كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير

قسم العلوم الاقتصادية

مخبر التطبيقات الكمية والنوعية للارتقاء الاقتصادي، الاجتماعي

والبيئي بالمؤسسات الجزائرية

أطروحة دكتوراه الطور الثالث في العلوم الاقتصادية، تخصص اقتصاد كمي

بعنوان:

تطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر

– دراسة قياسية للفترة 1980–2022

من إعداد الطالب:

طعيبة العربي

تحت إشراف: د. علي بن ساحة

المشرف المساعد: د. فتحي حنيش

لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الرتبة	الجامعة	الصفة
مصطفى طويطي	أستاذ	جامعة غرداية	رئيسا
علي بن ساحة	أستاذ محاضر أ	جامعة غرداية	مشرفا ومقررا
فتحني حنيش	أستاذ محاضر أ	جامعة غرداية	مشرفا مساعدا
بن سانية عبد الرحمان	أستاذ	جامعة غرداية	مناقشا
طلال عمراني	أستاذ محاضر أ	جامعة الجلفة	مناقشا
مولاي لخضر عبد الرزاق	أستاذ	جامعة ورقلة	مناقشا

السنة الجامعية 2024/2023

الإهداء

أهدي هذا العمل إلى كل أفراد عائلتي، كل باسمه وخاصة الوالدين الكريمين، أطال الله في عمرهما وأمدهما بوافر الصحة والعافية، والى كل من ساعدني من قريب أو بعيد جازاهم الله عنا خير الجزاء

شكر وعرفان

بعد الشكر والحمد لله سبحانه وتعالي علي فضله وعطائه

أتقدم بأسمي عبرات الشكر والعرفان

إلي المشرف علي هذا العمل الدكتور علي بن ساحة لنصائحه وتوجيهاته القيمة في إثراء هذا العمل

إلي المشرف المساعد الدكتور فتحي حنيش علي مساعدتي في تجاوز العقبات التي واجهتني أثناء إنجاز هذا العمل

إلي الدكتور عبد القادر مراد الذي لم يتوانا للحظة في تقديم يد العون والمساعدة، فله مناكل الشكر والتقدير

إلي الأستاذ صوار يوسف علي صبره وسعة صدره في الوقوف علي أدق التفاصيل في الجانب التطبيقي رغم ضيق وقته وكثرة مسؤولياته فله مناكل الشكر والتقدير

إلي جميع أساتذتي والذين استفدت منهم كثيرا، سواءا في جامعة غرداية أو جامعة الجلفة

إلي أعضاء هيئة المناقشة لقبولهم تهويب وتصحيح هذا العمل

إلي جميع موظفي جامعة غرداية

بارك الله فيكم

العربي

الملخص:

نهدف من خلال هذه الدراسة إلى اختبار مدي صلاحية الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر، باستخدام البيانات السنوية لمعدلات الناتج المحلي الإجمالي للجزائر من سنة 1980 حتى 2022.

قمنا أولا بتطبيق المنهجية الكلاسيكية الشائعة في التنبؤ بالسلاسل الزمنية ARIMA، وبعد المرور على جميع مراحل تطبيق هذه المنهجية قمنا باختيار النموذج ARMA (1.0) كأحسن نموذج للتنبؤ بناءًا على أقل قيمة لمعيار AIC و SC. وبغية إظهار ميزة التحسين في الخوارزميات الجينية قمنا باستخدامها في عملية المفاضلة بين نماذج ARIMA باعتماد معيار أقل قيمة لمتوسط مجموع مربعات الأخطاء MSE، حيث تم إختيار النموذج GA-ARMA (0.2) الذي يعد الحل الأمثل بناءً على هذه المنهجية، ومن أهم الاستنتاجات التي توصلنا إليها هي أن الخوارزميات الجينية تتميز بفاعلية عالية في تحسين نماذج التنبؤ وخاصة عندما تكون مساحة البحث واسعة.

الكلمات المفتاحية: خوارزميات جينية، ARIMA، تنبؤ، نمو اقتصادي، فعالية.

Abstract:

Through this study, we aim to test the validity of genetic algorithms in predicting Algeria's economic growth, using annual data on Algeria's gross domestic product rates from 1980 to 2022. We first applied the classic methodology common in ARIMA time series forecasting, and after going through all the stages of applying this Methodology We chose the ARMA (1.0) model as the best prediction model based on the lowest value of the AIC and SC criteria. In order to demonstrate the improvement advantage of genetic algorithms, we used them in the process of improving ARIMA models by adopting the criterion of the least value of the mean sum of squares of errors (MSE), where the GA-ARIMA (0.2) model was chosen, which is considered the optimal solution based on this methodology, and one of the most important conclusions we reached is that Genetic algorithms are more effective the more complex the problem.

Keywords: genetic algorithms, ARIMA, forecasting, economic growth, efficiency.

قائمة المحتويات

قائمة المحتويات

المحتوى	الصفحة
الإهداء	
الشكر	
الملخص	
قائمة المحتويات	II
قائمة الجداول	III
قائمة الأشكال	IV
قائمة الملاحق	V
مقدمة عامة	1
الفصل الأول: الأدبيات النظرية والتطبيقية	
تمهيد الفصل	7
المبحث الأول: الإطار النظري والمفاهيمي للنمو الإقتصادي	8
المطلب الأول: مفهوم النمو الإقتصادي	8
المطلب الثاني: مقاييس ومحددات النمو الإقتصادي	9
المطلب الثالث: عناصر النمو الإقتصادي وأهمية تحقيقه في الدول النامية	13
المطلب الرابع: نماذج ونظريات النمو الإقتصادي	16
المبحث الثاني: مفاهيم عامة حول الخوارزميات الجينية	30
المطلب الأول: مفهوم الخوارزميات الجينية وتطورها التاريخي	30
المطلب الثاني: عناصر الخوارزميات الجينية وخصائصها	35
المطلب الثالث: خطوات عمل الخوارزميات الجينية	42
المطلب الرابع: أنواع الخوارزميات الجينية وبعض تطبيقاتها	50
المبحث الثالث: الدراسات السابقة	53
المطلب الأول: التطور التاريخي للإهتمام بتطبيق الخوارزميات الجينية	53
المطلب الثاني: الدراسات المحلية	52
المطلب الثالث: الدراسات الأجنبية	54
المطلب الرابع: أوجه التشابه والإختلاف بين دراستي والدراسات السابقة	59
خلاصة الفصل الأول	65

الفصل الثاني: الإطار العملي لتطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر	
تمهيد الفصل الأول	67
المبحث الأول: عينة الدراسة والأدوات المستخدمة	68
المطلب الأول: عينة الدراسة	68
المطلب الثاني: التحليل الإحصائي لمتغير الدراسة	69
المطلب الثالث: أدوات الدراسة	70
المبحث الثاني: صياغة نماذج التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر للفترة (1980-2022)	73
المطلب الأول: تطبيق نموذج ARIMA في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر	73
المطلب الثاني: تطبيق الخوارزميات الجينية GA في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر	82
المطلب الثالث: المفاضلة بين نماذج الدراسة	89
المبحث الثالث: تحليل نتائج الدراسة ومناقشتها	90
المطلب الأول: تحليل نتائج الدراسة	90
المطلب الثاني: إختبار الفرضيات	91
المطلب الثالث: مناقشة النتائج	91
خلاصة الفصل الثاني	93
خاتمة	94
قائمة المراجع	97
الملاحق	106

قائمة الجداول

الرقم/الفصل	المحتوى	الصفحة
الجدول (1-1)	شرح مصطلحات الخوارزمية الجينية	32
الجدول (1-2)	إحصاء للدراسات السابقة	53
الجدول (1-3)	ملخص الدراسات السابقة التي قامت بتهجين الخوارزميات الجينية	59
الجدول (1-4)	شرح المصطلحات	63
الجدول (2-1)	التعريف بمتغير الدراسة	68
الجدول (2-2)	البيانات الإحصائية لمتغير GDP	69
الجدول (2-3)	نتائج إختبار ديكي فولر الموسع (ADF)	74
الجدول (2-4)	نتائج إختبار فليبس بيرون (PP test)	74
الجدول (2-5)	معايير المفاضلة بين النماذج المقترحة	76
الجدول (2-6)	نتائج تقدير النموذج ARMA (1,0)	76
الجدول (2-7)	القيم العددية للتنبؤ لثلاث سنوات الموالية بمعدل نمو الناتج المحلي الإجمالي GDP	81
الجدول (2-8)	تمثيل الجيل الأولي	83
الجدول (2-9)	الحلول الأولية	83
الجدول (2-10)	دالة function	84
الجدول (2-11)	معلمات الخوارزميات الجينية	84
الجدول (2-12)	معلمات الخوارزميات الجينية	85
الجدول (2-13)	تقييم الحلول النهائية	87
الجدول (2-14)	نموذج GA-ARIMA الأمثل	87
الجدول (2-15)	نتائج التنبؤ	88
الجدول (2-16)	نتائج التقدير للنماذج المقترحة	88

قائمة الأشكال

الرقم /الفصل	المحتوي	الصفحة
الشكل (1-1)	تمثيل النمط الظاهري	36
الشكل (1-2)	تمثيل الجينات	36
الشكل (1-3)	تمثيل المجتمع	38
الشكل (1-4)	الإنتقاء بطريقة عجلة الروليت	45
الشكل (1-5)	التقاطع في نقطة واحدة	46
الشكل (1-6)	مخطط إنسيابي لخطوات عمل الخوارزميات الجينية	50
الشكل (1-7)	تطور منحني المنشورات العلمية في القياس الإقتصادي والتي طبقت GA	52
الشكل (2-1)	منحني تطور سلسلة GDP	69
الشكل (2-2)	مراحل بناء نماذج ARIMA	70
الشكل (2-3)	المخطط العام للخوارزميات الجينية	72
الشكل (2-4)	دالة الإرتباط الذاتي والجزئي للسلسلة GDP	75
الشكل (2-5)	المقارنة بين السلسلتين الأصلية والمقدرة	77
الشكل (2-6)	دالة الإرتباط الذاتي والجزئي لسلسة البواقي	77
الشكل (2-7)	إختبار التوزيع الطبيعي لبواقي التقدير	78
الشكل (2-8)	جذر كثير الحدود المميز لنموذج الدراسة	79
الشكل (2-9)	نتائج إختبار معامل ثايل لعدم التساوي	80
الشكل (2-10)	القيم التنبؤية بمعدل نمو الناتج المحلي الإجمالي (2022-2025)	80
الشكل (2-11)	منحني تطور دالة الملائمة	86
الشكل (2-12)	نتائج تقييم الأفراد	86

قائمة الملاحق

الرقم	المحتوي	الصفحة
الملحق رقم 1	إختبار ديكي فولر لسلسلة gdp (النموذج3)	111
الملحق رقم 2	إختبار ديكي فولر لسلسلة gdp (النموذج2)	111
الملحق رقم 3	إختبار ديكي فولر لسلسلة gdp (النموذج1)	112
الملحق رقم 4	تقدير نموذج ARIMA (1.0.0)	112
الملحق رقم 5	تقدير نموذج ARIMA (0.0.1)	113
الملحق رقم 6	تقدير نموذج ARIMA (1.0.1)	113
الملحق رقم 7	نتائج تطور الأجيال في الخوارزميات الجينية GA	123

مقدمة عامة

مقدمة عامة

تمهيد:

دائما ما كان التنبؤ بالمتغيرات الإقتصادية على المدي القريب والبعيد أمر مهم وهدف للكثير من الباحثين وصناع القرار من أجل تنصيب الخطط وإختيار السياسات الإقتصادية المناسبة، بناءً على متغيرات الماضي والحاضر ووفق نماذج إحصائية وقياسية وأساليب علمية، ونظرا إلى استمرار وسرعة تغير قيم بعض المؤشرات الإقتصادية يكون التنبؤ بها أمرا صعبا بحيث تكون الطرق المعتادة غير كافية، ويتطلب الأمر طرق أكثر فاعلية.

وبما أن دقة نتائج التنبؤ هي العامل الأكثر أهمية في إختيار أي طريقة للتنبؤ، كانت الفكرة في هذه البحث بسيطة وقديمة، وهي الوصول إلى أفضل ما يمكن من جودة في نماذج التنبؤ بينما الممارسة مباشرة، وهي إستخدام الخوارزميات الجينية لتحسين نموذج التنبؤ والوصول به إلي أعلي مستوي من الدقة، ولقد وقع إختيارنا على هذا النموذج للتنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر لأمرين، الأول هو أن الخوارزميات الجينية تعد من بين أحدث الطرق الكمية المستخدمة في التحسين والتنبؤ، والأمر الثاني هو إستخدامها لحل مجموعة واسعة من مشكلات التحسين خلال الثلاثين عامًا الماضية، وذلك لأن تطبيقاتها تتضمن حلاً لعدة أنواع من المسائل المرتبطة بالتحسين والتصنيف، وقد أصبحت الخوارزميات الجينية GA أداة تحسين قوية لحل المشكلات المتعلقة بمجالات مختلفة في العلوم التقنية والإجتماعية والإقتصادية.

بالإضافة إلى ذلك تم إختيار النمو الإقتصادي للجزائر كمتغير مستهدف في عملية التنبؤ، نظرا لأهمية الحصول على توقعات مستقبلية له، حيث أنه يعتبر من بين أهم المقاييس المعتمدة في تقييم الاقتصاديات، وخاصة الاقتصاديات التي تعرف تقلبات سريعة، وهو ما يمكننا من الحصول على نظرة إستشرافية للوضع الإقتصادي للجزائر ومعرفة مدي كفاءة السياسات الإقتصادية المنتهجة في الوقت الراهن.

إشكالية الدراسة:

وبناء على ما سبق، فإن إشكالية الدراسة تتمحور حول السؤال الرئيسي التالي:

ما مدي فاعلية الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر خلال الفترة (1980–2022)؟

وتندرج تحت هذا السؤال الرئيسي مجموعة من الأسئلة الفرعية، يمكن إيجازها في النقاط الآتية:

- أين تظهر فاعلية الخوارزميات الجينية في عملية التنبؤ؟
- هل يمكن أن تحقق الخوارزميات الجينية تنبؤاً دقيقاً مقارنتا بالنماذج الأخرى؟

- كيف يتم بناء نموذج متكامل باستخدام الخوارزميات الجينية لتجاوز الأخطاء الشائعة في النماذج الكلاسيكية؟

فرضيات الدراسة:

للتمكن من الإجابة على التساؤلات السابقة نضع الفرضيات التالية:

- فاعلية الخوارزميات الجينية يمكن أن تظهر من خلال تحسين نماذج التنبؤ؛
- ربما يكون للخوارزميات الجينية القدرة على الرفع من دقة التنبؤ؛
- يمكن بناء نموذج هجين يجمع بين نماذج ARIMA والخوارزميات الجينية للتنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر؛

أسباب إختيار الموضوع:

تم إختيار موضوع هذا البحث بناءا على عدة أسباب نذكر أهمها:

- الأهمية التي يمثلها التنبؤ بالنسبة للباحث الإقتصادي؛
- تجاوز بعض مشاكل الاقتصاد القياسي المتعلقة ببناء نماذج التنبؤ؛
- الحاجة إلى الإلمام بطرق وتقنيات الذكاء الاصطناعي والذي يمكن أن يفيدنا أكثر كباحثين لتوقع سلوك المتغيرات الإقتصادية؛
- توسيع مجال البحث بخصوص أساليب التنبؤ والطرق الحديثة المستخدمة في هذا المجال؛

أهداف الدراسة:

نهدف من خلال هذا الدراسة إلى ما يلي:

- اختبار فعالية الخوارزميات الجينية في تحسين نماذج التنبؤ؛
- الحصول على قيم تنبؤية بأقل إنحراف ممكن عن القيم الفعلية لمعدلات الناتج المحلي الإجمالي للجزائر لعدة سنوات لاحقة؛
- دراسة وتحليل الوضع الإقتصادي للجزائر من خلال إختيار النمو الاقتصادي للجزائر كمتغير مستهدف.

مقدمة عامة

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية الدراسة في جانبين، الأول هو الاستفادة من ميزة التحسين العالية للخوارزميات الجينية للرفع من دقة نتائج التنبؤ والحصول على معدلات نمو أكثر مصداقية، وثانيا إختيار معدلات الناتج المحلي الإجمالي للجزائر كمتغير دراسة، وخاصة في هذه المرحلة التي تعرف ثورة من الإصلاحات في شتي المجالات تقوم بها الحكومة الحالية، وبالتالي يمكننا من خلال عملية التنبؤ التي نقوم بها معرفة مدي انعكاس هذه الإصلاحات على معدلات النمو الإقتصادي للبلاد في المدي القريب.

حدود الدراسة:

الحدود المكانية: تم إجراء عملية التنبؤ في هذه الدراسة على متغير النمو الاقتصادي للجزائر (gdp)

الحدود الزمانية: تمت دراسة هذا المتغير على الفترة الزمنية (1980-2022)

منهج الدراسة:

وفقا للإشكالية المطروحة قمنا في إعداد هذا البحث بدراسة كل الجوانب الأساسية والخاصة بالموضوع، وكذلك الوقوف عند جميع التفاصيل المتعلقة به، من أجل اختبار الفرضيات الموضوعة والإجابة على التساؤلات المطروحة، حيث اعتمدنا على المنهج الوصفي عند التطرق إلى المفاهيم النظرية، والمنهج التحليلي في إنجاز الجانب التطبيقي وخاصتا أننا قمنا بتقسيم دراستنا التطبيقية لمرحلتين، بغية المقارنة وإظهار مدي قوة المنهجية المعتمدة في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر.

صعوبات الدراسة:

- الاستخدام الواسع للخوارزميات الجينية في شتي المجالات، جعل اهتمام الباحثين يتشتت ولا ينحصر في سياق واحد، مما صعب من مهمة تجميع الدراسات السابقة وفهمها؛
- صعوبة التعامل مع الخوارزميات الجينية وخاصة في ضبط دالة الملائمة (الهدف) وتحديد معلمات هذه المنهجية، والذي يعتبر اللبنة الأساسية في تحديد مسار عمل الخوارزميات الجينية والوصول إلى النتائج المرجوة؛
- عدم امتلاك مهارة سابقة في التعامل مع برمجيات الخوارزميات الجينية مثل MATLAB وpython، جعلنا نستهلك الكثير من الوقت للتعلم والممارسة.

هيكل الدراسة:

تم إعداد الدراسة وفق منهجية IMRAD، وبالتالي قمنا بتقسيم الدراسة الي جانب نظري وآخر تطبيقي على النحو التالي:

الجانب النظري: الذي يتضمن في هذا البحث كل المفاهيم والنظريات المتعلقة بالنمو الاقتصادي والخوارزميات الجينية، وكذلك مختلف الدراسات والتطبيقات السابقة حول موضوع البحث.

الجانب التطبيقي: أولا يتم فيها العرض الوصفي لمتغير الدراسة بشكل مبدئي، ثم القيام بدراسة تطبيقية تتمثل في التنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر وفق منهجية ARIMA بشكل فردي، بعد ذلك إنشاء نموذج هجين يجمع كل من الخوارزميات الجينية GA ونماذج ARIMA، حيث يتم إستخدام الخوارزميات الجينية في المفاضلة بين نماذج ARIMA وإختيار الفجوات الزمنية المناسبة والتي تتميز بأحسن الخصائص التنبؤية، من حيث القيمة الدنيا في معيار متوسط مجموع مربعات الأخطاء MSE، ثم القيام بعملية التنبؤ، ليتم بعد ذلك القيام بعملية المقارنة بين نموذج ARIMA الفردي و النموذج الهجين ARIMA-GA، من حيث دقة التنبؤ، وقيم معيار متوسط مجموع مربعات الأخطاء MSE، ثم المقارنة بين مخلفات النموذج الفردي والنموذج الهجين، وبعد القيام بالمقارنة بين النماذج المستخدمة والوصول الي الاستنتاجات نقوم بإصدار الأحكام حول النموذج الأنسب من حيث جودة ودقة التنبؤ.

الفصل الأول: الأدبيات النظرية والتطبيقية

تمهيد الفصل الأول:

معظم الدول النامية أو السائرة في طريق النمو تهدف إلى تحقيق اقتصاد متكامل قوي ومستقر، وهذا لا يتحقق إلا إذا كانت هناك إستراتيجية ناجعة وقرارات صائبة، وهو ما يدفع صناع القرار إلى البحث عن طرق وأساليب تمنحهم رؤية مستقبلية لما يمكن أن يحدث، وهذا الأمر دفع الباحثين في مجال العلوم الإقتصادية إلى إيجاد طرق وأساليب إحصائية ورياضية ونماذج قياسية يمكن لها أن تتنبأ بسلوك المتغيرات الإقتصادية، بالإضافة إلى بعض تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل الخوارزميات الجينية، والشبكات العصبونية وغيرها من التقنيات.

ومن بين أهم هذه المنهجيات هي الخوارزميات الجينية التي يمكن أن تكون لها أهمية كبيرة عند تطبيقها في مجال العلوم الإقتصادية وبالتحديد في عملية تحسين نماذج التنبؤ، وهو ما حاولت اختباره في هذه الدراسة، من خلال محاولة بناء نموذج قوي يتنبأ بمعدلات الناتج المحلي الإجمالي للجزائر لعدة سنوات لاحقة وبأقل نسبة خطأ.

وللقيام بهذه العملية وجب علينا أولا التطرق إلى جميع الجوانب النظرية والمفاهيم العامة للنمو الإقتصادي كمتغير مستهد والخوارزميات الجينية كمنهجية معتمدة، بالإضافة إلى تفريغ جميع الدراسات السابقة التي كان لها السبق في الاهتمام بهذا الموضوع في محاولة مني لإيجاد فجوة بحثية تمنحنا الفرصة لتقديم الإضافة في هذا الموضوع.

ولخلق نوع من التجانس والترابط بين أجزاء هذه الدراسة قمنا بتقسيم الفصل الأول على النحو التالي:

المبحث الأول: الإطار النظري للنمو الاقتصادي

المبحث الثاني: الإطار النظري للخوارزميات الجينية

المبحث الثالث: الدراسات السابقة

المبحث الأول: الإطار النظري والمفاهيمي للنمو الاقتصادي

في هذا المبحث سوف نحاول قدر الإمكان بناء إطار نظري يجمع كل الأفكار والاجتهادات المتراكمة للعلماء والباحثين، وكان النمو الإقتصادي محل اهتمامهم، بحيث استطاعوا تصدير نظريات ونماذج للعالم نحن ندرسها اليوم.

المطلب الأول: مفهوم النمو الإقتصادي:

النمو الإقتصادي بأبسط عباراته هو " تغير مستوي نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي Gross) Domestic GDP،Product) أو الدخل خلال فترة زمنية معينة"، ويعني تلك الزيادة الحاصلة في نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي (القيمة السوقية المعدلة من التضخم لمجموع السلع والخدمات النهائية المنتجة داخل بلد ما خلال فترة زمنية). (حواس، 2021)

وبمعنى أوسع فهو ينطوي على زيادة الناتج المحلي الإجمالي والناتج القومي الإجمالي والدخل القومي، وبالتالي الثروة الوطنية، بما في ذلك القدرة الإنتاجية معبراً عنها بالحجم المطلق والنسبي للفرد، بالإضافة إلى التعديلات الهيكلية للإقتصاد، ولذلك يمكننا تقدير أن النمو الإقتصادي هو عملية زيادة أحجام الاقتصاديات الوطنية، ومؤشرات الاقتصاد الكلي، وخاصة الناتج المحلي الإجمالي للفرد، في اتجاه صاعد ولكن ليس بالضرورة خطيا، مع آثار إيجابية على القطاع الإقتصادي والاجتماعي.(Haller ، 2012)

للتعمق في هذا المفهوم فإنه يتعين التأكد مما يلي:

- النمو الإقتصادي لا يعني حدوث زيادة في إجمالي الناتج المحلي فقط، بمعنى آخر يجب أن يتوافق مع الزيادة في عدد السكان؛

- أن الزيادة التي تحققت في دخل الفرد ليست زيادة نقدية فحسب، بل يتعين أن تكون زيادة حقيقة؛

- أن تتسم الزيادة في متوسط دخل الفرد بصفة الاستمرارية أي على المدى الطويل. (عجمية، 2007)

- لا يمكن تحقيق النمو الإقتصادي إلا إذا كانت هناك زيادة في عوامل الإنتاج في الاقتصاد مع مرور الوقت. (Harvey، 1973)

وبتعريف آخر هو زيادة مستمرة ومستقرة في متوسط نصيب الفرد من الدخل الحقيقي. (ناصف ، 2005)

كما يمكن تعريف النمو الإقتصادي بأنه تزايد قابلية اقتصاد ما على توفير السلع والخدمات خلال فترة زمنية، مهما كان مصدر هذا التوفير محليا أو خارجيا. (هوشيار، 2005)

حيث يتحقق عن طريق زيادة قدرة الحكومة على إنتاج البضائع والخدمات. (صخري، 2005)

والنمو الإقتصادي هو مصدر الزيادات المستمرة في مستويات المعيشة المادية بمرور الوقت، على مدى فترات طويلة من الزمن، بحيث يهيمن نمو الناتج المحتمل على التقلبات قصيرة الأجل في الإنتاج مع زيادة القدرة الإنتاجية للإقتصاد، وبالتالي فإن النمو الإقتصادي ليس مهمًا لرفع مستويات المعيشة فقط بل أيضًا معدل النمو الذي يتحقق بالفعل في الاقتصاد، حتى الفروق الصغيرة في معدلات النمو يمكن أن تحدث فرقًا هائلاً في نمو مستويات المعيشة ومستوى الإنتاج المحتمل على مدى عقود.(Mulhearn, & Vane, 1999)

وحسب اعتقادي فإن النمو الإقتصادي يعبر عن مدي تحقيق عوامل الرفاهية والعيش الكريم لأفراد المجتمع، وفي وقتنا الحالي النمو الإقتصادي يرتبط بمدي قدرة الدولة على الاستثمار في الموارد البشرية أكثر من الموارد الطبيعية، والتي تعتبر أكثر طاقة متجددة يمكن الاعتماد عليها مستقبلا في تحقيق نمو اقتصادي مستدام.

المطلب الثاني: مقاييس ومحددات النمو الإقتصادي

هناك مجموعات من العوامل التي تلعب دورا مهما في قياس وتحديد النمو الإقتصادي، وبالتالي تقدير حجم الناتج في الاقتصاد، بحكم أن النمو الإقتصادي يعبر عن التغير النسبي في حجم الناتج.

أولا: مقاييس النمو الإقتصادي

هناك عدة مؤشرات لقياس النمو الإقتصادي نذكر منها:

1.الناتج الحقيقي: يشير إلى الكميات الفعلية من السلع والخدمات المنتجة مقومة بالأسعار الثابتة، وهو أساس لقياس معدل النمو الإقتصادي، هذا الأخير الذي يمثل التغير في الناتج الحقيقي بين فترتين مقسوما على الناتج الإجمالي للفترة الأساسية المنسوب إليها القياس. (حسن خليفة، 2001)

وما يعاب على هذه المعدلات أنها نقدية ولا تأخذ بعين الاعتبار أثر التضخم، كما أن لكل دولة عملتها الوطنية وبالتالي لا يمكن مقارنة النمو المحقق في مختلف البلدان وفق لهذا، حيث يجب أن تكون هناك عملة دولية واحدة لتقييم الناتج الوطني لمختلف البلدان حتى يسهل إستخدام المقياس للمقارنة، ولذلك تستخدم غالبا معدلات النمو المحققة فيها. (مسعودي و عزي، 2019)، وقد تعرض هذا المقياس للنقد، ذلك لأن البعض يعتقد أن زيادة الدخل ونقصه قد يؤدي إلى بلوغ نتائج إيجابية أو سلبية، فزيادة الدخل القومي لا يعني نموا اقتصاديا عند زيادة السكان بمعدل أكبر، ونقصه لا يعني تخلفا اقتصاديا عند زيادة السكان بمعدل أقل.

2.الدخل القومي الكلي المتوقع: يمكن تعديل المعيار السابق إلى معيار ثاني هو الدخل القومي الكلي المتوقع الذي يأخذ بعين الاعتبار الموارد الكامنة للدولة وإمكانياتها المختلفة ولذلك يوصي بعض الاقتصاديين بالأخذ بهذا المعيار. (بن قانة، 2013)

3.معيار متوسط الدخل: يعتبر متوسط الدخل أو نصيب الفرد من الدخل القومي الحقيقي أكثر المعايير استخداما وأكثرها صدقا عند قياس مستوى التقدم الإقتصادي في معظم دول العالم، إلا أن هناك العديد من المشاكل والصعاب التي تواجه الدول النامية للحصول على الأرقام الصحيحة التي تمثل الدخل الحقيقي للفرد، من بين هذه الصعاب أن إحصائيات السكان والدخول غير كاملة وغير دقيقة. (عجمية، 2007)

ويقاس النمو الإقتصادي مبدئيا باستخدام ما يسمى بمعدل النمو البسيط، ويمكن الحصول عليه عن طريق المعادلة الآتية:

$$CM_s = \frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}}$$

حيث:

CMs : معدل النمو.

Y_t : الدخل الحقيقي في الفترة الحالية.

Y_{t-1} : الدخل الحقيقي في الفترة السابقة، إلا أن هذا المعدل يصلح فقط لقياس النمو في الدخل بين فترتين زمنيتين متتاليتين ولا يصلح لقياس معدل النمو المركب.

ولحساب معدل النمو السنوي المركب نتبع الطريقة التالية:

$$Y_n = Y_0(1+cm_s)^n$$

$$(1+cm_s)^n = \frac{y_n}{y_0}$$

$$(1+cm_s) = \sqrt[n]{\frac{y_n}{y_o}}$$

$$Cm_c = \sqrt[n]{\frac{y_n}{y_o}} - 1$$

حيث:

$\mathbf{CM_c}$: معدل النمو المركب.

n : فرق عدد السنوات بين أول وآخر سنة في الفترة.

$\mathbf{Y_0}$: الدخل الحقيقي لسنة الأساس.

$\mathbf{Y_n}$: الدخل الحقيقي لآخر فترة.

4.معادلة سنجر (singer) للنمو الإقتصادي: وضع الأستاذ سنجر معادلة للنمو الإقتصادي في عام 1952، ولقد وصل إلى تلك المعادلة بمساعدة غيره من الاقتصاديين مثل "هكس" و"هارود" و "دومار"، وعبر سنجر عن معادلة النمو بثلاث عوامل هي: (عجمية، 2007)

- الادخار الصافي؛
- إنتاجية رأس المال؛
- معدل النمو السكاني.

وتأخذ هذه المعادلة الشكل الآتي:

$$D= SP - R$$

حيث:

D: معدل النمو السنوي لدخل الفرد.

S: معدل الادخار الصافي.

P: إنتاجية رأس المال.

R: معدل النمو السكاني السنوي.

رغم أن افتراضات **singer** كانت صادقة في عهده، وهي غير كذلك في الوقت الحالي، لكون زيادة المتغيرات التفسيرية لبعض من هذه البلدان أكبر مما تم وضعه سيحقق لها معدلات نمو موجبة. (طوير أ.، 2020)

ثانيا: محددات النمو الإقتصادي

هي عوامل مترابطة تؤثر على معدل النمو الإقتصادي، وهناك ستة عوامل رئيسية تحدد النمو الإقتصادي، أربعة منها تم تجميعها تحت محددات العرض والعاملين الآخرين هما الكفاءة والطلب، وعوامل العرض الأربعة هي الموارد الطبيعية والسلع الرأسمالية والموارد البشرية والتكنولوجيا ولها تأثير مباشر على قيمة السلع والخدمات المقدمة، ويجب أن نأخذ في الاعتبار أن هذه المحددات لها آثار مختلفة إذا كانت الدول متطورة أم لا، وهناك أيضًا عوامل وأحداث اجتماعية وسياسية لها تأثير كبير على التقدم الإقتصادي للبلد، تشير المحددات "القريبة" أو الإقتصادية إلى عوامل مثل تراكم رأس المال، والتقدم التكنولوجي، والعمالة، وتشير المصادر "النهائية" أو غير الإقتصادية إلى عوامل مثل كفاءة الحكومة، والمؤسسات، والأنظمة السياسية والإدارية، والعوامل الثقافية والإجتماعية، والجغرافيا والديموغرافيا.

1 – العوامل غير الإقتصادية:

حيث اختبر أروشا سنة (2009) دور الحوكمة في النمو الإقتصادي لـ 71 دولة متقدمة ونامية وبلدان تمر بمرحلة انتقالية بين عامي 1996 و2003، وأظهرت النتائج أن البلدان ذات الحوكمة العالية تنمو بشكل أسرع مقارنة بالدول ذات الحوكمة الضعيفة، بالإضافة إلي ذلك يعتبر الإطار المؤسسي أحد المحددات المهمة في الأدبيات المختلفة، حيث بدأ الاعتراف بدور المؤسسات من خلال العمل الأساسي للويس (1955)، وبعد ذلك أيريس (1962)، وفي بداية التسعينيات ومن خلال الأبحاث التي أجراها ماورو (1995)، ورودريك (1999)، و رودريك سنة (2000) أن خمسة أنواع من الأطر المؤسسية (حقوق الملكية، والمؤسسات التنظيمية، ومؤسسات استقرار الاقتصاد الكلي، ومؤسسات التأمين الاجتماعي، ومؤسسات إدارة الصراع)، يمكن أن يكون لها نتيجة مباشرة على النمو وعلى المحددات الأخرى للنمو الإقتصادي، ويذكر "ماورو" سنة (1995) أن الفساد أيضا يميل إلى أن يكون له تأثير سلبي على النمو من خلال التأثير على الابتكار والأنشطة الناشئة الأخرى وقد يقلل الإنتاجية، ويقيد دخول رواد الأعمال الجدد إلى السوق، وأيضا يدفع الشركات التي يتعين عليها دفع مبلغ كبير من المال مقابل الرشاوى إلى تقليل إنتاجها وتشويه أرقامها أيضًا، من جانب آخر لا تزال الأدبيات التجريبية غامضة فيما يتعلق بأهمية الديمقراطية في تعزيز النمو الإقتصادي، وقد يكون له تأثير سلبي أو غير كبير على النمو، ويمكن أن تلعب العوامل الاجتماعية والثقافية أيضًا دورًا مهمًا في ذلك، لأن التنوع الأخلاقي والتجزئة واللغة والدين والأعراف المدنية والمعتقدات من بين المحددات الاجتماعية والثقافية التي قد تكون من أكثر المحددات تأثيرا علي النمو الإقتصادي.(Boldeanu, و Constantinescu، 2015)

2- العوامل الإقتصادية:

يحدد النمو الإقتصادي من خلال العوامل الأربعة التالية:

1.2. العمل: عبارة عن مجموعة القدرات الفيزيائية والفكرية التي يمكن للإنسان إستخدامها في إنتاج السلع والخدمات الضرورية لحاجياته، حيث يعتبر من العوامل المهمة في زيادة الإنتاج ومن ثم معدلات النمو الإقتصادي؛

2.2. رأس المال: يتمثل في مجموع الاستثمارات والتجهيزات والبنى التحتية التي يمتلكها اقتصاد معين، هذه الاستثمارات تمول من خلال الادخار وتساهم في زيادة الناتج الوطني الخام.

3.2. التقدم التقني: يعبر عن مجموع النظم الحديثة والتقنيات المتطورة التي تستعمل في الإنتاج والتي تتضمن السرعة في التطوير، مما يؤدي إلى زيادة إنتاجية عوامل الإنتاج وهذا ينعكس إيجابيا على التطور الإقتصادي وبالتالي معدلات النمو الاقتصادي. (صادق، 2014)

4.2. مدي توافر الموارد الطبيعية: وهي الموارد التي لا دخل للإنسان في صنعها، وهي تتكون من الأرض وما عليها وما بداخلها، فكلما توافرت هذه الموارد كلما زاد معدل النمو الإقتصادي والعكس صحيح مع ثبات العوامل الأخرى، ولذلك وجب على أي اقتصاد قومي أن ينمي الموارد الطبيعية التي لديه حتى يزداد النمو الإقتصادي. (كافي، 2014)

المطلب الثالث: عناصر النمو الإقتصادي وأهمية تحقيقه في الدول النامية

بعض العناصر والعوامل يؤدي حدوثها بمعدلات عقلانية إلى تحقيق نمو اقتصادي متكامل، مما يعود على الاقتصاد الوطني وخاصة في الدول النامية بالنفع، وهو ما سوف نستعرضه في هذا المطلب، بدايتا بتعريف هذه العناصر، ثم إبراز أهمية تحقيقها لنمو اقتصادي على الدول النامية.

أولا: عناصر النمو الإقتصادي

يوضح مفهوم النمو الإقتصادي أن حدوثه يرتبط بثلاث عناصر أساسية تتمثل فيما يلي:

1. **العنصر الأول:** تحقيق زيادة في متوسط نصيب الفرد من الدخل القومي ويقاس بمتوسط نصيب الفرد من الدخل القومي عن طريق:

الدخل القومي / عدد السكان

2. **العنصر الثاني:** تحقيق زيادة حقيقة في متوسط نصيب الفرد من الدخل الحقيقي أي تحقيق زيادة حقيقة في مقدرة الأفراد على شراء السلع والخدمات المختلفة ويقاس الدخل الحقيقي عن طريق:

الدخل النقدي/ المستوي العام للأسعار

1. **العنصر الثالث:** تحقيق زيادة مستمرة ومستقرة في متوسط نصيب الفرد من الدخل الحقيقي، والزيادة المستمرة في متوسط نصيب الفرد من الدخل الحقيقي، يتطلب أن تكون هذه الزيادة ناتجة عن زيادة حقيقة في متوسط النشاط الإقتصادي. (ناصف ، 2005)

ثانيا: أهمية تحقيق النمو الإقتصادي

كل الدول تسعي من خلال سياساتها إلى تحقيق نمو اقتصادي قوي ومستدام، وكل هذا من أجل الحصول على ميزات تحقيقه، وهي التي سوف نستعرضها في العناصر التالية:

1. يعد النمو الإقتصادي أقوى أداة للحد من الفقر وتحسين نوعية الحياة في البلدان النامية.

تقدم كل من البحوث والدراسات الحالية أدلة دامغة على أن النمو السريع والمستدام يشكل أهمية بالغة لإحراز تقدم أسرع، وليس فقط الهدف الرئيسي والمتمثل في خفض النسبة العالمية من الناس الذين يعيشون على أقل من دولار واحد يوميا إلى النصف، فالنمو يمكن أن يولد دوائر حميدة من الرخاء، ويعمل النمو القوي على تحسين الحوافز التي تدفع الآباء إلى الاستثمار في تعليم أبنائهم عن طريق إرسالهم إلى المدارس، وقد يؤدي هذا إلى ظهور مجموعة قوية ومتنامية من رواد الأعمال، وهو ما من شأنه أن يولد ضغوطاً من أجل تحسين الإدارة، وبالتالي تقدم التنمية البشرية، التي بدورها تعزز النمو الاقتصادي.

2. النمو الإقتصادي يساعد الناس على الخروج من الفقر.

إن الأبحاث التي تقارن تجارب مجموعة واسعة من البلدان النامية تجد أدلة قوية على نحو ثابت على أن النمو السريع والمستدام هو الوسيلة الأكثر أهمية للحد من الفقر، وتشير التقديرات النموذجية المستمدة من هذه الدراسات الشاملة لعدة بلدان إلى أن الزيادة بنسبة 10 في المائة في متوسط دخل أي بلد ستؤدي إلى خفض معدل الفقر بنسبة تتراوح بين 20 و 30 في المئة، وقد تم تأكيد الدور المركزي للنمو في دفع السرعة التي ينخفض بها الفقر من خلال البحث في البلدان الفردية ومجموعات البلدان، على سبيل المثال توصلت دراسة رئيسية أجريت على 14 بلدا في التسعينيات إلى أن الفقر انخفض على مدار العقد في البلدان الـ 11 التي شهدت نموا كبيرا وارتفع في البلدان الثلاثة ذات النمو

المنخفض أو الراكد، في المتوسط أدت زيادة بنسبة 1% في دخل الفرد إلى خفض الفقر بنسبة 1.7%، ومن بين هذه البلدان الأربعة عشر، كان الانخفاض في الفقر مذهلاً بشكل خاص في الفيتنام، حيث انخفض الفقر بنسبة 7.8% سنويًا بين هذه البلدان الأربعة عشر بين 1993 و2002، انخفض معدل الفقر إلى النصف من 58 في المئة إلى 29 في المئة، وشمل البلدان الأخرى التي شهدت انخفاضات مثيرة للإعجاب خلال هذه الفترة وهي السلفادور وغانا والهند وتونس وأوغندا، حيث سجل كل منها انخفاضا في معدل الفقر يتراوح بين ثلاثة وستة في المئة سنويا، وكان الدافع وراء هذه الانخفاضات الشاملة في معدلات الفقر هو انتعاش النمو الذي بدأ في معظم البلدان في منتصف التسعينيات.

3. النمو الإقتصادي يغير تركيبة المجتمع.

تشير بعض الأبحاث النظرية إلى وجود علاقة سببية بين النمو وعدم المساواة (والعكس صحيح)، وبالتالي فإن الإجماع في أحدث البحوث التجريبية هو أنه لا توجد علاقة ثابتة بين عدم المساواة والتغيرات في الدخل، وتشير تجارب البلدان النامية في الثمانينيات والتسعينيات إلى أن هناك فرصة متساوية تقريبا لأن يكون النمو مصحوبا بزيادة أو تناقص في عدم المساواة، وفي العديد من البلدان النامية تكون معدلات عدم المساواة مماثلة أو أقل منها في البلدان المتقدمة، وتشير سلسلة من الدراسات التي تستخدم بيانات مشتركة بين البلدان إلى أن النمو ليس له تأثير إيجابي ولا سلبي على عدم المساواة.

4. النمو الإقتصادي يخلق فرص للعمل.

النمو الإقتصادي يولد فرص العمل، ومن ثم يزيد الطلب على العمالة وهي الأصول الرئيسية والوحيدة في كثير من الأحيان للفقراء، وفي المقابل كانت زيادة فرص العمل حاسمة في تحقيق نمو أعلى، والنمو القوي الذي شهده الاقتصاد العالمي على مدى السنوات العشر الماضية يعني أن غالبية سكان العالم في سن العمل أصبحوا الآن يعملون، وفي الوقت نفسه وفي كل منطقة من مناطق العالم وخاصة في أفريقيا، تمثل البطالة بين الشباب قضية رئيسية، وينعكس هذا في معدلات البطالة الأعلى من المتوسط، فالشباب يشكلون 25 في المائة من السكان العاملين في جميع أنحاء العالم ولكنهم يشكلون أيضا 47 في المائة من العاطلين عن العمل، ومع ذلك منذ أوائل التسعينيات ارتفعت معدلات تشغيل العمالة على مستوى العالم بما يزيد على 400 مليون شخص، وفي حين تستأثر الصين والهند بمعظم هذه الزيادة، فقد تم خلق كل فرص العمل الجديدة تقريبا في البلدان النامية، وقد زادت الأجور الحقيقية للوظائف ذات المهارات المنخفضة مع نمو الناتج المحلي الإجمالي في جميع أنحاء العالم.

5. النمو الإقتصادي يحقق التنمية البشرية.

إن العلاقة بين النمو الإقتصادي والتنمية البشرية تعمل من خلال قناتين، أولا هناك الرابط "الكلي" الذي يؤدي من خلاله النمو إلى زيادة القاعدة الضريبية للبلد، وبالتالي تمكين الحكومة من إنفاق المزيد على الخدمات العامة الرئيسية وهي الصحة والتعليم، فالنمو ضروري إذا كانت الحكومات تريد الاستمرار في تقديم الخدمات العامة والتي تعود بالنفع المباشر على الفقراء، ورغم أن المساعدات قد توفر الدعم الأولي فإن زيادة الإنفاق العام في البلدان النامية يجب أن يتم تمويلها في نهاية المطاف من خلال جمع قدر أكبر من الإيرادات الضريبية، ونظراً للمستويات المنخفضة عموماً لتحصيل الإيرادات الضريبية (التي لا تزال في كثير من الأحيان أقل من 20 في المائة من الناتج المحلي الإجمالي في البلدان الأفريقية)، فلا يمكن تحقيق ذلك على المدى الطويل إلا من خلال النمو القوي والمستدام، وتقدم بوتسوانا وكينيا أمثلة متناقضة لهذا الارتباط الكلي، وفي عام 1960 كان لدى البلدين مستويات مماثلة من نصيب الفرد في الدخل، وأنفقا ما يقرب من 9% من ناتجهما المحلي الإجمالي على الصحة والتعليم على مدى العقود الثلاثة التالية ولكن بحلول عام 1990، ولأن بوتسوانا حققت نمواً بنسبة 6.5 في المائة سنوياً في حين حققت كينيا نمواً بنسبة 1.6 في المائة فقط سنوياً، كانت بوتسوانا تنفق خمسة أضعاف ما تنفقه كينيا على هذه القطاعات، ويظهر استعراض لتسعة بلدان أن النمو الأعلى خلال التسعينيات كان مصحوبا بالفعل بزيادات أكبر في الميزانيات الحكومية، وتظهر دراسة أجرتها وزارة التنمية الدولية البريطانية أنه وفي المتوسط بالنسبة للبلدان المنخفضة الدخل، ترتبط زيادة بنسبة 10 في المئة في نصيب الفرد من الدخل بزيادة قدرها 11 في المئة في الإنفاق على التعليم، وزيادة بنسبة 11.4 في المئة في الإنفاق على الصحة، وزيادة بنسبة 12.7 في المئة في إيرادات الضرائب، والقناة الثانية بين النمو والتنمية البشرية هي الارتباطات "الصغرى"، حيث يؤدي النمو إلى زيادة دخول الفقراء وبالتالي زيادة قدرتهم على دفع تكاليف الأنشطة والسلع التي تعمل على تحسين صحتهم وتعليمهم. (Rodrik، 2007)

المطلب الرابع: نظريات ونماذج النمو الإقتصادي

هناك العديد من النظريات الإقتصادية المفسرة للنمو الإقتصادي تختلف باختلاف المكان والزمان الذي وجدت فيه.

أولا: نظرية النمو الكلاسيكية

غالبًا ما يُنظر إلى الاقتصاديين الكلاسيكيين على أنهم "متشائمون" في توقعاتهم للنمو الإقتصادي، ويقال إنهم صنفوا الاقتصاد على أنه "العلم الكئيب"، ومع ذلك لا يزال هناك الكثير مما يمكن تعلمه من خلال الفحص الدقيق لنظامهم التحليلي، وما ينبثق من مثل هذا الفحص هو بنية معقدة من الأفكار التي تعبر عن فهم عميق لطبيعة

الرأسمالية كنظام اقتصادي، ومصادر محركها التوسعي والحواجز أو الحدود التي تعترض توسعها، حيث أن أفكارهم كانت مقتصرة بشكل أساسي على ظروف الاقتصاد الزراعي في الغالب، دون تغيير كبير في أساليب الإنتاج، حيث يتم إيقاف النمو بسبب زيادة تكاليف إنتاج المنتجات الزراعية، بسبب الكمية المحدودة وتناقص خصوبتها، وقد قلل تحليلهم من أهمية الطابع البعيد المدى للتغير التكنولوجي باعتباره قوة مستمرة في تحويل ظروف الإنتاجية في كل من الزراعة والصناعة، وبينما أدركوا بوضوح الإمكانيات التي فتحتها التجارة الدولية والاستثمار الأجنبي، في المقابل فشلوا في دمج هذه العناصر كمكونات أساسية للنظرية المنهجية لعملية النمو.(Harris، 2007)

وسوف نتناول أفكار الرواد الكلاسيكيين كل على حدة:

1.آدم سميث

إن المساهمة الخاصة التي قدمها آدم سميث والتي يتم الاحتفاء بها بشكل واضح اليوم، والتي لم يتم إهمالها بكل تأكيد، وهي الطريقة التي ساعد بها في إعادة تشكيل موضوع الاقتصاد، حيث يُنظر إلى سميث على أنه "أبو الاقتصاد الحديث"، ومن المسلم به على نطاق واسع أنه ساهم أكثر من أي شخص آخر تقريبًا في ظهور النظام العلمي للإقتصاد. (Sen، 2010)

وتختلف نظرية آدم سميث عن النمو الإقتصادي إلى حد مذهل عن نظرية "كيسناي"و"الفيزيوقراطيين" في حجتهم، التي ترى أن الصناعة لا تنتج أي فائض قابل للاستثمار، وبالتالي لا تقدم أي مساهمة إيجابية في النمو، الذي يعتمد بالكامل على إعادة استثمار الفائض الزراعي، وبحلول عام 1776، عندما نشر سميث كتابه "ثروة الأمم"، كانت الثورة الصناعية تغير شمال إنجلترا، وقد أدرك آثارها على الإنتاج ومستويات المعيشة أكثر من العديد من خلفائه في النظرية، حيث تلعب كل من الصناعة والزراعة دورًا حيويًا، لكن الفائض الزراعي له تأثير مهم بشكل خاص على النمو وسيظهر أنه تولى العناصر الحاسمة في حجة "كيسناي" التي قام بتبسيطها إلى حد كبير، كما أعرب عن تقديره (منذ خمسينيات القرن الثامن عشر فصاعدًا) للأهمية المحتملة و الهائلة لنمو تقسيم العمل في الصناعة، وهذا يظهر كسبب ونتيجة للتصنيع وهو يعرض فضلاً عن ذلك احتمالاً بارتفاع مستويات المعيشة بين جماهير السكان وهو الاحتمال الذي لم يتصوره "كيناي" والعديد من خلفاء سميث قط، ووفقا ل "سميث" فإن زيادة العائدات في الصناعة، و"التعلم بالممارسة" كما يسميه منظرو النمو الآن، من المتوقع أن يؤدي إلى زيادة السلع المصنعة التي يستطيع العمال تحمل تكاليف شرائها بشكل مستمر في مجتمع اقتصادي وحكم جيد، ومضى سميث في تطوير خط من الجدل حول العلاقة الإيجابية بين تراكم رأس المال ونمو الإنتاجية، والتي بدأت النظرية الحديثة في إعادة اكتشافها مؤخرًا فقط، ومن المثير للدهشة أنه في قسم كبير من نظريات النمو في القرن العشرين، من المتوقع ألا يخلف معدل الاستثمار أي

تأثير على الإطلاق على معدل نمو الناتج ومستويات المعيشة في أي اقتصاد على المدى الطويل، وينطبق هذا على كل نظريات النمو الكلاسيكية الجديدة وعلى قدر كبير من نظرية النمو الكينزية.

بالإضافة إلى ذلك، في نظرية سميث يؤدي تراكم رأس المال إلى زيادة عدد السكان وفرص العمل، شريطة أن يتسع سوق السلع المصنعة لذلك، ويتبعه تقسيم متزايد للعمل، مما سيكون له آثار إيجابية على إنتاجية العمل إذا كانت المنافسة كافية، وإذا كانت زيادة رأس المال تؤدي بشكل عام إلى زيادة المنافسة، فإن أسعار السلع المصنعة ستنخفض مع تكاليف وحدة العمل، مما يؤدي إلى زيادة كمية ونطاق السلع المصنعة التي يستطيع العمال شراءها، ويترتب على ذلك في تفسير سميث للنمو، ارتباط تراكم رأس المال الأسرع بمعدل أسرع لنمو العمالة والإنتاج، ونمو أسرع في مستويات المعيشة.(Eltis و Eltis، 2000)

غير أن آدم سميث يرى أنه توجد حدود لهذه العملية التراكمية للنمو أي أنه توجد قيود توقف هذه العملية التراكمية للنمو ويحدث هذا عندما تكون الدولة في حالة الاستخدام الكامل للأرض المتوفرة، فضلا عن مناخ الدولة وموقعها بالنسبة للدول الأخرى، ويرى العامل الذي يوقف عملية النمو في النهاية هو ندرة الموارد الطبيعية.

1. ديفيد ريكاردو

وصف "كالدور" ذات مرة مبادئ ريكاردو بأنها تُعتبر بشكل عام أساسًا للإقتصاد الحديث، وكما كتب في عام 1982، سوف يتم تصنيفها كواحدة من أفضل خمس كلاسيكيات في هذا المجال، حيث أن لها أهمية مماثلة لكتاب آدم سميث ثروة الأمم، ورأس المال لماركس، ومبادئ ألفريد مارشال، ولا تزال أعمال ريكاردوا تثير اهتماما كبيرًا، حيث تصدر المقالات حول أعمال ريكاردو كل عام تقريبًا في المجلات الرائدة في تاريخ الفكر الإقتصادي، ويتم إستخدام اسمه عبثًا في كثير من الأحيان أكثر من أي اقتصادي آخر. (King، 2013)

يعتبر "ريكارد" أن القطاع الفلاحي أهم النشاطات الإقتصادية لأنه يعتبر هذا القطاع بمثابة الدعامة، إذ يوفر موارد العيش للسكان فالأرض هي أساس أي نمو اقتصادي، واهتم بعد ذلك بمبدأ تناقص الغلة في القطاع الفلاحي، وركز على أن الاقتصاد قادر على تعويض تناقص الغلة عن طريق إستخدام التقنيات الحديثة لكنه كان متفائلا أكثر في المجال الصناعي عنه في المجال الفلاحي لتحقيق هذا المبدأ، وقد قسم ريكاردو المجتمع إلى ثلاث طبقات هي:

- الرأسماليون
- العمال
- الإقطاعيون

فحسب ريكاردو فإن الرأسماليين يلعبون الدور الرئيسي في عملية النمو الإقتصادي إذ أنهم يتولون البحث عن أسواق واسعة وكذا زيادة أرباحهم لإعادة استثمارها في مشاريع جديدة، أما العمال فهم الأداة والوسيلة التي من خلالها تقوم عملية الإنتاج لكنهم أقل أهمية من الرأسماليين، فيما تكمن أهمية ملاك الأراضي في كونهم يوفرون أساس عملية الإنتاج وهي الأرض. (شعباني، 1997)

3. روبرت مالتوس

قبل وصف آراء مالتوس (1766-1834)، يجب على المرء أن يتذكر أنه شغل ما كان في الواقع أول كرسي للإقتصاد السياسي في إنجلترا (في هايليبيري) والذي تم تعيينه فيه بسبب رؤيته لقضايا الوفيات والخصوبة والولادة والزيادة السكانية، علاوة على ذلك أدى عمله على مبدأ السكان إلى ظهور مجال الديموغرافيا بأكمله، ومع ذلك فإن وجهة نظره حول الأجور وقانون الفقراء وأفكاره المتعلقة بالطبيعة البشرية أكثر إشكالية إلى حد ما.(Brezis و Young، 2003)

للإهتمام كان هدف "مالتوس" هو اكتشاف كيفية الحفاظ على مستويات معيشة جيدة في المجتمع الإنجليزي، ومن المثير للانتباه إلى السبب الذي جعل آدم سميث وروبرت مالتوس، على الرغم من أنهما عاشا في بريطانيا العظمى كان لهما رأي مختلف حول عواقب تراكم رأس المال وزيادة الأجور، ويكمن الاختلاف الرئيسي في وجهات نظرهم المختلفة حول مسألة النمو السكاني، حيث يعتقد "مالتوس" أيضًا أن عدد السكان سينمو مع زيادة الأجور بسبب زيادة الطلب على العمالة.

لم يأخذ "مالتوس" تأثير تجارة المصنوعات بعين الاعتبار، ومع ذلك ذكر أن الدول القائمة على التجارة، تاريخيًا حققت نجاحًا سريع الزوال، لأن الاعتماد على إمدادات الغذاء من البلدان الأخرى كان بمثابة مخاطرة كبيرة بالنسبة له، حيث كان يعتقد أن الإنتاج الزراعي حيوي لأنه القطاع الذي يوفر المواد الخام لقطاع التصنيع (مثل "كيسناي")، كما اعتقد أيضًا أنه إذا انخفض الطلب على المصنوعات من بلدان أخرى (أخذ مالتوس في الاعتبار أيضًا إمكانية وصول عملية التصنيع إلى بلدان أخرى)، فيمكن لأي بلد أن يحافظ على نموه عن طريق خفض الأسعار، ولكن إذا كان الطلب غير مرن، فإن هذا الانخفاض في الأسعار لن يؤدي إلى زيادة هذا الطلب والكمية المنتجة، ومع ذلك على عكس سميث، ذكر أن إنتاج السلع الكمالية قد يكون مفيدًا، ليس بسبب ربحيته ولكن لأن السلع الكمالية قد تكون حافزًا للسكان لتأخير الزواج والأطفال، من أجل تجميع ثروات أكبر للحصول عليها، وفي الختام فإن الاكتفاء الذاتي الزراعي والتوازن بين الزراعة وقطاع التصنيع والخدمات كانت من أهم توصيات "مالتوس"، وأوصى أيضا بالحفاظ على قوانين الذرة لتشجيع الاكتفاء الذاتي، على الرغم من أن أسلافه ركزوا على دور العرض (الإنتاج)،

إلا أن مالتوس تحول إلى دور الطلب، على الرغم من أن نظريته حول السكان كانت مبنية على جانب العرض. (Lanza، 2012)

ورغم اعترافه بالدور الإيجابي الذي تلعبه قوى السوق في بعض الأحيان، فقد رفض "مالتوس" هنا كما في أماكن أخرى مبدأ عدم التدخل، ولقد كتب في كتابه «المبادئ» أنه «من المستحيل على الحكومة أن تترك الأمور تأخذ مجراها الطبيعي». (Hodgson، 2004)

4. كارل ماركس

تقوم النظرية الماركسية في النمو الإقتصادي على فكرة التفسير المادي للتاريخ التي تتلخص في أن النظام الإقتصادي هو أساس النظم الاجتماعية التي مرت على العالم منذ بدايته، وقد تعاقبت على الإنسانية عدت نظم اقتصادية لها خصائص متميزة تختلف عن بعضها البعض وتعكس مراحل التطور الإقتصادي.

كما يرى أن التسيير الرأسمالي للإقتصاد بهدف تحقيق المنفعة العامة سوف يؤدي بكل مؤسسة للبحث عن فائدتها الخاصة والذي يؤدي إلى رفع حدة المنافسة، بحيث لا تستطيع المؤسسات الصغيرة الصمود، وينجم عن هذا زيادة الفائض المحقق من طرف الرأسمالية الاحتكارية.

ويرى أيضا أن الوضع الإقتصادي لكل مجتمع، هو الذي يحدد أوضاعه الاجتماعية والسياسية والدينية وحتى الفكرية.

وفي تقييم البعض لآراء ماركس فإنهم يؤكدون بأن تحليلات ماركس تتضمن نظرة ثاقبة وقيمة لأداء الرأسمالية، إلى أن تنبؤاته بخصوص النظام الرأسمالي العالمي لم تتحقق وذالك لسببين: الأول أن زيادة الأجور النقدية الناجمة عن اختفاء فائض العمل لا يعني بالضرورة الزيادة في الأجور الحقيقية، ويمكن أن تعوضه الزيادة في الإنتاجية، مما يترك معدل الربح دون تغير، والثاني أن "ماركس قلل من أهمية التقدم التكنلوجي.

ثانيا: النظرية الكلاسيكية المحدثة (النيو كلاسيكية)

ظهر الفكر النيو كلاسيكي في السبعينيات من القرن التاسع عشر، وبمساهمات أبرز اقتصاديها، قائمة على أساس إمكانية استمرار عملية النمو الاقتصادي دون حدوث أي ركود، كما أوردت النظرية الكلاسيكية ولعل أهم أفكار النيو كلاسيك كون النمو الإقتصادي عملية مترابطة متكاملة ومتوافقة. (مكيد و ملوح، 2020)

ولعل أهم أفكار النيو كلاسيك تتمثل فيما يلي:

– أن النمو الإقتصادي عملية مترابطة متكاملة ومتوافقة ذات تأثير إيجابي متبادل؛

– أن النمو الإقتصادي يعتمد على مقدار ما يتاح من عناصر الإنتاج في المجتمع؛

– بالنسبة لعنصر العمل نجد النظرية تربط بين التغيرات السكانية وحجم القوي العاملة؛

– فيما يخص رأس المال، اعتبر النيو كلاسيك عملية النمو محصلة للتفاعل بين التراكم الرأسمالي والزيادة السكانية.

وقد استطاع رواد المدرسة النيو كلاسيكية بناء مجموعة من النماذج الرياضية نذكر منها:

1. نموذج سولو– سوان:

يعود نموذج النمو الكلاسيكي الجديد، في نسخته الأساسية إلى Solow، والذي يُفترض أن يكون فيه المنتج متجانسًا حيث يتم إستخدام نوع واحد من السلع لكل من الاستهلاك والإنتاج ويستخدم في إنتاج السلعة Y عاملين، رأس المال K والعمالة L، ويستند إلى دالة الإنتاج التالية (Guellec، 1992):

$$(1)\ \mathbf{Y= F(K,L)}$$

غالبًا ما يشير الاقتصاديون إلى شكل "زيادة رأس المال" لوظيفة الإنتاج على أنه "محايد للغاية"، ولكن فقط لأن روبرت سولو (1959) كان أول من استخدم هذا النموذج لنمذجة التقدم التكنولوجي. (Durlauf، 2016)

حيث أن رأس المال والذي يُفترض في حد ذاته أنه متجانس، يتراكم من خلال توفير جزء من السلعة النهائية، سنفترض هنا للتبسيط أن تخفيض تصنيف رأس المال لا شيء، حيث يتم إعطاءه معدل التوفير (سنرى لاحقًا أن تكوينه الداخلي لا يغير خصائص النموذج).

$$(2)\ \mathbf{K = Y - C = s.Y}$$

نفترض أيضًا أن عدد السكان ينمو بمعدل ثابت وخارجي n (والذي يمكن أن يكون صفرًا).

$$(3)\ \mathbf{L = Lo.ent}$$

النمو الإقتصادي الذي يأتي من الزيادة في كميات العوامل، يعني هذا أن زيادة المنتج وزيادة عدد السكان هي في الأصل من خارج النموذج (خارجي)، بينما ينتج رأس المال من النموذج نفسه (داخلي)، وحسب الافتراض المركزي لنموذج Solow، بما يتماشى مع التقليد الكلاسيكي الجديد، أن عوائد مقياس دالة الإنتاج ثابتة، بمعنى آخر، F متجانسة من الدرجة 1:

$$(4)\ F(ui.K, ui.L) = ui.F(K,L)$$

يتم تبرير افتراض العوائد القياسية الثابتة بحقيقة أنه في حالة زيادة العوائد القياسية، لا يوجد نظام سعر متوافق مع توازن المنافسة الكاملة، في الواقع تكون التكلفة الحدية أقل من متوسط التكلفة، ومع ذلك فإن توازن المنافسة الكاملة يفرض سعرًا مساويًا للتكلفة الحدية، وبالتالي ستكون جميع الشركات في حالة عجز، وهذا يترجم إلى حقيقة أن مكافأة العوامل في إنتاجيتها الحدية ستفعل أكثر من استنفاذ المنتج الذي تم استبعاده (معادلة أويلر)، ويترتب على ذلك أنه في حالة زيادة العوائد القياسية، يكون الهيكل الاحتكاري للسوق فقط مستقرًا وبالتالي فإن التوازن العام التنافسي لم يعد قابلاً للتطبيق.

علاوة على ذلك، من أجل ضمان وجود وتفرد التوازن، يلزم وجود عدد من الشروط الإضافية على وظيفة الإنتاج (شروط Inada)، وأهمها أن العمل عامل أساسي، أي ضروري للإنتاج الإيجابي:

$$(5)\ F(K,0) = 0$$

تكون الوظيفة F متجانسة من الدرجة 1، يمكننا أن نكتب:

$$(6)\ y = f(k)$$

حيث y وA: على التوالي المنتج ورأس المال للفرد، لذلك يعتمد y على k، من المعادلات (1) و (2) و (3)، نشتق فورًا المعادلة الديناميكية الأساسية.

$$(7)\ k = s.f(k) - n.k$$

تشير هذه المعادلة إلى أن رأس المال الجديد، الذي يساوي المدخرات s.f (k)، يتم توزيعه بين هبة العمال الجدد (n.k) و a.

في أبسط نسخة زمنية ثابتة من نموذج سولو، يمكن إثبات أن نصيب الفرد من مخزون رأس المال يتقارب إلى قيمة فريدة مستقلة عن الظروف الأولية، ومن ثم فإنه من الضروري افتراض وجود مصدر خارجي لنمو الإنتاجية من أجل حساب النمو على المدى الطويل، في سولو (1956) يفترض أن إنتاجية العمل تنمو بشكل مستمر وخارجي واستجابة لذلك يتم زيادة مخزون رأس المال (المفترض أنه متجانس مع مرور الوقت) باستمرار، مما يسمح بالتوسع المستمر في مستوي الإنتاج والاستهلاك، وقد ركزت الأدبيات المتعلقة بالنمو الداخلي على استبدال نمو الإنتاجية الخارجية المفترضة بعملية داخلية، إذا كان يُعتقد أن هذا التغيير في إنتاجية العمل ينشأ من اختراع تقنيات تم تطويرها

بوعي، فيمكن بعد ذلك اعتبار الأدبيات المتعلقة بالنمو الداخلي بمثابة نماذج واضحة للقرارات الرامية إلى خلق هذا التحسن التكنولوجي.(Aghion و Durlauf، 2005)

وفي ضوء إمكانية تحقيق نسب متغيرة من عناصر الإنتاج وأسعار مرنة لتلك العناصر استطاع "سولو" أن يوضح أن نمو العمل بنسبة نمو عرض رأس المال يجعل سعر العمل ينخفض نسبة إلى سعر الفائدة الذي يعد سعر رأس المال هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فإن رأس المال إذا نمي بنسب أعلى من نمو عرض العمل فإن سعر العمل سوف يرتفع. (بن قانة، 2013)

حيث أن المعادلة (7) هي المعادلة التفاضلية الأساسية لنموذج سولو وسوان، هذه المعادلة الغير الخطية تعتمد فقط على k، ويمكن اعتبار المصطلح (n + S)، معدل الاستهلاك نسبة لرأس المال والعمالة إذا كان معدل الإدخال (s) يساوي 0، رأس المال لكل شخص سوف ينخفض جزئيا، ويرجع ذلك إلى الزيادة في عدد الأشخاص بالمعدلn.(XAVIERSALAI.MARTIN،BARRO، 1992)

2. نموذج جيمس ميد:

لقد أخذ "جيمس ميد" بالأسلوب الكلاسيكى الحديث واستخدم دالة الإنتاج التي تسمح بوجود وفورات الحجم بين عناصر الإنتاج المختلفة، حيث استخدم نفس الفرضيات في نموذج " سولو سوان "كما اقترض أن هناك منتج واحد يمكن استخدامه للاستهلاك والاستثمار.

وانطلق من دالة الإنتاج التالية:

$$\mathbf{y = f\,(k.l.N.T)}$$

y: الناتج الصافي من الدخل الوطني.

k: المخزون الصافي لرأس المال والمتجسد في الآلات.

L : القدر المتاح من قوة العمل.

N: القدر المتاح من الاستخدام الفعلي للأرض والموارد الطبيعية.

T: عامل الزمن المؤثر في التقدم التكنولوجي.

ومنه فالنمو حسب هذا النموذج يعبر عنه بصيغة المعادلات كالتالي:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{vk}{y} \cdot \frac{\Delta k}{k} + \frac{wl}{y} \cdot \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta y}{y}$$

$\Delta y / y$: معدل النمو السنوي للناتج.

y / vk : الناتج الحدي لرأس المال.

$k / k\Delta$: معدل النمو السنوي لمخزون رأس المال.

L / WL : الناتج الحدي لعنصر العمل والتي تمثل الدخل القومي.

$L\Delta/L$: معدل النمو السنوي لقوة العمل.

$\Delta y / y'$: معدل النمو السنوي في التقدم التكنولوجي.

وتعتبر هذه المعادلة الأساسية لنموذج "ميد" والتي توضح أن معدل النمو الإقتصادي الممثل بمعدل نمو الإنتاج وهو محصلة لثلاث معادلات مرجحة للنمو، وهي معادلة نمو مخزون رأس المال مرجح بالناتج الحدي لرأس المال، ومعدل نمو السكان المرجح بالناتج الحدي لقوة العمل ومعدل النمو التكنولوجي.

ولقد افترض أن هناك منتجا واحدا يمكن إنتاجه، أما لتكوين رأس المال أو الاستهلاك فإن هناك ثلاث عوامل للإنتاج وهي رأس المال والعمل والأرض مع الزمن بالإضافة إلى فرضيات أخري. (بن قانة، 2013)

ثالثا: النظرية الكنزية

لقد رفض كينز الشعار الكلاسيكي، الذي غالبا ما يعبر عنه بقانون "ساي"، والذي يقول إن كل الأسواق سوف تتوازن بحيث يعمل الاقتصاد دائما بكامل طاقته، وكانت وجهة النظر الكلاسيكية هذه تتلخص في أن القدرة الإنتاجية من شأنها أن تخلق طلباً متساوياً، ولقد أثبت كينز أن السلسلة المعاكسة من السببية هي أن الطلب يتحكم في الإنتاج، وسيكون الإنتاج الفعلي أيهما أقل الطلب أو القدرة الكاملة، حيث أكد كينز أن مستوي الطلب يمكن أن يحدث عند أي مستوي من الاستخدام وليس بالضرورة عند مستوي الاستخدام التام. (ساطور، 2013)

ولقد أثبتت أزمة الكساد الأعظم في ثلاثينيات القرن العشرين أن كينز كان على حق، ولقد قدم كينز الحل النظري للتعافي، ولكن "فرانكلين ديلانو روزفلت" أثبت عملياً أولوية الإنفاق، وكانت إجابة "روزفلت" تتلخص ببساطة في زيادة الإنفاق سواء من خلال الإنفاق الحكومي المباشر أو دعم الدخل الحكومي لتعزيز الإنفاق الخاص، (والواقع أن الإنفاق الدفاعي لم يدفع الناتج المحلي الإجمالي إلى كامل طاقته إلا بعد الحرب العالمية الثانية)، وكانت توصية كينز

فيما يتصل بالتعافي الإقتصادي نصف صحيحة، حيث ركز كينز على الاستثمار ودعا إلى المزيد من الاستثمار الخاص والحكومي، ومع ذلك فإن منطق كينز يعني ضمنيا أن أي تعزيز للإنفاق كان من شأنه أن يساعد في التعافي، وقد يكون هذا عبارة عن الاستهلاك الشخصي، أو الاستثمار الخاص أو المشتريات الحكومية، أو الصادرات، هذه كلها جزء من حالة التوازن للنظرية الكينزية:

$$Y= C+I+G+X-M$$

أظهرت رؤى "كينز" وسياسات" فرانكلين روزفلت" على مستوي الاقتصاد الكلي أن الطلب، (الإنفاق) يؤدي ويتبع العرض (الإنتاج)، فهي تنطبق بالتساوي على مستوى الصناعة التي نعمل فيها.(Fraumeni، 2019)

حيث أحدثت النظرية الكنزية ثورة على التحليل الكلاسيكي من حيث أدوات التحليل المستخدمة وترتكز النظرية على التحليل الكلي، بدلا من التحليل الجزئي، وقد ساهم التحليل الكلي في رسم السياسات الإقتصادية الكلية وساعدة الحكومات في اتخاذ كثير من قراراتها الإقتصادية.

وبالرغم من أن كينز لم يصل إلى حد وضع نموذج في مجال النمو الإقتصادي على غرار النماذج المعروفة بل جاءت تحليلاته ممثلة في سياسات وأدوات اقتصادية، إلا أن هذه الأفكار اعتبرت ثورة فكرية رائدة في الفكر الاقتصادي، حيث أن هذه الأفكار الخاصة بالتحليل الكنزي صاحبها إيجاد نماذج كمية خاصة بالنمو الإقتصادي ومن أهمها نذكر:

– أن التوازن على المستوي الإقتصادي القومي لا يشترط أن يتحقق عند مستوي التوظيف الكامل وأن التوظيف الكامل ماهي إلى إحدى الحالات التي من الممكن أن يصل إليها الاقتصاد القومي؛

– رفض كينز قانون "ساي" للأسواق وهو أن كل عرض يخلق الطلب، بل الطلب يخلق عرضه وليس العكس؛

– وجود علاقة طردية مستقرة بين مستوي الاستهلاك الحقيقي الجاري والدخل الحقيقي الجاري؛

– تقرر النظرية الكنزية أن قرار الاستثمار يتحدد بناءا على المقارنة بين الكفاءة الحدية للاستثمار وسعر الفائدة؛ (ناصف ، 2005)

– في التحليل الكينزي مطلوب معرفة سعر الفائدة ومستوى الناتج الكلى الذين يجعلان سوقين على الأقل في حالة توازن، لأن السوق الثالث سيكون تلقائيا في حالة توازن إذا توازن السوقان؛ (مقلد و الفيل ، 2013)

– يشير كينز الى أن عملية النمو الإقتصادي تكون عبرة آلية المضاعف والذي يفسر انتقال أثر تغيرات الطلب على جانب العرض.

وقد انبثق عن نظرية كينز ما يسمي بنموذج **"هاورد–دومار"**.

في نموذج هارود دومار، يكون النمو مستدامًا إذا كانت ثلاث معدلات نمو متساوية: معدل النمو الفعلي، ومعدل النمو المضمون، ومعدل النمو الطبيعي، أطلق "هارود" على مثل هذا الوضع اسم "العصر الذهبي"، حيث يضمن توازن الاقتصاد الكلي المحقق للاستخدام الكامل لرأس المال والعمالة. (Piętak، 2014)

الافتراضات الرئيسية لنموذج **"هارود–دومار"** هي:

- مستوي سعر ثابت؛
- لا يوجد أي تأخير؛
- تشير المدخرات والاستثمار إلى دخل الفترة نفسها؛
- كل من المدخرات والاستثمار صافي، بالإضافة إلى الاستهلاك؛
- لا يتم قياس الاستهلاك من حيث التكاليف التاريخية، ولكن من حيث تكلفة استبدال الأصل المستهلك بآخر له نفس الإنتاجية؛
- إن القدرة الإنتاجية للأصل أو للإقتصاد بأكمله هي مفهوم قابل للقياس، يمكن تمثيل الجزء الأساسي من النموذج في 5 معادلات:

تنص المعادلة الأولى على أنه يجب أن يكون هناك توازن في الدخل، مما يعني أن صافي الاستثمار المسبق i يساوي المدخرات s:

$$\boldsymbol{i = S}$$

يعتبر صافي الاستثمار بمثابة توسيع لرأس المال Δk:

$$\boldsymbol{i = \Delta k}$$

وبما أنه من الممكن أن يتجاوز انخفاض قيمة رأس المال إجمالي الاستثمار، فإن صافي الاستثمار يمكن أن يكون سلبيا.

إجمالي المدخرات يساوي الميل الحدي للادخار σ مضروبًا في صافي الدخل القومي y:

$$s = \sigma y$$

إجمالي رأس المال k يساوي نسبة إنتاج رأس المال المحددة K' مضروبة في الطاقة الإنتاجية y:

$$k = k'\hat{y}$$

وبصرف النظر عن توازن الدخل، فمن المطلوب أيضا أن يتم استغلال الطاقة الإنتاجية بالكامل:

$$y = \hat{y}$$

من هذه المعادلات الخمس، يمكن استخلاص معدل نمو رأس المال k:

$$\bar{k} = \frac{\Delta k}{k} = \frac{i}{k} = \frac{\sigma y}{ky} = \frac{\sigma}{k}$$

ومن هذه المعادلات يمكن استنتاج:

$$k = \bar{y} = \bar{\hat{y}} = \frac{\sigma}{k}$$

يتكون إجمالي الدخل من الاستهلاك c وصافي الاستثمار i:

$$y = c + i$$

إذا تم تحويل القيم المطلقة للمتغيرات في هذه المعادلة إلى قيم نسبية:

$$\bar{y} = (1 - \sigma)\bar{c} + \sigma\bar{i}$$

لأن c = y يترتب على ذلك أن y = i، يمكن أن نستنتج أخيرًا أنه في نموذج النمو "هارود – دومار" في مسار النمو المطرد، حيث تزيد جميع المتغيرات بنفس معدل النمو:

$$\bar{k} = \bar{y} = \bar{\hat{y}} = \bar{c} = \bar{i} = \frac{\sigma}{k}$$

لذلك من الممكن أن تكون هناك حالة من النمو المطرد ضمن نموذج "هارود–دومار"، ويسمى معدل النمو $\frac{\sigma}{k}$ بمعدل النمو المضمون، وقد تم التوصل إلى هذه النتيجة في ظل افتراض الميل الحدي الثابت للادخار، ونسبة إنتاج رأس المال الثابتة.(Heijman، 2012)

رابعا: نظرية النمو الجديدة (الداخلية)

إن القصور في تفسير التباعد والاختلافات الكبيرة في الأداء الإقتصادي فيما بين البلدان جعل نماذج النمو الكلاسيكية تلقي معارضة كبيرة في الثمانينات وبداية التسعينات، كونها ترجع النمو الإقتصادي إلى عوامل خارجية مستقلة عن التقدم التكنولوجي، هذا القصور هيئة إطار نظري لبروز نظرية النمو الداخلية.

وقد تم بناء العديد من النماذج الكمية للنمو الإقتصادي بالاعتماد على أفكار ومبادئ نظرية النمو الداخلي نذكر منها:

1. نموذج بول رومر (1990)

في هذا النموذج حاول "بول رومر" أن يقدم نموذجا بديلا للنموذج النيو كلاسيكي للنمو طويل الأجل القائم على افتراض تناقص عائد رأس المال لكل فرد والمستخدم في تحقيق الإنتاج المتوسط، وما يتبع هذا الفرض من نتائج أنه في غياب التغير التكنلوجي فإن الناتج المتوسط من المفترض أن يقترب من قيمة ثابتة مع انعدام النمو. (بن قانة، 2013)

والمدخلات الأساسية الأربعة في هذا النموذج هي رأس المال، والعمل، ورأس المال البشري، ومؤشر لمستوى التكنولوجيا، يتم قياس رأس المال بوحدات السلع الاستهلاكية وخدمات العمل L والتي هي عبارة عن مهارات مثل التنسيق بين العين واليد المتوفرة في الجسم المادي السليم ويتم قياسها بعدد الأشخاص، وكما هو مستخدم هنا، فإن رأس المال البشري H هو مقياس متميز للتأثير التراكمي لأنشطة مثل التعليم الرسمي والتدريب أثناء العمل.

أما مفهوم رأس المال البشري فهو سنوات التعليم أو التدريب التي يمر بها الشخص، وهي محددة وقريبة من تلك المستخدمة في سياقات سوق العمل. (Romer, 1990)

ويتمثل التقدم التكنولوجي في إنتاج أنواع جديدة من السلع الرأسمالية وليس جعل بعض السلع الرأسمالية أكثر إنتاجا وإنما في إنتاج أنواع إضافية من السلع الرأسمالية.

وبالتالي افترض " رومر " أن إجمالي كمية رأس المال البشري المتاح للإقتصاد ثابتة (H)، رغم ذلك يوجد أمام المجتمع دائما إمكانية توزيع هذا المخزون المحدد بين إنتاج الناتج (H_g) وإنتاج الأنواع الجديدة من رأس المال (H_A).

$$\mathbf{H=H_{Y+}H_A}$$

حيث: H_A و H_Y ثابتان.

كما اقترض أن التقنية في إنتاج الناتج النهائي نوعا ما قريبة من نموذج "كوب – دوغلاس" المعدل.

$$\mathbf{Y=H^{a}l^{b}\left(\sum_{i=1}^{n}x_{j-A-B}\right)}$$

حيث L هي الكمية الثابتة من العمل الخام المتاح.

واعتبر "رومر" أن الاقتصاد يتكون من M مؤسسة متماثلة (يرمز لها i) لها نفس دالة الإنتاج الجزئية، التي هي دالة نيو كلاسيكية تدخل التكنولوجيا الخاصة وهي من شكل دالة "Cobb-douglas".

$$\mathbf{Y(t) = k_{i}(t)^{1-b}\left(A(t)N_{i(t)}\right)^{b}}$$

وستولد الأسواق التنافسية بوضوح النمط الكافي للإنتاج N من السلع الرأسمالية:

$$\mathbf{X_1= x_2= \ldots\ldots\ldots\ldots x_n= x}$$

وتتمثل الطريقة الكافية في توزيع الوحدات R من موارد الإنتاج والسلع الرأسمالية يمكنها أن تنتج ناتجا نهائيا وفق التكنولوجيا المحددة، وبحساب قيمة الناتج الكلي النهائي في هذه الحالة، حيث أن الناتج $(H^{a}l^{b})$ ثابت ونرمز له ب B، وعليه يكون y مساوي ل:

$$\mathbf{Y=BNX^{1+a+b} = BN\left(\frac{R}{N}\right)^{1-a}}$$

$$\mathbf{=BR_{n}^{1-a-b}-(1-a-b)_{N}^{a+b}}$$

وتتمثل الخلاصة المبهرة في أنه حتى مع ثبات R وH وL يصبح الناتج النهائي مع هذه التكنولوجيا، لانهائي الحجم مع اتجاه أنواع السلع الرأسمالية نحو اللانهاية ونقول أن:

$$\mathbf{\acute{y}= (a + b).\tilde{N}}$$

حيثN، H، R هي كلها ثابتة، وأنه لا يوجد تقدم تكنولوجي خارجي يحقق أي معدل نمو موجب نموا داخليا، وتتحقق الوظيفة بأي شيء وهو ما يبقىN موجبة، أي هيكل اقتصادي أو أي هيكل للسوق يضمن استمرار نمو عدد من أنواع السلع الرأسمالية.

2. نموذج لوكاس

يشبه الهيكل العام لنموذج لوكاس، هيكل النموذج النيو كلاسيكي المعياري في صيغته التعظيمية، تماما كما في نموذج "النمو الخارجي":

$$\mathbf{dt(t)}\left(\frac{\boldsymbol{c(t)^{1-0}al(t)^{1-0}}}{\mathbf{1-0}}\right)\mathbf{N}\int_{\mathbf{0}}^{\boldsymbol{\infty}}\mathbf{e^{pt}}$$

ويحدث الفرق من نموذج لوكاس في دالة المنفعة كما في حالة النموذج النيو كلاسيكي، شكلا ثابتا لمرونة الإحلال، ويضع لوكاس (0-1) حتى لا يختفي الشق الثاني، ولا يوجد فراغ في نموذج لوكاس، فكل فرد من السكان أو من القوي العاملة لديه وحدة زمن واحدة ويستخدم كل هذا في نشاط أو نشاطين، أما في العمل الذي يسمي "u" في ورقة لوكاس أو في الدراسة، فلا يوجد أي استعمال آخر للوقت، فأي وقت لا ينفق على العمل ينفق على تراكم رأس المال البشري.

ويري "لوكاس" أن لتراكم رأس المال البشري أثرا خارجيا كذلك، فإذا قام آخرون بتركيم رأس المال البشري، فإنني أكون أكثر إنتاجا عند كمية ركمتها من رأس المال البشري. (عبود، 2004)

المبحث الثاني: مفاهيم عامة حول الخوارزميات الجينية

من أجل تطبيق الخوارزميات الجينية في دراستنا بشكل جيد ودون أخطاء، كان علينا أولا التعرف على جميع مكوناتها والاطلاع على طريقة عملها، وكل هذا سوف نقوم به في المطالب الآتية:

المطلب الأول: مفهوم الخوارزميات الجينية وتطورها التاريخي

لتوضيح مفهوم الخوارزميات الجينية جيدا يجب أولا شرح وتبسيط معانيها والمصطلحات المرتبط بها، ثم تتبع تطور فكرة الخوارزميات الجينية عبر التاريخ.

أولا: تعريف الخوارزميات الجينية

تعتمد الخوارزميات الجينية على مفاهيم مستمدة من كل من علم الوراثة ونظرية التطور. (Nematollahi، 2018)، حيث بدأ إستخدام الحلول التطورية أو الخوارزميات الجينية من أوائل الستينيات، نبعت الإشارات الأولى إلى هذا المجال الحسابي عندما نشر "لورانس جيه فوغل" مقالا مميزا بعنوان "حول تنظيم الفكر" والذي أطلق أولى المساعي في الحوسبة التطورية. (محمد صالح، كيالي، و حاج درو، 2021)

الخوارزميات الجينية هي عائلة من النماذج الحسابية المستوحاة من التطور الطبيعي، يبدأ تنفيذ الخوارزمية الجينية بمجموعة من الكروموسومات العشوائية. (Ephzibah، 2011)، من خلال منهجيات نموذجية للتعلم الآلي، وتكون قادرة على التغلب على مهام التحسين غير الخطية المعقدة مثل المشكلات غير المحدبة، والوظائف الموضوعية غير المستمرة وما إلى ذلك، وهي تستند إلى مجموعة عشوائية أولية من الحلول وإجراء تكراري، مما يحسن خصائص السكان وينتج حلولًا أقرب إلى المستوى العالمي الأمثل، ويتم تحقيق ذلك من خلال تطبيق عدد من العوامل الوراثية على السكان، من أجل إنتاج الجيل التالي من الحلول. (Sarimveis. و Bafas، 2003)

عبر إختيار أفضل البيانات والأساليب المستخدمة في حل المشكلة الحالية وإنتاج حلول أعلى جودة، ثم تقوم ذاتياً بتكرار وتطوير هذه العملية وصولا للحل المثالي للمشكلة. (الشريف. م، 2022)

توفر الخوارزميات الجينية حلا طبيعيا في هذه المساحة الكبيرة جدا من تكوين النظام، والخوارزميات الجينية هي فئة من تقنيات البحث الاحتمالية التي تم تطويرها في العقود الماضية كأداة تحسين للأغراض العامة باستخدام آلة بحث متوازنة على نطاق واسع تتضمن ما يلي:

- تهيئة مجموعة عشوائية من الأنظمة أو الحلول المرشحة؛
- ترتيب الأنظمة بناءا على مقياس النجاح في تقريب الحل المطلوب (الملائمة)؛
- مرحلة التكاثر، حيث يكون لأفضل الأمثلة من الجيل الأخير الفرصة لإنتاج نسل من خلال تشغيل خاصية التقاطع والطفرة؛
- تعمل GAs على عدة حلول في وقت واحد، حيث تجمع المعلومات من نقاط البحث الحالية لتوجيه الأبحاث اللاحقة. (Şen، 2001)

وهذا ما يجعلها تتناسب مع المشكلات الصعبة بشكل خاص عندما يتم إعطاء القليل من المعرفة أو عدم توفرها على الإطلاق للوظيفة المثلي ومساحة البحث كبيرة جدا، لذلك تعد الخوارزميات الجينية الأداة المثلي لحل المشكلة. (Versace، Bhatt، Hinds، و Shiffer، 2004)

والخوارزمية الجينية هي واحدة من أكثر فئات الخوارزمية التطورية شهرة، والتي طورها في البداية "جون هولاند" في جامعة ميتشجان (1970) وقام بها "دي جونغ وجولدبرغ"، وقد تم تصميم الخوارزمية الجينية لفهم العمليات في الأنظمة الطبيعية، وقد تم تطويرها لتصميم أنظمة اصطناعية تحافظ على متانة الأنظمة الطبيعية وخصائص تكيفها، وعلى الرغم من كونها عشوائية إلا أن GA ليست عشوائية بأي حال من الأحوال، ولكنها بدلاً من ذلك تستغل

المعلومات التاريخية لتوجيه البحث إلى المنطقة ذات الأداء الأفضل داخل مساحة البحث.(Gupta و Ghafir، 2012)، ومن المهم التأكيد على أن GA تعمل مع سلاسل تمثل معلمات التصميم، بدلاً من المعلمات نفسها، بمجرد إنشاء سلسلة أو حل بواسطة المشغلين الجينيين، فمن الضروري تقييم الحل، خاصة في سياق الهدف الأساسي ووظائف القيد، في حالة عدم وجود قيود، يتم تعيين قيمة لملاءمة السلسلة والتي تكون دالة لقيمة الوظيفة الموضوعية للحل. (Deb K.، 1999)

الخوارزميات الجينية بمثابة محاولة لإعادة مراحل التطور الطبيعي، التي أوجدها الله سبحانه وتعالي في خلقه، ومحاكات لعملية انتقال الصفات الوراثية من جيل إلى جيل، عبر التطبيق العملي لها على النماذج المختلفة، وكل نموذج في الخوارزميات الجينية يعرف على أساس أنه فرد في المجتمع يتميز بمجموعة من الصفات والخصائص، والهدف الذي تقوم عليه هذه المنهجية بسيط، وهو الحفاظ على الصفات المثلي المجودة في هؤلاء الأفراد قدر الإمكان خلال عملية تبادل المعلومات بين هؤلاء الأفراد والتي تعرف بيولوجيا بعملية التزاوج.

بعض مفردات الخوارزميات الجينية:

هناك بعض المصطلحات المعقدة والغير مفهومة لمكونات الخوارزميات الجينية، علينا شرحها وتبسيطها.

الجدول (1): شرح مصطلحات الخوارزمية الجينية:

الخوارزميات الجينية	التفسير
السكان	مجموعة الحلول
كروموسوم (خيط، فردي)	الترميز(التشفير)
الجينات (بت)	جزء من الحل
مكان	موقف الجين
الآليلات	قيم الجين
النمط الظاهري	الحل
الطراز العرقي	حل مشفر
الطفر	إضافة خصائص جديدة للحل
التقاطع	تبادل المعلومات

المصدر: (Mathew, T. V. 2012)

ثانيا: لمحة تاريخية حول الخوارزميات الجينية

في عام 1953 دعا عالم الرياضيات الإيطالي "النرويجينيل سباريشيلي" في برينستون لدراسة الحياة الاصطناعية، حيث استخدم باريشيلي أجهزة الكمبيوتر الرقمية الجديدة لكتابة عمليات المحاكاة للعمليات التطورية، لم يكن مهتمًا بالتطور البيولوجي، ولم يكن مهتمًا بحل مشكلات التحسين، بل أراد إنشاء حياة اصطناعية داخل الكمبيوتر باستخدام العمليات الموجودة في الطبيعة (مثل التكاثر والطفرة)، وفي عام 1953 كتب سلسلة من التجارب العددية يتم إجراؤها بهدف التحقق من إمكانية حدوث تطور مشابه لتطور الكائنات الحية، يحدث في كون مصطنع، أصبح "باريشيلي" أول شخص يكتب برمجيات الخوارزمية الجينية، نُشر أول عمل له حول هذا الموضوع باللغة الإيطالية في عام 1954 بعنوان "Esempinumerici di processi di evoluzione" (النماذج العددية للعمليات التطورية)، تبعه بعد فترى "ألكسندر إيرازر"، المولود في لندن عام 1923 واستخدم برامج الكمبيوتر لمحاكاة التطور، وفي عام 1957 كتب "فريزر" ورقة بعنوان "محاكاة الأنظمة الجينية بواسطة أجهزة الكمبيوتر الرقمية الآلية"، ليصبح أول من استخدم محاكاة الكمبيوتر لغرض صريح وهو دراسة التطور البيولوجي، نشر العديد من الأوراق حول عمله، معظمها في مجلات علم الأحياء وفي أواخر الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي، اتبع العديد من علماء الأحياء خطواته وبدأوا في إستخدام أجهزة الكمبيوتر لمحاكاة التطور البيولوجي. (Simon D. , 2013)

لم ينتبه الباحثون في تلك الفترة إلى مقدار العلاقة بين ما يجري طبيعيا وتنفيذ خوارزمية "فريزر"، إلى أن جاء هولاند (Holland) ووضع أسس تطبيق بعض الظواهر الطبيعية لحل بعض المسائل في عام 1962، إذ أعلن أن أي نظام قادر علي التكيف يستطيع أن ينتج ما يؤهله للاستمرار في بنيته الجديدة إذا بقيت دون تدخل خارجي، وحاول تطبيق هذه العشوائية في برامجه الحاسوبية بمحاكاة ما يسمي نظرية "النشوء والارتقاء" لداروين.

وقام هولاند بين عامي 1962و1965 بتدريس مساقات عن الأنظمة المتكيفة في جامعة ميتشغان، واستطاع مع بعض طلبته أن يكتبوا خوارزميات لمحاكاة بعض الظواهر الطبيعية واستعملوا في هذه الخوارزميات مفاهيم التكاثر (Reproduction) والتزاوج (Crossover) والطفرة (Mutation)، وقد نشر "هولاند" أفكاره هذه في سلسلة من الأبحاث بين عامي 1966و1975، دون أن يستعمل مصطلح "الخوارزميات الجينية".

وكان أول من استعمل اصطلاح الخوارزميات الجينية "باغلي" عام 1967، في رسالة الدكتوراه التي استعمل فيها الخوارزميات الجينية من أجل إيجاد استراتيجية مثلي لقياس بعض الألعاب الشبيهة بالشطرنج.

أما "روزنبيرغ Rosenberg" فقد بحث في رسالة الدكتوراه عام 1967 أهمية محاكاة الأنظمة البيولوجية واستعمالها لحل بعض المسائل، وقد استعمل الخوارزميات الجينية لدراسة بعض التفاعلات الكيماوية في الكائنات وحيدة الخلية،

وكان أول من استعمل مفهوم الطول المحدد للخيط (DefiningLength)، ومن التطبيقات الرياضية الهامة التي أوردهاّ إيجاد جذور المعادلات غير الخطية.

وفي عام 1970إستعمل"كافيتشوا Cavicchio" الخوارزميات الجينية لتمييز الأنماط حيث قام بتقسيم الصور إل 25 عمودا و25 صفا مكونا من 6225 نقطة، تأخذ كل نقطة من النقاط إحدى القيمتين إما صفرا يمثل عدم وجود اللون الأسود في النقطة أو واحدا يمثل تلون النقطة بالون الأسود، كان يستخدم هذه النقاط لتمثيل الصور، وقد عرف عدة أنواع من الطفرة أثناء عمله، وقد استعمل " دي جونغ De Jong" عام 1975 المبدأ نفسه في حل مسألة الأمثلية.

ونشر هوليستاين في عام 1971 بحثا استعمل فيه الخوارزميات الجينية لحل مسألة الأمثلية، وقد كان أول من حاول أن يضع إستراتيجيات مختلفة للاختيار (Sélection) والتزاوج.

كما ناقش "أ. برنديلA.Brindle" في عام 1981 في رسالة الدكتوراه إستراتيجيات الاختيار المختلفة، إذا قارنت بين إستراتيجيات إختيار مختلفة يمكن تقسيمها إلى نوعين:

- استراتيجية المعاينة المحددة سلفا (Determinstic Sampling)؛
- الإستراتيجيات العشوائية ولكن بدرجات متفاوتة (Stochastic Sampling Without Replacement).

وقد استنتج أن الإستراتيجيات العشوائية أفضل لحل مسائل الأمثلية، وقد وصل "بوكر" لنفس الاستنتاج عندما استعمل هذه الإستراتيجيات في برامج لتعلم الآلة.

كما بحث" دفيدجولبيرغ David Goldberg" في رسالة دكتوراه عام 1983 موضوع أنظمة شبكات الأنابيب، واستعمل الخوارزميات الجينية في إيجاد نظام آلي أمثل للتحكم في هذه الشبكات.

وتنوعت الأبحاث بعد ذلك في مجالات شتي مثل: الأمثلية (Optimization) وبحوث العمليات (OperationResearch)، والذكاء الاصطناعي (ArtificialItellegence) وغيرها. (عطيوي، 1997)

المطلب الثاني: عناصر الخوارزميات الجينية وخصائصها

أي باحث مهتم بتطبيق الخوارزميات الجينية عليه أن يتعرف على عناصرها والتي هي بمثابة اللبنات الأساسية التي تقوم عليها هذه المنهجية، وبالإضافة إلى معرفة الخصائص التي تتميز بها.

أولا: عناصر الخوارزميات الجينية: (موفق، 2018)

عناصر الخوارزميات الجينية هي عبارة عن التقنيات المستخدمة في التحليل والتعامل مع المسائل وتشفير المعادلات من أجل إستخدامها فيما يتناسب معها لإيجاد الحلول.

تتضمن الخوارزميات الجينية عدة عناصر نذكر منها:

1. الأفراد: الفرد هو أحد الحلول الممكنة لحل المسألة، حيث يمثل بأحد الأشكال التالية:

1.1. الكروموسوم: وهو المعلومات "الوراثية" الخام (النمط الجيني) التي يتعامل معها GA. وهي بمثابة نقاط في مساحة الحل، تتم معالجتها باستخدام عوامل وراثية عن طريق استبدال سكانها بشكل متكرر. (Katoch، 2021)، يتم إختيار الكروموسومات بشكل عشوائي ويتم تقييم كل كروموسوم في المجتمع من حيث صلاحيته، ثم يتم تكوين مجموعة جديدة من الكروموسومات. (Venkateswarlu، 2020)، مع العلم أن طول الكروموسوم ثابت مما يسمح فقط لطول مجموعة عناصر محددة بالتطور في كل تشغيل. (Matthews، 2011)

2.1. النمط الظاهري: يتم ترميز الكروموسومات في مجتمع ما بأعداد حقيقية. (Herawati، 2020)، وهو القيمة الحقيقية التي يعبر عنها الكروموسوم، يمكن إنتاج المجموعة الأولية من الكروموسومات بشكل عشوائي أو إنشاؤها يدويًا. (Ramzan، 2012)، بحيث يقسم إلي مورثات كل مورثة تمثل أحد المتغيرات في الحل، بحيث الكروموسوم يجب أن يتضمن المعلومات اللازمة عن الحل الذي يمثله، بحث كل كروموسوم يمثل حلا واحدا فقط وهذا لا يعني أن الحل مرمز بكروموسوم واحد فيمكن أحيانا أن يمثل بأكثر من كروموسوم، الحلول يجب أن تمثل بكروموسوم واحد على الأقل حتى يغطي كامل نطاق البحث، وبالتالي تأخذ كروموسومات GA هذه شكل معادلات رياضية تربط الحل بمجموعة من بيانات الإدخال، قبل أن يمر الأفراد من السكان بعملية التطور. (Cuddy، 2002)

الشكل (1): تمثيل النمط الظاهري والوراثي

المصدر: موفق عمر، أطروحة دكتوراه بعنوان تطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بتطاير الأسواق المالية، جامعة تلمسان، 2018، ص36.

2.الجينات:

المورثات أو الجينات هي التعليمات الأساسية في بناء الخوارزميات الجينية وهي تشرح حلا ممكنا للمسألة من أن تكون الحل، والمورثات هي التي تمثل قيم العوامل والمتغيرات المتحكمة في حل المسألة، هذه المتغيرات أو العوامل تأخذ قيما متغيرة محصورة في مجال معين، بحيث أن تركيب المورثة مقيد بمقاسات ومعالم النمط الظاهري التي تنسق بين المعلومات الوراثية والقيم الحقيقية، ويتم ذلك من خلال الترميز الذي يسمح بتحويل الحلول إلى شكل يمكن أن تعمل به الخوارزميات الجينية، ثم تحويلها في النهاية إلى شكل يقبل التقييم.

الشكل (2): تمثيل الجينات

0101	1111	1110	1010
الجين1	الجين2	الجين3	الجين 4

المصدر: Sivanandam, S. N., Deepa, S. N., Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2008). Geneticalgorithms (pp. 15-37). Springer Berlin Heidelberg.

في عدد الفواصل الزمنية التي يمكن التعبير عنها بواسطة سلسلة بتات الجين، يمكن أن تمثل سلسلة البتات ذات الطول 'n' فترات زمنية (n-12)، وسيكون حجم الفاصل الزمني هو (المدى)/(n-12)، يتم تعريف بنية كل جين في سجل معلمات النمط الظاهري.

3.الملائمة:

تولد دالة الملائمة أو التكلفة نتائج من خلال مجموعة من متغيرات الإدخال (كروموسوم)، قد تكون دالة الملائمة دالة رياضية أو تجربة أو لعبة، والهدف هو تعديل المخرجات بالطريقة المرغوبة من خلال إيجاد قيم مناسبة لمتغيرات الإدخال، مثال علي ذلك عند ملء حوض الاستحمام بالماء، التكلفة هنا هي الفرق بين درجات الحرارة المرغوبة والفعلية للمياه، وبالتالي متغيرات الإدخال هي مقدار دوران الحنفيات الساخنة والباردة، وتكون دالة الملائمة هي النتيجة التجريبية من وضع يدك في الماء، لذلك نرى أن تحديد دالة الملائمة المناسبة وتحديد المتغيرات التي يجب إستخدامها ترتبط ارتباطا وثيقًا، ويستخدم مصطلح الملاءمة على نطاق واسع لتعيين ناتج الوظيفة الموضوعية في أدبيات GA، والتي تعني مشكلة تعظيم، ولها ارتباط وثيق بالبيولوجيا مقارنة بمصطلح التكلفة الذي يستخدم أيضا في كثير من الأدبيات.(Haupt، 2004)

يبدأ GA بتحديد كروموسوم أو مجموعة من القيم المتغيرة لتحسينها، إذا كان للكروموسوم متغيرات N_{VAR}(مشكلة تحسين أبعاد N_{VAR}) المعطاة بواسطة ($P_1, P_2, \dots \dots \dots \dots P_{VAR}$)، بعد ذلك يتم كتابة الكروموسوم كمتجه لوصف عنصر N_{VAR}.

$$\textbf{chromosome= } [P_1, P_2, \dots \dots \dots \dots P_{VAR}]$$

على سبيل المثال، يتطلب البحث عن أقصى ارتفاع على خريطة طبوغرافية دالة تكلفة مع متغيرات إدخال لخط الطول (x) وخط العرض (y).

$$\textbf{chromosome= [x,y]}$$

بحيث N_{VAR}=2 ولكل كروموسوم قيمة ملائمة يتم العثور عليها من خلال تقييم دالة الملائمة (f) عند(p1,p2).

$$\textbf{f (Chromosome) = f } [P_1, P_2, \dots \dots \dots \dots P_{VAR}]$$

نظرًا لأننا نحاول العثور على القمة، تتم كتابة دالة التكلفة على أنها سلبية للارتفاع من أجل وضعها في شكل خوارزمية تصغير.

$$\textbf{F(x,y)=–elevatios(x,y)}$$

4.المجتمع:

المجتمع هو مجموعة أفراد تخضع للاختبار وتكون محل عمليات الخوارزميات الجينية، حيث يدخل ضمن نطاق البحث ويعيش في المحيط المدروس، بحيث معالم النمط الظاهري المرغوب تحدد طبيعة الأفراد وبعض المعلومات حول نطاق البحث، وأهم المفاهيم الخاصة بالمجتمع هي: الجيل الابتدائي وحجم المجتمع (n).

وباختلاف أنواع المسائل الممكن حلها باستعمال الخوارزميات الجينية، يرتبط حجم المجتمع بدرجة تعقيد المسألة، حيث يختلف من نوع لآخر ويتم اختياره حسب تقدير الباحث، أحيانا حجم المجتمع يمكن أن يطرح إشكالا، كلما زاد الحجم كان استغلال نطاق البحث بشكل كامل أسهل وذا تغطية أكبر، ولكن في المقابل الزمن المطلوب يعطى بالعلاقة التالية" nlogn" أي علاقة طردية حيث يزيد بزيادة حجم المجتمع، حيث أظهر "1989 Goldberg" في دراسته أن فعالية الخوارزميات الجينية تتأثر بحجم المجتمع، كلما كان حجم المجتمع أكبر كانت النتائج أفضل لكن هذا قد يكون مكلفا من حيث السرعة ووقت الأداء. (موفق، 2018)

الشكل (3): تمثيل المجتمع

المجتمع	كروموسوم 1	101010101
	كروموسوم2	111010101
	كروموسوم3	111111111
	كروموسوم4	001000101

المصدر: من إعداد الطالب

البداية تكون من المجتمع الأولي وهو عبارة عن مجموعة من الكروموسومات (حلول أولية) يتم توليدها بصورة عشوائية بحجم معين حسب طبيعة المشكلة، التي تستخدم لإجراء عملية الخوارزمية الجينية المتمثلة (الانتخاب، الاختيار، التبادل، الطفرة). (الطاهر و عبد الأمير عبد الكريم، 2020)

والجيل الابتدائي هو عبارة عن مجموعة أفراد المجتمع في بداية انطلاق عملية البحث، مع العلم أن الجيل الابتدائي يجب أن يشمل مجالا واسعا ومتنوعة من المورثات والآليلات قدر الإمكان حتى يكون هناك تغطية أفضل لنطاق البحث، لذلك في الغالب الجيل الابتدائي يتم اختياره عشوائيا، مع إمكانية إستخدام طريقة استدلالية في إختيار الأفراد مما قد يؤدي إلى أداء أسرع، إذا افتقر الجيل الابتدائي إلى التنويع يمكن أن يؤثر هذا على عمل الخوارزمية، بحيث تنحصر في جزء ضيق من نطاق البحث فتعطي نتائج متحيزة وغير مرضية.

للتوضيح أكثر تبدأ خوارزمية GA بمجموعة عشوائية من السكان، يمكن إنشاء هذه المجموعة من التوزيع العشوائي لزيادة التنوع، تشتمل هذه المجموعة على حلول متعددة تمثل كروموسومات (الأفراد)، يحتوي كل كروموسوم على مجموعة من المتغيرات التي تحاكي الجينات، حيث أن الهدف الرئيسي في خطوة التهيئة هو نشر الحلول حول مساحة البحث بشكل موحد قدر الإمكان لزيادة تنوع السكان والحصول على فرصة أفضل للعثور على مناطق واعدة.(Mirjalili و Mirjalili، 2019)

يعد تحديد حجم السكان المناسب هو المفتاح للحصول على أداء جيد في الخوارزمية الجينية (GA) ، أي للحفاظ على جودة جيدة في الحلول دون إنفاق جهود حسابية إضافية، بهذه الطريقة سيتطلب حل مشكلة صغيرة حجمًا سكانيًا أصغر، بالإضافة إلى ذلك من الممكن أيضًا تحسين أداء GA من خلال تغيير حجم السكان أثناء تشغيل GA ، وتكييفها بحيث تتقارب الحلول نحو بعضها وتركز نظرية تحجيم السكان المستندة إلى التحلل الوجهي "لجولدبرغ" لتصميم GAs المختصة، على تحديد حجم السكان وفقًا لصعوبة المشكلة.(Laredo، Fernandes، و Merelo، 2009)

5.الترميز:

يتمثل الاختلاف الأساسي للخوارزمية الجينية عن طرق البحث الأخرى في أن الخوارزمية الجينية تستخدم معلمات مشفرة بدلاً من المعلمات نفسها، بحيث تتمثل الخطوة الأولى في تطبيق الخوارزمية الجينية في إختيار أنسب طريقة تشفير والتي ستمثل مساحة حل المشكلة بشكل أفضل عمومًا، وتستخدم الخوارزمية الجينية طريقة الترميز الثنائية، وهناك أنواع مختلفة من الخوارزميات الجينية تستخدم عدد صحيح أو رقم بكرة أو ثلاث مخططات، وهناك أيضًا دراسات خوارزمية معينة تستخدم أبجديات رمزية مختلفة.

$$x_{Real} = x_{min} + \frac{x_{max} - x_{min}}{2_l - 1}\left(\sum_{i=0}^{l-1} b[i]^{*}2^{l-i-1}\right)$$

طريقة الترميز لها تأثير كبير على أداء الخوارزمية الجينية، ولكن من المستحيل إتباع طريقة واحدة على أنها الأنسب لأن طريقة التشفير تعتمد على المشكلة نفسها، يوضح "**Michalewicz**" أن إستخدام أرقام البكرات يؤدي إلى نتائج أسرع ولكن لمشكلة معينة، وفي بعض الدراسات الأخرى تعطي طريقة الترميز الرمادي نتائج أفضل من الترميز الثنائي.(Ünal، Ak، Topuz، Erdal، و Ünal، 2013)

وما يجب ملاحظته أنه عندما تكون طريقة ترميز حلول المشكلة في شكل سلسلة واضحة ومباشرة، فإن بحث GA يعمل بشكل جيد على مجموعة متنوعة من المشكلات الصعبة. (Schmertmann، 1996)

ثانيا: خصائص الخوارزميات الجينية:

على الرغم من أن كفاءة البحث شبه الأسية هي ميزة بارزة للخوارزميات الجينية، إلا أن حكمها العام يجب أن يتضمن خصائص أخرى أيضًا:

- تعد براعة منهجية الخوارزمية الجينية أو المرونة التكوينية فيها جذابة، على الرغم من أنها أكثر أهمية لمنفذي الخوارزمية الجينية ذوي الخبرة منها للمبتدئين،
- يتطلب تكوين الخوارزمية الجينية إختيار مخطط انسيابي والوحدات المكونة له على سبيل المثال (إجراء إعادة التركيب)، بالإضافة إلى تحديد المعلمات العددية التي تتحكم في عمل الوحدات (مثل الاحتمالية، والعلاقات العامة، وإعادة التركيب)؛
- المساحة التكوينية للخوارزميات الجينية ضخمة ولا توجد منهجية قياسية متاحة للعثور على نقطة عمل مثالية في هذا الفضاء، وفقًا لذلك ومن خلال الفهم المعقول لميكانيكا الخوارزمية الجينية، يمكن للمرء عادة أن يخمن تخمينًا مستنيرًا في نقطة عمل منتجة، ومع ذلك اتضح أنه حتى إذا تم إختيار نقطة عمل غير مثالية، فلا يزال من الممكن العثور على الحل الشامل في النهاية، على الرغم من أن المزيد من الخطوات الزمنية تكون في المتوسط المطلوب؛
- الخوارزميات الجينية قوية إلى حد ما من الناحية التكوينية، بشكل عابر نلاحظ أن مساحات التكوين الكبيرة هي خاصية نموذجية للطرق الحسابية الطبيعية، حيث أن تعدد إستخدام الخوارزميات الجينية يرتبط بحقيقة أنها لا تضع افتراضات قوية حول شكل مشهد اللياقة البدنية (المناظر الطبيعية)، للسبب نفسه تعد الخوارزميات الجينية قوية أيضًا بمعنى آخر غير المعنى التكويني المذكور أعلاه، أي إنهم يميلون إلى الاقتراب من الحل العالمي بشكل مستقل تمامًا عن السكان البادئين في مساحة البحث، وبالتالي تتميز الخوارزميات الجينية بدقة بحث جيدة؛
- الخوارزميات الجينية تظهر دقة بحث ضعيفة وانتشار كبير في الحلول المقدرة حول المستوى العالمي الأمثل عند عمليات النسخ المتماثل، يُعزي هذا الانتشار إلى استدلال البحث العشوائي الذي تستخدمه الخوارزميات الجينية، ويمكن الإشارة إليه على أنه ضوضاء الطريقة، وغالبًا ما تنطبق الخصائص المعاكسة على تقنيات التحسين المحلية التقليدية مثل (دقة بحث جيدة ودقة بحث رديئة)، لذلك يمكن تحقيق أداء أفضل في تركيبة متسلسلة، حيث تولد الخوارزمية الجينية "أفضل تخمين" يعمل كنقطة انطلاق للتنقيح اللاحق بواسطة التقنية

المحلية، بحيث تكمل الطرق المنفصلة بعضها البعض لتعزيز الأداء العام.(Lucasius و Kateman، 1993)

يمكن تلخيص الخصائص العامة للخوارزميات الجينية في العناصر التالية:

- العشوائية، وهي العامل الأساسي في الخوارزميات الجينية، حيث أن كل من الانتقاء والتكاثر والطفرة تتطلب العشوائية؛
- معظم الطرق الكمية تبحث عن حل واحد، أما الخوارزميات الجينية فتبحث عن مجتمع من الحلول، حيث تحتفظ بأكثر من حل وفي كل تكرار يمكن الحصول على إضافات، هذا يلعب دور مهم في متانة الخوارزميات الجينية حيث يعطي فرصة للشمول وتفادي التحيز؛
- لا يوجد شروط أو متطلبات خاصة تسبق استعمال الخوارزميات الجينية، كما يمكن تطبيقها على أي مسألة؛
- الخوارزميات الجينية لا تستخدم المشتقات وتعتمد فقط على دالة الملائمة، ليس هناك أنواع محددة من الدوال الرياضية فدالة الملائمة يمكن أن تكون دالة قابلة للتقييم، وهذا أفضل ما يميز الخوارزميات الجينية؛
- الخوارزميات الجينية تتعامل مع كل المتغيرات الكمية المستمرة والمنقطعة، كما أنها في الغالب تعمل بمتغيرات مرمزة؛ (موفق، 2018)
- لها ميزة في استعمال القوانين الاحتمالية ولا تستعمل القوانين الكلاسيكية؛
- تمتاز الخوارزمية الجينية بأنها لا تتعامل مع المتغيرات نفسها ولكن تتعامل مع التشفير لمجموعة المتغيرات. (عبيد مخيلف، 2022)

وما يجب التعقيب عليه خلال مراجعة خصائص الخوارزميات الجينية، وهو خاصية العشوائية التي تعتبر من أهم الخصائص التي تقوم عليها الخوارزميات الجينية، والتي يمكن أن تكون أمر سلبي، حيث أن هذه العشوائية يمكن أن تساهم في فقدان بعض الخصائص المثلى لدي الأفراد، وخاصتا عند تقارب الحلول.

المطلب الثالث: خطوات عمل الخوارزميات الجينية:

في البداية يتم إنشاء العديد من الحلول الفردية بشكل عشوائي لتشكيل مجموعة أولية، بحيث يعتمد حجم المجتمع على طبيعة المشكلة، ويحتوي عادةً على مئات أو آلاف الحلول الممكنة، وتقليديًا يتم إنشاء السكان بشكل عشوائي، بحيث يغطي النطاق الكامل للحلول الممكنة (مساحة البحث). (Kumar, Husain, & Upreti, 2010)

وبشكل مختصر سوف نقوم باستعراض منهجية عمل الخوارزميات الجينية والتي تكون وفق الخطوات التالية:

أولا: إختيار معلمات الخوارزميات الجينية:

تعد تأثيرات معلمات GA مهمة جدًا على أداء GAs لذلك، يجب إختيار هذه المعلمات، التي تسمى معلمات التحكم، بشكل عام هناك 6 معلمات تحكم وهي: حجم السكان واحتمالية التقاطع واحتمال الطفرة وفجوة الجيل (G) وإستراتيجية الاختيار ووظيفة القياس (Ozgur، 2001).

1.**حجم السكان**: أحد أهم القرارات هو حجم السكان الذي يحدده مستخدم GA، إذا كان حجم السكان صغيرًا جدًا، فقد يتقارب GA مع المستوى الأمثل المحلي، وإذا كان كبيرًا جدًا فإنه يزيد التكلفة لكل جيل (مثل وقت التشغيل).

2.**إحتمالية التقاطع**: الهدف من التقاطع هو بناء كروموسومات أفضل من خلال الجمع بين ميزات الكروموسومات الموجودة والجيدة، يتم إختيار زوج من الكروموسومات للخضوع لعملية تقاطع مع احتمالPc، تؤدي الزيادة فيه إلى إعادة تكوين اللبنات الأساسية، ولكنه يزيد أيضًا من تمزق الكروموسومات الجيدة.

3.**إحتمال الطفرة**: بالطبع نسمع عن الطفرة البيولوجية بشكل متكرر بين الآونة والأخرى ولكنها تبقى ضمن حدود احتمالية متدنية. (بحبوح و ريشة ، 2007)، في معظم تطبيقات GA، تكون الطفرة نادرة (في حدود 2٪)، لكن لا يمكننا أن نقول بشكل عام ما هو الإعداد الصحيح لمعدل طفرة GA. (Simon D.، 2013)، والغرض من الطفرة هو الحفاظ على التنوع الجيني في السكان، بحيث تحدث الطفرة البيولوجية بشكل متكرر بين مدة وأخري. (محمود حمود ، 2017)، وتحدث طفرة في كل بت في كروموسوم مع احتمال Pm، إذا زاد Pm يتحول البحث الجيني إلى بحث عشوائي، ولكنه يساعد أيضًا في إعادة إدخال المادة الوراثية المفقودة.

4.**فجوة الأجيال**: يسمى جزء الكروموسومات الجديدة في كل جيل بفجوة الأجيال، يحدد عدد الكروموسومات التي يتم اختيارها للمشغل الجيني (بين 0 و100في المائة)، تعني القيمة العالية أنه يتم استبدال العديد من الكروموسومات مما يؤدي إلى تقارب أسرع.

5.إستراتيجية الاختيار: هناك عدة إستراتيجيات لتحل محل الجيل القديم في إستراتيجية الأجيال، يتم استبدال الكروموسومات في السكان الحاليين بالكامل بالنسل، نظرًا لأن أفضل كروموسوم من السكان قد يفشل في إعادة إنتاج النسل في الجيل التالي، فعادة ما يتم دمجه مع الإستراتيجية النخبوية، تتكون الإستراتيجية النخبوية من عدم استبدال أفضل الكروموسومات بحلول أدنى، لذا فإنه أفضل حل متاح دائمًا للتكاثر، ومع ذلك في إستراتيجية الحالة المستقرة، يتم استبدال عدد قليل فقط من الكروموسومات في كل جيل، وعادة ما يتم استبدال أسواء الكروموسومات عندما يتم إدخال كروموسومات جديدة في السكان.

6.وظائف التحجيم: هناك عدة طرق للقياس، فيما يلي نعرض الأكثر استخداما:

- القياس الخطي: يحسب المقياس الخطي قيمة الملائمة المقاسة على النحو التالي:

$$f'=af+b$$

أين هي قيمة الملائمة f'المقاسة، يتم إختيار المعاملين a وb في كل جيل بحيث تكون قيم متوسط f وf' متساوية، وبذلك تكون القيمة القصوى لـ f' هي مضاعفًا محددًا للمتوسط.

- اقتطاع سيجما: في هذه الطريقة، يتم تحديد قيم الملائمة المقاسة على النحو التالي:

$$f' = f - (f' - c\ 0)$$

حيث f هي متوسط قيم اللياقة البدنية للسكان، وo هو الانحراف المعياري في المجموعة، وc هو ثابت صغير يتراوح عادة من 1 إلى3، وأي نتيجة سلبية $f'<0$ يتم تعيينها إلى الصفر، من أجل منع السلبية لقيم f'.

- مقياس قانون القوة: في هذه الطريقة، يتم أخذ قيمة الملائمة الفعلية إلى قوة معينة:

$$f'=f^k$$

حيث k، بشكل عام تعتمد على المشكلة أو حتى متغيرة أثناء التشغيل.

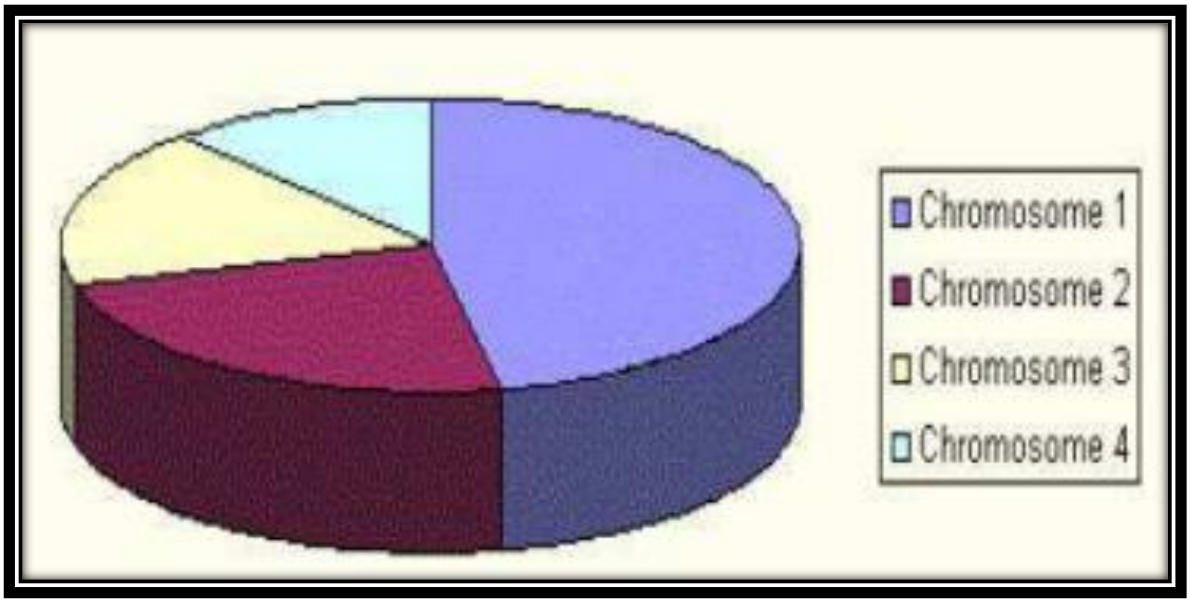
ثانيا: تهيئة الحل

بعد تحديد معلمات الخوارزميات الجينية تبدأ الخوارزميات الجينية في العمل للوصول إلى الحل المثالي وفق الخطوات التالية:

1.الإنتقاء: في الطبيعة، كلما زاد تكيف الفرد مع البيئة زادت فرصته في البقاء على قيد الحياة وتكوين ذرية وبالتالي نقل جيناته إلى المجموعة التالية من السكان. (Popov، 2005)، بحيث تعد عملية الاختيار أمرًا حيويًا لنتائج الخوارزمية لأنها تحدد الكروموسومات التي سيتم نقلها إلى الجيل التالي. (Straßburg، 2012) ، لإنتاج جيل جديد يحتوي علي أفضل أفراد المجتمع. (معن محمد ثابت، 2008)، والذي يتم باختيار أفراد النخبة كأبوين من السكان الحاليين، و الاختيار بإنشاء الأجيال اللاحقة يكون عددها محددا بالقيمة التي يتم إدخالها في بداية التنفيذ. (بان أحمد ، 2007)، بحيث تُستخدم قيم اللياقة كمعايير للحكم على ما إذا كان الأفراد نخبويين، هناك العديد من الطرق حول كيفية إختيار أفضل الكروموسومات، على سبيل المثال إختيار عجلة الروليت، وإختيار بولتزمان، وإختيار البطولة، وإختيار الرتب، وإختيار الحالة المستقرة، وإختيار النخبة، وغيرها والتي سيتم وصف بعضها باختصار. (Haldurai L.، 2016)

1.1. الانتقاء بعجلة الروليت: يتم إختيار الوالدين حسب لياقتهم البدنية كلما كانت الكروموسومات أفضل زادت فرص اختيارهم، تخيل عجلة الروليت حيث يتم وضع جميع الكروموسومات في السكان، كل منها له مكانه الكبير وفقًا لوظيفة اللياقة الخاصة به كما في (الشكل 1)، سيتم إختيار الكروموسوم ذو اللياقة الأكبر مرات أكثر، في الأنظمة الأخرى، تعتمد طريقة تشكيل الأزواج بشكل كبير على المشكلة. (Stepanov، 2019)

الشكل(4):الانتقاء بطريقة عجلة الروليت



المصدر: Alba, E., &Dorronsoro, B. (2008). Introduction to cellular genetic algorithms. In Cellular GeneticAlgorithms (pp. 3-20). Boston, MA : Springer US

2.1.الإنتقاء حسب الرتبة: ستواجه طريقة الاختيار السابقة مشاكل عندما تختلف الملاءمة كثيرًا، على سبيل المثال إذا كانت أفضل لياقة للكروموسوم هي 90٪ من عجلة الروليت بأكملها، فإن فرص إختيار الكروموسومات الأخرى قليلة جدًا، يقوم إختيار الترتيب أولاً بفرز السكان حسب اللياقة البدنية ثم يحصل كل كروموسوم على اللياقة من هذا الترتيب، سيكون لدى الأسوأ لياقة 1 ، ثاني أسوء لياقة 2 وما إلى ذلك، والأفضل سيكون لديه لياقة N (عدد الكروموسومات في السكان)، بعد ذلك كل الكروموسومات لديها فرصة ليتم اختيارها، عندئذٍ يتناسب احتمال إختيار الكروموسوم مع ترتيبه في هذه القائمة المصنفة، بدلاً من ملائمته و لكن هذه الطريقة يمكن أن تؤدي إلى تقارب أبطأ، لأن أفضل الكروموسومات لا تختلف كثيرًا عن الكروموسومات الأخرى.

3.1. انتقاء النخبة: إختيار النخبوية عند إنشاء مجموعة سكانية جديدة عن طريق التقاطع والطفرة، هناك فرصة كبيرة أن نفقد أفضل كروموسوم، والنخبوية هي اسم الطريقة التي تقوم أولاً بنسخ أفضل كروموسوم (أو عدد قليل من الكروموسومات الأفضل) إلى مجموعة سكانية جديدة، الباقي يتم بالطريقة الكلاسيكية، يمكن للنخبوية أن تزيد من أداء GA بسرعة كبيرة، لأنها تمنع فقدان أفضل الحلول الموجودة.(Haldurai، 2013)

2.التكاثر: يشبه التكاثر الجنسي للكائنات الحية، فهو يوفر وظيفة تبادل المعلومات مما يسمح للكروموسومات (السلاسل) المختلفة في هذه الفئة من السكان بتبادل جيناتها (الأرقام) للتكاثر في عملية تقاطع عشوائي. (Wu،

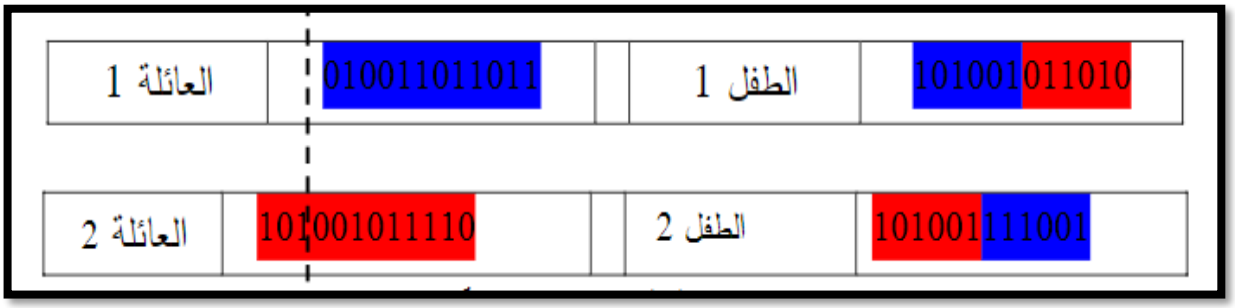
2002)، حيث يتم إستخدام عامل التقاطع لإعادة تجميع سلسلتين للحصول على سلسلة أفضل، وهنا تخلق عملية إعادة التركيب أفرادًا مختلفين في الأجيال المتعاقبة من خلال الجمع بين صفات وخصائص فردين من الجيل السابق، ويتم خلق عدد أكبر من النسخ على السلاسل الجيدة في المجموعة السكانية الأصلية بتكوين تجمع للتزاوج، ومن المهم ملاحظة أنه لا توجد خيوط جديدة تتشكل في مرحلة التكاثر، بل يتم إنشاء سلاسل جديدة عن طريق تبادل المعلومات بين سلاسل مجموعة التزاوج، تُعرف السلاسل المشتركة في عملية التبادل باسم السلاسل الأصلية وتُعرف السلاسل الناتجة باسم سلاسل الأطفال.(Mathew, 2012)

هناك عدة أنواع من عمليات الانتقال التي تشمل التقاطع الفردي المعروف أيضًا باسم التقاطع ذو النقطة الواحدة، والتقاطع ذو النقطتين، والتقاطع الموحد وغيرها. (Said، 2005)

نذكر منها:

1.2. التقاطع في نقطة واحدة: نقطة التقاطع الأحادية هي أكثر نقاط التقاطع المعتمدة والمستخدمة على نطاق واسع، يتم تحديد موقع التقاطع بشكل عشوائي على طول السلاسل المتزاوجة ويتم تبادل البتات المجاورة للمواقع المتقاطعة، عندما يتم إختيار الموقع المناسب، يمكن الحصول على ذرية أفضل من خلال الجمع بين الصفات الجيدة للوالدين، إذا تم إختيار الموقع المناسب، فيمكن الحصول على نسل أفضل من خلال الجمع بين الآباء ذوي النوعية الجيدة، وإلا فإنه يعيق جودة السلسلة بشدة، التقاطع في نقطة واحدة يفكك الرأس والذيل لكروموسوم واحد، وإذا كان كل من الرأس والذيل يحتويان على مادة وراثية جيدة ، فلن يحصل أي من النسل على كلتا الصفات الجيدة مباشرة.

الشكل (5): التقاطع في نقطة واحدة



المصدر: عباس عبد الرحمان ومحمد خليفة، الحل الأمثل لتوزيع مياه الشرب باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية،2012.

2.2. التقاطع في نقطتين: يستخدم مشغل التقاطع المكون من نقطتين نقطتي تقاطع تم اختيارهما عشوائيًا، حيث تتبادل السلاسل المقطع الذي يقع بين هاتين النقطتين. (Whitley، 1994)، تم تنفيذ التقاطع N-point

لأول مرة بواسطة De Jong في عام 1975، وله العديد من المواقع المتقاطعة ولكن القاعدة المستخدمة هي نفسها التي تم إستخدامها في التقاطع بنقطة واحدة، في التقاطع ثنائي النقاط تكون أهمية مواقع التقاطع ثنائية، وبالتالي إضافة المزيد والمزيد من المواقع المتقاطعة تؤثر على اضطرابات كتل البناء التي تقلل أحيانًا من أداء الخوارزمية الجينية، ولكنه يسمح بقبول جزء الرأس والذيل من الكروموسوم معًا في النسل.

3.2. التقاطع الموحد: لا يؤدي التقاطع الموحد إلى تفتيت الكروموسومات لإعادة التركيب، بل يتم إنشاء كل جين في النسل عن طريق نسخه من الوالد المختار وفقًا للبت المقابل في قناع التقاطع الثنائي بنفس طول الكروموسومات الأصل، إذا كان البت في قناع التقاطع هو 1، فسيتم نسخ الجين الناتج من الوالد الأول وإذا كان البت في قناع التقاطع 0، فسيتم نسخ الجين الناتج من الوالد الثاني، يتم إنشاء قناع كروس جديد بشكل تعسفي لكل زوج من الكروموسومات الأصل، بحيث أن كمية نقط العبور ليست ثابتة في البداية لذلك، فإن النسل لديه مزيج من الجينات من كلا الوالدين.

4.2. تقاطع ثلاثة آباء: في هذا التقاطع، يتم إختيار ثلاثة آباء بشكل تعسفي، تتم مقارنة كل جين من الوالد الأول مع الجين المكافئ للوالد الثاني، إذا كان كلا الجينين متشابهين، فإن الجين مشغول بالنسل أو يتم أخذ الجين المكافئ من الوالد الثالث للذرية، يستخدم في الغالب في حالة الكروموسومات الثنائية المشفرة.

5.2. التقاطع الحسابي: يتم إستخدام التقاطع الحسابي في حالة ترميز القيمة الحقيقية، يدمج عامل التقاطع الحسابي خطيًا بين الكروموسومين الأصليين، اثنان من الكروموسومات يتم تحديدهما بشكل عشوائي للتقاطع وإنشاء نسلان هما خليط خطي من والديهما.

6.2. التقاطع المنتظم: في هذا النوع لا يتم تقسيم الكروموسوم إلى شرائح أو أقسام بل يتم التعامل مع كل جين على حده، وذلك برمي قطعة نقود معدنية أي أن نأخذ الجين الأول للأب الأول والثاني ونختار أحد وجوه القطعة المعدنية ويتم رميها فإذا ظهر وجه القطعة المعدنية الذي تم اختياره يتم استبدال مواقع الجين الأول للأب الأول والثاني وهكذا بالنسبة للبقية. (أ. م. د. صباح منفي رضا، 2019)

7.2. الطفرة: حيث يتم اختيار الجين (أو مجموعة فرعية من الجينات) بشكل عشوائي ويتم تغيير قيمة الأليل للجينات المختارة. (Reeves C.، 2002)، واستخدام عامل الطفرة في الخوارزمية الجينية (GA) في المقام الأول هو آلية للحفاظ على التنوع في السكان، على عكس عامل إعادة التركيب، يعمل مشغل الطفرة على عضو متطور واحد فقط في كل مرة ويقوم بتعديله بشكل مستقل عن بقية أعضاء المجتمع، على الرغم من أن

عامل الطفرة وحده قد لا يشكل بحثًا فعالاً، جنبًا إلى جنب مع عامل إعادة التركيب المناسب، يلعب عامل الطفرة دورًا مهمًا في جعل عملية البحث الشاملة فعالة.(Deb، 2014)

عامل الطفرة يحافظ على تنوع السكان من خلال تقديم مستوى آخر من العشوائية، في الواقع يمنع هذا المشغل الحلول من أن تصبح متشابهة ويزيد من احتمال تجنب الحلول المحلية في خوارزمية Mirjalili).GA و Mirjalili، 2019)

حيث تعدل الطفرة حلًا واحدًا بشكل عشوائي بينما يعمل إعادة التركيب على إثنين أو أكثر من الكروموسومات الأصل، وتوجد للطفرة العديد من المتغيرات التي تؤثر عادةً على واحد أو أكثر من مواقع الجينات أو المكونات للفرد، بعبارة أخرى تؤدي الطفرة قفزة عشوائية في منطقة مساحة الحل.(Alba، 2008)

3.الإستبدال:(Replacement) وهي عبارة عن عملية وضع السلف الجديد المتكون في الجيل الجديد للحلول، والاستبدال هو المرحلة الأخيرة من أي دورة تربية، بحيث يتم إختيار والدين من مجموعة سكانية ثابتة الحجم، وينجبان طفلين ولكن لا يمكن لجميع الأربعة العودة إلى السكان، لذلك وجب استبدال إثنين، أي بمجرد إنتاج الينابيع يجب أن تحدد الطريقة أيًا من أفراد المجتمع الحالي يجب استبدالهم بحلول جديدة، والتقنية المستخدمة لتقرير أي فرد يبقى في مجموعة سكانية وأيها يتم استبداله على قدر المساواة مع الاختيار في التأثير على التقارب،

وعادةً ما يستلزم إدخال فرد جديد استبدال عضو آخر من السكان، ويمكن إختيار الفرد المراد حذفه باعتباره أسوأ أفراد المجتمع.(Sivanandam، 2008)

ويتم الاستبدال وفق ثلاث طرق:

1.3. استبدال عشوائي: يستبدل الأطفال بشخصين تيم اختيارهما عشوائيًا من بين السكان، وفي هذه الحالة الآباء أيضا مرشحين لاختيارهم، ويمكن أن يكون هذا مفيدًا لمواصلة البحث في مجموعات صغيرة، حيث يمكن فيها إدخال الأفراد الضعفاء إلى السكان.

2.3. استبدال الوالد الضعيف: في هذه الحالة يتم استبدال الوالد الأضعف بطفل قوي، من الأفراد الأربعة فقط والوالد أو الطفل يعود إلى السكان، وتعمل هذه العملية على تحسين اللياقة العامة للسكان عند إقرانها بتقنية إختيار كل من الوالدين المناسبين والضعفاء للعبور، ولكن إذا تم التمييز ضد الأفراد الضعفاء في الاختيار، فلن تكون هناك الفرصة أبدًا لاستبدالهم.

3.3. استبدال كلا الوالدين: استبدال كلا الوالدين بسيط، حيث يحل فيه الطفل محل الوالد، في هذه الحالة يحصل كل فرد على تكاثر مرة واحدة فقط، نتيجة لذلك يتحرك السكان والمواد الوراثية ولكنهم يتسببون في حدوث مشكلة عند دمجها مع تقنية إختيار تفضل بشدة الوالدين المناسبين.

4.التوقف: عمليا ليس هناك قيمة محددة لدالة الهدف يمكن أن يتوقف العمل عندها لذلك فإن توقف البرنامج الجيني يتوقف على عدد الدورات الجينية المدخلة للبرنامج مسبقا. (عبدالله شتيت ، 2014)، ويستمر إنشاء الأجيال المتعاقبة بغرض الوصول إلى الحل الأمثل في ظل دالة الهدف (دالة أو دوال الصلاحية). (هاشم، 2020)

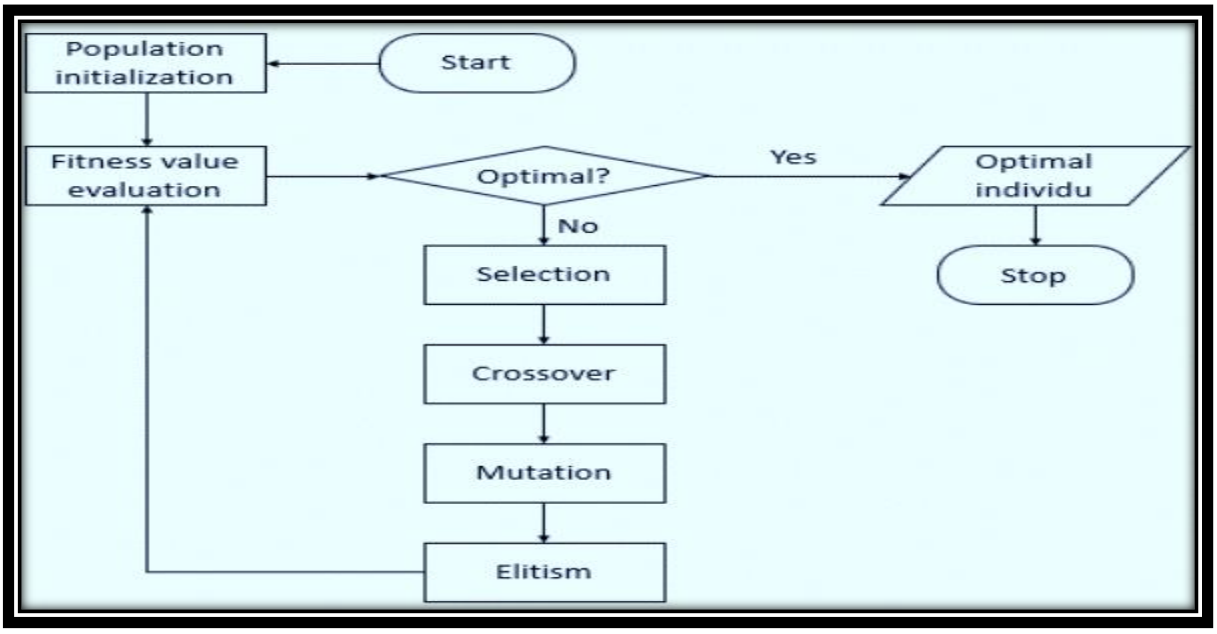
تحدث حالة الإنهاء أو التوقف عندما تنتهي الحلقة التطورية الرئيسية وفي كثير من الأحيان تعمل الخوارزمية الجينية لعدد محدد مسبقًا من الأجيال، يمكن أن يكون هذا معقولاً في بيئات تجريبية مختلفة، وقد يقيد وقت وتكلفة تقييمات وظائف اللياقة البدنية على طول عملية التحسين، شرط إنهاء مفيد آخر هو تقارب عملية التحسين عند تقريب المستوى الأمثل، وربما ينخفض تقدم تحسينات وظيفة اللياقة البدنية بشكل ملحوظ إذا لم يتم ملاحظة أي عملية مهمة، بالتالي تتوقف العملية التطورية.(O Kramer، 2017)

وعلى عكس طرق البحث في الأحياء البسيطة التي تنتهي عند الوصول إلى المستوى الأمثل المحلي، فإن GA هي طرق بحث عشوائية يمكن من حيث المبدأ تشغيلها إلى الأبد، في هذه العملية هناك حاجة إلى معيار الإنهاء، تتمثل الأساليب الشائعة في وضع حد لعدد تقييمات اللياقة البدنية أو وقت ساعة الكمبيوتر أو لتتبع تنوع السكان والتوقف عندما يقل هذا عن الحد المعين مسبقًا.(Reeves، 2010)

ويختلف مقياس التوقف علي حسب المسألة المراد حلها، وحتى تحقق هذا الشرط يستمر إنشاء الأجيال المتعاقبة بهدف تحسين الحل. (زواوي، 2015)

والشكل الموالي يلخص جميع الخطوات التي تمر بها الخوارزميات الجينية.

الشكل(6): مخطط انسيابي لخطوات عمل الخوارزميات الجينية.



المصدر: Faisal Dharma, Prediction of Indonesian Inflation Rate UsingRegression Model Based on Genetic Algorithms,2020

المطلب الربع: أنواع الخوارزميات الجينية وبعض تطبيقاتها:(Ünal M.، 2013)

أولا: أنواع الخوارزميات الجينية

عندما ننظر إلى الأدبيات السابقة، في أنواع الخوارزمية الجينية يتم أيضًا وصف بعض النماذج الأخرى نذكر منها:

1. **الخوارزمية الجينية الاساسية** (Algorithm Genetic Basic) تعتبر الخوارزمية الجينية الأساسية النموذج الأساسي لخوارزميات التطور الجيني، تستخدم عمليات التبادل العشوائي والتحور لتوليد تنوع جديد في الأجيال اللاحقة، وتستخدم وظيفة التكيف لتقييم فعالية الأفراد في البيئة.
2. **الخوارزمية الجينية المعبأة** (Packed Genetic Algorithm) تستخدم الخوارزمية الجينية المعبأة للتعامل مع المشاكل التي تتطلب تمثيل حلول معقدة وهياكل بيانات غير قياسية، يتم تعبئة الحلول المعقدة داخل الجينات باستخدام تقنيات مثل الترميز المرتب أو الترميز العشوائي.

3. **الخوارزمية الجينية التوافقية** (Genetic based-Fitness Algorithm) تستخدم الخوارزمية الجينية التوافقية وظيفة التكيف المحددة بوضوح لتحقيق تطور الحلول نحو الأفضل، حيث يتم إستخدام أساليب مثل التحسين المتقدم والمحافظة على التنوع لتعزيز عملية التحسين والتكيف.
4. **الخوارزمية الجينية متعددة الهدف** (Objective-Multi Algorithm Genetic) تستخدم الخوارزمية الجينية متعددة الهدف للمشكال التي تتطلب تحقيق أكثر من هدف في الحل النهائي، تستخدم تقنيات مثل السياق البيئي والسياق الإقتصادي لتحقيق التوازن بين الأهداف المتعددة وتوليد مجموعة من الحلول الغير متفقة (عويدات ، 2023).

5. **الخوارزمية الجينية الدقيقة (μGA)**: يُعرف SGA بأنه مفيد للعديد من مشكلات تحسين الوظائف، لكن عيب SGA هو أن الأمر يستغرق وقتًا طويلاً لتقييم تماسك الجيل بالنسبة لعدد السكان الكبير، هذا هو السبب في إقتراح نهج السكان الصغير الذي يتكون من معلمات وراثية بسيطة، بحيث يصل إستخدام حجم السكان الصغير μGA إلى المنطقة المثلى بشكل أسرع، يستخدم هيكل كروموسوم مزدوج الترميز، لتحقيق النجاح باستخدام مجموعات صغيرة، يتم إنتاج كروموسومات جديدة في السكان بفواصل زمنية مناسبة، الهدف من μGA ليس زيادة قيمة تكيف السكان ولكنه يحقق الحل الأفضل بشكل أسرع.

6. **الخوارزمية الجينية الثابتة**: يتم فيها نقل مجموعة معينة من السكان من الجيل السابق إلى الجيل التالي، ويتم تحديد النسبة المئوية لهذه الفئة المعينة من قبل المستخدم بناءً على قيمة لياقتهم، لكن هذه القيمة تظل ثابتة عبر الأجيال وبالتالي يتم توفير وقت التشغيل.

7. **الخوارزمية الجينية الهرمية (HGA)**: عندما نحلل التركيب البيولوجي للحمض النووي، يمكننا أن نرى أن الهيكل يشكل نموذجًا هرميًا، في هذا الهيكل الهرمي تتمثل مهمة بعض الجينات في تحديد الجينات النشطة وغير النشطة، تحاول خوارزمية HGA نمذجة هذا الهيكل الهرمي للحمض النووي البيولوجي، وفي هيكل الكروموسوم تحدد قيم جينات التحكم وهل سيكون الجين نشطًا أم لا، إذا تم تشكيل خوارزمية HGA بهذه الطريقة، يمكن تكييف جميع العوامل المستخدمة فيGA، لكن عوامل التقاطع والطفرة التي تم تكييفها للتحكم في بنية الجينات ستؤثر على بنية الجينات المتغيرة، وبالتالي سيكون له تأثير ثانٍ على الكروموسوم.

8. **الخوارزمية الجينية الفوضوية (mGA)**: في بنية mGAيتم إستخدام طول الكروموسوم المتغير بينما في بنية GA يكون طول الكروموسوم ثابتًا، نظرًا لأن طول الكروموسوم في خوارزمية mGA يختلف، يتم إستخدام عامل

"القطع واللصق" بدلاً من عامل التشغيل "التقاطع" المستخدم في GA، وبالتالي يتم الحصول على الكروموسومات التي لها أطوال مختلفة، بالإضافة الي أن العوامل الجينية الأخرى المستخدمة في mGA هي نفسها المستخدمة في GA.

ثانيا: تطبيقات الخوارزميات الجينية:(Mitchell، 1995)

الخوارزمية الموصوفة أعلاه بسيطة للغاية، ولكن تم إستخدام الاختلافات في هذا الموضوع الأساسي في عدد كبير من المشكلات والنماذج العلمية والهندسية، بما في ذلك ما يلي:

1.التحسين: تم إستخدام GAs في مجموعة واسعة من مهام التحسين، بما في ذلك التحسين العددي بالإضافة إلى مشاكل التحسين التوافقي مثل تخطيط الدوائر وجدولة متجر العمل.

2.البرمجة التلقائية: تم إستخدام GA لتطوير برامج الكمبيوتر لمهام محددة، ولتصميم الهياكل الحسابية الأخرى، مثل الأوتوماتا الخلوية وشبكات الفرز.

3.التعلم الآلي: تم إستخدام GAs في العديد من تطبيقات التعلم الآلي، بما في ذلك مهام التصنيف والتنبؤ مثل التنبؤ بالطقس أو بنية البروتين، تم إستخدام GA أيضًا لتطوير جوانب معينة من أنظمة التعلم الآلي، مثل أوزان الشبكات العصبية، وقواعد تعلم أنظمة التصنيف أو أنظمة الإنتاج الرمزية، وأجهزة الاستشعار للروبوتات.

4.النماذج الاقتصادية: تم إستخدام GA لنمذجة عمليات الابتكار، وتطوير إستراتيجيات العطاءات، وظهور الأسواق الاقتصادية.

5.نماذج الجهاز المناعي: تم إستخدام GAs لنمذجة جوانب مختلفة من جهاز المناعة الطبيعي بما في ذلك الطفرة الجسدية خلال حياة الفرد واكتشاف عائلات متعددة الجينات خلال فترة التطور.

6.النماذج البيئية: تم إستخدام GAs لنمذجة الظواهر البيئية مثل سباقات التسلح البيولوجي، والتطور المشترك بين المضيف والطفيلي، والتعايش، وتدفق الموارد في البيئة.

7.التفاعلات بين التطور والتعلم: تم إستخدام GAs لدراسة كيفية تأثير التعلم الفردي وتطور الأنواع على بعضهما البعض.

8.نماذج الأنظمة الاجتماعية: تم إستخدام GAs لدراسة الجوانب التطورية للأنظمة الاجتماعية، مثل تطور التعاون، وتطور الاتصالات، وسلوك تتبع الأثر لدى النمل.

هذه القائمة ليست شاملة بأي حال من الأحوال، ولكنها تعطي نكهة لأنواع الأشياء التي تم إستخدام GA من أجلها، سواء في حل المشكلات أو في السياقات العلمية، يمكن العثور على الأوراق التي تصف هذه التطبيقات وغيرها في المراجع والأدبيات السابقة.

المبحث الثالث: الدراسات السابقة

نهدف من خلال هذا الفصل إلى تحليل أهم الأدبيات التطبيقية، والتي سبق وأن استخدمت نفس المنهجية سوآءا في التحسين أو التنبؤ، بشكل مباشر أو غير مباشر، وذلك في محاولة مني للإحاطة بجميع الجوانب والاطلاع على أهم النتائج التي توصل إليها الباحثين، سوآءا السلبية أو الإيجابية ومعرفة تقييمهم للنموذج المقترح، والاستفادة من تصويباتهم وتوصياتهم، وبذلك أكون قد وجدت الفجوة البحثية التي يمكنني من خلالها الانطلاق في دراستي للوصول إلى إجابة مقنعة عن التساؤل الذي طرحته حول فاعلية الخوارزميات الجينية.

المطلب الأول: تطور درجة الاهتمام بتطبيق الخوارزميات الجينية في البحوث العلمية

نفتتح هذا الفصل باستعراض لأهم الدراسات السابقة وتطور درجة الاهتمام بتطبيق الخوارزميات الجينية من طرف الباحثين في مجال العلوم الإقتصادية وخاصة الاقتصاد القياسي.

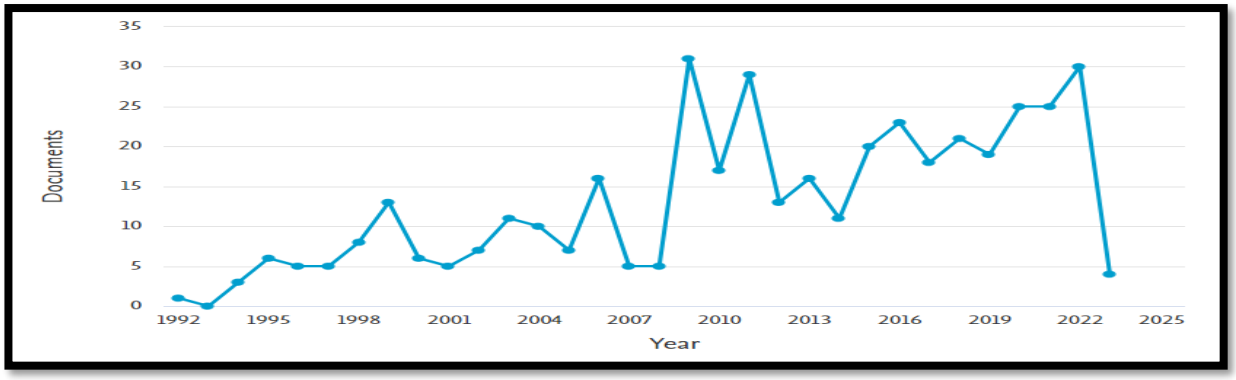
نستعرض في الجدول الموالي التطور التاريخي لتطبيق الخوارزميات الجينة في البحوث الإقتصادية وخاصة في عمليات التنبؤ ودعم اتخاذ القرار بالرجوع إلى البحوث المنشور في مجال الاقتصاد والاقتصاد القياسي على منصة Scopus.

الجداول (2): إحصاء للدراسات السابقة.

18	**2017**	29	**2011**	7	**2005**	13	**1999**	**0**	**1993**
21	**2018**	13	**2012**	16	**2006**	6	**2000**	3	**1994**
19	**2019**	16	**2013**	5	**2007**	5	**2001**	6	**1995**
25	**2020**	11	**2014**	5	**2008**	7	**2002**	5	**1996**
25	**2021**	20	**2015**	31	**2009**	11	**2003**	5	**1997**
30	**2022**	23	**2016**	17	**2010**	10	**2004**	8	**1998**

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على بيانات منصة Scopus.

الشكل (7): تطور منحني عدد المنشورات العلمية في القياس الإقتصادي والتي طبقت الخوارزميات الجينية في التحسين والتنبؤ.



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على بيانات منصة Scopus.

الجدول أعلاه والمنحني البياني يظهران التطور التاريخ لعدد المنشورات العلمية في مجال العلوم الإقتصادية من سنة 1992 إلي يومنا هذا، والتي طبقت منهجية الخوارزميات الجينة، وما يجب ملاحظته هو أن عدد المنشورات العلمية يعبر عن درجة اهتمام الباحثين باستخدام منهجية الخوارزميات الجينية في بحوثهم العلمية، والذي كان ضعيفا في بداية التسعينات حتي سنة 2009، حيث عرفة ذروة وصلت إلي 30 منشور علمي في السنة، ومن 2010 حتي 2022 كان عدد المنشورات العلمية يتذبذب بين 10 و 30 منشور في السنة، وبالنظر إلى عدد المنشورات العلمية في هذه الفترة والاهتمام الذي كان بشكل متزايد، يمكن القول أن الخوارزميات الجينية GA منهجية فعالة في عملية التصنيف و التنبؤ.

المطلب الثاني: الدراسات المحلية

- قام "**مكرود حسام وآخرون**" سنة 2022 بناء نموذج افتراضي قائم على الخوارزميات الجينية، وتطبيقه على المؤسسة العربية المصرفية (م.ع.م) في عنابة، للمساعدة في اتخاذ قرار منح القروض البنكية، وتم إختيار عشرة عملاء كعينة عشوائية، وخلصت الدراسة لأهمية التي يمكن أن يحققها تطبيق الخوارزميات الجينية في منح القروض البنكية، وتجنب الوقوع في الخطأ، واتخاذ القرارات الصائبة.
- استخدمت "**مروة زهواني** "سنة 2022، الخوارزميات الجينة كأداة للتنبؤ بالتعثر المالي للمؤسسات الإقتصادية، وركزت الدراسة علي 1550 مؤسسة والتي تعتبر مؤسسات نشطة في الاقتصاد الوطني، معتمدة في ذلك علي Python كبرنامج للمعالجة بعد تنقيح البيانات، وركزت في بناء الخوارزميات الجينة علي عدة نماذج للتحسين وهي، تدريب الخوارزميات الجينية بالغابات العشوائية، تدريب الخوارزميات الجينية

بمتجهات الدعم الآلي، تدريب الخوارزميات الجينة بالشبكات العصبية، وأضفت هذه الدراسة بعد مقارنة النتائج المتحصل عليه إلي جودة الخوارزميات الجينية في التنبؤ وخاصتا بعد تدريبها بالغابات العشوائية، حيث بلغت دقة التنبؤ 99.46 بالمئة.

- قام "**محمد محمود هاشم** "سنة 2020، في دراسة قائمة علي تقدير هامش ربح الاكتتاب لفرع تأمين أجسام السفن بسوق التأمين المصري في القطاعين العام والخاص وإجمالي السوق ككل، بالمقارنة بين الخوارزميات الجينية والشبكات العصبية من حيث توفيق هامش الربح وجودة التنبؤ، وأسفرت نتائج الدراسة إلي أن الخوارزميات الجينية أكثر دقة وكفاءة وملائمة من الشبكات العصبية وذلك بالنظر إلي القدرة التفسيرية، والقدرة التنبؤية للنموذج وجودة التوفيق، حيث أثبتت الخوارزميات الجينية تفوقها بالنسبة للقطاع الخاص ومستوي إجمالي السوق المصري على عكس القطاع العام الذي تفوقت فيه الشبكات العصبية.

- قام "**كمال موفق** "سنة 2018، في دراسته بتطبيق الخوارزميات الجينة في التنبؤ بتطاير الأسواق المالية، حيث تم إختيار ثلاث أسواق مالية هي بورصة تونس والدار البيضاء، وآخر عالمي هو بورصة نيويورك، وكانت مؤشرات السلاسل الزمنية محصورة في عشر سنوات الأخيرة، و تم تمثيل النموذج الرياضي للمسألة من خلال دالة الملائمة الخاصة بتعظيم الأرجحية، والنموذج العام ل ARIMA و GARCH بالإضافة للقيود والشروط الخاصة بالمعاملات، مستعينا في معالجة وتحليل النتائج علي برنامج Eviews بالنسبة للمسائل الإحصائية والقياسية، و برنامج Evolve بالنسبة للمعالجة بالخوارزميات الجينية، وفي نهاية دراسة توصل إلي أهمية الخوارزميات الجينة في تحسين جودة النتائج ودعم اتخاذ القرار وخاصة في المسائل الأكثر تعقيدا.

- قام كل من "**نعاس مريم نجاة**" و "**زواوي الحبيب**" سنة 2015، في دراسة لهم اهتمت بإدارة مخاطر المحفظة المالية القائمة علي إستراتيجية التنويع الاستثماري بتطبيق نموذج الخوارزميات الجينية في تحسين (نموذج ماركويتز) للحصول علي المحفظة المثلي، وقاموا بتطبيق المنهجية علي عينية دراسة تضم الأسعار الشهرية لخمس أسهم شركات مدرجة في بورصة الجزائر، وهم شركة سونلغاز، شركة الخطوط الجوية الجزائرية، مؤسسة اتصالات الجزائر، مؤسسة صيدال، ومن خلال تطبيق الخوارزميات الجينية وانطلاقا من محاكات نموذج ماركويتز القائم علي العائد والمخاطر، توصلت دراسة الباحثين إلي إمكانية بناء محفظة استثمارية مثلي، علي مستوي الأسواق المالية وتتبع التوزيع التالي وفق الترتيب السابق (12.29%-41.02%-17.88%-

16.99%)، كما توصلت الدراسة لفعالية الخوارزميات الجينية في تحسين مستوي المخاطر ودعم اتخاذ القرار الاستثماري العقلاني.

- أجرت الباحثة "**همسة معن محمد ثابت**" سنة 2007 دراسة استخدمت فيها الخوارزميات الجينية في حل مسألة النقل، تم من خلالها اقتراح خوارزمية نقل جينية لإيجاد الحلول المثلي لمسائل النقل المتوازنة، وبعدد مرات التوليد التي قام بها الباحث في الخوارزمية المقترحة أدي إلي ظهور عدت حلول في هذه الدراسة من بينها الحل الأمثل، وبعد تطبيق الخوارزمية الجينية علي مثال تطبيقي وبطريقة أقل كلفة باستخدام لغة باسكال، وبعد اقتراح طفرة جديد في هذ العملية، وهو الأمر الذي حسن بشكل كبير في النتائج المتوصل إليها وبالتالي تقليل قيمة الكلفة الكلية.

المطلب الثالث: الدراسات الأجنبية

- قام "**Jun Hao** "و" **Qianqian Feng**" وآخرون، سنة 2022، في دراستهم للتنبؤ بسعر نفط برنت وغرب تكساس الوسيط، مقترحين نموذج ديناميكي بأوزان متغيرة مع مرور الوقت مع برمجة متعددة الأهداف لتحسين أداء التنبؤ، بحيث تعتمد الدراسة علي تطبيق الغابات العشوائية لتحديد وإنشاء أفضل المجموعات بالميزات الثنائية، وفي الأخير تم إستخدام الخوارزميات الجينية للفرز الغير مرتبط بالفرز، وحساب أخطاء التنبؤ لنموذج واحد في مراحل مختلفة، وإختيار النموذج الأمثل لتوليد وزن المجموعة المختارة، بحيث توصلوا في نهاية دراستهم إلي أن نموذجهم المقترح لديه قدرة علي التقليل من حجم خطأ التنبؤ المتأثر بعدم استقرار السلسلة الزمنية المتزايد.
- قام" **Krzysztof Drachal**" و" **Michał Pawłowski**" سنة 2021، في بحثهم بتطبيق الخوارزميات الجينية للتنبؤ بأسعار السلع وعلى وجه الخصوص سلع الطاقة والمعادن والمنتجات الزراعية، وحسب رأي الباحثين تم تطبيق هذا النهج بسبب عدم افتراض توزيع إحصائي معين، والقدرة علي التعامل مع البيانات الغير ثابتة، وهو الأمر الشائع في التنبؤ بأسعار السلع، بالإضافة إلي استعراض مزايا وعيوب الخوارزميات الجينية والخوارزميات الجينية الهجينة (المدمجة مع طرق الاقتصاد القياسي الأخرى) والاطلاع علي الأدبيات السابقة التي اهتمت بتطبيقها في مختلف المجالات، وهو ما دفع الباحثين علي الاتفاق حول إمكانية تحسين الخوارزميات الجينية من خلال تهجينها مع العديد من النماذج الإقتصادية القياسية مثل ANFIS و SSA-ANFIS و LSSVR و GPM و SVM، وهذا يؤكد أنه

لا يزال من الممكن إستخدام الخوارزميات الجينية بنجاح في العديد من المجالات، بما في ذلك التنبؤ، ومن مزايا الخوارزميات الجينية التي تمت مناقشتها في هذه الدراسة، هي عدم تعسفها (وهي مشكلة عندما يحاول الباحث اقتراح بنية نموذجية معينة)، كما توقعت الدراسة أن الخوارزميات الجينية يمكن أن تندمج بنجاح مع الأدوات الأخرى المطورة بالتوازي مع الاقتصاد القياسي وتكنولوجيا المعلومات، مثل تقنيات الزحف على الويب، وهذا يثبت أن الخوارزميات الجينية ليست فقط مناسبة للتنبؤ بأسعار السلع ، ولكن أيضًا قد يتم تطويرها بنجاح في المستقبل كأداة نظرية اقتصادية قياسية.

- اقترح **FutianWeng** وآخرون، سنة 2021، تنظيم الخوارزمية الجينية عن طريق آلة متطرفة عبر الأنترنت مع عامل النسيان (GA-RFOS-ELM)، قصد دراسة تأثير الأخبار أثناء جائحة كورونا علي التنبؤ بالعقود الآجلة للنفط الخام، حيث تم إستخدام النماذج المعيارية AR و RT و Bayes و SVR و ELM و OS-ELM و GA-OS-ELM لمقارنتها مع النموذج المقترح، وللحصول علي دقة التنبؤ لهذا النموذج والنماذج المقترحة تم تشغيلها 200 مرة في المتوسط، ويلاحظ أن نموذج GA-RFOS-ELM ينتج تنبؤات أكثر دقة من نماذج السبعة الأخرى من خلال مؤشر RMSE بتسجيله لأدني قيمة وهي 0.6414، وبالتالي تقترح الدراسة تطبيق نموذج GA-RFOS – ELM للتنبؤ بالمتغيرات الزمنية الأخرى أو الأسواق المالية، قصد توفير نماذج أخرى أكثر دقة للتنبؤ في الأبحاث المستقبلية.
- قام **HoomanAbdollahi** و **Seyed Babak Ebrahimi** في دراسة نشرت سنة 2020، باقتراح نموذج هجين يكون فيه خطأ التنبؤ ضئيلا، يتكون من نظام الاستدلال العصبي الغامض التكيفي (ANFIS) والمتوسط المتحرك للانحدار الذاتي المتكامل (ARFIMA) ونماذج Markov-Switching وذلك بغية الحصول علي توقعات دقيقة لسلسلة زمنية تجريبية لأسعار النفط برنت من سنة 2009 حتي 2017، حيث تم إدراج الخوارزميات الجينية في تخصيص أوزان محددة لكل نموذج ومقارنته مع عدت طرق ترجيح أخري، حيث توصلت النتائج العددية للدراسة أن النموذج الهجين الموزون بالخوارزميات الجينية يتفوق عمومًا على النماذج المكونة ، والنموذج الهجين ذي الأوزان المتساوية، والنموذج الهجين الموزون بناءً على قيم الخطأ، وحسب رأي الباحثين فإن دالة الترجيح الدقيقة هو السبب في نجاح النموذج المقترح في تحقيق دقة تنبؤ عالية.

- اقترح **Faisal Dharma** وآخرون، سنة 2020، في دراستهم القائمة علي التنبؤ بمعدلات التضخم في أندونيسيا لأربع أشهر قادمة، من خلال دراسة البيانات السابقة لمؤشر أسعار المستهلك (CPI)، نموذج من نماذج الانحدار المستندة إلى الخوارزمية الجينية للتنبؤ بمعدل التضخم، بهدف القيام بعملية التحسين للحصول على نموذج التنبؤ الأمثل، وبعد تدريب النموذج للتعامل مع مشكل الدراسة تم تقييمه، وبما أن التنبؤ كان من داخل العينة تم مقارنة النتائج المتحصل عليها مع النتائج الحقيقية المتحصل عليها من البنك المركزي الإندونيسي، مما أثبت أن النموذج فعال في عملية التنبؤ وبأقل مستوي للخطأ.

- قام **Mohsen Ahmadi** وآخرون سنة 2019، بالتنبؤ بالنمو الإقتصادي لإيران لفترتين زمنيتين منفصلتين من (1993 إلي 2013) ومن (2013إلي 2020) وذلك باستخدام مؤشرات اقتصاد المعرفةKBE ، وتم ذلك من خلال تطبيق الخوارزميات الجينية علي ثلاث مراحل وهي المعالجة المسبقة والمعالجة والمعالجة اللاحقة، بحيث تم في المعالجة المسبقة تحليل المكون الرئيسي وخوارزمية الاستنساخ، لتقليل عدد المتغيرات وزيادة حجم البيانات، وتوقعت الدراسة النمو الإقتصادي أثناء المعالجة باستخدام الإدراك متعدد الطبقات (MLP) ونظام الاستدلالات العصبية الضبابية التكيفية وبرمجة التعبير الجيني (GEP)، وتم تطبيق نموذجMLP للتنبؤ للفترة الأولي ونموذج GEP في التنبؤ للفترة الثانية، واستخدام النتائج لتقدير النمو الإقتصادي بين فترات التنبؤ، ومن خلال الخريطة ذاتية التنظيم للتعرف علي العلاقة بين المتغيرات، تين تفوق الخوارزمية الجينية في التنبؤ متعدد المتغيرات.
- في دراسة ل **Sujatha Srinivasan** و **T. Kamalakannan** سنة 2017، حول تحليل المخاطر في المؤسسات المالية و التنقيب عن البيانات والذي أعتبر مشكلة صنع قرار متعدد المعايير، تم اقتراح خوارزمية جينية متعددة الأغراض (MOGA)، من أجل تحليل البيانات المالية والتنبؤ بالمخاطر، حيث تم تطبيق الخوارزمية الجينية المقترحة على مجموعة من البيانات المعيارية للتنبؤ بالقرارات المتعلقة بالحصول علي بطاقات الائتمان وتطبيقات الائتمان من طرف العملاء، بحيث تعمل الخوارزمية الجينية المقترحة على توسيع الخوارزمية التطورية الموجودة في الأدبيات السابقة من خلال إضافة مكون الذاكرة للاحتفاظ بالقواعد الوسطية المنتجة، وحسب رأي الباحثين فإن النتائج كانت مشجعة، بحيث أن الخوارزمية المقترحة قادرة على اكتشاف الأنماط الصالحة من البيانات، وإنشاء مجموعة كبيرة من القواعد الفريدة، وبالتالي القدرة على التنبؤ واتخاذ القرار الأفضل للحد من المخاطر، وما اعتبره الباحثون عيب في الدراسة هو إستخدام الخوارزميات

الجينية عتبة لمقاييس التقييم واختبار القواعد للجيل القادم بدلا من إستراتيجية التحسين، مثل إستراتيجية تحسين Pareto لتحسين تقارب الحل وتحسين دقة التصنيف وتقليل تعقيد المصنف وهو مقترحوه كآفاق لبحثهم.

- قدم **Stelios A. Mitilineos**، سنة 2017، في دراسته باقتراح إستخدام الخوارزميات الجينية GA للتنبؤ بالقيم المستقبلية لمؤشرات سوق الأوراق المالية وهي مؤشر (Deutscher Aktien DAX)،ومؤشر(CotationAssistéeenContinuCAC)ومؤشر(ÍndiceBursátilE spañolIBEX)، ومؤشر البورصة البرتغالية (PSI)، ومؤشر أثينا للأوراق المالية (ASE)، وتركز الورقة على قيم مؤشرات سوق الأسهم، لأنها تقلبات أقل مقارنةً بالأسهم الفردية، ومن أجل تحقيق ذلك قام الباحث باستخدام أدوات قوية للتنبؤ والتحسين غير الخطي، مثل الشبكات العصبية (NN) والخوارزميات الجينية (GAs)، وقام بتطوير طريقتين للتنبؤ الحتمي (الانحدار المتوسط والبسيط)، وثلاث تقنيات عشوائية، وهيNNs مدربة على وظائف تقليدية، وNNs مدربة على GAs، وانحدار متعدد محسّن بواسطة GAs، وبعد تطبيق GA في تحسين معلمات الانحدار المتعدد الجديد على قيم السلاسل الزمنية السابقة، وNN المقترحة مع وظائف التدريب القائمة على التدرج، أظهرت أداءً فائقًا مقارنة بتقنيات قياس الأداء البسيطة، مثل الانحدار الخطي المتوسط أو البسيط، ولاكن التدريب باستخدام GA أو الانحدار المتعدد على قيم السلاسل الزمنية أسفر عن نتائج أقل جودة.
- قامت **Emmilya Umma Aziza Gaffar** سنة 2016، بتطوير الخوارزميات الجينية لتحليل وتوقع النمو الإقتصادي الإقليمي، ل 13مقاطعة من شرق كاليمانتان وتغطي الدراسة مجموعة البيانات من 2002 إلي2012، حيث تعتبر الدراسة حصة الزراعة وحصة الصناعة كمتغيرات مستقلة، وقد أظهر نتائج الدراسة أن تطبيق نموذج GA الذي تم تدريبه واختباره باستخدام معايير Best-Fit في نمذجة النمو الإقتصادي الإقليمي قد وصل لنسبة قدرها 90.61٪ والتي تعتبر نتيجة جيدة للغاية.
- اهتمت **Leila Bateni** و **Farshid Asghari** في دراسة لهم سنة 2016، بإجراء مقارنة بين نموذج ثابت منطقي بسيط هو نموذج logit والخوارزميات الجينية GA، في التنبؤ بإفلاس الشركات في إيران، بحيث أن بيانات هذه الدراسة مستمدة من 528 شركة مدرجة في بورصة طهران من سنة 2006 إلي 2014، وقد وصلت دقة التنبؤ في هذه الدراسة بالنسبة للخوارزميات الجينية إلي 95% في عينات

التدريب والاختيار، في مقابل 75% بالنسبة لنموذج logit، وهذا يدل على أن كلا النموذجين لديهم القدرة على التنبؤ بالإفلاس، ولكن الخوارزميات الجينية كانت أكثر دقة وكفاءة في هذا الصدد.

- قدم" **Sam Mahfoud**و**Ganesh Mani** " سنة 2013 دراسة لنظام جديد يستخدم الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالأداء المستقبلي للأسهم الفردية، بغية توسيع مجال أداء الخوارزميات الجينية من مجال التحسين التقليدي إلي التعلم الآلي والتصنيف الاستقرائي لإيجاد حلول متعددة، قامت هذه الدراسة على التنبؤ بقيمة خطوات السلاسل الزمنية في المستقبل، وبالتحديد العوائد النسبية للسهم بعد 12 أسبوع وبطرح متوسط عائد السهم من عائد السهم لأكثر من 1600سهم التي تم تمثيلها، ثم التنبؤ بجميع الأسهم التي تزيد عنها في ثلاث فترات زمنية، بالإضافة إلي قيام الباحثين بإجراء مقارنة بين الخوارزميات الجينية القائمة علي التعلم الآلي والشبكات العصبية، في أكثر من 5000 عملية تنبؤ تم إجرائها، وخلصت الدراسة إلي تفوق كلا النظامين على السوق وبشكل ملفت، ولاكن النتائج النهائية للخوارزميات الجينية كانت أفضل.

- قدم **S. Thomas Ng** و **Martin Skitmore** سنة 2008 دراسة قائمة علي المقارنة بين أربعة نماذج تم بنائها للتنبؤ بعرض السكن في القطاع الخاص في مدينة هونغ كونغ، باعتباره من أهم مؤشرات الاستقرار الإقتصادي، وهي نموذج تحليل الانحدار الخطي (LRA)، ونموذج الخوارزميات الجينية(GA)، ونموذج مدمج بين الخوارزميات الجينية وتحليل الانحدار الخطي GA-LRA، بحيث تم إستخدام تحليل الانحدار الخطي لتحديد متغيرات المؤشر، بالإضافة إلي نموذج GA-LRA مع معدل الطفرة التكيفية (AMR) لتجاوز وجود مشكلة أمثلية محلية، وبعد اختبار النماذج الأربعة من حيث دقة التنبؤ، تبين أن نموذج GA-LRA مع معدل الطفرة التكيفية (AMR) هو أكثر النماذج فعالية وخاصة في المدي الطويل، وهو ما يساعد صناع القرار لإصدار الأحكام في الوقت المناسب حسب رأي الباحثين.

- قام **MARCOS ALVAREZ-DIAZ** و **ALBERTO ALVAREZ** سنة 2003، في دراستهم والتي تهتم بالتنبؤ بأسعار الصرف لمجموعة من العملات الأجنبية مقابل الدولار مثل اليورو والجنيه الإسترليني والمارك الألماني و والين الياباني والفرك الفرنسي وغيرها من العملات، بحيث أن هذه الدراسة قائمة على افتراض أن التغيرات في أسعار الصرف قد تكون غير مرتبطة بشكل خطي، وأن العلاقة بينها وخاصة في الدول الكبرى يمكن تقريبها بشكل جيد من خلال نموذج المشي العشوائي، وهو ما دفع

الباحثين إلي تطبيق الخوارزميات الجينية لمحاولة تقريب رسم الخرائط في الحالة المحددة للتطور الزمني لأسعار الصرف خلال أسبوع، وبالتالي تحديد ما إذا كانت النمذجة الغير الخطية باستخدام الخوارزميات الجينية GAs يمكن أن تعمل بشكل جيد علي تحسين قوة التنبؤ لفرضية السير العشوائي، وأيضا إيجاد وظيفة تحليلية تقترب بشكل أفضل من التغير الزمني لأسعار الصرف المدروسة من خلال قيمها السابقة، وفي الأخير تأكد تفوق النماذج الرياضية التي وجدتها الخوارزميات الجينية على نماذج المشي العشوائي، والتي تبن أن خصائصها اللاخطية لا يمكن استغلالها للتنبؤ بشكل جيد.

المطلب الرابع: أوجه التشابه والاختلاف بين دراستي والدراسات السابقة

يتم إظهار الاختلاف بين دراستي والدراسات السابقة، أولا بعرض ملخص لبعض الدراسات السابقة لكي تتضح الإضافة التي يمكن أن نحققها من خلال دراستنا.

أولا: عرض ملخص لأهم الدراسات السابقة (عينة الدراسة– بناء النموذج)

وضعت هذا الجدول كي أستعرض بوضوح، كيف تناولت الدراسات السابقة منهجية الخوارزميات الجينية في تحقيق الهدف من الدراسة، والذي يعتبر هدف مشترك وهو التنبؤ، ولاكن الأسلوب يختلف وهو أنا الدراسات السابقة اختلف كلها من حيث بناء النموذج الهجين والذي لا يعتمد بشكل منفرد على الخوارزميات الجينية في عملية التنبؤ.

الجدول (3): ملخص الدراسات السابقة التي قامت بتهجين الخوارزميات الجينية:

المؤلف	العنوان	النموذج الهجين	عينة الدراسة	تقييم النموذج
Seyed Babak Ebrahimi	نموذج هجين جديد للتنبؤ بسعر خام برنت	ANFIS-ARFIMA-MARKOV-GA	أسعار النفط(إيران): 2017-2009	النموذج الموزون بالخوارزميات الجينية حقق دقة عالية في عملية التنبؤ
Chorng-Shyong Ong	تحديد نموذج لعائلة ARIMA	ARIMA-GA	التنبؤ بأسعار شركة DRAM	تحديد النموذج القائم على GA قدم حلول أفضل

	باستخدام الخوارزميات الجينية		المتخصصة في صناعة أشباه الموصلات	
Eugen Stripling	نموذج لوجستي لتعظيم الربح للتنبؤ بتضارب العملاء باستخدام الخوارزميات الجينية	-ProfLogit GA	التنبؤ بالربح الأقصى المتوقع لمجموعة من الشركات	الخوارزميات الجينية هي أفضل أداة تحسين
Farshid Asghari	التنبؤ بالإفلاس باستخدام نماذج الخوارزميات المنطقية والجينية: تحليل مقارن	Logit -Model GA	528 شركة مدرجة في بورصة طهران	الخوارزميات الجينية حققت دقة تنبؤ وصلت الى 95%
موفق عمر	تطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بتطاير الأسواق المالية	ARIMA-GARECH -GA	بورصة تونس، بورصة الدار البيضاء، بورصة نيويورك	دقة النموذج الهجين في تجاوز الأخطاء الشائعة للنماذج كلاسيكية
مروة زهواني	تطبيق نماذج الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بمخاطر التعثر المالي في المؤسسات الإقتصادية (دراسة حالة)	ANN-GA	1550 مؤسسة وطنية	أفضلية الخوارزميات الجينية وخاصة عند تدريبها بالشبكات العصبونية، في تحقيق دقة عالية في التنبؤ

S. Thomas Ng	إستخدام الخوارزميات الجينية وتحليل الانحدار الخطي لتوقعات الطلب على المساكن الخاصة	GA-LAR	معدل الطلب على السكن في القطاع الخاص- هونغ كونغ	يوفر أكثر التنبؤات دقة وعلى مدى أفق زمني أطول
Hyejung Chung	شبكة عصبية تلافيفيه متعددة القنوات مُحسَّنة من خلال الخوارزميات الجينية للتنبؤ بسوق الأوراق المالية	GA-CNN	تم استخدام بيانات 17 عامًا لمؤشر KOSPI اليومي من 4 يناير 2000 إلى 31 ديسمبر 2016	حقق النموذج الهجين فعالية كبيرة في التنبؤ بالمقارنة مع الشبكات العصبية
Futian Weng	التنبؤ بالتقلبات في العقود الآجلة للنفط الخام على أساس الخوارزمية الجينية، آلة التعلم المتطرفة عبر الإنترنت مع عامل النسيان: دور الأخبار خلال جائحة COVID-19	GA-RFOS-ELM	تقلبات أسعار النفط الخام	يعد نموذج المقترح فعالا جدا، في التنبؤ بتقلبات العقود الآجلة للنفط الخام
Beyzanur CayirErvural	تقدير نموذج لـ ARMA باستخدام	ARMA-GA	معدل استهلاك الغاز الطبيعي في إسطنبول	النموذج الهجين أكثر قوة ويتفوق على نماذج ARMA الكلاسيكية من حيث متوسط النسبة

	الخوارزميات الجينية: دراسة حالة للتنبؤ باستهلاك الغاز الطبيعي			المئوية للخطأ المطلق (MAPE) وقيم دالة التكلفة
Faisal Dharma	توقع معدل التضخم الإندونيسي باستخدام نموذج الانحدار القائم على الخوارزميات الجينية	GA-MLR	البيانات السابقة لمؤشر أسعار المستهلك (CPI) أندونيسيا (2006-2018)	أثبت النموذج المقترح أنه فعال في التنبؤ بمستوى التضخم حيث يحقق MSE بمقدار 0.1099
Emmilya Umma Aziza Gaffar	توقع النمو الإقتصادي الإقليمي في شرق كاليمانتان باستخدام الخوارزمية الجينية	GA- Best-Fit	النمو الإقتصادي الإقليمي REG لي 13 مقاطعة كاليمانتان الشرقية (2002-2012)	أشار النتائج إلي أن الخوارزميات الجينية كانت جيدة في عملية التنبؤ بالنمو الإقتصادي الإقليمي

المصدر: من إعداد الطالب.

شرح بعض المصطلحات التي وردت في ملخص الجدول أعلاه:

الجدول (4): شرح المصطلحات

CNN	الشبكة العصبية التلافيفية
GA	الخوارزميات الجينية
LAR	تحليل الانحدار الخطي
ANN	الشبكات العصبونية
MLR	الانحدار الخطي المتعدد
Logit	النموذج اللوجيستي
ANFIS	نظام الاستدلال العصبي الغامض التكيفي
ARIMA	نماذج الانحدار الذاتي المتكامل والمتوسطات المتحركة
GARECH	نماذج الانحدار الذاتي المشروط بعدم تجانس التباين
ARFIMA	نماذج الذاكرة الطويلة
Best-Fit	هو معيار يستخدم في تحديد النموذج الذي يتناسب مع البيانات المتاحة

المصدر: من إعداد الطالب.

ثانيا: إبراز أهم عناصر الاختلاف بين دراستي والدراسات السابقة:

يكون الاختلاف بين البحوث العلمية بناءا على هذه المعايير.

1. من حيث متغير الدراسة: أغلب الدراسات السابقة قامت بتطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بمتغيرات ذات بيانات يومية أو شهرية مثل مؤشرات البورصة، وأسواق الأوراق المالية، بالإضافة إلى ذلك أغلب هذه المتغيرات عبارة عن سلسلة زمنية تتميز بتقلبات سريعة، مثل دراسة "موفق عمر" و"FutianWeng"..... وغيرهم، على عكس دراستي والتي قمت فيها بالتنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر ذو البيانات السنوية والتي تتميز بعدد أقل من القياسات وملاحظات.

2.من حيث هدف الدراسة: كل الدراسات السابقة اتفقت على هدف واحد من تطبيق نموذج الخوارزميات الجينية، وهو تحسين دقة التنبؤ وتحليل سلوك المتغيرات الإقتصادية التي تتميز بالجموح وعدم الاستقرار، بالإضافة إلى تجاوز الأخطاء الشائعة في النماذج القياسية كلاسيكية، وهو نفس الهدف الذي دفعني إلى تطبيق هذا النموذج.

3.من حيث التقنيات المستخدمة: ما لاحظناه في معظم الدراسات السابقة أنها تقوم ببناء نماذج هجينية من الخوارزميات الجينية والنماذج القياسية مثل:ARIMA و GARECH و MLR.....إلخ، أو تقنيات ذكاء اصطناعي أخري مثل الشبكات العصبونية ANN، وذلك لأن الخوارزميات الجينية تتعامل مع النماذج فقط بالإضافة إلي ذلك النماذج الهجينة تكتسب أكثر جودة ودقة في التنبؤ حسب آراء الباحثين وتتغلب على مشاكل التنبؤ الشائعة وتستطيع التعامل مع جميع المتغيرات، وهذا ما سوف أقوم به في دراستي، وهو بناء نموذج هجين يجمع بين نماذج ARIMAو الخوارزميات الجينية التي سوف أستخدمها كأداة في المفاضلة بين نماذج التنبؤ من خلال إختيار درجة التأخير المثلي.

4. من حيث البرمجيات المستخدمة:

هناك ثلاث برمجيات متخصصة في تطبيق الخوارزميات الجينية وأغلب الدراسات السابقة كانت قد اعتمدت عليها وهي:

1.4. R: يعتبر بيئة للحوسبة الإحصائية، وهي عبارة عن مشروع تم تطويره من طرف GNU وهو مشابه للغة S وبيئتها، حيث يتوفر R كبرمجية مفتوحة المصدر، يمكن تشغيله على مجموعة متنوعة من منصات مثل UNIX و Windows و MacOS.

2.4. MATLAB: برنامج يتم الاعتماد عليه في الحوسبة الفنية والعلمية، وهو مخصص لمعالجة الإشارات والرؤية الحاسوبية والرياضيات و الهندسة، حيث أن له قدرة عالية على إجراء الحسابات الرقمية والرسوم البيانية وتحليل البيانات وتطبيق الخوارزميات الرياضية.

3.4. Python: لغة البرمجة بايثون هيمن اللغات التي تتميز بسهولة تعلمها واستخدامها، لها القدرة علي دعم مجموعة واسعة من التطبيقات مثل تطوير الويب و معالجة البيانات والذكاء الاصطناعي وغيرها.

ولكن ما لاحظته أنا أكثر البرمجيات التي تم الاعتماد عليها في أغلب الدراسات السابقة في تحسين النماذج باستخدام الخوارزميات الجينية هي R وPython

وفي دراستي سوف أعتمد على برنامج Matlab، وذلك لسببين، أولا قوة هذا البرنامج في التعامل مع النماذج، وثانية في محاولة مني لاكتساب مهارة في التعامل مع هذه اللغة، والتي تعتبر طفرة في هذا المجال.

خلاصة الفصل الأول:

قمنا بتخصيص هذا الفصل لاستعراض الأدبيات النظرية للنمو الإقتصادي والخوارزميات الجينة بالإضافة إلى الدراسات السابقة، وذلك من خلال تقسيمه إلى ثلاث مباحث، حيث تم التطرق في المبحث الأول إلي المفاهيم العامة للنمو الإقتصادي بداية بشرح مفهوم النمو الإقتصادي حسب رأي عدد معتبر من الباحثين، بالإضافة إلى شرح عناصره ومحدداته ومناقشة مجموعة من النظريات والنماذج الخاصة بالنمو الاقتصادي.

وفي المبحث الثاني قمنا بالتطرق إلى المفاهيم المتعلقة بالخوارزميات الجينية والذي يضم مجموعة من المطالب، والتي شرحنا فيها مفهوم الخوارزميات الجينية وذكر خصائصها ومكوناتها بالإضافة إلى ذكر مجموعة من المزايا والعيوب التي تمتلكها هذه المنهجية.

أما المبحث الثالث فتم تخصيصه لمراجعة الدراسات السابقة لموضوع الأطروحة بداية بإظهار التطور التاريخي لدرجة الاهتمام بتطبيق الخوارزميات الجينية في البحوث الإقتصادية، بالإضافة إلى تقسيمها بين دراسات أجنبية ودراسات محلية، وفي الأخير تم إبراز أوجه التشابه والاختلاف بين دراستي والدراسات السابقة.

وبعد شرح ومناقشة الأساسيات النظرية للموضوع، سوف نمر إلي الشق الثاني الذي سوف تتم فيه عملية تطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر واستخلاص النتائج ومعالجة الفرضيات، مع التوصل إلى إجابة منطقية عن الإشكالية المطروحة.

الفصل الثاني: الإطار العملي لتطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر

تمهيد الفصل الثاني:

في هذا الفصل سوف نقوم بتطبيق نماذج ARIMA بالإضافة إلى الخوارزميات الجينية GA في عملية التنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر، ويكون هذا وفق المنهجية التالية: تحديد مجتمع الدراسة ثم بناء النماذج التنبؤية، وبعد الحصول على النتائج وتحليلها ومناقشتها تتم عملية المقارنة بين النماذج المستخدمة في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر.

بخصوص البرمجيات المستخدمة، فأغلب الدراسات السابقة التي طبقت منهجية الخوارزميات الجينية، اعتمدت على برمجية R و Python و Solver و Julia

أما في دراستنا سوف نعتمد على برمجية Matlab في بناء نموذج الخوارزميات الجينية، وفي ما يخص معالجة وفحص النماذج القياسية سوف نعتمد على برمجية Eviews.

من خلال ما سبق نقسم الفصل الثاني إلي ثلاث مباحث:

المبحث الأول: عينة الدراسة والأدوات المستخدمة

المبحث الثاني: صياغة نماذج التنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر

المبحث الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

المبحث الأول: متغير الدراسة والأدوات المستخدمة

في هذا المبحث سوف نقوم بالتعريف بمتغير الدراسة، بالإضافة إلى المنهجيات المعتمدة في عملية التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر من خلال تعريفها وشرح خطوات عملها، ثم التطبيق الفعلي لها.

المطلب الأول: متغير الدراسة

في دراستنا تم إختيار معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي للجزائر من سنة 1980 إلى 2022، كمؤشر لقياس النمو الإقتصادي للجزائر والتنبؤ بسلوكه، وذلك لأنه يعتبر مؤشر قياس قوي لدراسة الوضع الإقتصادي لأي بلد ومحل اهتمام الكثير من الباحثين وصناع القرار، بالإضافة إلى أن هذا المؤشر يعتمد على النسب وهو ما سوف يساعدنا على الشرح والتحليل، وهو ما دفع إلى اعتماده في الكثير من الدراسات السابقة.

يمكن تعريف متغير الدراسة من خلال الرموز الدالة عليه ومصدر البيانات في الجدول الموالي:

الجدول (1): التعريف بمتغير الدراسة.

متغير الدراسة	الرمز	مصدر البيانات	البلد	السنوات
معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي	GDP	بيانات البنك الدولي	الجزائر	2022-1980

المصدر: من إعداد الطالب

الناتج المحلي الإجمالي GDP: هي عبارة عن مشاهدات لقيم الناتج المحلي الإجمالي للجزائر خلال فترة زمنية تتراوح بين سنة 1980 و2022، وهي عبارة عن عملية الزيادة المتراكمة للدخل الحقيقي، بحيث تتكرر بشكل مستمر وعبر فترة زمنية ممتدة بين حيز زمني وتكون هذه الزيادة في الغالب أكبر من معدل النمو السكاني.

المطلب الثاني: التحليل الإحصائي لمتغير الدراسة

قبل أن نستخدم هذه المتغير في دراستنا علينا أن ندرس سلوكه أولا، واختبار ما إذا كان صالح للدراسة والتنبؤ.

الجدول (2): البيانات الإحصائية للمتغير GDP

Series: GDP	
Sample 1980 2022	
Observations 43	
Mean	2.578851
Median	3.100000
Maximum	7.200000
Minimum	-5.100000
Std. Dev.	2.450679
Skewness	-0.747720
Kurtosis	3.883984
Jarque-Bera	5.406835
Probability	0.066976

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجات Eviews12.

يظهر من خلال الجدول (2) أن قيم المتغير GDP خلال فترة الدراسة محصورة بين أقل قيمة 5.1- وأعلي قيمة 7.2 فتكون السلسلة ضمن مدي 12.3 والذي يعكس نوعا ما تقارب القيمتين الحديتين، وبمتوسط بلغ 2.578851 ووسيط قدر ب 3.1 وهما قيمتين قريبتين من بعضهما، وهذا يدل على أن بيانات القيم تميل إلى التماثل.

الشكل (1): تطور سلسلة معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي للجزائر خلال الفترة الزمنية (1980-2022).

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجات. Eviews12

من خلال الملاحظة والتتبع للتطور التاريخي لبيانات معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي، يمكننا القول أن هذه السلسلة الزمنية تتميز بالاستقرارية، وذلك لاحتوائها علي متوسط وتباين ثابتين عبر الزمن، ضف إلي ذلك تعرض سلسلة الناتج المحلي إلى نزول معلاتها لقيم سالبة بين الفترتين (1990-1985)، وهو الأمر الذي يرجع ربما إلي الوضع السياسي الذي كانت تمر به الجزائر آنذاك، وما يلفت الانتباه أيضا هو الانخفاض الحاد في معدل السلسلة في الفترة (2020)، والذي يطلق مجموعة من التكهنات حول مصدر الأثر، لأن الجزائر كانت تمر بوضع صحي عالمي وهو(كوفيد19) ووضع سياسي وهو(الحراك)، وكل هذه الملاحظات تدل على أن المتغير الذي قمنا باختياره يصف بشكل جيد الوضع الإقتصادي للجزائر، وبالتالي تكون هناك أهمية لتنبؤنا.

المطلب الثالث: أدوات الدراسة

في دراستنا قمنا بالاعتماد على ثلاث منهجيات في عملية التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر، وسوف نقوم بتعريفها وتوضيح خطوات عملها بإيجاز.

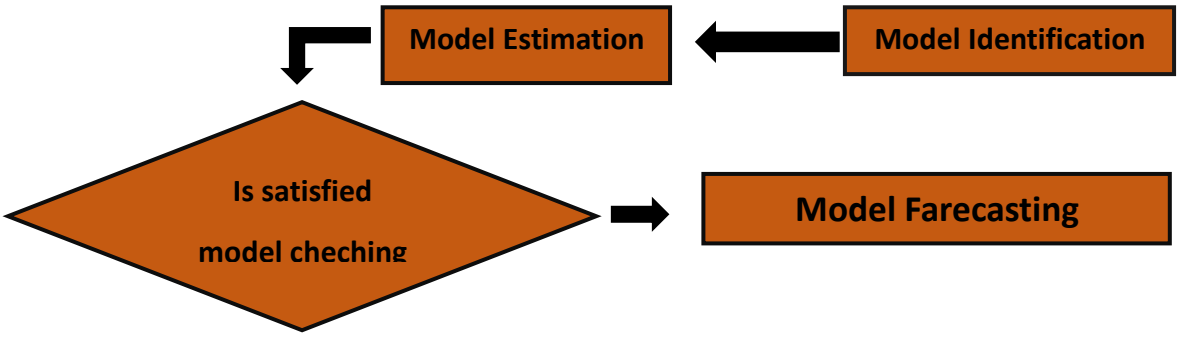
أولا: منهجية ARIMA

هي المنهجية التي أسس لها "Box – Jenkinsù" لتحليل بيانات السلاسل الزمنية الثابتة أحادية المتغير، تم إستخدامها في مجالات مختلفة بهدف التنبؤ، يمكن وصف الشكل المعمم لـ ARIMAعلي النحو التالي:

$$\phi(B)\Phi(B^s)(1-B)^d(1-B)^D Y_t = \theta(B)\Theta(B^s)Z_t,$$

مراحل تطبيق منهجية ARIMA في عملية التنبؤ:

الشكل (2): مراحل بناء نماذج ARIMA



المصدر: Ong, C. S., Huang, J. J., &Tzeng, G. H. (2005) , P2

1/ مرحلة التعرف والتشخيص (Identification)

تعد مرحلة أساسية ومهمة في بناء النموذج الذي يلائم السلسلة الزمنية التي لدينا، من خلال البحث في عائلة ARIMA، حيث أننا نقوم بتحديد رتبة النموذج الملائم وهي رتبة الانحدار الذاتي (p)، ورتبة التكام(d) ، ورتبة المتوسط المتحرك(q)، وذالك بالاعتماد على دالة الارتباط الذاتي AutocorrelationFunction (ACF)، ودالة الارتباط الذاتي الجزئي Partial AutocorrelationFunction(PACF)، في تحديد رتبة نموذج ARIMA(p,d,q).

ملاحظة: يتم تحديد درجة التكامل d من خلال فحص سكون السلسة، فإذا كانت السلسلة غير ساكنة في الوسط والتباين، فإنه يتم معالجة ذلك بأخذ الفرق الأول، فإذا لم تستقر نأخذ الفرق الثاني، أما عدم السكون في التباين فيتم معالجته باستخدام التحويلة المناسبة للبيانات، وتعتبر التحويلة اللوغاريثمية وتحويلة الجذر التربيعي من أكثر التحويلات استخداما (بشيشي، مجلخ، و بعلي، 2018).

2/ مرحلة التقدير Estimation

وتعتبر المرحلة الثانية من مراحل دراسة استقراريه السلاسل الزمنية وتحليلها، وبعد تشخيصنا للنموذج الذي يلائم بياناتنا تأتي مرحلة التقدير، وذلك لضمان تحقيقه للهدف الأساسي وهو التنبؤ، وهناك عدة طرق لتقدير معالم النموذج ومن أبرزها:

- طريقة المربعات الصغرى الاعتيادية Method of Ordinary Least Squares (O.L.S.E.)
- طريقة الإمكان الأعظم Maximum Likelihood Method

3/ مرحلة فحص النموذج (Model Checking)

من خلال هذه المرحلة يتم بناء النموذج المقدر، بالاعتماد على الرسوم البيانية والاختبارات الإحصائية لتحليل بواقي النموذج واختبارها للتأكد من أنها تتبع توزيع الطبيعي ولا تتصف بنط غير عشوائي من خلال سلوكها.

4/ مرحلة التنبؤ

توضيح كيفية الحصول على توقعات نماذج ARIMA من خلال حساب توقعات النقاط، وذلك باستخدام الخطوات الثلاث التالية:

- القيام بتوسيع معادلة ARIMA بحيث تكون y_t في الجانب الأيسر وجميع المصطلحات الأخرى على اليمين؛
- إعادة كتابة المعادلة باستبدال t بـ T + h؛
- على الجانب الأيمن من المعادلة، القيام باستبدال الملاحظات المستقبلية بتوقعاتها، والأخطاء المستقبلية بصفر، والأخطاء السابقة بالمخلفات المقابلة.

بدءًا من h= 1، تتكرر هذه الخطوات بعد ذلك لـ h=1,2..... حتى يتم حساب جميع التوقعات.(Hyndman و Athanasopoulos، 2018)

ثانيا: منهجية الخوارزميات الجينية GA

الخوارزميات الجينية هي تقنية البحث العشوائي عن الحلول المثلي وتعتمد في ذلك على مبدأ محاكات عملية التطور الطبيعي الذي وضعه داروين، تتميز الخوارزميات الجينية عن بقية التقنيات في توليدها لحلول جديدة معتمدة في ذلك على تشفير الحلول الممكنة بشكل معروفة باسم "الكروموسومات"، حيث تحمل هذه الكروموسومات مجموع من الصفات الجيدة والسيئة، وتقوم الخوارزميات الجينية بتجميع وتغيير نمط أو شكل هذه الكروموسومات لإنتاج أفراد جدد، والتي تستخدم لحل المشاكل متعددة.

خطوات تطبيق الخوارزميات الجينية GAفي عملية التنبؤ:

وهي المراحل التي تمر عليها الخوارزمية الجينية في بناء نماذج

الشكل (3): المخطط العام للخوارزميات الجينية.

المصدر: Sharma, D.K., Hota, H.S., Brown, K. et al. Integration of genetic algorithm with artificial neural network for stock market forecasting. Int J Syst Assur Eng Manag 13 (Suppl 2), 828–841

1. **تحديد المشكلة**: قبل البدء في تطبيق الخوارزميات الجينية، يجب تحديد المشكلة التي ترغب في حلها أو التنبؤ بها.

2. **تحديد المتغيرات الجينية**: قم بتحديد المتغيرات التي ستستخدمها في الخوارزمية الجينية، هذه المتغيرات يمكن أن تكون الخصائص أو السمات التي ترغب في التنبؤ بها.

3. **تشفير الحلول المحتملة**: قم بتشفير الحلول المحتملة في صورة سلاسل جينية، ويمكن إستخدام البتات أو الأرقام أو الرموز لتمثيل المتغيرات الجينية.

4. **تهيئة المجتمع الأولي**: قم بإنشاء سكان أوليين للحلول المحتملة، حيث يمكن أن يكون هذا عبارة عن مجموعة عشوائية من السلاسل الجينية.

5. **تقييم الحلول**: القيام بتقييم الحلول المحتملة باستخدام وظيفة تقييم، يتم إستخدام هذه الوظيفة لتحديد مدى جودة الحلول المحتملة وإختيار الأفضل من بينها.

6. **التكاثر والتطور**: القيام بتطبيق عمليات التكاثر والتطور على السكان الحاليين، يتم إستخدام عمليات مثل التهجين والاختيار الطبيعي لإنشاء سكان جدد يتمتعون بمستوى أفضل من الجودة.

7. **التكرار**: قم بتكرار الخطوات 5 و6 حتى تحصل على حل مرضٍ يلبي متطلباتك.

8. **تحليل النتائج**: قم بتحليل النتائج النهائية وتقييم جودتها وملاءمتها للمشكلة المحددة.

المبحث الثاني: صياغة نماذج التنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر للفترة (1980-2022).

وصلنا إلى المرحلة الرئيسية وهي التنبؤ معدلات الناتج المحلي الإجمالي للجزائر، والذي سوف نقوم به بعدة نماذج.

المطلب الأول: تطبيق منهجية ARIMA في نمذجة معدلات نمو الناتج المحلي الإجمالي للجزائر.

النمذجة و التنبؤ بمعدل نمو الناتج المحلي الإجمالي لدولة الجزائر خلال الفترة الزمنية (1980-2022)

والتي سوف تتم على عدة مراحل:

1. مرحلة التعرف والتشخيص

تم الحصول على البيانات المطلوبة من مستودع البنك الدولي للمعلومات، وهو عبارة عن معدلات نمو الناتج المحلي الإجمالي للجزائر خلال الفترة الزمنية (1980-2022)، ما مجموعه 43 ملاحظة سنوية.

إختبارات الإستقرارية.

الجدول(2): نتائج إختبار ديكي فولر الموسع (ADF)

مستوي الفرق	النموذج	الإحصائية المحسوبة	الإحتمال
عند المستوي	حد ثابت واتجاه عام	-4.328650	0.0070
	بدون حد ثابت	-4.360853	0.0012
	بدون حد ثابت واتجاه عام	-1.629837	0.4886
الفرق الأول	حد ثابت واتجاه عام	-6.361631	0.0000
	بدون حد ثابت	-6.543443	0.0000
	بدون حد ثابت واتجاه عام	-6.615325	0.0000

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجات. Eviews12

للتأكد أكثر من نتائج اختبار جذر الوحدة، نمر للاختبار الثاني وهو اختبار "فليبس بيرون".

الجدول (3): نتائج اختبار فليبس بيرون (PP test).

مستوي الفرق	النموذج	الإحصائية المحسوبة	الإحتمال
عند المستوي	حد ثابت واتجاه عام	-4.435934	0.0053
	بدون حد ثابت	-4.464509	0.0009
	بدون حد ثابت واتجاه عام	-2.470157	0.0147
الفرق الأول	حد ثابت واتجاه عام	-10.37544	0.0000
	بدون حد ثابت	-10.53466	0.0000
	بدون حد ثابت واتجاه عام	-10.70799	0.0000

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجات. Eviews12

بعد إجراء اختبارات جذر الوحدة على السلسلة الزمنية GDPالذي كانت نتائجه معطاة في الجدولين أعلاه، اتضح أنها مستقرة في المستوي، وذلك من خلال معنوية إحصائية t. stat والتي كانت أقل من مستوي معنوية 5%

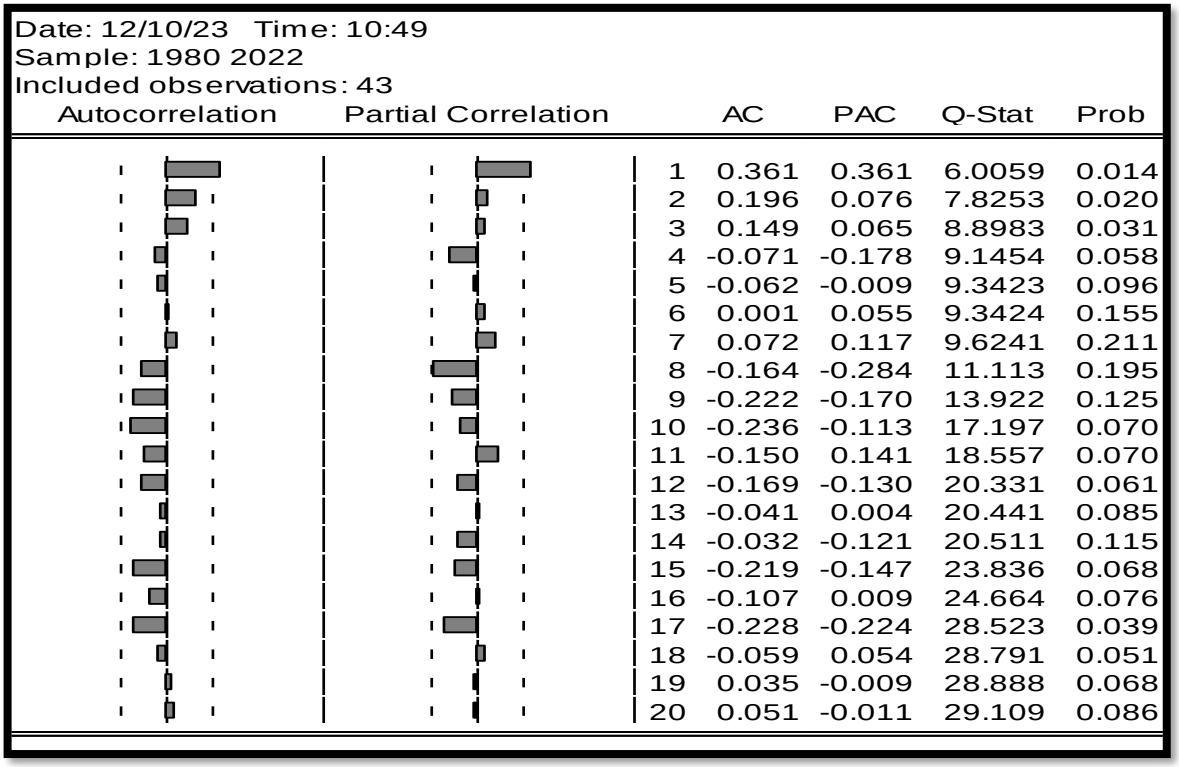
بالنسبة لكلا الاختبارين adf و pp، ومن خلال هذه النتائج يمكننا تطبيق منهجيةARIMA في النمذجة والتنبؤ بمتغير الدراسة.

2. مرحلة التعرف على النموذج

بعد الحصول على سلسلة مستقرة يتم إختيار النموذج الأنسب من خلال تحديد الرتب (p,d,q) في نماذج ARIMA حتى يمكن تقديرها، حيث يمكن المقارنة ومعرفة النموذج الملائم بشكل مبدئي، أي تحديد أولي لقيم (p,d,q) من خلال دالتي الارتباط الذاتي البسيط والجزئي.

الشكل (4): دالة الارتباط الذاتي والجزئي للسلسلة GDP.

Date: 12/10/23 Time: 10:49
Sample: 1980 2022
Included observations: 43



Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	0.361	0.361	6.0059	0.014
		2	0.196	0.076	7.8253	0.020
		3	0.149	0.065	8.8983	0.031
		4	-0.071	-0.178	9.1454	0.058
		5	-0.062	-0.009	9.3423	0.096
		6	0.001	0.055	9.3424	0.155
		7	0.072	0.117	9.6241	0.211
		8	-0.164	-0.284	11.113	0.195
		9	-0.222	-0.170	13.922	0.125
		10	-0.236	-0.113	17.197	0.070
		11	-0.150	0.141	18.557	0.070
		12	-0.169	-0.130	20.331	0.061
		13	-0.041	0.004	20.441	0.085
		14	-0.032	-0.121	20.511	0.115
		15	-0.219	-0.147	23.836	0.068
		16	-0.107	0.009	24.664	0.076
		17	-0.228	-0.224	28.523	0.039
		18	-0.059	0.054	28.791	0.051
		19	0.035	-0.009	28.888	0.068
		20	0.051	-0.011	29.109	0.086

المصدر: من اعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

بالنظر إلى مخرجات (EViews12) لكل من دالتي الارتباط الذاتي البسيط والجزئي للسلسلة الزمنية، نلاحظ أن معاملات الارتباط الذاتي غير معنوية ما عدا المعامل عند الفجوات k=1 مما يعني أنها تختلف معنويا عن الصفر، وفي هذه الحالة نقول: إن السلسلة تخضع للفجوة(1) MA.

ومن جهة أخرى نلاحظ من خلال دالة الارتباط الذاتي الجزئي أن r (1) تختلف معنويا عن الصفر أيضا في الاتجاه الموجب عند مستوى معنوية 0.05، ومنه فإن السلسلة تخضع للنماذج MA (1),AR(1)، وبالتالي يمكننا توليد عدة نماذج سوف يتم المفاضلة بينها بالاعتماد علي معايير Akaike (AIC) وSchwarz (SC).

الجدول (4): معايير المفاضلة بين النماذج المقترحة.

النموذج / المعايير	ARIMA (1,0,0)	ARIMA (0,0,1)	ARIMA (1,0,1)
Adj R^2	0.132129	0.111995	0.45
AIC	4.608085	4.630362	4.649165
SC	4.730959	4.753237	4.812997
HQ	4.653397	4.675675	4.709581

المصدر: من إعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

من خلال الجدول أعلاه يتضح أن أفضل نموذج حسب المعايير التي تم الاعتماد عليها هو **ARIMA (1,0,0)**، وهو النموذج الذي حصل علي أقل قيمة لكل من المعايير الثلاث AIC وSC و HQ، وبالتالي يكون هو النموذج الأمثل للتنبؤ بالناتج المحلي الإجمالي للجزائر.

3. مرحلة تقدير النموذج المقترح

بعد وصولنا لتحديد النموذج الأنسب وذلك بتحديد قيمة كل من (p,d,q) سوف نقوم بتقدير معلماته، ونتائجه موضحة في الجدول التالي:

الجدول (5): نتائج تقدير النموذج الأفضل. ARMA (1,0,0)

Dependent Variable: GDP
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 12/10/23 Time: 11:05
Sample: 1980 2022
Included observations: 43
Convergence achieved after 8 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.562852	0.599133	4.277601	0.0001
AR(1)	0.357746	0.135730	2.635720	0.0119
SIGMASQ	5.091069	1.015701	5.012368	0.0000

R-squared	0.132129	Mean dependent var	2.578851
Adjusted R-squared	0.088735	S.D. dependent var	2.450679
S.E. of regression	2.339423	Akaike info criterion	4.608085
Sum squared resid	218.9160	Schwarz criterion	4.730959
Log likelihood	-96.07382	Hannan-Quinn criter.	4.653397
F-statistic	3.044888	Durbin-Watson stat	2.033174
Prob(F-statistic)	0.058764		

Inverted AR Roots	.36

المصدر: من إعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12

من خلال النتائج أعلاه يمكن صياغة النموذج المقدر كالآتي:

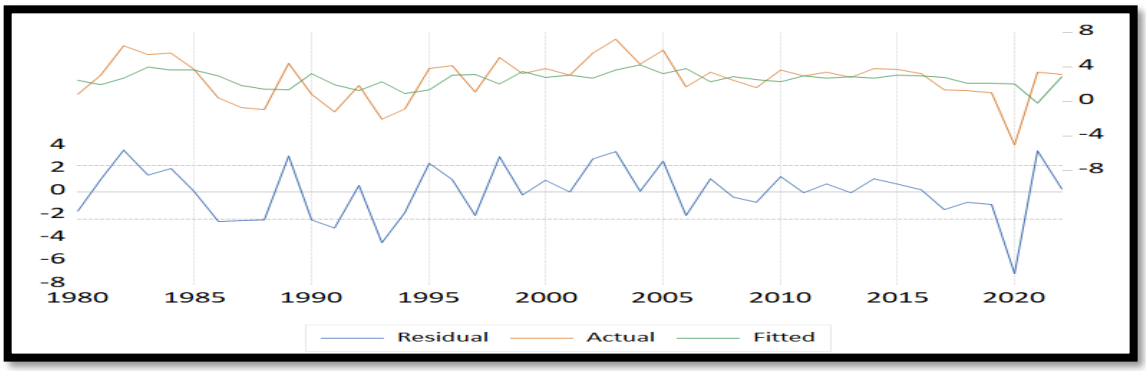
$$Y_t = 2.562852 + 0.357746 y_{t-1} + \varepsilon_t$$

4. مرحلة تشخيص النموذج

في هذه المرحلة يتم اختبار النموذج لمعرفة مدى ملائمته لتمثيل بيانات الظاهرة المدروسة واستخدامه للحصول على تنبؤات مستقبلية، ومن أجل تحقيق ما سبق نقوم بإجراء الاختبارات التالية:

1.4. المقارنة بين السلسلتين الأصلية والمقدرة.

الشكل (5): المقارنة بين السلسلتين الأصلية والمقدرة.



المصدر: من اعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

من الواضح أن هناك شبه تقارب في النتائج بين منحني السلسلة الأصلية Actual والسلسلة المقدرة Fitted، أما سلسلة بواقي النموذج المقدرة فهو يتذبذب بشكل عشوائي حول الفواصل.

2.4. اختبار استقراريه سلسلة البواقي

الشكل (6): دالة الارتباط الذاتي والجزئي لسلسة البواقي.

Date: 12/10/23 Time: 11:10
Sample: 1980 2022
Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term

Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	-0.023	-0.023	0.0247	
		2	0.050	0.050	0.1435	0.705
		3	0.136	0.139	1.0444	0.593
		4	-0.127	-0.126	1.8482	0.604
		5	-0.053	-0.075	1.9911	0.737
		6	-0.005	-0.013	1.9927	0.850
		7	0.160	0.211	3.3676	0.761
		8	-0.153	-0.156	4.6536	0.702
		9	-0.121	-0.184	5.4893	0.704
		10	-0.155	-0.223	6.9027	0.647
		11	-0.029	0.105	6.9550	0.730
		12	-0.140	-0.093	8.1826	0.697
		13	0.028	0.010	8.2320	0.767
		14	0.063	-0.065	8.4986	0.810
		15	-0.227	-0.176	12.057	0.602
		16	0.046	0.028	12.208	0.663
		17	-0.231	-0.236	16.168	0.441
		18	0.007	-0.025	16.171	0.512
		19	0.048	-0.013	16.356	0.568
		20	0.029	0.019	16.429	0.628

المصدر: من إعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

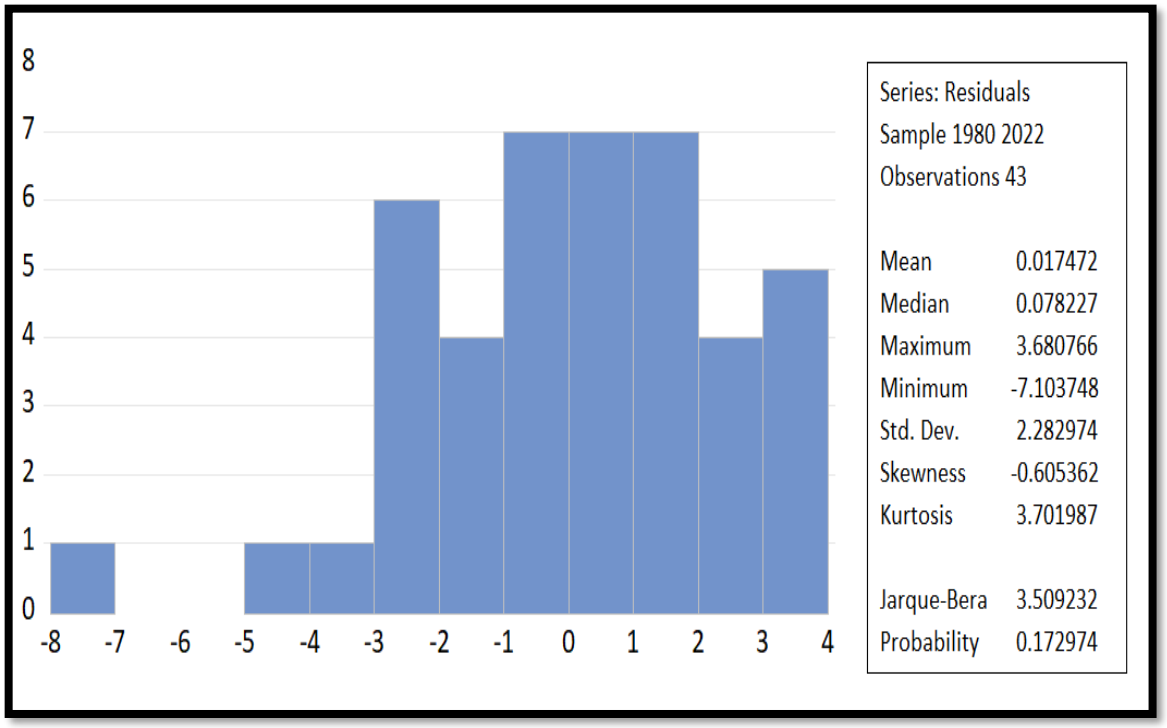
من الشكل أعلاه يظهر أن معاملات الارتباط الذاتي تقع كلها داخل مجال الثقة، إضافتا إلى أن إحصائية Q-Stat =16.429 أقل من القيمة الجدولية، حيث المعنوية كانت تساوي 0.628 وبالتالي هي أكبر من 0.05، ومنه نقبل فرضية العدم التي تنص على انعدام معاملات دالة الارتباط الذاتي، ومنه فإن سلسلة البواقي مستقرة، ويظهر هذا الاختبار أيضا عدم وجود ارتباط ذاتي بين بواقي النموذج خلال فترة الدراسة، لأن جميع معاملات الارتباط تقع داخل مجال الثقة.

3.4. اختبار اعتدالية البواقي: Jarque-Bera

هذا الاختبار مبني على الفرضيتين التاليتين:

- H_0: يتبع التوزيع الطبيعي
- H_1: لا يتبع التوزيع الطبيعي

الشكل (7): اختبار التوزيع الطبيعي لبواقي التقدير

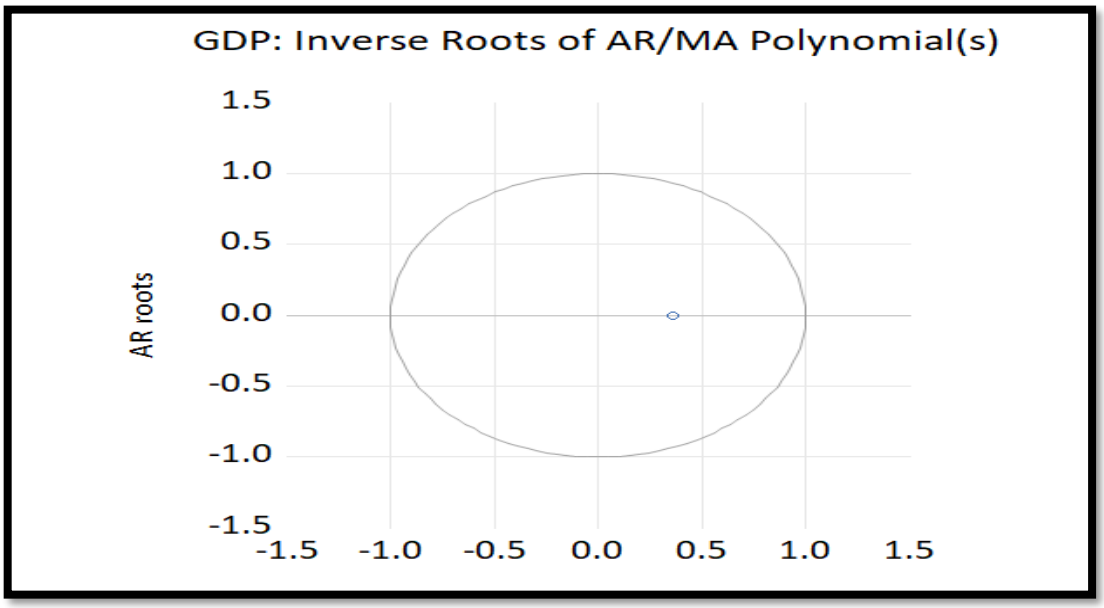


المصدر: من اعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

من خلال الشكل أعلاه يتضح أن البواقي تتبع التوزيع الطبيعي، وذلك لأن إحصائية J-B أقل تماما من القيمة الحرجة لتوزيع $\chi^2_{2(0.05)}$، إضافة إلى أن الاحتمال الموافق له أكبر من 0.05 حيث كانت تساوي 0.172974 مما يعني رفض الفرضية البديلة وقبول الفرضية الصفرية، أي أن بواقي النموذج تتبع التوزيع الطبيعي.

4.4. اختبار جذر كثير الحدود المميز

الشكل (8): دالة الارتباط الذاتي والارتباط الذاتي الجزئي لبواقي التقدير



المصدر: من اعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

من خلال الشكل أعلاه نلاحظ أن مقلوب جذر كثيرة الحدود المميز للنموذج يقع داخل الدائرة الأحادية مما يشير إلى استقراريه سيرورة النموذج.

5.مرحلة التنبؤ:

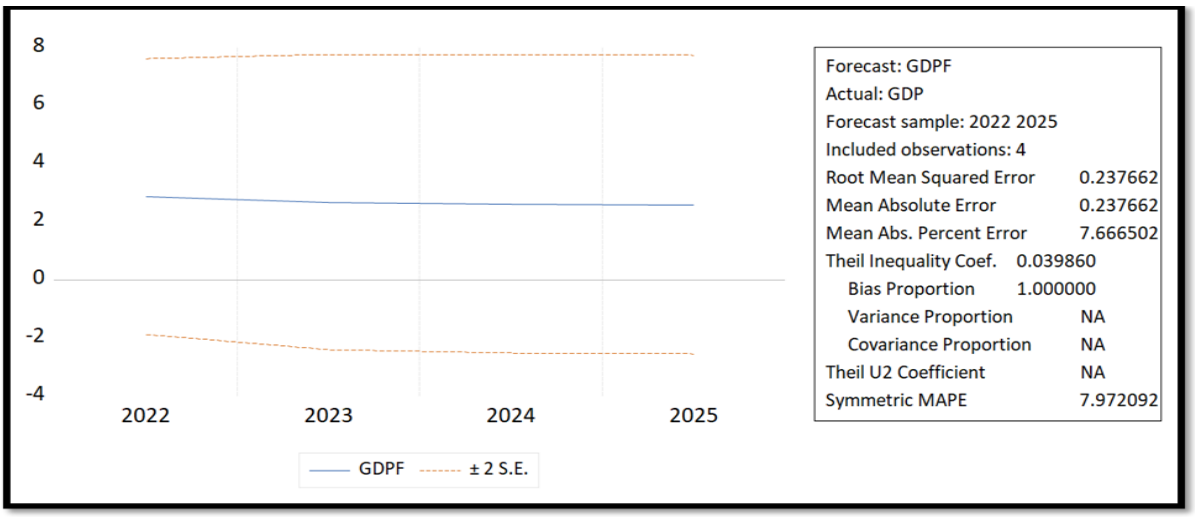
كل الخطوات السابقة تعتبر تمهيد لهذه المرحلة، حيث نقوم بإجرائها بعد التأكد من صلاحية النموذج ويمكن القيام بذلك بالتعويض المباشر في النموذج الأمثل والمقدر عن قيمة الزمن t، أو الاستعانة ببرنامج EViews 12 الذي يمكننا من التنبؤ بالقيم وإعطائها مباشرة، قبل ذلك نقوم باختبار أخير للتأكد من قوة النموذج التنبؤية.

وذلك باستخدام الاختبار التالي:

1.5. معيار ثايل لعدم التساوي:

يستخدم هذا المعيار لقياس الفروق بين القيم المتنبئ بها والقيم الفعلية، يتم حسابه بقسمة الفرق بين التنبؤات والقيم الفعلية على القيم الفعلية، ويتراوح بين صفر وواحد، وكل ما اقترب من الصفر دله ذلك على قدرة التنبؤ العالية للنموذج، وعندما يقترب من الواحد يكون النموذج ضعيف في التنبؤ.

الشكل (9): نتائج اختبار معامل ثايل لعدم التساوي.

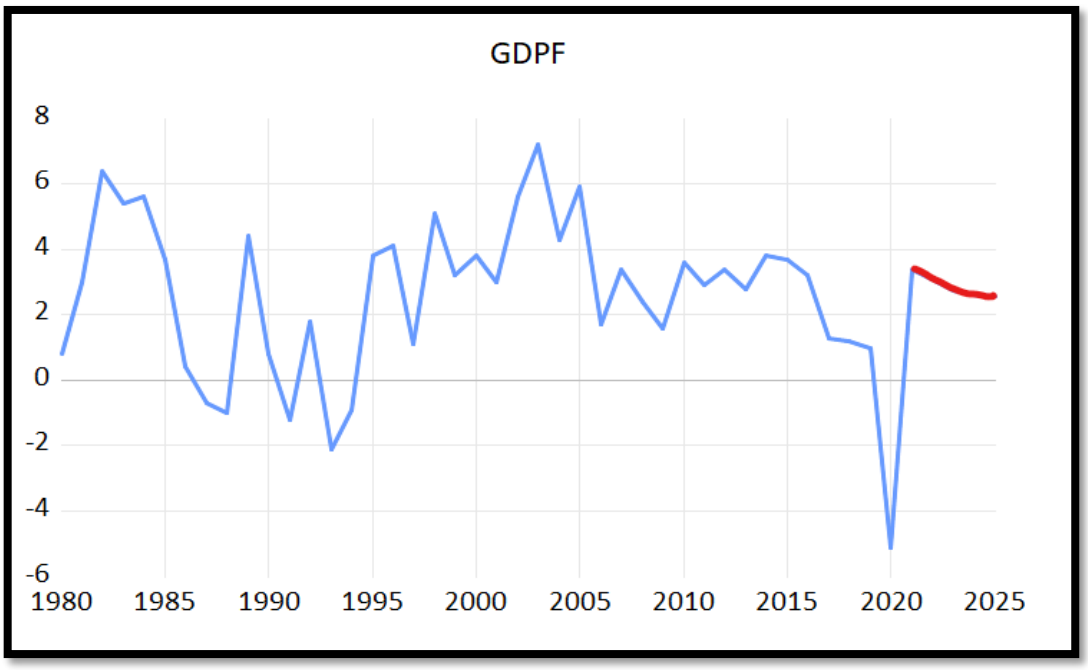


المصدر: من إعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

ومن خلال الجدول أعلاه نلاحظ أن قيمة ثايل يساوي 0.03986 وهي أقل من الواحد الصحيح وأقرب منه إلى الصفر وبالتالي يمكن القول إن للنموذج قدرة جيدة للتنبؤ بالواقع، ومن ثم الجزم بصلاحية استخدامه في التنبؤ بمعدل نمو الناتج المحلي الإجمالي للجزائر.

والشكل الموالي يعطي القيم التنبؤية لمعدل نمو الناتج المحلي الإجمالي من 2022 الى 2025

الشكل (10): القيم التنبؤية لمعدل نمو الناتج المحلي الاجمالي (2022-2025).



المصدر: من إعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews 12.

2.5. التنبؤ: بعد استفاء النموذج لجميع شروط الثبات والقيام بجميع الاختبارات الإحصائية، يمكننا إجراء الخطوة الأخيرة وهي التنبؤ بمعدلات نمو الناتج المحلي الإجمالي لثلاث سنوات لاحقة.

الجدول (6): القيم العددية للتنبؤ لثلاث سنوات الموالية بمعدل نمو الناتج المحلي الإجمالي **GDP**.

السنوات	GDP
2023	2.593942164054033
2024	2.5879187947243019
2025	2.566564473447717

المصدر: من اعداد الطالب اعتمادا على مخرجات برنامج EViews12

المطلب الثاني: تطبيق الخوارزميات الجينية GA في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر للفترة (1980-2022)

في الأغلب الخوارزميات الجينية (GA) متوافقة مع الأنظمة الغير الخطية وتستخدم في التحسين بناءا على مبدأ الانتقاء الطبيعي للحل الأمثل على نطاق واسع من مجموعات التنبؤ، بحيث تعمل الخوارزميات الجينية GA المقترحة على تحسين وظيفة معينة بناءً على نموذج ARIMA، في إطار نمذجة العمليات العشوائية ويتم بواسطتها تحديد ثلاث معلمات (p,d,q)، تشير المعلمة p إلى ترتيب عملية الانحدار الذاتي AR(p)، وd لرتبة التكامل، وq لرتبت المتوسط المتحرك MA(q)، وضعف نموذج ARIMA يكمن في صعوبة تقدير المعلمات، ولمعالجة هذه المشكلة، اقترحنا نموذج آلي للتحسين مبني على الخوارزميات الجينية وذلك لتحقيق تنبؤ دقيق، لأن GA تعد طريقة راسخة تساعد في حل المشكلات المعقدة وغير الخطية في الغالب.

وللوصول إلى مرحلة إختيار النموذج النهائي والذي يعتبر الحل الأمثل بالنسبة للخوارزميات الجينية، وجب علينا المرور بمرحلتين:

المرحلة الأولى: التعريف بمعلمات الخوارزميات الجينية في النموذج المقترح

تعتبر الخوارزميات الجينية جيدة في حل المشكلات ذات مساحات البحث الكبيرة ولكنها تتطلب جهدًا حسابيًا كبيرًا للعثور على الحل المثالي، ولذلك يتم دمجها مع الطرق لكلاسيكية لدفع الحلول إلى الحلول المثالية الحقيقية بتكلفة حسابية مقبولة.

يعتبر نموذج ARIMA للتنبؤ ببيانات السلاسل الزمنية بشكل فردي، كما هو ظاهر في المعادلة أدناه، وهي دالة لياقة بدنية مكونة من جزئين، الأول يخص الانحدار الذاتي (AR)، وجزء يخص المتوسطات المتحركة(MA) ، يستخدم نموذج ARIMA متعدد الحدود AR وMA لتقدير (p) و(q).

1. صياغة دالة اللياقة:

$$\textbf{Function}(p,d,p)=\emptyset_1 y_{t-1}+\emptyset_2 y_{t-2}+\emptyset_3 y_{t-3}+\emptyset_4 y_{t-4}+\emptyset_5 y_{t-5}+ +\varepsilon_t-\theta_1\varepsilon_{t-1}-\theta_2\varepsilon_{t-2}-\theta_3\varepsilon_{t-3}-\theta_4\varepsilon_{t-4}-\theta_5\varepsilon_{t-5}$$

حيث:

P : عدد فترات الانحدار الذاتي.

d : عدد الفروق المحسوبة مع المعادلة

q : عدد الفترات الزمنية للمتوسطات المتحركة.

$\emptyset$: معاملات الانحدار الذاتي (AR).

θ: معاملات المتوسطات المتحركة (MA).

ε: الأخطاء العشوائية.

2. تكوين الجيل الأولي

تعتبر خطوة أساسية في الخوارزميات الجينية، حيث تهدف إلى خلق مجموعة من الأفراد بشكل عشوائي، وكل فرد هو عبارة عن كروموسوم يتم تمثيله بمجموعة من المعاملات المعروفة باسم الجينات، والذي يعبر بدوره عن حل محتمل للمسألة.

1.2 تشفير الحلول الممكنة:

يتم تحديد طول لكروموسوم أو الخيط بناءا على عامل الحد الأقصى للفجوات (MaxLag)، من خلال دالتي الارتباط الذاتي ACF والارتباط الذاتي الجزئي PACF، بالإضافة إلى درجة التأخير، ويتم تحديد هذه المعاملات مسبقا، وبخصوص هذه المسألة سوف يتم تقسيم لكروموسوم إلى جزئين بناءا على هذه المعاملات:

الجزء الأول: درجة التأخيرd وتعني درجة تكامل السلسلة، ولا نأخذ هذه القيمة لأن السلسلة تستقر في المستوي.

الجزء الثاني: يتضمن معاملات دالة الارتباط الذاتي p والمحددة (MaxLag =5).

الجزء الثالث: يتضمن معاملات دالة الارتباط الذاتي الجزئي q والمحددة (MaxLag =5).

وإختيار الحد الأقصى للفجوات كان بناءا على دالة الارتباط الذاتي ACF والارتباط الذاتي الجزئيPACF.

الجدول (7): تمثيل الجيل الأولي.

Chromosome	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

المصدر: من إعداد الطالب

2.2 تقييم الحلول الأولية

يتم فيها تقييم الحلول الممكنة بالاعتماد على دالة اللياقة البدنية، ومراعات مدي توفر شروط التوقف، والتي لا يمكن أن تتحقق وفق منهجية الخوارزميات الجينية قبل تقييم جميع الحلول الممكنة، أو الوصول لنتائج مرضية للباحث، وفي دراستنا كان تقييمنا للحلول الأولية مبني على تحقيق أدني قيمة لمتوسط مجموع مربعات الأخطاء MSE، وهو ما يوضحه الجدول الموالي.

الجدول (8): الحلول الأولية.

النموذج /الأفراد	الترميز	MSE
1	1000000000	6.853952
2	0100000000	8.324315
3	0010000000	7.474349
4	0001000000	9.964062
5	0000100000	9.704258

المصدر: من إعداد أطالب

3.الإختيار

بعد القيام بعملية التقييم نمر الي مرحلة الاختيار والتي تكون بشكل عشوائي وبعدت طرق بناءا على اللياقة البدنية للآباء، والتي تحددها دالة الملائمة، وهذه العملية سوف تتكرر لعدة مرات دون توقف، حتى الوصول إلى الجيل الذي يحمل (الخصائص المثلي).

هذه النتائج توصلنا إليها من خلال تقدير النماذج، أما الخطوات الموالية هي أكثر تعقيدا، ونحتاج في معالجتها إلى إستخدام برنامج MATLAB.

المرحلة الثانية: التنفيذ على برنامج MATLAB

1.كتابة دالة الملائمة (function)، على واجهة MATLAB.

نقوم بكتابة نموذج ARIMA على شكل أومر بحيث تستطيع لغة Matlab التعرف عليه.

الجدول (9): دالة الملائمة function

```
function error = armaObjectiveFunction(params,data)
    arOrder = round(params(1));
    maOrder = round(params(2));
    try
        armaModel = arima('ARLags',1:arOrder, 'MALags',1:maOrder,'Constant',0);
        fitted = simulate(armaModel, length(data));
        error = sum((data - fitted).^2);
    catch
        % Return a high error if the ARIMA model is not valid
        error = 1e10;
    end
end
```

المصدر: من إعداد الطالب باستخدام برنامج MATLAB 2023

2. تحديد معلمات الخوارزميات الجينية.

يتم فيها إختيار قيم لمعلمات الخوارزميات الجينية، بناءا على طبيعة المشكلة وحجم البيانات

الجدول (10): معلمات الخوارزميات الجينية

```
objFunc = @armaObjectiveFunction;
% Genetic Algorithm parameters
options = optimoptions("ga",'MutationFcn',0.2,'PopulationSize', 50, 'MaxGenerations', 100);
% Define parameter bounds
nvars=10;
[bestparams,Fval]= ga(objFunc,nvars,options)
```

المصدر: من إعداد الطالب باستخدام برنامج MATLAB 2023

وللشرح أكثر نقوم بتفريغ محتوي الكود في الجدول الموالي.

الجدول (11): معلمات الخوارزميات الجينية.

حجم السكانN	عدد الأجيال P	معدل الطفرة pm
50	100	0.2

المصدر: من إعداد الطالب

حيث أن:

حجم السكان N: يعبر عن عدد الكروموسومات الموجودة في الجيل الواحد؛

عدد الأجيال P: وهو الجيل الذي تتوقف عنده عملية التزاوج.

احتمال الطفرة pm: إجراء تغيير مفاجئ على تركيبة لكروموسومات المجودة، والذي يمكن أن يضيف حلول جديدة.

3. تشغيل الخوارزميات الجينية

عملية تشغيل الخوارزميات الجينية تتم على عدة مراحل:

- *تحديد نوع المشكلة* (*خطية، تربيعية، أقل تربيع .....إلخ*)؛
- تحديد بيانات المشكلة (دالة الهدف، عدد المتغيرات، القيود)؛
- تحديد خيارات الحل (إعدادات الخوارزميات الجينية، وظيفة اللياقة..... إلخ)؛
- مرحلة التشغيل، يتم فيها منح الإذن للخوارزمية التي قمت بإنشائها للانطلاق في عملية خلق أجيال جديدة، والتي تعتبر بمثابة حلول بالنسبة لنا، ولا تتوقف الخوارزميات الجينية عن العمل حتى يتم تحقق معيار التوقف.

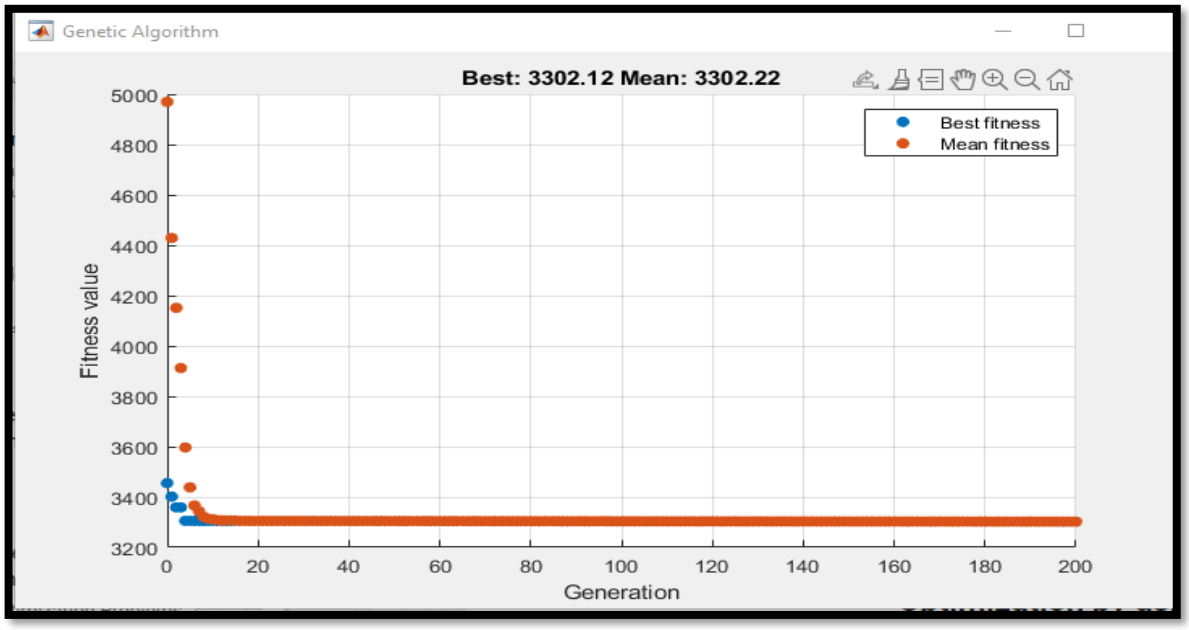
المرحلة الثالثة: عرض النتائج

ويتضمن نتائج المعاملات التي تريد إظهارها.

1.منحني تطور دالة الملائمة (Fitness):

يشير إلى التغير في قيمة اللياقة البدنية للسكان بمرور الوقت أو الأجيال، حتى الوصول إلى الجيل النهائي.

الشكل (11): منحني تطور دالة الملائمة

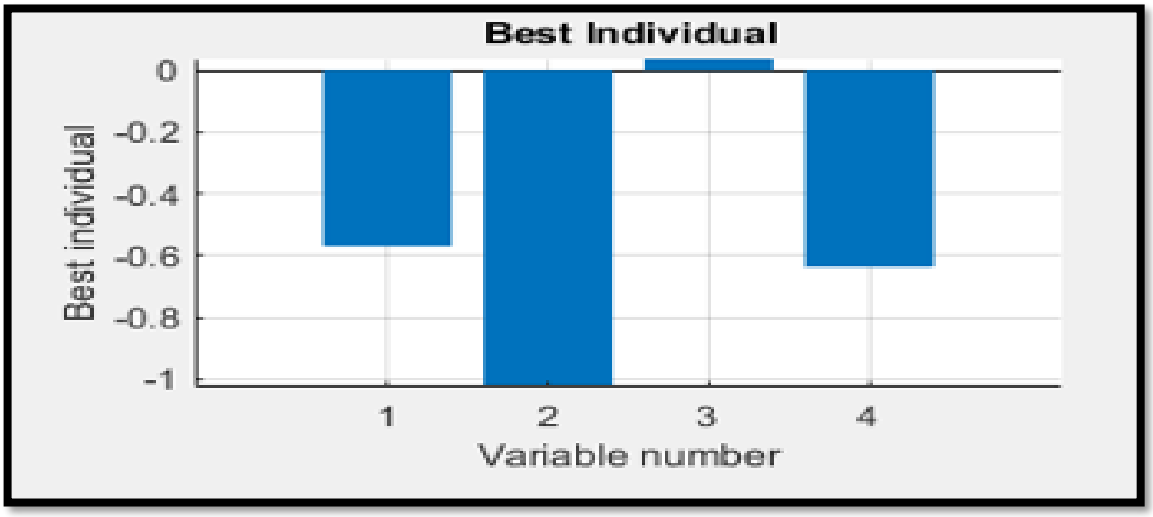


المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجات MATLAB 2023

2.الإختيار

عند توقف تطور دالة الملائمة في هذه الحالة تكون الخوارزميات الجينية قد وصلت الي الحل الأمثل، وبالنظر إلى الشكل الموالي نستنتج أن الخوارزميات الجينية، اختارت الفرد 2، باعتباره أحسن الحلول.

الشكل (12): نتائج تقييم الأفراد



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجاتMATLAB 2023

3.التقييم:

في حالتنا هذه معيار التقييم الذي تم الاعتماد عليه هو الوصول إلى أقل قيمة لمتوسط مجموع مربعات الأخطاء

الجدول (12): تقييم الحلول النهائية

```
[bestParams, fval] = ga(fitnessFunction,nvars,options)
disp('Best ARMA Parameters:');
disp(['AR Order: ', num2str(bestParams(1))]);
disp(['MA Order: ', num2str(bestParams(2))]);
% Create and plot the best ARMA model
bestARMA = arima('ARLags',1:bestParams(1), 'MALags',1:bestParams(2));
```

المصدر: من إعداد الطالب علي واجة MATLAB 2023

4.التوقف: شرط التوقف الذي تم وضعه، في هذه الخوارزمية في الوصول إلي أدني قيمة من متوسط مجموع مربعات الأخطاء. MSE

وحسب هذا المعيار فإن أحسن نموذج تم التوصل إليه بعد تنفيذ الخوارزميات الجينيةGA هو

ARMA(0,0,2)

الجدول (13): نموذج GA-ARIMA الأمثل

ARIMA(0,0,2) Model (Gaussian Distribution):

	Value	StandardError	TStatistic	PValue
Constant	2.561	0.55278	4.633	3.6048e-06
MA{1}	0.31017	0.15363	2.0189	0.043497
MA{2}	0.11836	0.18788	0.62999	0.5287
Variance	5.1588	1.0341	4.9886	6.081e-07

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجات MATLAB 2023

5. تقدير النموذج GA-ARIMA (0,0,2)

$$Y_i = 2.561 + 0,31017\varepsilon_{i-1} + 0.11836\varepsilon_{i-2}$$

MCE=4.97

يعتبر هذا النموذج الأمثل الذي سوف نعتمد عليه في عملية التنبؤ بمعدلات الناتج المحلي لثلاث سنوات قادمة، واختيارنا لثلاث سنوات لم يكن إختيار عشوائي، بل لأننا لاحظنا من خلال تقدير النموذج، أن معدل نمو الناتج المحلي للسنة الحالية يتأثر بسنتين سابقتين فقط ثم يزول الأثر، وبالتالي يكون التنبؤ ذا مصداقية لثلاث سنوات فقط.

6.التنبؤ: باستخدام نموذج GA-ARIMA

في هذه الخطوة يتم إستخدام النموذج المقترح GA-ARMA (0.2) والذي يشرح السلوك العشوائي لقيم السلسلة الزمنية بأقل نسبة خطأ، وبالتالي يمكن لنا من خلاله الحصول على توقعات لقيم معدلات الناتج المحلي الإجمالي حتى سنة 2025.

الجدول (14): نتائج التنبؤ

السنوات	FGDP
2023	3.082687621264744
2024	2.620685608929281
2025	2.57079898960785

المصدر: من إعداد الطالب بناءا على مخرجات MATLAB 2023

المطلب الثالث: المفاضلة بين نماذج الدراسة

قبل تطبيقنا للخوارزميات الجينية في تحسين نماذج ARIMA من خلال إستخدامها لاختيار التأخير المثالي بناءا على معيار متوسط مجموع مربعات الأخطاء، قمنا باستخدام نماذج ARIMAبشكل فردي، وذلك للإظهار ميزة التحسين التي تمتلكها الخوارزميات الجينة، وهو ما يظهره الجدول الموالي.

الجدول (15): نتائج التقدير للنماذج المقترحة

النموذج / المعيار	ARIMA	GA-ARIMA
MCE	5.09	4.97

المصدر: من إعداد الطالب اعتمادا بناءا مخرجات Matlab2023 و Eviews12 .

من خلال النظر إلى مخرجات تطبيق المنهجيتين في عملية التنبؤ بمعدلات نمو الناتج المحلي الإجمالي للجزائر، نلاحظ تفوق نموذج GA-ARIMA على نموذج ARIMA، من خلال تحقيق قيمة أقل للمعيار المعتمد في المفاضلة، وكان 4,97 في مقابل 5,09، وهذا الأمر يمنح الأفضلية للخوارزميات الجينية على النماذج القياسية.

أما بالنسبة لنتائج التنبؤ، فقد حصلت جميع النماذج على تقييم جيد من خلال تحقيقها لمعايل "ثايل" قريب من الصفر منه للواحد، وبخصوص قيم معدلات نمو الناتج المحلي الإجمالي المتنبئ بها لكلا المنهجيتين فقد كانت قريبة من بعضها إلى حد كبير.

المبحث الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها

واستخلاصا لنتائج المراحل السابقة التي مررنا بها، سوف نقوم بهذا بدايتا بتحليل النتائج المتوصل إليها واختبار الفرضيات المطروحة، وأخيرا مناقشة النتائج.

المطلب الأول: تحليل النتائج

تم إنجاز الجانب التطبيقي على مرحلتين، أولا بتطبيق منهجية ARIMA شائعة الاستخدام في التنبؤ بالسلاسل الزمنية، حيث تم القيام باختيار النموذج المناسب للتنبؤ بمعدلات نمو الناتج المحلي الإجمالي للجزائر بناءا على أقل قيمة لمعياريAICوSC، وكان النموذج ARIMA (1,0,0) هو النموذج الأكثر دقة بناءا على هذه المعايير، وأقل قيمة حصل عليها على التوالي هي، 4.60 و4.73، بالإضافة إلي متوسط مجموع مربعات الأخطاء الذي كانت قيمته تساوي 5.09، وبالتالي تم القيام من خلاله بالتنبؤ بمعدل النتائج المحلي الإجمالي لثلاث سنوات قادمة.

وفي المرحلة الموالية تم الاختبار الحقيقي للمنهجية المقترحة وهي الخوارزميات الجينيةGA، في عملية التنبؤ أو يمكن تسميتها بتحسين نماذج التنبؤ، حيث تم بناء دالة الملائمة **Function** بناءا على أقل قيمة لمتوسط مجموع مربعات الأخطاء، من خلال المفاضلة بين مجموعة من النماذج بشكل عشوائي، مع تحديد مجموعة من المعايير الأساسية في تنفيذ الخوارزميات الجينية للوصول للحل الأمثل، مثل حجم السكان وعدد الأجيال ومعدل الطفرة، وقد أضفت هذه العملية إلى إختيار النموذج ARMA (0, 2)، كأحسن نموذج للتنبؤ يحقق أقل متوسط لمجموع مربعات الأخطاء، حيث كانت قيمته تساوي 4,9780

المطلب الثاني: اختبار الفرضيات

نهدف من خلال هذا المطلب إلى معرفة مدي تحقق الفرضيات المطروحة، والتأكد من أن النتائج المحققة تدخل في التوجه العام للدراسة.

الفرضية الأولي: (فاعلية الخوارزميات الجينية يمكن أن تظهر من خلال تحسين نماذج التنبؤ).

الخوارزميات الجينية تحسن وترفع من دقة النماذج التنبؤية، وهذا ما لمسناه حقيقتا من خلال تحليل الدراسات السابقة أو توظيف هذه المنهجية بشرط واحد أي يكون إختيار هذه المنهجية بحسب تعقيد المسألة، لأن ضعف المسألة يقلل من أهمية تطبيق هذه المنهجية.

الفرضية الثانية: (ربما يكون للخوارزميات الجينية القدرة على الرفع من دقة التنبؤ).

طبعا يمكن للخوارزميات الجينية التغلب على جميع مشاكل التحسين، وقد اختبرنا ذلك خلال تطبيقها في دراستنا

حيث يمكن لها التعامل مع جميع مشاكل التحسين أولا التصنيف مهما كان حجم القيود وعدد المتغيرات، وبالتالي يمكن لأي باحث الاعتماد عليها.

الفرضية الثالثة: (يمكن بناء نموذج هجين يجمع بين نماذج ARIMAوالخوارزميات الجينية للتنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر).

استطعنا بناء نموذج يجمع بين الخوارزميات الجينية ونماذج ARIMAفي عملية التنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر لثلاث سنوات لاحقة، حيث تم إستخدام الخوارزميات الجينة في المفاضلة بين نماذج ARIMAباعتماد معيار أقل قيمة لمتوسط مجموع مربعات الأخطاء، وكان يمكن لهذا النموذج أن يكون فائق الدقة لوالا أنا حجم العينة التي نتعامل معها صغير جدا.

المطلب الثالث: مناقشة النتائج

هذه الدراسة كانت قائمة في التنبؤ بمعلات الناتج المحلي الإجمالي علي منهجيتين مختلفتين وهي نموذج ARIMA ومنهجية الخوارزميات الجينية GA والتي تقوم على تحسين نماذج التنبؤ، من خلال المفاضلة بين نماذج ARIMA، وباعتماد منهجية الخوارزميات الجينية تم إختيار النموذج الذي يحقق أقل قيمة لمتوسط مجموع مربعات الأخطاء في وقت قياسي وقيمته كانت MSE=4,9780، في المقابل كانت قيمته تساوي MSE=5,09، عند تطبيق نماذج ARIMA، مما يدل على قوة هذه المنهجية في عمليات التحسين، وخاصتا في المسائل المعقدة ذات الأبعاد المختلفة والتي يكون الوصول فيها إلي حل سريع أمرا مستحيلا، وهو ما اتفقت عليه أغلب الدراسات السابقة.

أما بخصوص معلات الناتج المحلي الإجمالي للجزائر المتنبئ بها حتى سنة 2025، فنلاحظ أنها تبقي مستقرة مع انخفاض طفيف في السنة الأخير، وهذا يدل على أن الناتج المحلي الإجمالي سينمو بمعدلات ثابتة لثلاث سنوات

لاحقة، وبما أن هذا النمو ثابت وموجب فهو مؤشر جيد، ويوحي بأن الاقتصاد الوطني سيعيش مرحلة انتعاش واستقرار، نتيجة التسيير الجيد والسياسة الرشيدة التي تنتهجها الدولة حاليا، في ظل التقلبات السريعة التي يشهدها العالم.

خلاصة الفصل الثاني:

تناولنا في هذا الفصل الجانب التطبيقي للدراسة، من خلال تطبيق منهجية الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر، وتم افتتاح هذا الفصل بالتعريف بعينة الدراسة والأدوات المستخدمة، ثم القيام بعملية التنبؤ باستخدام نموذج ARIMA ومنجية الخوارزميات الجينية، وأخير تحليل نتائج الدراسة ومناقشتها.

والقيام بعملية التنبؤ بمعدلات الناتج المحلي الإجمالي للجزائر خلال الفترة الزمنية (1980-2022) معبر عنها ب43 مشاهدة، كان علي مرحلتين، الأولي باستخدام نماذج ARIMA، ، وثانيا إستخدام المنهجية المقترحة وهي الخوارزميات الجينيةGA لتحسين نموذج التنبؤ، حيث اعتمدنا في عملية التنبؤ علي النماذج المقترحة، التي تم اختيارها كأفضل النماذج للتنبؤ ببيانات العينية، بالنسبة لنموذج ARIMA، الاختيار كان بناءا علي أقل قيمة لمعياري AIC و SC، أما بالنسبة للخوارزميات الجينية فالاختيار كان بناءا علي تطور دالة الملائمة عبر عدة أجيال والوصول إلي الجيل النهائي الذي يتميز بأفضل الخصائص، وهذا الجيل هو بمثابة نموذج التنبؤ.

نموذج ARIMA المقدر:

$$Y_t = 2.562852 + 0.357746 y_{t-1} + \varepsilon_t$$

نموذج الخوارزميات الجينية GA-ARIMA المقدر:

$$Y_i = 2.561 + 0,31017 \varepsilon_{i-1} + 0.11836 \varepsilon_{i-2}$$

وفي الأخير تم تقيم النماذج المقترحة بالاستعانة بمعيار متوسط مجموع مربعات الأخطاءMSE، والذي أظهر تفوق الخوارزميات الجينية على نموذج ARIMA، وما يجيب ملاحظته خلال تطبيق هذه المنهجية هو أن حجم العينة وضيق مساحة البحث يقلل نوعا ما من أهمية تطبيق الخوارزميات الجينية في عمليات التحسين والتصنيف.

خاتمة عامة

في دراستنا حاولنا جمع وتحليل بعض الاجتهادات والمفاهيم المتراكمة للباحثين الذين سبقونا في الاهتمام بهذا الموضوع، وهو ما ساعدنا في رسم الطريق للوصول إلي الإجابات المقنعة لإشكاليتنا العامة التي بنبينا موضوع بحثنا حولها، والتي تسائلنا فيها عن إمكانية تطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر، ومدي فعاليتها، من حيث الجودة والقوة وتجاوز المشاكل المعروفة في النماذج القياسية، في البداية الدراسة يتم بناء توقعات استنادا إلي نموذج ARIMA وهي طريقة تنبؤ متسلسلة زمنية متقدمة نسبيًا، يمكنها وصف قواعد التغيير الديناميكي بشكل واقعي، وبالتالي يمكن إستخدامها لإجراء التحليل الإحصائي والتنبؤ بالسلاسل الزمنية في ظل ظروف معينة، وبشكل خاص إختيار النموذج المناسب من أجل تنبؤات قصيرة المدى، ولأنه عادة ما تحدث انحرافات كبيرة عندما يكون النطاق الزمني للتنبؤ طويلاً، ارتأينا إتباع أسلوب مختلف في المفاضلة بين النماذج، يعتمد علي محاكاة التطور الطبيعي أو ما يعرف بالخوارزميات الجينية GA.

ووفقا لمنهجية ARIMA واستنادا إلى مخرجات برنامج EViews12، تم فيه المفاضلة بين مجموعة من النماذج بناءا على أقل قيمة لمعياري AIC وSC، حيث تم إختيار النموذج(1.0) ARMA، كأفضل نموذج للتنبؤ بالنمو الاقتصادي للجزائر، من خلال قيمة متوسط مجموع مربعات الأخطاء MCE =5,09، وقيمة معيار ثايل التي تساوي 0.03986 وهي أقرب من الصفر منها إلى الواحد الصحيح، وهو ما يوحي بقوة النموذج في التنبؤ.

وفي خطوة تحسين نموذج ARIMA تم الاعتماد علي نهج جيني متكامل يعتمد علي مبدأ الخوارزميات الجينية القائم علي البقاء لأفضل الأفراد، بحيث تتحسن وظيفة اللياقة البدنية عبر الأجيال، ليتم الحصول على أفضل حل في النهاية، أما في البداية فيتم إنشاء جيل أولي بشكل عشوائي، يتم ترميز كل عنصر من السكان كرقم حقيقي في النطاق [0-1]، وبعد إختيار الأفراد الأكثر ملاءمة وفقًا لتقييم اللياقة البدنية لخوض التزاوج، تم تطبيق عوامل التقاطع والطفرة على التوالي لإنتاج ذرية جديدة، يكرر هذا الإجراء عدت مرات وفق التكرار المحددة مسبقًا، وقد توصلت الخوارزميات الجينية في النهاية لإختيار نموذج GA-ARIMA(0,0,2)، كحل أمثل، والذي يتميز بأقل قيمة لمتوسط مجموع مربعات الأخطاء MCE = 4.97.

ومن بين الأهاف التي تم تحقيقها من خلال تطبيق الخوارزميات الجينية في التنبؤ بالنمو الإقتصادي للجزائر نذكر:

- بناء نموذج هجين يجمع بين النماذج القياسية والخوارزميات الجينية يمتلك قدرة كبيرة ومرونة في التعامل مع الانحرافات السريعة التي تعرف بها بعض المتغيرات الإقتصادية؛
- من خلال الاستكشاف التجريبي توصلنا إلى أن نتائج التنبؤ بالنسبة لنموذج ARIMA المحسّن بواسطة الخوارزمية الجينية كان أحسن من نموذج ARIMA الوحيد؛
- توقع النمو الإقتصادي لثلاث سنوات لاحقة، وثبات قيمه في هذه الفترات، يوحي بإمكانية نجاح السياسة الإقتصادية للبلاد في فرض الاستقرار الاقتصادي في المستقبل القريب؛

~ اختبار طريقة بحث عشوائي تعتمد على محاكاة التطور الطبيعي تساعد في دعم اتخاذ القرار والتنبؤ، وخاصة أن الوقت الراهن يفرض علي الباحث السرعة في معالجة المشكلة والدقة في النتائج والمعلومات؛

~ إظهار الفرق بين الطرق الكلاسيكية وتقنيات الذكاء الاصطناعي، من حيث دقة التنبؤ وسرعة التنفيذ، وذالك بناءا على المعايير الذي اعتماده مسبقا؛

التوصيات:

بناءا على النتائج التي توصلنا إليها نوصي بما يلي:

- يجب علي الباحث أولا الإلمام التام والفهم الجيد للخوارزميات الجينية وطريقة عملها في التعامل مع المتغيرات قبل تطبيقها في مجال التنبؤ، وهذا من أجل تحقيق النتائج المبتغات؛
- الاعتماد على معايير دقيقة لتقييم دقة وفعالية هذه الخوارزميات قبل القيام بمقارنتها بالطرق التقليدية المستخدمة في التنبؤ؛
- يعتبر تحديد دالة اللياقة وتعريف معلمات الخوارزميات الجينية بالإضافة إلى القيم التي تحكم عملية التطور التي تقوم بها الخوارزميات الجينية، بمثابة نقطة الانطلاق التي يجب علي الباحث التركيز عليها؛ لضمان فعالية وسلامة إستخدامها؛

آفاق الدراسة:

الخوارزميات الجينة منهجية بحث قوية وفعالة في التحسين والتصنيف، وعلي الباحث أن يراعي المسألة التي يحتاج إلى تطبيق الخوارزميات الجينية فيها، ومن بين هذه المسائل والتي جالت في ذهني نذكر:

- تطبيق الخوارزميات الجينية في تحسين إجراءات ترشيد النفقات العمومية في الجزائر؛
- تصنيف الاستثمارات المحلية باستخدام الخوارزميات الجينية.

قائمة المراجع

مراجع بالغة العربية:

كتب:

1. بن قانة، إ. (2013)، اقتصاد التنمية (نظريات، نماذج، إستراتيجيات)، ط1، الأردن، دار أسامة.
2. حسن خليفة. م، (2001)، النمو الإقتصادي (النظرية والمفهوم)، القاهرة، دار القاهرة.
3. صخري. ع، (2005)، التحليل الإقتصادي الكلي ط5، الجزائر، ديوان المطبوعات الجامعية.
4. عبود. ل، (2004)، نظرية النمو، المنظمة العربية للترجمة.
5. كافي.م، (2014)، الاقتصاد الكلي (مبادئ وتطبيقات)،ط1، الأردن، عمان، مكتبة المجتمع العربي.
6. مقلد.ر، والفيل. أ، (2013)، النظرية الاقتصادية، الإسكندرية، دار التعليم الجامعي.
7. هوشيار. م، (2005)، تحليل الاقتصاد الكلي، الأردن، دار الصفاء للنشر والتوزيع.
8. حواس. أ، (2021)، نماذج النمو الاقتصادي، تيارت، الجزائر، مخبر تطوير المؤسسة الإقتصادية الجزائرية.
9. شعباني. إ، (1997)، مقدمة في اقتصاد التنمية، الجزائر، دار هومة.
10. عجمية. م، (2007). التنمية الإقتصادية بين النظرية والتطبيق، الإسكندرية، مصر، كلية التجارة، جامعة الإسكندرية.
11. عطيوي.ع، (1997)، بعض تطبيقات الخوارزميات الجينية، الأردن، جامعة آل البيت.
12. ناصف.إ، (2005)، النظرية الإقتصادية الكلية، الأردن، دار الصفاء والتوزيع.

مقالات:

1. بشيشي، و مجلخ.س ، وبعلي.ح، (2018)، إستخدام نماذج ARIMA للتنبؤ بسعر صرف الدولار مقابل الدينار الجزائري، المجلة الجزائرية للتنمية الاقتصادية.
2. مسعودي.ز، و عزي.خ، (2019)، محددات النمو الاقتصادي في الجزائر باستخدام نموذجي FMOLSو ESM دراسة قياسية للفترة (1980-2017)، مجلة التنمية والاستشراف للبحوث والدراسات، العدد 07.

3. صادق.ج، (2014)، أثر الاستعمار الأجنبي على النمو الإقتصادي في الجزائر، دراسة قياسية (1975-2014)، الجلفة، الجزائر، جامعة زيان عاشور.

4. عفات عودة الدليمي. م، (2018)، قياس وتحليل محددات الطلب على النقود في الاقتصاد العراقي للمدة (1985-2015)، العراق.

5. هاشم. م، (2020)، استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية والخوارزميات الجينية الوراثية في تقدير هامش ربح الاكتتاب في شركات تأمينات الممتلكات والمسئولية في السوق المصري (بالتطبيق على تأمين أجسام السفن)، المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية .

6. سامر محمد صالح تر، محمد نجيب كيالي، وأحمد حاج درويش، (2021)، التصميم المعماري المستدام للأبراج السكنية التراكبية في مدينة حلب باستخدام الخوارزمية الجينية، (Journal of Engineering Sciences & Information Technology)

7. أ. د. محمد عبود طاهر، وعبد الكريم عبدا لأمير، (2020)، تصميم نموذج خوارزمية جينية-عصبية لحل مشكلة جدولة ورش العمل المضببة في حالة الأهداف المتعددة -دراسة حالة-، Managerial Studies Journal, 12 (25)).

8. الشريف.م، (2022)، تأثير الخوارزميات الجينية على الشك المهني للمراجع الخارجي، في ظل الثالوث المظلم للإدارة: دراسة ميدانية. المجلة العلمية للبحوث التجارية (جامعة المنوفية).

9. بدر نجيب عويدات،(2023) ، استخدام الخوارزميات الجينية لضبط وتحسين المعاملات الفائقة للشبكات العصبية،Journal *of Pure & Applied Sciences* ، جامعة سبها.

10. الحبيب، زواوي، (2015)، قياس أمثلة المحفظة الاستثمارية باستخدام الخوارزميات الجينية: حالة أسهم بورصة الجزائر، مجلة رؤي اقتصادية، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي، الجزائر.

11. طلال محمود حمود، (2017)، طريقة فعالة في مطابقة الصور باستخدام الخوارزميات الجينية، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، سوريا.

12. طوير. أ، علاوي. ص، (2020)، دراسة قياسية لأثر الصادرات على النمو الإقتصادي في الجزائر خلال الفترة 1990-2018. أبحاث اقتصادية معاصرة، الجزائر.

13. ساطور رشيد، (2013)، دراسة نظرية حول النمو الاقتصادي والتنمية المستدامة –علاقة وروابط–، مجلة التراث، جامعة زيان عاشور، الجلفة، الجزائر.
14. مكيد علي، ملوح فضيلة (2020)، محددات النمو الإقتصادي في الجزائر، دراسة قياسية للفترة (1980-2018)، Revue d'Economie et de Statistique Appliquée، جامعة لمدية، الجزائر.
15. همسة معن محمد ثابت، (2008)، إستخدام الخوارزميات الجينية في تعظيم دالة الإمكان للتوزيع الطبيعي، المجلة العراقية للعلوم الإحصائية، العراق.
16. بشري عبد الله الشتيت، (2014)، إستخدام الخوارزميات الجينية في عملية توزيع القروض المصرفية، مجلة العلوم الاقتصادية، عمان.
17. أ. م. د. صباح منفي رضا، & جاسم حسن لاز م. (2019). مقارنة الخوارزمية الجينية مع طريقتي المربعات الصغرى اللاخطية والإمكان الأعظم اللاخطي باستخدام المحاكاة لتقدير النموذج BoxBOD اللاخطي باستخدام المحاكاة، Journal of Administration and Economic.
18. أسامة أسعد بحبوح، (2007)، تأثير متغيرات الخوارزميات الجينية على مسألة إيجاد الحل الأمثل، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، دمشق، سوريا.

أطروحات:

1. موفق.ع، (2018)، إستخدام الخوارزميات الجينية في التنبؤ بتطاير الأسواق المالية، تلمسان، الجزائر، جامعة أبي بكر بالقايد.
2. زهواني.م،(2022)، تطبيقات نماذج الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بمخاطر التنبؤ المالي في المؤسسة الاقتصادية– دراسة حالة–، غرداية، الجزائر، جامعة غرداية.
3. حمدالله. م، (2018)، إستخدام نموذج (ARDL (لقياس أثر السياسات الإقتصادية في النمو الإقتصادي في السودان (2015-1990)، السودان.
4. حسين خليل عبيد مخيليف، (2022)، تقدير معلمات إنحدار log-logistic باستخدام الخوارزمية الجينية مع تطبيق عملي، كلية الإدارة والاقتصاد، كربلاء، العراق.

مراجع بالغة الإنجليزية

كتب

1. King, J. (2013). *David Ricardo*. Springer.
2. Sivanandam, S. N. (2008). Genetic algorithms. Springer Berlin Heidelberg.
3. Hodgson, G. M. (2004). Malthus, Thomas Robert (1766-1834). *The Biographical Dictionary of British Economists, edited by Donald Rutherford (Bristol: Thoemmes Continuum)*.
4. Simon, D. (2013). Evolutionary optimization algorithms. John Wiley & Sons.
5. Harvey, J., & Johnson, M. (1973). *Introduction to macro-economics: a workbook*. Springer.
6. Durlauf, S., & Blume, L. (Eds.). (2016). *Economic growth*. Springer.
7. Popov, A. (2005). Genetic algorithms for optimization. User Manual, Hamburg, 2013.
8. Reeves, C., & Rowe, J. E. (2002). Genetic algorithms: principles and perspectives: a guide to GA theory (Vol. 20). Springer Science & Business Media.

مقالات

1. Lanza, V. (2012). The classical approach to capital accumulation: Classical theory of economic growth .
2. Boldeanu,, F., & Constantinescu, L. (2015). The main determinants affecting economic growth . Bulletin of the Transilvania University of Brasov.
3. Sarimveis., H., & Bafas, G. (2003). Fuzzy model predictive control of non-linear processes using genetic algorithms .Fuzzy sets and systems.
4. Aghion, P., & Durlauf, S. (2005). Handbook of economic growth. Elsevier.
5. Alba, E. &. (2008). Introduction to cellular genetic algorithms .In Cellular Genetic Algorithms.
6. Bajaj, A., & Sangwan, O. (2019). A systematic literature review of test case prioritization using genetic algorithms ..IEEE Access.
7. BARRO‹XAVIERSALAI.MARTIN, R. (1992). ECONOMICGROWTH0. LONDON: CAMBRIDGE.

8. Brezis, E., & Young, W. (2003). The new views on demographic transition: a reassessment of Malthus's and Marx's approach to population .European Journal of the History of Economic Thought.
9. Said, Y. H. (2005). On genetic algorithms and their applications. *Handbook* of statistics, 24.
10. Nematollahi, S., & Manzi, G. (2018). *Portfolio management using prospect theory: comparing genetic algorithms and particle swarm optimization* (No. 2018-03).
11. Deb, K. &. (2014). Analysing mutation schemes for real-parameter genetic algorithms .International Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing.
12. Whitley, D. (1994). A genetic algorithm tutorial. Statistics and computing.
13. Sen, A. (2010). Adam Smith and the contemporary world. *Erasmus Journal for Philosophy and Economics*, *3*(1).
14. Herawati, S., & Djunaidy, A. (2020, July). Implementing Method of Empirical Mode Decomposition based on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms for Crude Oil Price Forecasting. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1569, No. 2, p. 022075). IOP Publishing.
15. Venkateswarlu, C., & Jujjavarapu, S. E. (2020). Stochastic and evolutionary optimization algorithms. *Stochastic Global Optimization Methods and Applications to Chemical, Biochemical, Pharmaceutical and Environmental Processes*.
16. Eltis, W., & Eltis, W. (2000). Adam Smith's theory of economic growth .The Classical Theory of Economic Growth.
17. Fraumeni, B. (2019). Measuring Economic Growth and Productivity: Foundations, KLEMS Production Models, and Extensions. Academic Press.
18. Guellec, D. (1992). Croissance endogène: les principaux mécanismes (Vol. 106(5)). Économie & prévision.
19. Gupta, D., & Ghafir, S. (2012). An overview of methods maintaining diversity in genetic algorithms .International journal of emerging technology and advanced engineering.
20. Ramzan, M., Jaffar, A., Iqbal, A., Anwar, S., Rauf, A., & Shahid, A. A. (2012). Project scheduling conflict identification and resolution using genetic algorithms (GA). Telecommunication Systems, 51.
21. Şen, Z., & Öztopal, A. (2001). Genetic algorithms for the classification and prediction of precipitation occurrence. Hydrological sciences journal, 46(2).
22. Haldurai, L. M. (2013). A study on genetic algorithm and its applications . International Journal of Computer Sciences and Engineering.

23. Haller , A. (2012). Concepts of Economic Growth and Development Challenges of Crisis and of Knowledge.Economy Transdisciplinarity Cognition.
24. Caraka, R. E., Chen, R. C., Yasin, H., Suhartono, S., Lee, Y., & Pardamean, B. (2021). Hybrid vector autoregression feedforward neural network with genetic algorithm model for forecasting space-time pollution data. *Indonesian Journal of Science and Technology*, *6*(1).
25. Harris, D. (2007). The classical theory of economic growth. The new Palgrave dictionary of economics.
26. Haupt, R. L. (2004). Practical genetic algorithms. John Wiley & Sons.
27. Heijman, W. (2012). The economic metabolism. Springer Science & Business Media.
28. Straßburg, J., Gonzàlez-Martel, C., & Alexandrov, V. (2012). Parallel genetic algorithms for stock market trading rules. Procedia Computer Science, 9.
29. Piętak, Ł. (2014). Review of theories and models of economic growth. *Comparative Economic Research. Central and Eastern Europe*, *17*(1).
30. Matthews, S. G., Gongora, M. A., & Hopgood, A. A. (2011). Evolving temporal association rules with genetic algorithms, The Thirtieth SGAI International Conference on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence. Springer London.
31. Cuddy, S. J., & Glover, P. W. J. (2002). The application of fuzzy logic and genetic algorithms to reservoir characterization and modeling. In Soft Computing for Reservoir Characterization and Modeling. Heidelberg: Physica-Verlag HD.
32. Hyndman, R., & Athanasopoulos, G.(2018). Forecasting: principles and practice. OTexts ..Springer.
33. Mathew, T. V. (2012). Genetic algorithm. Report submitted at IIT Bombay, 53.
34. Sharma, D.K., Hota, H.S., Brown, K. (2012)et al. Integration of genetic algorithm with artificial neural network for stock market forecasting. Int J Syst Assur Eng Manag 13 (Suppl 2).
35. Schmertmann, C. P. (1996). Functional search in economics using genetic programming. Computational Economics, 9.
36. Jalalkamali, A., Moradi, M., & Moradi, N. (2015). Application of several artificial intelligence models and ARIMAX model for forecasting drought using the Standardized Precipitation Index. International journal of environmental science and technology.

37. Kumar, M., Husain, D., & Upreti, D. (2010). Genetic algorithm: Review and application Available at SSRN 3529843.
38. Laredo, J., Fernandes, C., & Merelo, J. (2009, July). Improving genetic algorithms performance via deterministic population shrinkage .In Proceedings of the 11th Annual conference on Genetic and evolutionary computation .
39. Lucasius, C., & Kateman, G. (1993). Understanding and using genetic algorithms (éd. Part 1). Concepts.
40. Mathew, T. V. (2012). Genetic algorithem. Report submitted at IIT Bombay.
41. Haldurai, L., Madhubala, T., & Rajalakshmi, R. (2016). A study on genetic algorithm and its applications. Int. J. Comput. Sci. Eng, 4(10).
42. Mirjalili, S., & Mirjalili, S. (2019). Genetic algorithm .Evolutionary Algorithms and Neural Networks: Theory and Applications.
43. Mitchell, M. (1995, Septembe). Genetic algorithms: An overview. In Complex, No.1.
44. Mulhearn,, C., & Vane, H. (1999). Economic Growth. Palgrave: Economics. Macmillan Foundations.
45. Stepanov, L. V., Koltsov, A. S., Parinov, A. V., & Dubrovin, A. S. (2019, April). Mathematical modeling method based on genetic algorithm and its applications. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1203, No. 1, p. 012082). IOP Publishing.
46. Kramer, O. &. (2017). Genetic algorithms. Springer International Publishing.
47. Wu, B., & Chang, C. L. (2002). Using genetic algorithms to parameters (d, r) estimation for threshold autoregressive models. *Computational Statistics & Data Analysis*, *38*(3).
48. Ephzibah, E. P. (2011). Cost effective approach on feature selection using genetic algorithms and fuzzy logic for diabetes diagnosis. arXiv preprint arXiv:1103.0087.
49. Ozgur, Y .(2001) .AN OVERVIEW OF GENETIC ALGORITHMS. ANADOLU UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 1.
50. Reeves, C. R. (2010). Genetic algorithms .Dans Handbook of metaheuristics.
51. Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia tools and applications*, *80*.
52. Rodrik, D. (2007). Growth building jobs and prosperity in developing countries .Departement for International Development.
53. Romer, P. (1990). Endogenous technological change . S71-S102.

54. Alba, E., &Dorronsoro, B. (2008). Introduction to cellular genetic algorithms.InCellular GeneticAlgorithms (Boston, MA: Springer US).
55. Simon, D. (2013). Evolutionary optimization algorithms. John Wiley & Sons.
56. Deb, K. (1999). An introduction to genetic algorithms. Sadhana, 24.
57. Ünal, M. A. (2013). Genetic algorithm. Dans In Optimization of PID Controllers Using Ant Colony and Genetic Algorithms. Berlin, Heidelberg: Springe.
58. Ünal, M., Ak, A., Topuz, V., Erdal, H., & Ünal, M. (2013). Genetic algorithm . Optimization of PID Controllers Using Ant Colony and Genetic Algorithms.
59. Versace, M., Bhatt, R., Hinds, O., & Shiffer, M. (2004). Predicting the exchange traded fund DIA with a combination of genetic algorithms and neural networks. Expert systems with applications.

مواقع إلكترونية

- https:// data world bank.org
- https://www.mathworks.com/products/matlab-online.html
- www.palisade.com
- www.stanford.edu./ prhansen/software/SPA.html

الملاحق

الملحق1: نتائج اختبار ديكي فولر GDP (النموذج3)

Null Hypothesis: GDP has a unit root
Exogenous: Constant, Linear Trend
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-4.328650	0.0070
Test critical values:	1% level	-4.192337	
	5% level	-3.520787	
	10% level	-3.191277	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(GDP)
Method: Least Squares
Date: 12/15/23 Time: 17:35
Sample (adjusted): 1981 2022
Included observations: 42 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
GDP(-1)	-0.641566	0.148214	-4.328650	0.0001
C	1.948698	0.847047	2.300580	0.0268
@TREND("1980")	-0.011496	0.029950	-0.383847	0.7032

R-squared	0.324781	Mean dependent var	0.054986
Adjusted R-squared	0.290154	S.D. dependent var	2.788235
S.E. of regression	2.349154	Akaike info criterion	4.614737
Sum squared resid	215.2225	Schwarz criterion	4.738856
Log likelihood	-93.90948	Hannan-Quinn criter.	4.660232
F-statistic	9.379501	Durbin-Watson stat	2.034942
Prob(F-statistic)	0.000472		

الملحق2: نتائج اختبار ديكي فولر GDP (النموذج2)

Null Hypothesis: GDP has a unit root
Exogenous: Constant
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-4.360853	0.0012
Test critical values:	1% level	-3.596616	
	5% level	-2.933158	
	10% level	-2.604867	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(GDP)
Method: Least Squares
Date: 12/15/23 Time: 17:37
Sample (adjusted): 1981 2022
Included observations: 42 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
GDP(-1)	-0.638458	0.146407	-4.360853	0.0001
C	1.693553	0.519400	3.260593	0.0023

R-squared	0.322230	Mean dependent var	0.054986
Adjusted R-squared	0.305285	S.D. dependent var	2.788235
S.E. of regression	2.323981	Akaike info criterion	4.570889
Sum squared resid	216.0356	Schwarz criterion	4.653635
Log likelihood	-93.98866	Hannan-Quinn criter.	4.601218
F-statistic	19.01704	Durbin-Watson stat	2.033981
Prob(F-statistic)	0.000088		

الملحق3: نتائج اختبار ديكي فولر لسلسلة GDP (النموذج1)

Null Hypothesis: GDP has a unit root
Exogenous: None
Lag Length: 2 (Automatic - based on SIC, maxlag=9)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-1.629837	0.0966
Test critical values:	1% level	-2.624057	
	5% level	-1.949319	
	10% level	-1.611711	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(GDP)
Method: Least Squares
Date: 12/15/23 Time: 17:51
Sample (adjusted): 1983 2022
Included observations: 40 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
GDP(-1)	-0.196067	0.120298	-1.629837	0.1116
D(GDP(-1))	-0.378231	0.169018	-2.237811	0.0313
D(GDP(-2))	-0.233146	0.175806	-1.326154	0.1929

R-squared	0.276507	Mean dependent var	-0.082500
Adjusted R-squared	0.237399	S.D. dependent var	2.783458
S.E. of regression	2.430711	Akaike info criterion	4.686283
Sum squared resid	218.6091	Schwarz criterion	4.812949
Log likelihood	-90.72566	Hannan-Quinn criter.	4.732081
Durbin-Watson stat	2.006074		

الملحق4: نموذج ARIMA (1.0.0)

Dependent Variable: GDP
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 12/15/23 Time: 17:54
Sample: 1980 2022
Included observations: 43
Convergence achieved after 8 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.562852	0.599133	4.277601	0.0001
AR(1)	0.357746	0.135730	2.635720	0.0119
SIGMASQ	5.091069	1.015701	5.012368	0.0000

R-squared	0.132129	Mean dependent var	2.578851
Adjusted R-squared	0.088735	S.D. dependent var	2.450679
S.E. of regression	2.339423	Akaike info criterion	4.608085
Sum squared resid	218.9160	Schwarz criterion	4.730959
Log likelihood	-96.07382	Hannan-Quinn criter.	4.653397
F-statistic	3.044888	Durbin-Watson stat	2.033174
Prob(F-statistic)	0.058764		

Inverted AR Roots	.36

الملحق5: النموذج ARIMA (0.0.1)

Dependent Variable: GDP
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 12/15/23 Time: 17:57
Sample: 1980 2022
Included observations: 43
Convergence achieved after 8 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.563441	0.507655	5.049569	0.0000
MA(1)	0.320987	0.152590	2.103590	0.0417
SIGMASQ	5.209176	1.041049	5.003775	0.0000

R-squared	0.111995	Mean dependent var	2.578851
Adjusted R-squared	0.067595	S.D. dependent var	2.450679
S.E. of regression	2.366403	Akaike info criterion	4.630362
Sum squared resid	223.9946	Schwarz criterion	4.753237
Log likelihood	-96.55279	Hannan-Quinn criter.	4.675675
F-statistic	2.522396	Durbin-Watson stat	1.918287
Prob(F-statistic)	0.092963		

Inverted MA Roots	-.32

الملحق6: النموذج ARIMA (1.0.1)

Dependent Variable: GDP
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 12/15/23 Time: 17:59
Sample: 1980 2022
Included observations: 43
Convergence achieved after 32 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.560950	0.646759	3.959665	0.0003
AR(1)	0.518476	0.395425	1.311187	0.1975
MA(1)	-0.186246	0.461072	-0.403941	0.6885
SIGMASQ	5.062509	1.032224	4.904466	0.0000

R-squared	0.136997	Mean dependent var	2.578851
Adjusted R-squared	0.070612	S.D. dependent var	2.450679
S.E. of regression	2.362571	Akaike info criterion	4.649165
Sum squared resid	217.6879	Schwarz criterion	4.812997
Log likelihood	-95.95704	Hannan-Quinn criter.	4.709581
F-statistic	2.063681	Durbin-Watson stat	1.983126
Prob(F-statistic)	0.120801		

Inverted AR Roots	.52
Inverted MA Roots	.19

الملحق 7: نتائج تطور الأجيال في الخوارزميات الجينية GA

```
fitnessFunction = function_handle with value:
    @armaFit
Single objective optimization:
10 Variables

Options:
CreationFcn:        @gacreationuniform
CrossoverFcn:       @crossoverscattered
SelectionFcn:       @selectionstochunif
MutationFcn:        @mutationgaussian

                                  Best            Mean       Stall
Generation       Func-count        f(x)            f(x)    Generations
    1                100           1e+10           1e+10         0
    2                147           1e+10           1e+10         1
    3                194           1e+10           1e+10         2
    4                241           1e+10           1e+10         3
    5                288           1e+10           1e+10         4
    6                335           1e+10           1e+10         5
    7                382           1e+10           1e+10         6
    8                429           1e+10           1e+10         7
    9                476           1e+10           1e+10         8
   10                523           1e+10           1e+10         9
   11                570           1e+10           1e+10        10
   12                617           1e+10           1e+10        11
   13                664           1e+10           1e+10        12
   14                711           1e+10           1e+10        13
   15                758           1e+10           1e+10        14
   16                805           1e+10           1e+10        15
   17                852           1e+10           1e+10        16
   18                899           1e+10           1e+10        17
   19                946           1e+10           1e+10        18
   20                993           1e+10           1e+10        19
   21               1040           1e+10           1e+10        20
   22               1087           1e+10           1e+10        21
   23               1134           1e+10           1e+10        22
   24               1181           1e+10           1e+10        23
   25               1228           1e+10           1e+10        24
   26               1275           1e+10           1e+10        25
   27               1322           1e+10           1e+10        26
   28               1369           1e+10           1e+10        27
   29               1416           1e+10           1e+10        28
   30               1463           1e+10           1e+10        29

                                  Best            Mean       Stall
Generation       Func-count        f(x)            f(x)    Generations
   31               1510           1e+10           1e+10        30
   32               1557           1e+10           1e+10        31
   33               1604           1e+10           1e+10        32
   34               1651           1e+10           1e+10        33
   35               1698           1e+10           1e+10        34
   36               1745           1e+10           1e+10        35
   37               1792           1e+10           1e+10        36
   38               1839           1e+10           1e+10        37
   39               1886           1e+10           1e+10        38
   40               1933           1e+10           1e+10        39
   41               1980           1e+10           1e+10        40
   42               2027           1e+10           1e+10        41
   43               2074           1e+10           1e+10        42
```