الخارج بعبوات ثابتة وهي الخزانات، فهي لا تستطيع طلب عدد 92.4 خزان. لهذا سيتم تقريب العدد إلى رقم صحيح بعدد الخزانات. بناء عليه تم تحديد مساحة البحث للكمية Q ضمن المدى (133.400 طن، 134.850 طن)، وهو ما يعادل من 92 إلى 93 خزان. نظراً لتعدد المواد المخزنة داخل الشركة والبالغ عددها 2510 بند، منها ذات الطلب الثابت ومنها ذات الطلب المتغير، تم بناء خوارزميتي أسراب الطيور ومحاكاة التلدين بالاستعانة ببرنامج الماتلاب لإيجاد الكمية الاقتصادية للطلب ومن خصائص هاتين الخوارزميتان أنهما يتعاملان مع حالات الطلب الساكن والمتغير، وتعتبر الخوارزمية الأولى من أساليب البحث متعددة النقاط، أما الخوارزمية الثانية فهي أحادية البحث.

ب) تقنية أسراب الطيور (PSO)

تم بناء خوارزمية PSO وفقاً للخطوات التالية [32]:

1) تهيئة المعلمات Initialize parameters

باستخدام الكمية الاقتصادية للطلب (Q) والتي تم إيجادها مسبقا في (أ). تم إعطاء قيم ابتدائية للكمية Q في المدى (133.400طن، 134.850 طن)، ويتم تحديد حجم السرب (N) عشوائياً (نفترض N=30) [33].

بعد ذلك يتم حساب قيم دالة الهدف المقابلة للجسيمات:

$$F[Q_1(0)]\ F[Q_2(0)]\ F[Q_3(0)]\ \ldots\ldots\ F[Q_{30}(0)]$$

في البداية تكون سرعات الجسيمات الأولية جميعها صفرية (zero).

$$V_1(0) = V_2(0) = V_3(0) = \ \ldots = V_{29}(0) = V_{30}(0) = 0$$

من ثم نضع عداد التكرار i=1، ونوجد أفضل موقع فردي وجماعي للجسيمات، وحيث أن قيم $P_{best,j}$ الأولية تأخذ نفس قيم $Q_j(i)$ الابتدائية، كما يلي:

$$P_{best,1} = Q_1(0)\ ,\ P_{best,2} = Q_2(0), \ldots P_{best,30} = Q_{30}(0)$$

أما بالنسبة لـ G_{best} هيا تأخذ قيمة $Q_j(0)$ التي حققت أقل $F[Q_j(0)]$.

2) ثم يبدأ كل جسيم تحديث سرعته للبحث عن أفضل كمية عبر تحديث الأجيال (الكميات) عشوائياً، (بافتراض $c_1 = c_2 = 1$)، ويتم توليد قيم عشوائية لـ r_1, r_2 في المدى (1,0)، وتحسب سرعة الجسيمات وفقاً للمعادلات التالية:

تم استخدام المعادلة (1) المشار إليها أعلاه كدالة هدف Fitness Function للخوارزميات المقترحة لتحقيق أقل إجمالي تكاليف ممكنة، والتي تحققها الكمية الاقتصادية المثلى. حيث أن:

دالة الهدف يعبر عنها كالآتي:

$$\text{Minimize } TC(Q) \quad FX(j) = \frac{D}{Q} \times RC + \frac{Q}{2} \times HC + UC \times D$$

TC: ترمز للتكلفة الإجمالية .

تعتبر معادلة التكلفة الإجمالية للمخزون (دالة الهدف) دالة في متغير واحد هو Q، تجدر الإشارة إلى أن المتغير X في الخوارزميات يعبر عن الكمية ورمزها Q.

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - Q_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - Q_j(i-1)]$$

$$V_1(1) = V_1(0) + c_1 r_1\left[P_{best,1} - \mathrm{Q}_1(0)\right] + c_2 r_2[G_{best} - \mathrm{Q}_1(0)]$$

$$V_2(1) = V_2(0) + c_1 r_1\left[P_{best,2} - \mathrm{Q}_2(0)\right] + c_2 r_2[G_{best} - \mathrm{Q}_2(0)]$$

. .

. .

$$V_{30}(1) = V_{30}(0) + c_1 r_1\left[P_{best,30} Q_{30}(0)\right] + c_2 r_2[G_{best} - Q_{30}(0)]$$

3) يبدأ كل جسيم تحديث موقعه للبحث عن الكمية الأفضل عبر تحديث الأجيال (الكميات) عشوائياً، ولإيجاد القيم الجديدة لـ $\mathrm{Q_j}(1)$ ، حيث: $\mathrm{j} = 1,2,\ldots\ldots\ldots,\mathrm{N}$ ، وتستخدم المعادلات التالية:

$$\mathrm{Q}_j(i) = \mathrm{Q}_j(i-1) + \mathrm{V}_j(i)$$

$$\mathrm{Q}_1(1) = \mathrm{Q}_1(0) + \mathrm{V}_1(1)$$

$$\mathrm{Q}_2(1) = \mathrm{Q}_2(0) + \mathrm{V}_2(1)$$

. .

. .

$$\mathrm{Q}_{30}(1) = \mathrm{Q}_{30}(0) + \mathrm{V}_{30}(1)$$

ثم يتم تقييم القيم الجديدة للكمية $\mathrm{Q_j(i)}$ في دالة الهدف في التكرار i=1، بحيث:

$$\mathrm{F}[\mathrm{Q}_1(1)] \quad \mathrm{F}[\mathrm{Q}_2(1)] \quad \mathrm{F}[\mathrm{Q}_3(1)] \quad \ldots\ldots \mathrm{F}[\mathrm{Q}_{30}(1)]$$

4) نتحقق من تقارب الحل الحالي، ونظرًا لأن قيمة $\mathrm{Q}_j(i)$ لم تتقارب تعاد الخطوة (ب)، وذلك بتحديث عداد التكرارات ليصبح i=2 وحساب قيم جديدة لـ $P_{best,j}$ و $\mathrm{G_{best}}$ ، وهكذا تستمر العملية التكرارية حتى تقترب الجسيمات جميعها إلى الحل الأمثل نفسه. شكل (3) يوضح المخطط الانسيابي لخوارزمية PSO للحالة الدراسية، أما جدول (1) يوضح نتائج خوارزمية أسراب الطيور.

جدول (1): نتائج تنفيذ خوارزمية PSO باستخدام برنامج الماتلاب

الطريقة	متوسط التكرارات	الكمية الاقتصادية المثلى (طن)	التكلفة الإجمالية (دينار)
خوارزمية PSO	60	134.06	3,383,388.5

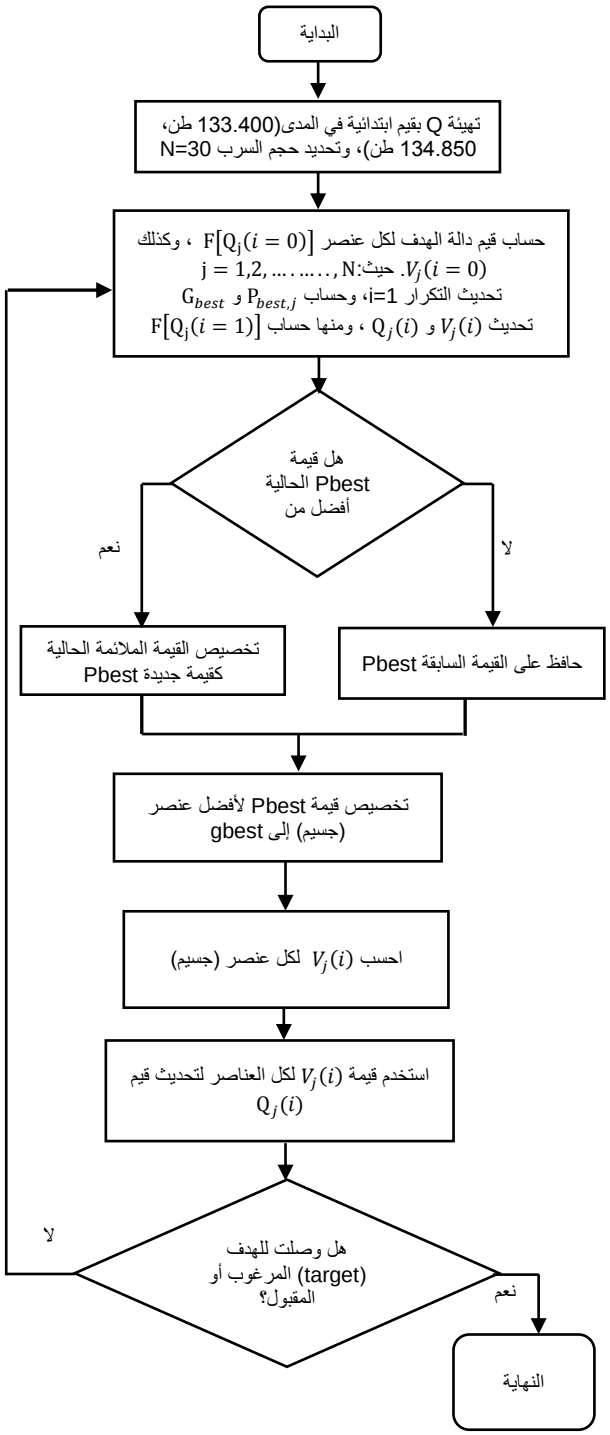
يلاحظ من جدول (1) أن الكمية الاقتصادية للطلب التي وصلت لها خوارزمية PSO بمتوسط تكرارات 60 تكرار هي مطابقة تماما للكمية الاقتصادية المثلى المتحصل عليها في نموذج الكمية الاقتصادية للطلب في (أ).

ج)خوارزمية محاكاة التلدين

خوارزمية محاكاة التلدين Simulated Annealing (SA) تعتبر من أساليب البحث الأحادية، فهي تبحث عن أفضل حل (كمية الطلب المثلى)، وذلك عبر توليد عدد من الحلول العشوائية الأولية، ومن ثم تقوم الخوارزمية باستكشاف المنطقة المجاورة ضمن مساحة الحل. في حال كانت الكمية الجديدة التي تم إيجادها تحقق إجمالي تكاليف أقل من الكمية الحالية، عندها يتم الانتقال إلى الكمية الجديدة (الحل الجديد). وإلا، فإن الخوارزمية تبقى على الكمية الحالية (الحل الحالي). يمكن توضيح عمل هذه الخوارزمية بالخطوات التالية [32]:

1) تهيئة المعلمات Initialize parameters
تم تهيئة الخوارزمية بقيمة حل عشوائية $\mathrm{Q}^{current}$ في المدى [133.400 طن، 134.850 طن]، لإيجاد التكلفة الأولية $\mathrm{FX}(\mathrm{Q}^{\mathrm{current}})$.

2) باراميتر التحكم T
هو متوسط عدد من قيم Q يتم توليدها عشوائياً في المدى [133.400 طن، 134.850 طن]، وتعويضها في دالة الهدف (نفرض N=30). كما موضح بالمعادلة التالية:



شكل (3): المخطط الانسيابي لخوارزمية PSO للحالة الدراسية

3) قيمة الحل الجديدة Q^{new}:
لإنشاء قيمة حل جديدة Q^{new} تكون قريبة من قيمة الحل الابتدائية، نختار نطاق يستخدم قيمة عشوائية لـ R (نفترض R= ±0.005)، وتوليد رقم عشوائي لـ u في المدى (1,0)، وفقاً للمعادلة التالية:

$$\mathrm{Q^{new}} = \mathrm{h} + \left(\mathrm{u} \times (\mathrm{g} - \mathrm{h})\right)$$

حيث أن:

$$h = \mathrm{Q}^{current} - R$$

من ثم إيجاد قيمة التكلفة الحالية $\mathrm{FX}(\mathrm{Q^{new}})$.

الطينات من الخارج بعبوات ثابتة وهي الخزانات، فهي لا تستطيع طلب عدد 92.4 خزان.

4) الفرق في دالة الهدف (delta FX):
لحساب الفرق في دالة الهدف بين الحل الجديد والحل الحالي، نستخدم المعادلة التالية:

$$\text{delta FX} = \text{FX}(\text{Q}^{\text{new}}) - \text{FX}(\text{Q}^{\text{current}})$$

5) توليد قيمة عشوائية للمتغير U تقع ضمن المدى (1,0)، فإذا كانت $(\text{delta FX} \leq 0)$ أو

6) $(\text{delta FX} > 0)$ و $\text{U} < \text{e}^{-\text{delta FX}/\text{T}}$ تصبح $\text{Q}^{new} = \text{Q}^{current}$،

وإلا تبقى $\text{Q}^{current}$ بنفس القيمة السابقة.

7) إذا كانت $(\text{delta FX} \leq 0)$ تخفض قيمة T باستخدام المعادلة:

$$\text{T}_{j+1} = \text{c} \times \text{T}_j$$

8) نكرر الخطوات من (3) إلى (7) حتى يتم الوصول إلى الحل الأمثل المقبول، والمتمثل في تكلفة إجمالية أقل من أو تساوي التكلفة الإجمالية المتحصل عليها من خوارزمية PSO.

جدول (2) يوضح نتائج تنفيذ هذه الخوارزمية، أما شكل (4) يوضح المخطط الانسيابي لخوارزمية SA للحالة الدراسية.

جدول (2): نتائج تنفيذ خوارزمية SA باستخدام برنامج الماتلاب

الطريقة	متوسط التكرارات	الكمية الاقتصادية المثلى (طن)	التكلفة الإجمالية (دينار)
خوارزمية SA	700	134.06	3,383,388.5

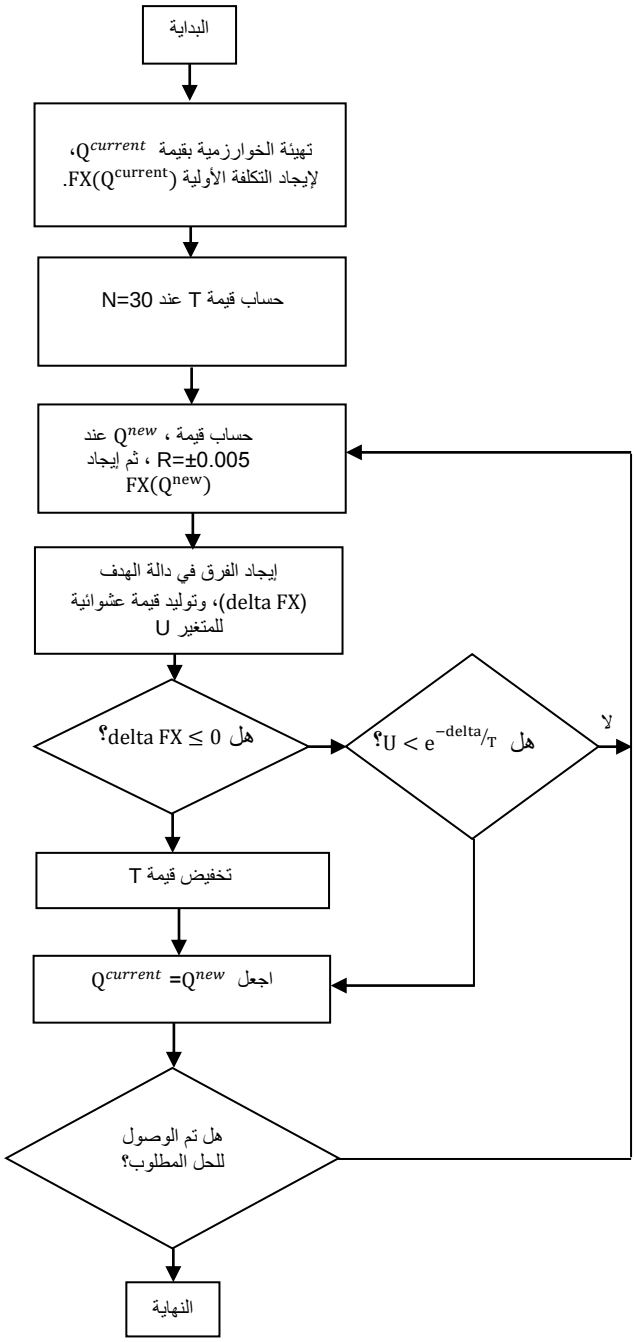
يلاحظ من جدول (2) أن الكمية الاقتصادية للطلب التي وصلت لها خوارزمية SA وبمتوسط تكرارات 700 تكرار هي مطابقة تماما لنتيجة الكمية الاقتصادية المثلى المتحصل عليها في نموذج الكمية الاقتصادية للطلب في (أ).

6. مناقشة النتائج

إن الهدف الأساسي من تطبيق نماذج المخزون هو تحديد الكمية الاقتصادية المثلى للطلب لتحقيق أقصى كفاءة ممكنة لحجم الأموال المستثمرة في المخزون. تناولت الدراسة تحديد كمية الطلب المثلى من مادة محلل الطينات، والتي تقلل من التكاليف الإجمالية وتغطي الطلب خلال الفترة الزمنية المحددة بشركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء. يشكل المخزون داخل الشركة حوالي 45% من إجمالي التكاليف التشغيلية سنوياً، ولذلك لابد من تخفيض تكاليف المخزون حتى تزيد الشركة من أرباحها، وتعزز قدرتها التنافسية في السوق.

نظراً لتعدد المواد المخزنة بالشركة وكثرتها، ركزت الدراسة الحالية على مخزن المواد الخام ومستلزمات التشغيل، باعتباره يشكل أكثر التكاليف، واختيار مادة محلل الطينات لتطبيق الدراسة عليها، والتي يمكن فيما بعد تطبيق نفس الإجراءات على باقي المواد. بناءً على الخطة الإنتاجية الموضوعة داخل الشركة والتي تستهدف 300,000 متر مربع شهرياً من البلاط الخزفي، تم تحديد كمية الاستهلاك اليومي من مادة محلل الطينات بحوالي 3.625 طن، فأصبحت بذلك الشركة تعد أمر شراء من مادة محلل الطينات يقدر بوزن 326.25 طن، أي حوالي 225 خزان ليغطي فترة استهلاك تمتد لمدة 3 أشهر، بحيث يحتوي كل خزان على 1450 كيلوجرام من مادة المحلل، وعادة ما تحاول الشركة طلب الخزانات بالحمولة الكاملة للاستفادة من تخفيض تكاليف الشحن. تصدر الشركة 4 طلبيات في السنة لتغطية احتياجاتها من المادة بتكلفة إجمالية تقدر بمبلغ 3,406,878.8 دينار. من الملاحظ أيضاً داخل الشركة أن الطلب ثابت على مادة محلل الطينات ولا يتغير مع الزمن. تم استخدام نماذج المخزون الساكنة في الدراسة لتحديد كمية الطلب المثلى من مادة محلل الطينات، ومن خلال تطبيق نموذج الكمية الاقتصادية للطلب، تم تحديد كمية الطلب المثلى من مادة محلل الطينات، والتي بلغت 134.06 طن، بنسبة تخفيض تقدر بحوالي 41 %، وبإجمالي تكاليف سنوية تقدر بمبلغ 3,383,388.5 دينار، وتوفير ما يقارب 23,490 دينار في التكلفة

$$\text{T} = average = \frac{\text{FX}(\text{j}=1) + \text{FX}(\text{j}=2) + \cdots \text{FX}(\text{j}=\text{N}=30)}{\text{N}}$$



شكل (4): المخطط الانسيابي لخوارزمية SA للحالة الدراسية

هذا المبلغ الذي تم توفيره يمكن استثماره في فرص استثمارية أخرى، بالإضافة إلى أن هذا التوفير في التكاليف البالغ حوالي 0.7% يعتبر جيد باعتبار أن الدراسة تمت على بند واحد من أصل 2510 بند موجودة في المخازن، وهذا يحقق أقصى كفاءة ممكنة لحجم الأموال المستثمرة في المخزون، ليجعل الشركة أكثر منافسة في السوق.

نظراً لتعدد المواد المخزنة داخل الشركة والبالغ عددها 2510 بند، منها بنود ذات الطلب الثابت ومنها ذات الطلب المتغير، تم بناء خوارزميتي أسراب الطيور ذات البحث الجماعي ومحاكاة التلدين ذات البحث الأحادي بالاستعانة ببرنامج الماتلاب بحيث تتعامل مع حالات الطلب الساكن والمتغير، وتطبيقها على الحالة الدراسية. فمن خلال تطبيق خوارزمية PSO تمت تهيئة الخوارزمية بمجموعة من العناصر العشوائية للكمية Q استناداً على الكمية الاقتصادية للطلب التي تم إيجادها مسبقاً والبالغة 134.06 طن، أي حوالي 92.4 خزان، وبما أن الشركة تطلب في محلل

لهذا تم تقريب العدد إلى رقم صحيح بعدد الخزانات، فإما أن تطلب الشركة 92 خزان أو تطلب 93 خزان. بناء عليه تم تحديد مساحة البحث للكمية Q ضمن المدى (133.400 طن، 134.850 طن)، وهو ما يعادل من 92 إلى 93 خزان. عند تطبيق خوارزمية PSO على الحالة الدراسية استمرت العملية التكرارية بالبحث ضمن المدى المحدد للكمية Q حتى اقتربت الجسيمات جميعها إلى الحل الأمثل، والذي هو مطابق تماما لنموذج الكمية الاقتصادية للطلب. أما بالنسبة لخوارزمية محاكاة التلدين تم تهيئة الخوارزمية بقيمة حل ابتدائية $Q^{current}$ عشوائياً في المدى المحدد للكمية Q، لإيجاد التكلفة الأولية، ثم حساب بارامتر التحكم T من خلال متوسط عدد N من القيم للكمية Q يتم توليدها عشوائياً في المدى (133.400 طن، 134.850 طن)، حيث تبحث خوارزمية SA في كل تكرار عن الحل الجديد بجانب الحل السابق. يتم تكرار خطوات البحث عن قيم الحل الجديدة حتى الوصول الى الحل الأمثل. من أجل تسهيل الحل اليدوي السابق واختصاره تمت برمجة الخوارزميات PSO، SA باستخدام البرنامج Matlab 7.11 (R2014b)، بحيث أظهرت خوارزمية PSO كفاءة عالية في الوصول بصورة أسرع للحل الأمثل بمتوسط عدد تكرارات بلغ 60 تكرار، فيما تحتاج خوارزمية SA لعدد أكبر من التكرارات بمتوسط 700 تكرار للوصول للحل الأمثل، وهذا يرجع إلى أن خوارزمية SA أحادية البحث، بينما خوارزمية PSO تعتمد على مجموعة من الجسيمات للوصول إلى الحل، وقد بلغت كمية الطلب المثلى من مادة محلل الطينات في الخوارزميتان 134.06 طن، مما يترتب على الشركة إصدار 10 طلبيات في السنة لتغطية احتياجاتها من المادة، وبتكلفة إجمالية سنوية تقدر بمبلغ 3,383,388.5 دينار، لتوفر ما يقارب 23,490 دينار سنوياً بالمقارنة مع الكمية التي تطلبها الشركة حالياً، هذا التوفير في التكاليف يعتبر جيد، بالنظر لحجم الأموال المجمدة بشكل كبير في المخازن، وباعتبار أن الدراسة داخل الشركة تمت على بند واحد من مجموع البنود البالغ عددها 2510 بند موجودات في المخازن، لذا فإنه يمكن تحقيق توفير مالي كبير جدا فيما لو تمت دراسة على باقي البنود. هذه النتيجة تعتبر مماثلة لما تم الحصول عليه باستخدام نموذج EOQ. الجدول (3) يوضح نتائج تنفيذ الطرق المستخدمة في الحل بالإضافة لما هو متبع حالياً داخل الشركة. من الجدول (3) نلاحظ أن القيم المثلى التي تم التوصل إليها لجميع الخوارزميات المستخدمة في هذه الدراسة متساوية.

جدول (3): مقارنة بين نتائج الطرق المستخدمة في الحل

الطريقة	متوسط عدد التكرارات	الكمية الاقتصادية المثلى (طن)	التكاليف الإجمالية (دينار)
EOQ	-	134.06	3,383,388.5
PSO	60	134.06	3,383,388.5
SA	700	134.06	3,383,388.5
الشركة	-	326.25	3,406,878.8
نسبة التخفيض		% 41	% 0.7

الإجمالية السنوية بالمقارنة مع الكمية التي تطلبها الشركة حالياً، كما هو موضح بالجدول (3).

7. المراجع

[1] Murthy and Rama P. Operation research, New Delhi: New Age international, 2007.

[2] Gundavarapu and Gujela and et al. "Effect of Forecast Accuracy on Inventory Optimization Model," 2018.

[3] Park and Kyung. "Optimization of total inventory cost and order fill rate in a supply chain using PSO," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, PP: 1533–1541, 2014.

[4] El Saadany, M. "Inventory management in reverse logistics with imperfect production, learning, lost sales,

[5] Gottfridsson and Farbäck. "Determination of Batch-Sizes A case-study in the process industry," Master Thesis, University of LUND, Sweden, 2018.

[6] Valentin, a-Laguna and et al, "Maximizing profits in an inventory model with both demand rate and holding with fluctuating demand and controllable deterioration rate" , International Journal of Systems Science, Vol. 6, PP: 1026-1039, 2013.

[7] Dye and Hsieh. "A particle swarm optimization for solving joint pricing and lot-sizing problem with fluctuating demand and unit purchasing cost," Computers & Mathematics with Applications, Vol. 7, PP: 1895-1907,2010.

[8] Rajput, Pandey and et al. "An optimization of fuzzy EOQ model in healthcare industries with three different demand pattern using signed distance technique," Journal| MESA, Vol. 2, PP: 205-218,2019.

[9] Wang, Zhao and et al. "Random fuzzy EOQ model with imperfect quality items. Fuzzy Optimization and Decision Making," Fuzzy Optimization and Decision Making, Vol. 2, PP: 139-153, 2007.

[10] Wang and Tang. "Fuzzy EPQ inventory models with backorder," Journal of Systems Science and Complexity, Vol. 2, PP: 313-323, 2009.

[11] السبعاوي و نور، "بناء أنموذج خزين حركي احتمالي متعدد الفترات مع التطبيق"، مجلة الرافدين لعلوم الحاسبات والرياضيات، المجلد 1، الصفحات 85-101، 2013.

[12] Kulkarnia and Rajhansb. "Determination of Optimum Inventory Model for Minimizing Total Inventory Cost, Chemical" ,in Civil and Mechanical Engineering Tracks of the 3rd Nirma University International Conference on Engineering, 2012.

[13] Ganji and Zamani. "Optimization of profit and customer satisfaction in combinatorial production and purchase model by genetic algorithm " , Journal of Algorithms and Computation, Vol. 1 , PP: 43-54, 2019.

[14] حمادي و عبد الستار، "حل مشكلة السيطرة على العجز في الخزين الانتاجي باستخدام الخوارزمية الجينية" ، مجلة المنصورة، الصفحات: 65- 49، 2016.

[15] متراس و ثابت، "استخدام الخوارزمية الجينية في حل بعض نماذج الخزين" ،المجلة العراقية للعلوم الإحصائية، الصفحات: 63-76، 2009.

[16] Sarker and Yao. "Simulated annealing and joint manufacturing batch-sizing", Yugoslav journal of operations research, Vol. 2, PP: 245-259, 2016.

[17] Hajipour and Fattahi. "A Hybrid Ant Colony Optimization Algorithm To Optimize Capacitated Lot-Sizing Problem" , Journal of Industrial and Systems Engineering, Vol. 1, PP: 1-20, 2014.

[18] Öztürk and ŞENEL. "An analysis of multi-item inventory model using particle swarm optimization under discrete delivery orders and limited storage space," International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, Vol. 3, PP: 124-132, 2019.

[19] Arijit, Gunasekaran and et al, "Sustainable maritime inventory routing problem with time window constraints", Engineering Applications of Artificial Intelligence, PP: 77-95, 2017.

[20] Mousavi, Bahreininejad and et al. "A modified particle swarm optimization for solving the integrated location and inventory control problems in a two-echelon supply chain network" , Journal of intelligent manufacturing , Vol. 1, PP: 191-206, 2017.

[21] kim And Lee. "Particle Swarm Optimization Based Inventory Policy for Wholesale Business in Devs-Based Medicine Supply Chain" ,International Journal of Industrial Engineering, Vol. 2, PP:146-161, 2017.

[22] Chen and Dye. "Application of particle swarm optimisation for solving deteriorating inventory model

[23] Taleizadeh and Niaki. "A Particle swarm optimization approach for constraint joint single buyer-single vendor inventory problem with changeable lead-time and (r, Q) policy in supply chain", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vols. 9-12, PP: 1209-1223, 2010.

[24] نور العشي، "دراسة وتحليل العوامل المؤثرة في اختيار طريقة تقييم المخزون السلعي" ، دراسة تطبيقية على الشركات الصناعية العاملة في قطاع غزة، رسالة ماجستير، قسم المحاسبة والتمويل، الجامعة الإسلامية-غزة، 2006.

[25] N. Suresh and S. Anil Kumar. Operations management, New Delhi: New Age International, PP: 176, 2009.

[26] Sanda P. "Models and Statistics of Inventory Investments Considering Finance Constrains" ,Master Thesis, University of Ljubljana, Faculty of Economics, 2006.

cost per unit time dependent on the stock level," Computers & Industrial Engineering, Vol. 2, PP: 599-608,2012.

[27] عيسى حجاب ، "مساهمة لتحديد متغيرات القرار المتعلقة بالمخزون الأمثل لاستخدام بحوث العمليات في المؤسسة الاقتصادية الجزائرية دراسة حالة عينة من مؤسسات مطاحن القمح للفترة (2010-2012)، أطروحة دكتوراه، جامعة محمد خيضر، بسكرة الجزائر، 2015.

[28] Nigel Slack and et al. operations management,Sixth edition,Pearson Education, England, PP: 371, 2010.

[29] تقرير وحدة المتابعة والمعلومات بشركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء، بتاريخ: 17 نوفمبر 2019.

[30] تقرير مكتب الشؤون التجارية بشركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء، بتاريخ: 24 نوفمبر 2019.

[31] تقرير وحدة التكاليف ومراقبة المخزون بشركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء، بتاريخ: 2 مارس 2020.

[32] Shetwan, A. "Optimum Allocation of Inspection Stations in Multistage Manufacturing Processes by Using Max-Min Ant System" , Doctoral dissertation, Durham University, 2013.

[33] صباح رضا وأنسام إبراهيم. "استعمال خوارزمية سرب الطيور لحل نماذج صفوف الانتظار مع تطبيق عملي" ، مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية، المجلد 23، الصفحات: 302-319، 2017.

متغيرات خوارزمية أسراب الطيور PSO:

دالة الهدف لخوارزمية PSO والغرض منها هل هو تحقيق أقل تكاليف.

$$\text{Minimize } FX(x)$$

$$x^l < x < x^u$$

حيث أن x^u و x^l يمثلان الحد الأعلى والأدنى للمتجه x على التوالي.

حديث سرعة كل الجسيمات باستخدام المعادلة التالية:

$$V_j(i) = V_j(i-1) + c_1 r_1\left[P_{best,j} - X_j(i-1)\right] + c_2 r_2\left[G_{best} - X_j(i-1)\right]$$

حيث أن:

j = 1,2,……,N ، وكذلك:

i : عداد التكرارات (Iteration).

$V_j(i)$: تمثل سرعة الجسيم j في التكرار i.

$X_j(i)$: تمثل موضع الجسيم j في التكرار i.

c_1, c_2 : معاملات التسارع وعادة ما يأخذان قيمة تقع ضمن المدى (2,1).

r_1, r_2 : تمثل قيماً عشوائية تقع ضمن المدى (1,0).

$P_{best,j}$: تمثل أفضل موقع للجسيم الحالي من السرب.

G_{best} : تمثل أفضل موقع للجسيم ضمن السرب كله.

لإيجاد الموقع أو الإحداثي للجسيم j في التكرار i على النحو التالي:

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i)$$

حيث أن:

j = 1,2,……,N

متغيرات خوارزمية محاكاة التلدين SA:

$F_{accept}\ (T,S,S') = \left\{ \begin{matrix} 1 & if\ FX(j+1)<FX(j+1) \\ e^{-delta/T} & otherwise \end{matrix} \right\}$ حيث أن:

Delta: الفرق بين FX(j + 1) و FX(j) .

T: باراميتر التحكم.

x^{new} = الحل الجديد.

$x^{current}$ = الحل الحالي.

يتم القبول أو الرفض للحل بمقارنة قيمة الدالة $e^{-delta/T}$ بالرقم العشوائي U المولد بين (1,0). بهذه الطريقة توفر خوارزمية SA نهجاً عشوائياً للبحث عن الحلول بعيداً عن الحلول المحلية، ومحاولة الوصول إلى الحل الأمثل.