إستخدام الخوارزم الوراثي لإيجاد المحفظة المالية المثلى

د. هندي بن عبدالله الهندي
أستاذ مشارك – كلية الاقتصاد والإدارة
جامعة الملك سعود – فرع القصيم

إستخدام الخوارزم الوراثي لإيجاد المحفظة المالية المثلى

د. هندي بن عبدالله الهندي
أستاذ مشارك – كلية الاقتصاد والإدارة
جامعة الملك سعود – فرع القصيم

ملخص: لم يعد إستخدام الحاسب الآلي في مجال الأعمال مقتصرا على تشغيل العمليات الجارية بل إمتد ليشمل دعم عملية إتخاذ القرار لحل المشاكل المعقدة. ونتج ذلك عن تعقد المشاكل الإدارية والتقدم التقني في مجال الحاسب الآلي والذي أدى الى ظهور نظم متقدمة ممثلة بنظم الذكاء الصناعي. وتقوم نظرية المحفظة المالية الحديثة على أساس أن المستثمر يهدف الى إختيار النسب المختلفة من الإستثمار على الفرص المتاحة بغرض تعظيم العوائد المتوقعة وتدنية المخاطر المصاحبة للإستثمار. وقد تزايد في السنوات الأخيرة الإهتمام بالخوارزم الوراثي لحل مشاكل الأمثلية في مجالات مختلفة ويقوم هذا الأسلوب على مفاهيم علم الوراثة الطبيعية. وقد تم في هذا البحث إستخدام الخوارزم الوراثي لإيجاد المحفظة المالية المثلى من خلال إستخدامه لحل مشكلة البرمجة التربيعية لإيجاد الأوزان النسبية للإستثمارات المتاحة.

١. المقدمة

لقد شهدت الأونة الأخيرة تطورا مذهلا في مجال الحاسب الآلي حيث أصبح الحاسب الآلي يستخدم في معظم مجالات الحياة. وقد قامت تقنية المعلومات بتغيير الطريقة التي تؤدى بها الأنشطة المختلفة للمنشأة من خلال مكننة العديد من الأعمال الروتينية وإستثمرت المنشآت بشكل واسع في نظم المعلومات لتحسين أداؤها. ومع تزايد تعقيد المشاكل التي يواجهها متخذي القرار أصبح هناك بحث مستمر عن أساليب أكثر كفاءة للتعامل مع هذه المشاكل. وتزايد في الوقت الحاضر الإهتمام بأساليب الذكاء الصناعي والتي تهدف إلى محاكاة قدرات الإنسان وبناء نماذج للمعرفة البشرية يمكن إستخدامها لحل المشاكل المعقدة والتي لايمكن حلها بكفاءة بإستخدام الأساليب التقليدية[١].

وقد تغير دور الحاسب الآلي في المجالات الإدارية إذ لم يعد دوره مقتصرا على تخزين البيانات وتلخيصها[٢] كما في السابق ومر هذا التغير بمراحل مختلفة مرتبطة بالتطورات التي حدثت في تقنية الحاسب[٣]. المرحلة الأولى هي مرحلة التركيز على البيانات حيث إقتصر إستخدام الحاسب الآلي على تلخيص كم هائل من البيانات من خلال نظم تشغيل البيانات التقليدية. المرحلة الثانية هي مرحلة التركيز على المعلومات والمرتبطة ببناء نظم معلومات إدارية لإنتاج معلومات تساعد متخذي القرار. تلى ذلك المرحلة الثالثة والتي من خلالها أصبح الحاسب الآلي يستخدم مباشرة لدعم عملية إتخاذ القرار لحل مشكلة معينة. ومع التقدم التقني في إستخدام الحاسب في مجال الإتصالات ظهرت المرحلة الرابعة حيث أستخدم الحاسب الآلي لربط الأجزاء المختلفة من المنشأة وبناء مايسمى بالمكتب الإفتراضي. تلى ذلك المرحلة الخامسة وهي مرحلة التركيز على الإستشارات والتي تميزت بإنتشار إستخدام تطبيقات الذكاء الصناعي في الوقت الحالي لحل المشاكل الإدارية.

ويتضح من ذلك أن إستخدام الحاسب الآلي لم يعد مقصورا على تخزين البيانات وتلخيصها بل إمتد الى المشاركة في عملية إتخاذ القرار من خلال إستخدام نظم أكثر

تقدمـــا. وتهـــدف أساليب الذكاء الصناعي الى بناء نظم آلية لها القدرة على الإستدلال المنطقـــي بغرض حل المشاكل المعقدة[٤]. وتشمل تطبيقات الذكاء الصناعي نظم الخبرة والشبكات العصبية الصناعية والخوارزم الوراثي. وعلى الرغم من ظهور مجال الذكاء الصـــناعي منذ زمن بعيد إلا أنه لم يلاقي نجاحا كبيرا في الماضي ويعود ذلك الى أن تطبـــيقات الذكـــاء الصناعي تتطلب مجهودات برمجة كبيرة وتكاليف عالية. إلا أنه مع الـــتطور التقنـــي فـــي كل من نظم البرامج ونظم المكونات وإنخفاض أسعارها ظهرت تطبـــيقات الذكـــاء الصـــناعي على شكل مجموعات نظم برامج Software packages يمكن إستخدامها بسهولة نسبيا. وأدى ذلك الى إنتشار إستخدام هذه التطبيقات في العديد من المجالات بما فيها مجال الإدارة.

ويمـــثل الخوارزم الوراثي أسلوب بحث إحتمالي يحاكي العمليات البيولوجية في الكائنات الحية وذلك بتوليد مجتمع إبتدائي من الحلول الممكنة للمشكلة. يلي ذلك تطبيق محـــولات وراثـــية بغـــرض الوصول الى حلول أفضل بناء على الحلول الحالية. ويتم الحفـــاظ علـــى حجـــم ثابـــت لمجـــتمع الحلـــول الممكنة والتي يتم تمثيلها على شكل كروموسومات. ويشارك بعض هذه الكروموسومات في إنتاج أجيال جديدة في حين أن البعض الآخر يختفي نظرا لأنها تمثل حلولا غير ملائمة للمشكلة.

ويهدف هذا البحث الى إستخدام الخوارزم الوراثي لإيجاد المحفظة المالية المثلى للإســـتثمار. وتحـــتوي المحفظة المالية على مجموعة من الأوراق المالية ويتم تعريفها بـــالأوزان النسبية من الإستثمار والذي يتم توجيهه للأوراق المالية في المحفظة والهدف هـــو تحديد الأوزان التي تحقق أعلى عائد ممكن وأقل مستوى من المخاطرة للمستثمر. وتـــم تطبـــيق الخوارزم الوراثي بإستخدام نظم برامج GeneHunter[٥] وهي من نظم الـــبرامج الشائعة والخاصة بالخوارزم الوراثي والتي سهلت من إستخدام هذا الأسلوب الحديث في حل المشاكل الواقعية.

٢. إيجاد المحفظة المالية المثلى

يهدف إيجاد المحفظة المالية المثلى Portfolio optimization الى بناء محفظة مالية من الأوراق المالية تحقق أفضل عائد للمستثمر عند أقل مخاطرة[٦]. وتقوم نظرية المحفظة المالية الحديثة على أساس أن المستثمر يهدف الى الوصول الى محفظة مالية مثلى تحقق أفضل توليفة ممكنة من العوائد والمخاطر. وقد أدت الأعمال التي قام بها Markowitz (1952) [٧] الى بناء نماذج رياضية لتحديد المحفظة المالية المثلى. وتقوم هذه النماذج على أساس: ١) أن المستثمر يهدف الى تحقيق أعلى قدر من العوائد وفي نفس الوقت يهدف الى تدنية المخاطر و ٢) تعتمد قرارات الإستثمار على العوائد المتوقعة للإستثمار و تباين عوائد الأوراق المالية في المحفظة وتغايراتها والتي تعكس درجة المخاطرة في الإستثمار.

وتحتوي محفظة الإستثمار على توليفة من الإستثمارات الخطرة. وبناء محفظة تتكون من أكثر من إستثمار خطر من شأنه أن يؤدي الى تخفيض المخاطر الكلية التي يتعرض لها المستثمر مقارنة بما يكون عليه الحال لو أن مخصصات المحفظة كانت موجهة الى إستثمار واحد فقط. ويعتمد ذلك بشكل أساسي على معدل الإرتباط بين عوائد مكونات المحفظة المالية. فوجود معدل إرتباط منخفض بين عوائد مكونات المحفظة من شأنه أن يؤدي الى تقليل درجة المخاطرة بدرجة أكبر[٨].

ويتم إتخاذ القرار الإستثماري على أساس متغيرين هما العائد المتوقع والمخاطر المرتبطة بالإستثمار. ويتطلب تحديد المحفظة المالية المثلى تحديد الأوزان النسبية لكل إستثمار على حده بحيث توجه مخصصات الإستثمار بناء على هذه الأوزان النسبية. ولتوضيح النموذج الرياضي المستخدم لتحديد القيم المثلى للأوزان النسبية للإستثمارات w نفترض أن أمام المستثمر عدد n أوراق مالية تمثل فرص إستثمارية وكل منها له عائد متوقع $X_i,\ i=1, \ldots, n$ والقيم المتوقعة وتباينات وتغايرات هذه العوائد تساوي مايلي:

$$\mu_i = E(X_i), \qquad \sigma_{ij} = Cov(X_i, X_j) \qquad i, j = 1, \ldots, n$$

وكل محفظة مالية يتم تعريفها بمتجه من الأوزان w حيث

$$w = (w_1, \ldots, w_n)^T \in R^n \ , \ \sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

أمام المستثمر عدد لانهائي من المحافظ المالية ممثلة بالفئة W وكل محفظة معرفة بقيمة w ويمكن تعريف الفئة W كما يلي:

$$W = \left\{ w \in R^n \ / \sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \right\}$$

إجمالي العائد على الإستثمار للمحفظة w يساوي:

$$R_w = \sum_{i=1}^{n} w_i X_i$$

القيمة المتوقعة وتباين العائد R_w يساوي:

$$E(R_w) = \sum_{i=1}^{n} w_i \mu_i \quad , \quad Var(R_w) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} w_i w_j \sigma_{ij}$$

من الواضح أن العائد المتوقع للمحفظة يتأثر بالأوزان النسبية للإستثمارات الفردية w_i ولكنه لايتأثر بالعلاقة بين عوائد هذه الإستثمارات. ومن ناحية أخرى تعتمد مخاطر العائد المتولد من المحفظة على مخاطر الإستثمارات الفردية المكونة لها والتي تقاس بتباين عوائد هذه الإستثمارات $\sigma_{ij} \ , \ i = j$ إضافة الى أنه يعتمد على مستوى العلاقة بين هذه العوائد والذي يقاس بمعاملات التغاير بين عوائد تلك الإستثمارات $\sigma_{ij} \ , \ i \neq j$. أي أن المخاطر التي يتعرض لها عائد المحفظة تتأثر بالمخاطر التي

يـتعرض لهـا العـائد المـتولد عـن الإستثمارات الفردية. كذلك يؤثر الوزن النسبي للإستثمارات الفردية داخل المحفظة على درجة المخاطرة التي يتعرض له عائدها.

ويتمثل الهدف بتحديد المحفظة المالية ذات الأوزان w والتي تحقق أعلى قدر من العـائد المتوقع $E(R_w)$ وأقل قدر من المخاطرة $Var(R_w)$. وتأخذ مشكلة الأمثلية لتحديد الأوزان w الصيغة التالية:

$$minimize \qquad -\sum_{i=1}^{n} w_i \mu_i + \lambda \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} w_i w_j \sigma_{ij}$$

$$subject\ to \qquad \sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

$$0 \le w_i \le 1$$

حيـث $\lambda,\ 0 \le \lambda \le \infty$ تمثل التبادل tradeoff بين درجة المخاطرة والعائد ويعتمد ذلك علـى المستثمر. فمع تزايد قيمة λ يكون هناك وزن أكبر للمخاطرة ويشير ذلك الى أن المسـتثمر يرغـب بتجنب المخاطرة بدرجة أكبر. وكما يتضح فإن مشكلة تحديد قيم w عـبارة عن مشكلة برمجة تربيعية Quadratic programming problem يمكن حلها بإسـتخدام الخوارزم الوراثي وذلك لتحديد قيم w التي تدني دالة الهدف وتحقق الشروط المفروضة على الأوزان النسبية.

٣. الخوارزم الوراثي

يهـدف الخـوارزم الوراثـي Genetic algorithm [٩] الـى محاكاة العمليات البيولوجـية التـي تحـدث فـي الكائنات الحية من خلال إستخدام الحاسب الآلي وذلك للوصـول الـى حل أفضل للمشكلة المراد حلها. وقد وضع Holland [١٠] عام ١٩٧٥م المبادىء الأساسية للخوارزم الوراثي كنظم إصطناعية لها القدرة على التكيف ومحاكاة

العمليات البيولوجية. تلى ذلك العديد من الدراسات التي ساهمت في تطوير الخوارزم الوراثي وجعلت منه أسلوبا فعالا لحل المشاكل المعقدة.

١/٣. تمثيل الحلول

يتعامل الخوارزم الوراثي مع تمثيل للحلول Solution representation الممكنة للمشكلة فمتغيرات القرار يتم تمثيلها على شكل كروموسومات Chromosomes تناظر الكروموسومات في النظم البيولوجية. وهناك أساليب مختلفة يمكن إستخدامها لتمثيل الحلول في الخوارزم الوراثي وتعتبر السلاسل الثنائية من الأساليب الشائعة لذلك. وتتكون السلسلة الثنائية من قيم ثنائية 0 و 1 تسمى جينات Genes وكل سلسلة ثنائية تمثل حلا ممكنا للمشكلة. ومجموعة السلاسل الثنائية أو الكروموسومات تسمى مجتمع Population من الحلول الممكنة.

ويبدأ الخوارزم الوراثي بمجتمع إبتدائي من الكروموسومات تمثل حلولا ممكنة للمشكلة وكل كروموسوم عبارة عن توليفة من الأعداد الثنائية. وفي كل جيل Generation يتم إختيار أفضل مجموعة من الكروموسومات لكي تصبح كروموسومات عائلة. ومن ثم يتم تطبيق المحولات الوراثية المتمثلة بالإختيار والتهجين والتطفر على الكروموسومات العائلة لتوليد جيل جديد. وهذه الكروموسومات الجديدة التي تم توليدها من المجتمع السابق ترث الخصائص الإيجابية من الكروموسومات العائلة. وتستمر عملية توليد كروموسومات جديدة من الكروموسومات العائلة حتى لايكون هناك تحسن في الكروموسومات الجديدة التي يتم توليدها.

٢/٣. دالة الموائمة

تمثل دالة الموائمة Fitness function أحد المعالم الرئيسية عند إستخدام الخوارزم الوراثي ويعتمد نجاح حل المشكلة بشكل كبير على القدرة على تحديد دالة الموائمة الخاصة بالمشكلة. وتقوم دالة الموائمة بإعطاء قيمة لكل كروموسوم في

المجـتمع لبـيان مدى موائمة هذا الكروموسوم كحل للمشكلة بحيث أن الكروموسومات التـي لها قيمة موائمة أكبر يكون لها فرصة أكبر في المشاركة بإنتاج أجيال جديدة من الكروموسومات. وفي مشاكل الأمثلية Optimization problems تكون دالة الهدف هي دالـة الموائمة. ففي مشكلة تحديد المحفظة المالية المثلى تكون دالة الهدف والتي تشمل علـى العـائد المتوقع ومخاطر المحفظة المالية هي دالة الموائمة والتي تستخدم لتقييم الكروموسومات.

٤. المحولات الوراثية

يقوم الخوارزم الوراثي بتطبيق عدد من المحولات الوراثية Genetic operators والتـي تشـمل الإختيار والتهجين والتطفر على مجتمع من الكروموسومات. وتقوم هذه المحولات بتحسين الكروموسومات كحلول ممكنة للمشكلة من جيل لآخر.

٤/١. الإختيار

يقوم محول الإختيار Selection بإختيار الكروموسومات التي ستشارك في عملية إعـادة الإنـتاج. وتتنافس الكروموسومات مع بعضها وذلك للمشاركة في عملية إعادة إنـتاج كروموسـومات جديدة طبقا لتقييم دالة الموائمة لهذه الكروموسومات بحيث أن الكروموسـومات التي لها قيمة دالة موائمة أعلى يكون لها فرصة أكبر في المشاركة. ويكون إحتمال إختيار كروموسوم معين من المجتمع الحالي للمساهمة في إنتاج المجتمع الجديـد متناسـب مـع قيمة دالة الموائمة الخاصة بهذا الكروموسوم. لذلك فإن إحتمال إختيار الكروموسوم c_i يساوي:

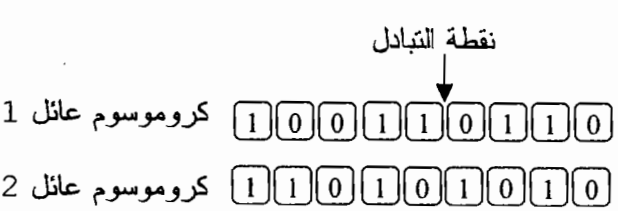
$$Probability(c_i) = \frac{f(c_i)}{\sum_{\forall i} f(c_i)}$$

حيث $f(c_i)$ تساوي قيمة دالة الموائمة للكروموسوم c_i في حين أن $\sum_{\forall i} f(c_i)$ تساوي إجمالي قيم دالة الموائمة لجميع الكروموسومات في المجتمع.

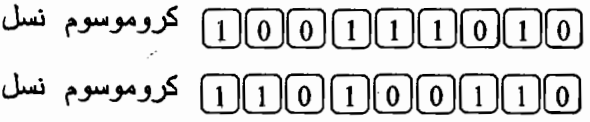
٢/٤. التهجين

يتم في عملية التهجين Crossover إجراء تزاوج بين الكروموسومات في المجتمع الحالي لتوليد مجتمع جديد من الكروموسومات. ويشارك في عملية التهجين كروموسومين وذلك لإنتاج نسل عبارة عن كروموسومين جديدين وذلك بإجراء عملية تبادل بين الجزء الثاني من الكروموسوم الأول مع الجزء الثاني من الكروموسوم الثاني المشارك في عملية التهجين.

فالكروموسومات التي تم إختيارها من المجتمع السابق لتشارك في عملية إعادة الإنتاج تدخل في عملية تزاوج بطريقة عشوائية أي أن لكل كروموسوم من الكروموسومات المختارة يتم إختيار كروموسوم آخر مقابل له والذي سيشاركه في عملية التهجين. فإذا كانت الكروموسومات ذات أطوال L من الأعداد الثنائية فإنه يوجد L-1 من نقاط التبادل الممكنة كل منها له نفس فرصة الإختيار لتكون نقطة التبادل الممكنة للأعداد الثنائية. فعلى سبيل المثال إفترض أن لدينا الكروموسومين التاليين:



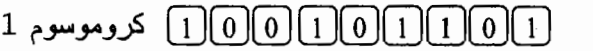
في هذا المثال طول الكروموسومات يساوي 9 أعداد ثنائية ونقطة التبادل والتي يتم إختيارها عشوائيا في الخوارزم الوراثي تقع بين الجين الخامس والسادس لكل كروموسوم. بعد عملية التهجين ينتج كروموسومين نسل كما يلي:



ونلاحظ أن الكروموسوم النسل الأول يحتوي على الجزء الأول من الكروموسوم العائل الأول والجزء الثاني من الكروموسوم العائل الثاني في حين أن الكروموسوم الثاني يحتوي على الجزء الأول من الكروموسوم العائل الثاني والجزء الثاني من الكروموسوم العائل الأول.

٣/٤. التطفر

تسمى التغيرات العشوائية في النمط الوراثي للكائنات الحية بالتطفرات ويؤثر التطفر Mutation على مجموعة السمات التي يمتلكها الكائن. ويشير التطفر في الخوارزم الوراثي إلى حدوث تغير وبطريقة عشوائية لقيمة الجين في الكروموسوم طبقا لإحتمال محدد مسبقا ويجب إختيار هذا الإحتمال بدقة حيث أنه عندما يكون هذا الإحتمال صغيرا فإن الخوارزم الوراثي قد يتوقف عند حل أمثل محلي ولكن عندما يكون إحتمال التطفر عاليا فان الإنتقال إلى حلول أفضل سيتوقف وسيتحول الخوارزم إلى أسلوب بحث عشوائي. فالتطفر يؤدي إلى حدوث تغير بسيط في قيم المواقع في السلسلة الثنائية بإحتمال بسيط أي أن قيمة من قيم المواقع في السلسلة الثنائية يتم إختيارها وتغييرها من 0 إلى 1 أو من 1 إلى 0 طبقا لقيمتها. فعلى سبيل المثال إفترض أن لدينا الكروموسوم التالي:



ونفـترض أنـــه تـــم عشوائيا اختيار الجين الثاني لعملية التطفر وهذا يؤدي الى توليد كروموسوم جديد كما يلي:

كروموسوم 2 [1][1][0][1][0][1][1][0][1]

ويوضـــح شكل ١ الشفرة الشبيهة للخوارزم الوراثي والتي تبين كيفية عمل هذا الأسلوب. يتم توليد مجتمع ابتدائي من الكروموسومات تمثل حلولا ممكنة للمشكلة. ومن ثم يتم تقييم هذه الكروموسومات في هذا المجتمع بإستخدام دالة الموائمة والتي تمثل دالة الهـدف فـــي المشـــكلة المـــراد حلها. وبعد ذلك وفي كل خطوة تسمى جيل يتم إختيار كروموسومات عائلة من المجتمع الحالي وهذه الكروموسومات العائلة ستساهم في إنتاج سلاسل جديدة. وتعتمد عملية الإختيار على قيمة دالة الموائمة للكروموسومات بحيث أن الكروموســـومات التي لها قيمة دالة موائمة أعلى يكون إحتمال إختيارها أكبر. وتشارك هـــذه السلاسل التي تم إختيارها في عملية التهجين والتطفر وينتج عن ذلك مجتمع جديد مـــن السلاسل والذي يتم تقييم عناصره بإستخدام دالة الموائمة. وتستمر هذه الخطوات لحيـــن الوصول الى معيار توقف الخوارزم الوراثي والذي قد يكون الوصول الى عدد معين من الأجيال أو قيمة محددة لدالة الموائمة.

وعلـــى الرغم من أن الإهتمام بالخوارزم الوراثي كإسلوب لحل المشاكل الواقعية لـــم يبدأ الإ منذ وقت قصير نسبيا إلا أن إستخداماته تعددت في العديد من المجالات بما في ذلك المجالات الإدارية. ويعود ذلك أساسا الى كفاءة هذا الأسلوب وظهور العديد من نظـــم البرامج سهلة الإستخدام والتي زادت من شعبية هذا الأسلوب. وتشمل التطبيقات الإدارية للخوارزم الوراثي على سبيل المثال التخطيط الداخلي للمنشأة[١١] و مشكلة رجل المبـــيعات المسافر[١٢] وجدولة عملية الإنتاج[١٣] والتحكم في الإنتاج[١٤] وموازنة خطوط الإنتاج[١٥] وتخطيط وجدولة المشاريع[١٦] وتصميم الخلايا الإنتاجية[١٧] .

```
Start GA
Initialize generation g:=0.
Initialize parameters.
Initialize a random population of chromosomes  oldpop(g).
Evaluate initial chromosomes.
evaluate oldpop(g).
While not done do
        Increse generation counter g: = g+1.
        Selection.
        newpop(g) := selectparents oldpop(g).
        Crossover.
        newpop(g) :=  crossover oldpop(g).
        Mutation.
        newpop := mutate oldpop(g).
        Evaluation of  fitness of new chromosomes.
        evaluate newpop(g).
        oldpop(g) := newpop(g).
End while
End GA
```

شكل ١: الشفرة الشبيهة للخوارزم الوراثي

٥. مثال تطبيقي

تمـــثل مشـــكلة إيجاد المحفظة المالية المثلى مشكلة برمجة تربيعية تتطلب تحديد الأوزان النسبية للأوراق المالية في المحفظة والتي تدني قيمة دالة الهدف. وتشمل دالة الهدف العوائد والمخاطر المتوقعة للمحفظة ويجب أن يكون مجموع هذه الأوزان النسبية يساوي واحد وأن تتراوح قيمة كل وزن بين 0 و 1. ولتوضيح كيفية إستخدام الخوارزم الوراثي لإيجاد المحفظة المالية المثلى نفترض أن لدينا محفظة مالية مكونة من 8 أوراق مالية مختلفة.

وقـــد تـــم إستخدام نظام GeneHunter الخاص بالخوارزم الوراثي لحل المشكلة وهـــذا الـــنظام من Ward Systems Group, Inc. يعمل على الحاسبات الشخصية. ويقـــوم هـــذا الـــنظام بحل مشاكل الأمثلية بتطبيق مفاهيم الخوارزم الوراثي التي سبق ذكـــرها. ويـــتكامل هذا النظام مع برنامج اللوائح الإلكترونية Excel حيث يصبح أداة إضافية Add-In Tool لبرنامج Excel ويمكن ذلك المستخدم من إستخدام Excel لتحديد المشـــكلة وإدخـــال البـــيانات ومـــن ثم يستخدم نظام GeneHunter كأداة اضافية لحل المشكلة. ويتيح تكامل هذا النظام الخاص بالخوارزم الوراثي مع برنامج Excel إمكانية إستخدام الخوارزم الوراثي مع التطبيقات المختلفة التي سبق تصميمها. وتشمل البيانات المدخلة في مشكلة تحديد المحفظة المالية المثلى عوائد الإستثمارات ومصفوفة التباينات والتغايرات لهذه العوائد.

ويتطلب حل المشكلة بإستخدام الخوارزم الوراثي تحديد المعالم الخاصة بالمشكلة. ويشمل ذلك تحديد دالة الموائمة ونوع مشكلة الأمثلية سواء تعظيم أو تدنية وتحديد نوع الكروموسومات (السلاسل الثنائية) المستخدمة لتمثيل متغيرات القرار. ففي مشكلة تحديد المحفظة المالية المثلى دالة الموائمة هي دالة الهدف لمشكلة البرمجة التربيعية ومتغيرات القـــرار هـــي الأوزان النســـبية لـــلأوراق المالية في المحفظة المالية وهذه المتغيرات متغـــيرات مستمرة Continuous وتأخذ أي قيم حقيقية بين 0 و 1. كذلك يشمل تحديد

معـــالم المشـــكلة تحديـــد القيود على متغيرات القرار والتي تشمل مجموع قيم الأوزان النسـبية يســـاوي 1. ويوضـــح شـــكل ٢ تحديـــد معالم المشكلة بإستخدام نظم برامج GeneHunter. يتضـــح مـــن الشكل أن دالة الموائمة المطلوب تدنيتها تم تحديدها في الخلية K14 في حين أن الكروموسومات التي تمثل الأوزان النسبية للإستثمارات تم تحديدهـــا فـــي الخلايا K10:K3$. وهذه الخلايا وعددها 8 ستكون موضع التعديل Adjustable cells خـــلال تشـــغيل الخوارزم الوراثي. كذلك تم تحيد المدى Ranges للأوزان النسبية بحيث أن كل وزن يتراوح بين 0 و 1 وتم أيضا وضع قيد Constraint على مجموع الأوزان بحيث يساوي 1.

يلـــي ذلـــك تحديـــد المعـــالم الخاصـــة بالخوارزم الوراثي والتي تتحكم بتوليد الكروموسومات وتطبيق المحولات الوراثية وهذه المعالم تشمل:

حجم المجتمع	Population Size
طول الكروموسوم	Chromosome length
إحتمال التهجين	Probability of Crossover
إحتمال التطفر	Probability of Mutation
معيار التوقف	Stop criterion

ويوضح شكل ٣ تحديد هذه المعالم لمشكلة إيجاد المحفظة المالية المثلى. ويتكون المجـــتمع مـــن 100 كروموســـوم وزيـــادة حجم المجتمع يمكن الخوارزم الوراثي من الوصـــول الـــى حلـــول أكـــثر للمشـــكلة الا أن ذلك يتطلب وقت تشغيل أكبر. طول الكروموســـوم يســـاوي 32-bit أي 32 عدد ثنائي ويتيح نظام GeneHunter للمستخدم ثـــلاث خـــيارات بالنســـبة لطول الكروموسوم وهي 8-bit و 16-bit و 32-bit ويجب ملاحظـــة أن زيـــادة طول الكروموسوم تؤدي الى زيادة دقة النتائج التي يتم الحصول

علـيها إلا أن ذلك يتطلب وقت تشغيل أكبر أيضا. إحتمال التهجين يساوي 0.9 في حين أن إحـتمال الـتطفر يساوي 0.01 وهذه الإختيارات تقع في المدى المعتاد عند إستخدام الخوارزم الوراثي لحل مشاكل الأمثلية. معيار التوقف هو Generations>100 أي أن الخـوارزم الوراثـي سيتوقف بعد توليد 100 جيل من الأجيال المتتالية وتم إختيار هذا الـرقم بعد إجراء عدد من التجارب على النظام إتضح بعده أن الخوارزم الوراثي يصل الى مرحلة الإستقرار عند هذا العدد من الأجيال.

وفـي بعـض الأحيان يكون من الملائم نقل بعض الكروموسومات من المجتمع الحالـي الـى المجتمع التالي دون إجراء أي تغيير على هذه الكروموسومات المختارة. ويـتحدد ذلك عن طريق Generation gap في النظام المستخدم والتي تحدد النسبة من الكروموسـومات فـي المجـتمع الحالي التي ستتأثر بالعمليات الوراثية وهذه النسبة تم إختيارها 0.98. ويعني ذلك أن 98 كروموسوم من المجتمع سيتأثر بالمحولات الوراثية فـي حيـن أن كروموسومين سيتم نقلهما دون إجراء أي تغيير عليهما. وإختيار هذان الكروموسـومان يـتم عن طريق إستراتيجية الأفضل Elitist strategy أي أن أفضل كروموسـومين في المجتمع الحالي ستنتقل الى المجتمع القادم دون إجراء أي تعديل لها وهـذا يساعد على الإبقاء على الحلول الأفضل للمشكلة بشكل مستمر في جميع الأجيال التي يتم توليدها.

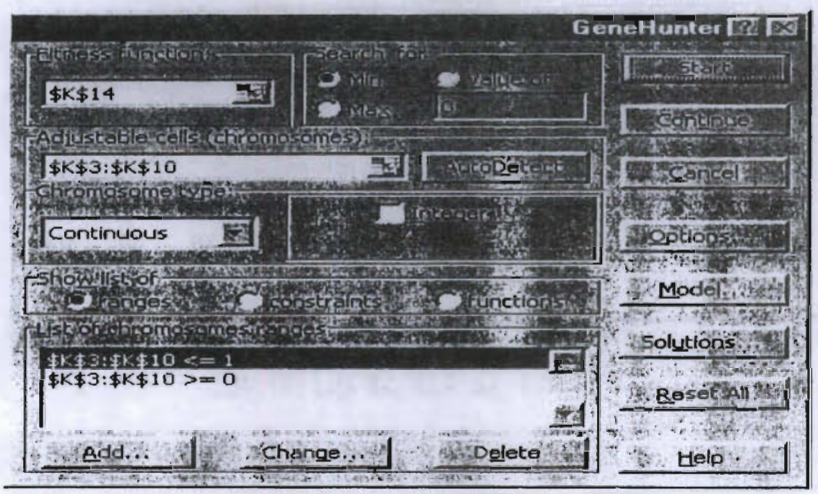
ويوضح شكل ٤ قيمة دالة الموائمة لأفضل كروموسوم في جميع الأجيال التي تم توليدها وعددها 100 جيل ويلاحظ أن قيمة دالة الموائمة تتناقص مع توليد أجيال جديدة ممـا يعني أن هناك تحسن في حلول المشكلة الى أن تصل الى مرحلة الإستقرار حيث لايحـدث هناك تحسن. ويوضح شكل ٥ النتائج النهائية للخوارزم الوراثي حيث تظهر الأوزان النسـبية لـلأوراق المالية بناء على قيم العوائد ومصفوفة التباينات والتغايرات الموضـحة بالشـكل. وهذه الأوزان تم الحصول عليها عند أفضل حل لمشكلة البرمجة التربيعية لإيجاد المحفظة المالية المثلى بإستخدام الخوارزم الوراثي. مجموع قيم الأوزان

النسبية يساوي 0.99696 وهذا يحقق الشرط المفروض على مجموع الأوزان. وقيمة دالة الموائمة تساوي 117.732 والعائد المتوقع $E(R_w)$ يساوي 15.925 في حين أن تباين العائد (المخاطرة) $Var(R_w)$ يساوي 133.657 ونسبة العائد الى المخاطرة تساوي 0.119.

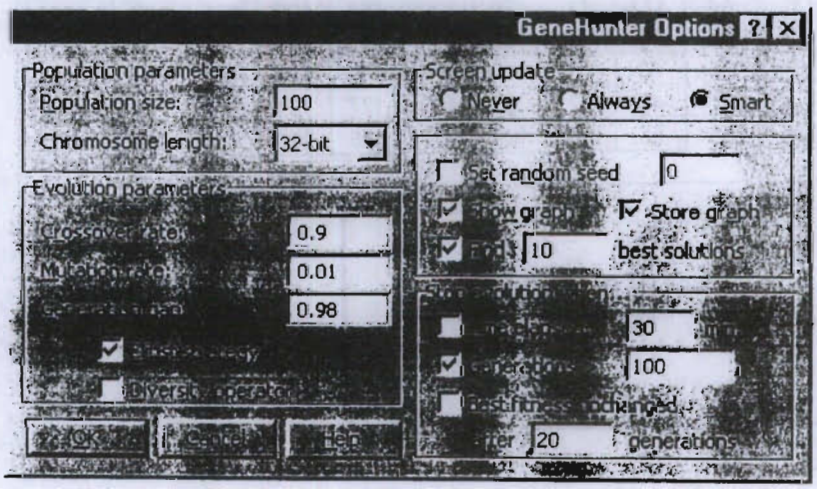
٦. مزايا الخوارزم الوراثي

يختلف الخوارزم الوراثي عن الأساليب الأخرى المستخدمة لحل مشاكل الأمثلية. فالخوارزم الوراثي يتعامل مع تمثيل لمتغيرات القرار وليس المتغيرات نفسها. ويتم تمثيل الحلول الممكنة للمشكلة على شكل مجتمع من الكروموسومات ويستخدم الخوارزم الوراثي المحولات الوراثية للإنتقال من حل الى آخر للمشكلة لحين الوصول الى حل ملائم للمشكلة وهذا يعطي الخوارزم الوراثي مرونة أكبر مقارنة بأساليب الأمثلية الأخرى والتي تتعامل مع المتغيرات نفسها.

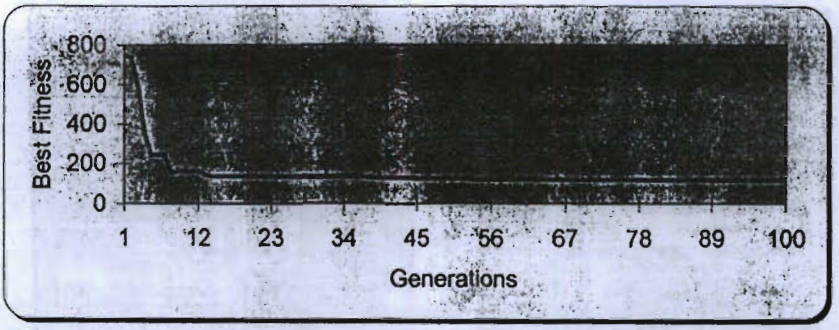
ويتعامل الخوارزم الوراثي مع نقاط حل متعددة في كل خطوة (جيل) ممثلة بمجتمع الكروموسومات بدلا من التعامل مع حل واحد فقط كما في أساليب الأمثلية الأخرى. لذلك فإن إحتمال الوصول الى حل أمثل محلي Local للمشكلة يكون صغير في حين أن إحتمال الوصول الى حل أمثل إجمالي Global للمشكلة يكون كبير. إضافة الى ذلك فإن الخوارزم الوراثي له القدرة على البحث في حيز أكبر من فراغ الحلول الممكنة للمشكلة وله القدرة على تمثيل العلاقات الغير خطية بشكل أكثر كفاءة. وقد أدى التقدم التقني الى ظهور العديد من نظم البرامج الخاصة بالخوارزم الوراثي كالنظام المستخدم في هذا البحث والتي سهلت من إستخدام هذا الأسلوب.



شكل ٢: تحديد معالم مشكلة إيجاد المحفظة المالية المثلى

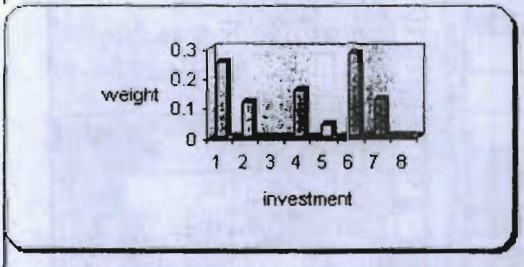


شكل ٣: تحديد معالم الخوارزم الوراثي



شكل ٤: دالة الموائمة عبر الأجيال المختلفة

Return		Covariance A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Weight
13	A1	290	115	64	121	69	63	48	55	0.2568
13	A2	115	295	94	71	106	110	72	74	0.1192
12	A3	64	94	230	179	161	236	201	109	0.00069
18	A4	121	71	179	120	154	196	166	187	0.16228
19.5	A5	69	106	161	154	335	149	127	156	0.04339
18	A6	63	110	236	196	149	135	191	210	0.28369
16.5	A7	48	72	201	166	127	191	250	178	0.12768
15	A8	55	74	109	187	156	210	178	287	0.00322



Weights	0.99696
Fitness	117.732
Return	15.925
Risk	133.657
Return/Risk	0.11915

شكل ٥: النتائج النهائية للخوارزم الوراثي

٧. الخلاصة

يعتمد نظام المعلومات المستخدم لحل مشكلة معينة على طبيعة المشكلة. فالمشاكل المهيكلة والروتينية يمكن التعامل معها بسهولة عن طريق إستخدام نظم تشغيل البيانات التقليـــدية في حين أنه عندما يتزايد عدم هيكلة المشكلة فإن نظم تشغيل البيانات التقليدية لاتكفـــي ويتطلب ذلك إستخدام نظم معلومات أكثر تقدما كنظم الذكاء الصناعي. ومشكلة تحديـــد الحجم الأمثل من الإستثمار في كل ورقة مالية من محفظة الإستثمار تعتبر من مشـــاكل الأمثلية المعقدة حيث تتمثل دالة الهدف بتعظيم العائد المتوقع وتدنية المخاطرة المصـــاحبة للإستثمار والتي تقاس بتباين إجمالي العائد على المحفظة المالية. ومشاكل الأمثلـــية تلك تناسب إستخدام الخوارزم الوراثي لحلها حيث أن هذا الأسلوب تم تطويره حديـــثا لحل مشاكل الأمثلية المعقدة. وعلى الرغم من وجود أساليب تقليدية لحل مشاكل المثلية إلا أن الخوارزم الوراثي يتميز بمرونته وإمكانياته العالية مما يجعله ملائما لحل المشاكل الواقعية بما في ذلك المشاكل المعروفة في مجال الأعمال.

الهوامش

١ Turban, E. (1993). *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*. Macmillan Publishing Company, New York.

٢ Han, Jiawei and Micheline Kamber (2001). *Data Mining: Concepts and Techniques*. New York, Morgan Kaufmann Publishers.

٣ McLeod, Raymond (2001). Management Information Systems. New Jersey: Prentice Hall.

٤ Russell, S. and P. Norvig (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.

٥ *GeneHunter User's Manual (1995)*. Ward Systems Group, Inc., Fredrick, MD, USA.

٦ Jorion, P. (1992). "Portfolio Optimization in Practice," *Financial Analyst Journal*, January-February, pp. 68-74.

٧ Markowitz, H. M. (1959). *Portfolio Selection*. New York: John Wiley & sons, Inc.

٨ Fabozzi, Frank J. (1999). *Investment Management*. Prentice Hall, New Jeresy, USA.

٩ لمزيد من المعلومات عن الخوارزم الوراثي أنظر:

A) Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold, New York.

B) Goldberg, David E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts.

C) Liepins, G.E. and M.R. Hillard (1989), "Genetic Algorithms: Foundations and Applications," *Annals of operations Research*, Vol. 21, pp. 31-58.

D) Michalewicz, Z. (1992). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag, Berlin.

E) Rawlins, G.J.E. Editor. (1991). *Foundations of Genetic Algorithms*. San Mateo, California, Morgan Kaufmann Publishers.

F) Srinivas, M. and L.M. Patnaik (1994), "Genetic Algorithms: A Survey," *Computer*, Vol. 27, No. 1, pp. 17-26.

G) Whitley, D. (1994), "A Genetic Algorithm Tutorial," *Statistics & Computing*, Vol. 4, No. 2, pp. 65-85.

١٠ Holland, John H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

١١ Suresh, G.; Vindo, V.V. and S. Sahu (1995), "A Genetic Algorithm for Facility Layout," *International Production Research*, Vol. 33, No. 12, pp. 3411-3423.

١٢ Grefenstette, J.; Gopal, R.; Rosmaita, B. and D. V. Gucht (1995), " Genetic algorithms for the traveling salesman problem," In J. Grefenstette, editor, *Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*. Lawrence Erlbaum Associates, 1985, pp. 160-168.

١٣ Croce, F.D.; Tadei, R. and G. Volts (1995), "A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem," *Computers and Operations Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 15-24.

Backhouse, P.G.; Fortheringham, A.F. and G. Allan (1997), "A Comparison of a Genetic Algorithm with an Experimental Design Technique in the Optimization of a Production Process," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 48, pp. 247-254. ١٤

Kim, Y.J.; Kim, Y.K.; and Y. Cho (1998), "A Heuristic Based Genetic Algorithm for Workload Smoothing in Assembly Lines," *Computer Operations Research*, Vol. 25, No. 2, pp. 99-111. ١٥

Ozdamar, L. (1999), "A Genetic Algorithm Approach to a General Category Project Scheduling Problem," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 29, No. 1, pp. 44-59. ١٦

Joines, J.A.; Culbreth, C.T. and R.E. King. (1996) "Manufacturing cell design: An integer programming model employing genetic algorithms," *IIE Transactions*, Vol. 28, No. 1, pp. 69-85. ١٧

المراجع

1 Backhouse, P.G.; Fortheringham, A.F. and G. Allan (1997), "A Comparison of a Genetic Algorithm with an Experimental Design Technique in the Optimization of a Production Process," *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 48, pp. 247-254.

2 Croce, F.D.; Tadei, R. and G. Volts (1995), "A Genetic Algorithm for the Job Shop Problem," *Computers and Operations Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 15-24.

3 Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold, New York.

4 Fabozzi, Frank J. (1999). *Investment Management*. Prentice Hall, New Jeresy, USA.

5 *GeneHunter User's Manual (1995)*. Ward Systems Group, Inc., Fredrick, MD, USA.

6 Grefenstette, J.; Gopal, R.; Rosmaita, B. and D. V. Gucht (1995), " Genetic algorithms for the traveling salesman problem," In J. Grefenstette, editor, *Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*. Lawrence Erlbaum Associates, 1985, pp. 160-168.

7 Goldberg, David E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts.

8 Han, Jiawei and Micheline Kamber (2001). *Data Mining: Concepts and Techniques*. New York, Morgan Kaufmann Publishers.

9 Holland, John H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. University of Michigan Press,

Ann Arbor, MI.

10 Joines, J.A.; Culbreth, C.T. and R.E. King. (1996) "Manufacturing cell design: An integer programming model employing genetic algorithms," *IIE Transactions*, Vol. 28, No. 1, pp. 69-85.

11 Jorion, P. (1992). "Portfolio Optimization in Practice," *Financial Analyst Journal*, January-February, pp. 68-74.

12 Kim, Y.J.; Kim, Y.K.; and Y. Cho (1998), "A Heuristic Based Genetic Algorithm for Workload Smoothing in Assembly Lines," *Computer Operations Research*, Vol. 25, No. 2, pp. 99-111.

13 Liepins, G.E. and M.R. Hillard (1989), "Genetic Algorithms: Foundations and Applications," *Annals of operations Research*, Vol. 21, pp. 31-58.

14 Markowitz, H. M. (1959). *Portfolio Selection*. New York: John Wiley & sons, Inc.

15 McLeod, Raymond (2001). Management Information Systems. New Jersey: Prentice Hall.

16 Michalewicz, Z. (1992). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag, Berlin.

17 Ozdamar, L. (1999), "A Genetic Algorithm Approach to a General Category Project Scheduling Problem," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 29, No. 1, pp. 44-59.

18 Rawlins, G.J.E. Editor. (1991). *Foundations of Genetic Algorithms*. San Mateo, California, Morgan Kaufmann Publishers.

19 Russell, S. and P. Norvig (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.

20 Srinivas, M. and L.M. Patnaik (1994), "Genetic Algorithms: A Survey," *Computer*, Vol. 27, No. 1, pp. 17-26.

21 Turban, E. (1993). *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*. Macmillan Publishing Company, New York.

22 Whitley, D. (1994), "A Genetic Algorithm Tutorial," *Statistics & Computing*, Vol. 4, No. 2, pp. 65-85.