

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي



كلية العلوم الدقيقة

قسم الإعلام الآلي

مذكرة من تقديم:

الطالب: واغد محمد.

لنيل شهادة ماستر:

تخصص: أنظمة موزعة وذكاء اصطناعي.

تكييف الخوارزمية الجينية في البحث عن أفضل أنسب مسار من منظور المسافة والزمن

نوقشت بتاريخ 2017/05/28 أمام أعضاء اللجنة:

- الأستاذ بن علي عبد الكامل رئيسا ومناقشا

- الأستاذ كرثوي إسماعيل مناقشا

- الأستاذ الدكتور لجدل إبراهيم مؤطرا

دفعة: جوان 2017

ملخص:

عالجت هذه المذكرة احد مشاكل النقل في شبكة (مواصلات، اتصالات، ...) للبحث عن أحسن مسار (مسلك) بين نقطتين (عقدتين)، حيث تم اقتراح نموذج يرتكز على الخوارزمية الجينية قادرة على إيجاد أفضل انسب مسار من عقدة الانطلاق إلى عقدة الهدف بتوليف المسافة مع الزمن.

الكلمات المفتاحية: مسار، أفضل، أفضل انسب مسار، الخوارزمية الجينية.

Abstract :

This memory is treated one of the problems of transport in the network (transport, communication, ...) was solved to find the best path between two points (two nodes), where make a model based on the genetic algorithm. It can to find a appropriate path optimal from start to the target node by tuning the distance with time.

Keywords : path, optimal, appropriate path optimal, genetic algorithm.

شكر:

في بادئ الأمر، أتقدم بشكر وثناء جزيل للأستاذ المؤطو الدكتور إبراهيم لجدل على التوجيهات وسعة الصدر والجو الأخوي الذي ساد فترة إعداد هذه المذكرة بأسلوبه الراقي المتميز في النقاش والتصويب، وعلى تشجيعه المتواصلة والدائم وحرصه على تقديم الأحسن والأفضل. كما أقدم أحر التحيات إلى الأستاذ الأب البروفسور محمد خير الدين خلادي المتشعب بالتجارب العلمية والعملية، الذي أنار لنا بعقم أفكاره وبُعد نظره آفاق جديدة نحو البحث، ولن انس احد مقولاته الحكيمة "إذا دخلت إلى مجال البحث، فلن تخرج منه ما دمت في الحياة الدنيا".

كما أوجه شكر وعرفان كبيرين للأساتذة الذين اشرفوا على تدريس دفعة ماستر2 جوان 2017 تخصص أنظمة موزعة وذكاء اصطناعي بجامعة الوادي، على المجهودات المبذولة كُـل حسب اجتهاده الخاص. فعلا حركوا فيا روح الاطلاع والبحث من جديد بعد انقطاع عن مقاعد الدراسة لأكثر من 15 سنة مضت.

شكرا للأساتذة على المجهودات المبذولة.

شكرا على المعلومات المقدمة.

شكرا على سعة الصدر.

شكرا على روح الأخوة.

التوفيق لكل مجتهد.

إهداء:

إلى،

روح أبي الطاهرة، مثواه الجنة إنشاء الله ...

الأم العزيزة المجاهدة، أدام الله عليها نعمة الصحة ...

الزوجة المكافحة ...

أب وأم الزوجة، نعمة الإحسان ...

أبنائي الكتاكيت،

أكرم الملائكة ...

أ مجد المذهب ...

أشرف النشيط ...

أحمد المجتهد...

قائمة المحتويات

06.....	قائمة الجداول
07.....	قائمة الأشكال والمخططات
09.....	قائمة المصطلحات
10.....	المقدمة
	1. الفصل الأول: إطار البحث والإشكالية المطروحة
11.....	1.1. إطار البحث
11.....	1.1.1. مشكلة النقل
12.....	2.1.1. البيئة المرورية
12.....	2.1. الإشكالية المطروحة
12.....	1.2.1. تقديم المشكلة
14.....	2.2.1. مبررات البحث
14.....	3.2.1. أهمية موضوع البحث
14.....	4.2.1. الأهداف المرجوة
	2. الفصل الثاني: الأبحاث والدراسات السابقة
15.....	1.2. لمحة على نظرية البيانات
16.....	1.1.2. مفهوم البيان
17.....	2.1.2. تمثيل البيان
19.....	3.1.2. تكلفة المسار
20.....	2.2. أشهر مشاكل النقل التقليدية
20.....	1.2.2. مشكلة البائع المتجول. TSP
21.....	2.2.2. مشكلة توجيه المركبات. VRP
22.....	3.2.2. مشكلة أقصر مسار. SPP
25.....	3.2. مشكلة أقصر مسار ديناميكي: DSP
25.....	1.3.2. مشكلة DSP بزمان عبور ثابت
26.....	2.3.2. مشكلة DSP بزمان عبور متغير

28.....	4.2. خوارزميات أقصر مسار: shortest path algorithms
28.....	1.4.2. خوارزمية ديكسترا. Djikstra
31.....	2.4.2. خوارزمية A*
35.....	5.2. الخوارزميات التطورية: evolutionary algorithms
35.....	1.5.2. أساسيات علم الوراثة
38.....	2.5.2. مفاهيم في التحسين
43.....	3.5.2. تصنيف طرق حل المشاكل
44.....	6.2. الخوارزميات الجينية (الوراثية): genetic algorithm
44.....	1.6.2. تعريف الخوارزمية الجينية
44.....	2.6.2. أساسيات الخوارزمية الجينية
48.....	3.6.2. خطوات الخوارزمية الجينية
49.....	4.6.2. الخوارزمية الجينية ومشاكل أقصر مسار
	الفصل الثالث: النموذج المقترح
51.....	1.3. تمثيل الكروموسوم: chromosome
52.....	2.3. خوارزميات تشكيل الجيل الابتدائي
57.....	3.3. خطوات الخوارزمية الجينية
58.....	4.3. دالة الجودة (التلاؤم) fitness
59.....	1.4.3. حساب جودة المسافة (الطول)
59.....	2.4.3. حساب جودة الزمن (الوقت)
	الفصل الرابع: اختبار، نتائج وتقييم الخوارزمية الجينية
60.....	1.4. اختبار الخوارزمية
62.....	2.4. نتائج الاختبارات
85.....	3.4. تقييم النتائج
87.....	الخاتمة
88.....	قائمة المراجع
90.....	الملاحق

قائمة الجداول:

- الاختبار 1: نتائج تكوين أفراد (مسارات) الجيل الابتدائي 63
- الاختبار 3: نتائج تتبع أفضل المسارات خلال عملية بحث عن أفضل اقصر مسار 75
- الاختبار 4: نتائج البحث عن أفضل اقصر مسار حسب عدد أفراد الجيل 77
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 01) 81
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 02) 82
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 03) 83
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 04) 84

قائمة الأشكال والمخططات:

الأشكال:

- الشكل 1: البيان الشبكي 13
- الشكل 2: البيان الموجه وغير موجه 16
- الشكل 3: البيان المقيم غير موجه 17
- الشكل 4: مصفوفة الجوار 18
- الشكل 5: مصفوفة التأثير 18
- الشكل 6: قائمة الجوار 19
- الشكل 7: بيان لمشكلة البائع المتجول 20
- الشكل 8: بيان لمشكلة توجيه المركبات 21
- الشكل 9: إيجاد أقصر مسار 23
- الشكل 10: أقصر مسار وأسرع مسار 24
- الشكل 11: زمن ثابت للعبور ومتغير لاجتياز العقدة 25
- الشكل 12: نص خوارزمية ديكنسترا 29
- الشكل 13: خوارزمية ديكنسترا – التكرار 1 30
- الشكل 14: البحث بخوارزمية A^* 33
- الشكل 15: مكونات الكروموسوم 36
- الشكل 16: تهجين الكروموسومات 37
- الشكل 17: الطفرة في الكروموسوم 37
- الشكل 18: مراحل التحسين 38
- الشكل 19: مصفوفة الجوار لمشكلة بائع متجول TSP 40
- الشكل 20: بيان لمشكلة بائع متجول TSP 40
- الشكل 21: مشكلة حقيقية الظهر – التحسين التوافقي 41
- الشكل 22: تصنيف طرق حل المشاكل 43
- الشكل 23: التزاوج في الخوارزمية الجينية 46

- الشكل 24: الطفرة في الخوارزمية الجينية.....47
- الشكل 25: أعظم محلي وأعظم شامل في البحث.....47
- الشكل 26: مراحل الخوارزمية الجينية.....49
- الشكل 27: تمثيل الكروموسوم (المسار).....52
- الشكل 28: بيان غير موجه مثقل بالمسافة والزمن.....52
- الشكل 29: الجيل الابتدائي.....54
- الشكل 30: بيان لاختبار الخوارزمية الجينية مثقل بالمسافة.....90
- الشكل 31: بيان لاختبار الخوارزمية الجينية مثقل بالمسافة والزمن.....91

المخططات:

- الاختبار 1 : مخطط تكوين أفراد (مسارات) الجيل الابتدائي.....64
- الاختبار 3: مخطط تتبع أفضل المسارات خلال عملية بحث عن أفضل اقصر مسار.....76
- الاختبار 4: مخطط البحث عن أفضل اقصر مسار حسب عدد أفراد الجيل.....78
- الاختبار 4: مخطط البحث عن أفضل اقصر مسار حسب عدد أفراد الجيل (4، 6، 12).....79
- الاختبار 4: مخطط البحث عن أفضل اقصر مسار حسب عدد أفراد الجيل (24، 48، 96).....80
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 01).....81
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 02).....82
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 03).....83
- الاختبار 5: نتائج البحث عن انسب مسار (عينة 04).....84

قائمة المصطلحات:

عربية	english
حل	solution
حيوي/ديناميكي	dynamic
خوارزمية	algorithm
دالة	function
ذكاء	intelligence
زمن	time
شامل	global
شبكة	network
طريقة	method
طفرة	mutation
عشوائي	stochastic
عقدة/نقطة	node/vertice/point
عمليات	operational
غير موجه	undirected
قائمة	list
فوس/خط/ضلع	arc/line/edge
قيمة	value
كروموسوم/صبغي	chromosome
مجتمع	population
محلي	local
مرتبط	connected
مسار	path
مسافة	distance/length
مشكلة	problem
مصدر	source
مصفوفة	matrix
مضبوط/دقيق	exact
مكتمل	complete
موجه	directed
نخبة	elistim
نظرية	theory
نقل	transport
نموذج	model
هدف	target/goal
وجهة	destination

عربية	english
ابتدائي	initial
أدنى	minimum
استكشاف	exploration
استكشافية	heuristic
أسرع	fastest
اصطناعي	artificial
أعظم	maximum
أفضل/أحسن	optimal
أقصر	shortest
انتقاء	selection
اناسب	appropriate
الانطلاق	start
بحث	find
بيان	graph
بياني	graphic
تأثير	incidence
تحسين	optimization
تزاوج/تهجين	crossover
تطور	evolution
تعظيم	maximize
تقريبي	proximate
تقليل/تخفيض	minimize
تقييم	evaluation
تمثيل	representation
توافق	combination
توجيه	routing
توليد	generate
ثابت	static
جوار	adjacency
جودة/تلاؤم	fitness
جيل	generation
جين/مورث	gene
جينية/وراثية	genetic
حتمية	deterministe
حدث	event

المقدمة:

لقد أضحت النقل ووسائل الاتصال العصب الرئيس في حياتنا اليومية، على اعتبار أن عامل الوقت أصبح مع تزايد انشغالات ومتطلبات العصر يشكل عنصرا محوريا في كل التعاملات وعلى جميع الأصعدة التجارية، الاقتصادية، السياحية،... وحتى الإنسانية من خلال شبكات التواصل الاجتماعي، التي أصبحت جزءا مهما في الحياة العصرية للفرد الحالي وشكل من أشكال العولمة الثقافية الحتمية.

لهذا فإن المشاكل التي تعيق المواصلات أو الاتصالات، كانت ولا زالت تشغل المجتمع العلمي في مجال نظرية البيانات ضمن تخصص بحوث العمليات.

من هذا المنطلق جاء موضوع المذكرة ضمن السياق البحثي السالف الذكر، ليغطي جانب من عجز خوارزمية ديكسترا `dijkstra algorithm` الفعالة فقط في إيجاد اقصر مسار من منظور واحد (مسافة، زمن، تكلفة، أعباء، ...) بين نقطتين (عقدتين) في شبكة، وعدم قدرة هذه الخوارزمية على إجراء توافق بين عدة اعتبارات مثلا المسافة والزمن مرتكز بحث هذه المذكرة.

إن تعدد مشاكل النقل خصوصا في الشبكات الواسعة والمتشعبة، وتعدد البعض منها وعدم وجود حلول مضبوطة `exact` في نوعية أخرى، ساهم في توظيف الذكاء الاصطناعي `artificiel intelligence` المستلهم من دراسة واستغلال السلوك الجماعي الذكي لمجتمعات الحيوانات والحشرات وحتى النباتات، لحل مشاكل معقدة جدا عن طريق الاقتراب التدريجي من أحسن الحلول أو بما يسمى بالحل الأمثل.

في هذا الصدد، يهدف موضوع البحث لحل نوع من هاته المشاكل باقتراح نموذج يركز على الخوارزمية الجينية `genetic algorithm` كأشهر الطرق المستعملة في مجال الذكاء الاصطناعي الذي نُبِت نجاحها في حل المشاكل خصوصا المتشابهة، مرتكزة على صيغ رياضية تقوم عن مبدأ الأمثلة التوافقية بين المسافة والزمن لإيجاد أفضل انسب مسار `appropriate path optimal` بين نقطتين (عقدتين)، الذي ليس بالضرورة أن يكون الأقصر طولاً أو الأقل زمناً.

جاءت المذكرة في أربعة فصول، يستهلها الفصل الأول بإلقاء نظرة شاملة على نظرية البيانات والإشكالية المطروحة للبحث والأهداف المنتظر تحقيقها. أما الفصل الثاني مخصص للأبحاث والدراسات السابقة المتعلقة بإطار الموضوع المعالج، مع التركيز بالأخص على أجزاء ومكونات الخوارزمية الجينية كمقاربة حل تعتمد على مبدأ التطور والتحسين.

يشكل الفصل الثالث ثمرة البحث من خلال تقديم النموذج المقترح الذي يتضمن أولا شكل الكروموسوم (المسار)، يليه خوارزميات توليد الجيل الابتدائي وأخيرا الخوارزمية الجينية المقترحة في هذا النموذج.

الفصل الرابع خُصص لعرض ومناقشة نتائج الاختبارات التي أجريت على النموذج المقترح مدعمة بمخططات وجداول إحصائية.

الفصل الأول:

إطار البحث والإشكالية المطروحة

يتضمن الفصل الأول الإطار العام والخاص للموضوع المعالج في هذه المذكرة، مع استعراض سريع لأشهر وأهم مشاكل النقل التقليدية كمدخل للإشكالية المطروحة في هذا البحث، مع ذكر الدوافع والمبررات من وراء اختيار هذا النوع من البحوث، وما مدى الأهمية التي يشكلها موضوع البحث على الصعيدين النظري والعملي، مختوم بالأهداف المنتظرة من النتائج المأمول الوصول إليها.

1.1. إطار البحث:

تعتبر مشاكل النقل في مجال بحوث العمليات operational research من أهم ميادين البحث والتطوير، نظرا لتعدد وتنوع وسائل النقل والمواصلات وكذا تداخل وتشابك شبكات الطرق خصوصا في الوسط العمراني، الشيء الذي يطرح تحديات على الدوام لسائقي المركبات خصوصا في حالات التدخل الاستعجالي من إيجاد المسلك الأنسب لبلوغ المحطة المستهدفة (مكان الحدث) بأقل تكلفة ممكنة (أقل مسافة، أقل مدة زمنية، أقل عدد تنقلات، ...).

إن عدد المركبات الكبير وازدحام الحركة المرورية في الأماكن الشبه مغلقة يشكل عقبات كبرى أمام مركبات التدخل الاستعجالي (الإسعاف، الحماية المدنية، الشرطة، ...) للوصول إلى مكان الحدث (نقطة الوصول) بأسرع ما يمكن نظرا لما يشكله عامل الوقت من أهمية بالغة. في هذا السياق نتكلم هنا عن البحث على المسار الأنسب في بيئة مرورية ديناميكية شديدة التغير، وإيجاد هذا المسار يشكل محور بحث وموضوع هذه المذكرة.

1.1.1. مشكلة النقل:

تنكب مشكلة النقل transport problem على دراسة ومعالجة تنقل المركبات في شبكة محدودة من الطرق معلومة مسبقا، تشكل فيها أماكن التوقف أو العبور (مدن، مفترقات، مخازن، ...) محطات تمر عبرها المركبة للانتقال من محطة إلى محطة أخرى، وهي مشكلة قديمة جدا ظهرت لأول مرة سنة 1736م عندما تمكن الرياضي السويسري ليونهارد أولير (1707-1783) من حل المشكلة المعروفة باسم "جسر كونيغسبرغ" للتنزه في هذه المدينة مرة واحدة والمرور على جميع جسورها السبعة.

تعتبر فترة خمسينات القرن الماضي من أكثر السنوات نشاطا في هذا الميدان، حيث طرحت مشكلة البائع المتجول Traveling Salesman Problem الذي يجوب عدة مدن ثم يعود من حيث انطلق في

أقصر مسار ممكن مع المرور مرة واحدة على كل مدينة ، ما يعرف في نظرية البيانات في مجال بحوث العمليات بدورة هاملتون (1856م) Hamilton [6] [17]

كما طورت هذه المشكلة وظهرت فيما بعد بشكل أكثر تعقيدا من خلال مشكلة توجيه المركبات Vehicle Routing Problem، التي تعالج مشكلة التوجيه الأمثل لأسطول من المركبات من نفس النوع تقوم بتقديم خدمات لزبائن متباعدين جغرافيا ، يؤدي في النهاية إلى التقليل قدر الإمكان من التجوال الجماعي للمركبات مع مراعاة بعض الاعتبارات الأخرى (الوقت، تكلفة التنقل، ...).

2.1.1. البيئة المرورية:

تشكل البيئة المرورية الوسط الذي تنتقل وتتحرك فيه المركبات يتكون من شبكة طرق، حيث يتميز هذا الوسط بالحيوية و الديناميكية المستمرة وشديدة التغير خصوصا في مركز المدينة. تتأثر هذه البيئة بعدة عوامل تشكل عدة معيقات على رأسها عدد المركبات إضافة إلى حالة الطريق، الأحوال الجوية...، يمكن إدراجها ضمن فئتين من المعيقات وهما:

-معيقات ساكنة (ممهلات، حفر، أضواء مرورية، ممرات الراجلين،...).

-معيقات متحركة (مركبات، أشخاص، حيوانات، أحوال الجو، ...).

2.1. الإشكالية المطروحة:

1.2.1. تقديم المشكلة:

يعتبر الازدحام المروري في الأماكن شبه المغلقة -مركز المدينة بالخصوص- أكبر مشكلة تواجه سائق المركبة، نظرا للعدد الكبير من المركبات التي تتحرك في مساحة محدودة نوعا ما، وكذا مختلف المعوقات التي تؤثر على حركة المرور وتؤدي أحيانا إلى شلل واختناق مروري، الشيء الذي يحتم على سائق المركبة البحث المتواصل خلال التنقل من نقطة إلى أخرى لإيجاد أنسب طريق (مسار) للوصول إلى المحطة المستهدفة في أقل مدة زمنية وفي أقل مسافة.

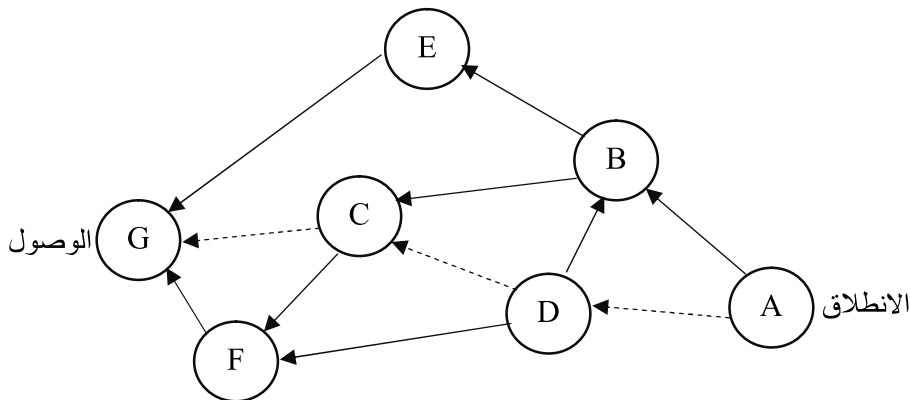
يشكل عامل الوقت لمركبات التدخل الاستعجالي (الإسعاف، الحماية المدنية، الشرطة، ...) بالدرجة الأولى أهم العوامل التي يجب أن يراعيها سائق هذا النوع من المركبات للوصول إلى مكان الحدث، نظرا لما يشكله التدخل في الوقت المناسب من أهمية بالغة في تدارك الموقف بالسيطرة عليه واحتواءه تجنباً للتطورات الكارثية التي يمكن أن تنجم من تأخر التدخل في الحالات الحرجة (هلاك الشخص، انتشار الحريق، اتساق رقعة المناوشات، ...).

إن المبدأ السائد لدى سائقي مركبات التدخل الاستعجالي هو اختيار أقصر مسار عن مكان الحدث، على اعتبار أن أقل مسافة هو العامل الأهم للوصول في أقل وقت (مبدأ خوارزمية ديكسترا 1959 dijkstra [2] [13]) دون مراعاة في غالب الأحيان الحالة المرورية للمسار المختار، مع أن هذا الاختيار ليس بالضرورة أن يؤدي في جميع الحالات إلى الوصول في أقل مدة زمنية، ومع ذلك يبقى هذا المبدأ

معمول به نظرا لان المجازفة في سلك طريق أطول نوعا ما مستبعدة وغير واردة في حالات التدخل الاستعجالي.

إن الاطلاع الشامل بالأرقام والحسابات والخرائط على شبكة الطرق والمسالك في وسط مغلق (عمراني، ...) ضروري لكن غير كافي، على اعتبار أن التغيرات المتعاقبة المؤثر في البيئة المرورية من لحظة إلى أخرى تجعل الاختيارات المعدة سلفا غير مناسبة في بعض الحالات، بالتالي فان عدم مراعاة التغيرات (عدد المركبات في فترة زمنية، حالة الطريق والأحوال الجوية، الأشغال، الأحداث المتوقعة، ...) وأخذها في الحسبان عند اختيار الطريق (المسلك) الأنسب للوجهة المقصودة سوف يبقى على المشكلة قائمة ومطروحة للبحث.

يعتبر إيجاد انسب مسار ونقصد به الوصول في أقل مدة زمنية في أقصر مسار ممكن (ليس بالضرورة) مشكلة عويصة ومعقدة كونها تشكل في حد ذاتها مشكلة متحركة، نظرا إلى التغير الدائم للحالة المرورية من لحظة إلى أخرى، ومن فترة إلى فترة أخرى، مع صعوبة التنبؤ ببعض المعوقات المتحركة بالأخص. لفهم أكثر لتعقيد هذه المشكلة نستعين بالبيان الشبكي في الشكل (1):



الشكل 1: البيان الشبكي.

نفرض أن في حدود الساعة التاسعة صباحا انطلقت سيارة الإسعاف من النقطة A للذهاب إلى النقطة G لتسلك أقصر مسار وهو G-C-D-A، حيث أن الطريق بين النقطتين D و C يشهد يوميا ازدحام شديد في هذا الوقت. على الرغم من ذلك تبقى سيارة الإسعاف تسلك نفس المسار المحدد سلفا، على اعتبار أن العقدة C تقع ضمن أقصر مسار وهذا تجنباً لقطع مسافة أطول.

في هذه الحالة يتضح جليا بان المشكلة في حد ذاتها متغيرة وليست ساكنة (ديناميكية)، نظرا لان عامل الزمن (الوقت المستغرق) أساسي كونه مرتبط بالتغيرات التي تطرأ على البيئة المرورية في مختلف الأوقات والفترات. إن المتغير الزمني باعتباره أهم العوامل في مثل هذا النوع من مشاكل النقل، يجب إدراجه ضمن المعطيات والقيود الرئيسية أثناء البحث عن انسب مسار (مسلك، طريق، ...) للوصول إلى الهدف المنشود (مكان الحدث) في أقل وقت وتكلفة ممكنين.

2.2.1. مبررات البحث:

إن مجال بحوث العمليات باعتباره يثير ويعالج مختلف المعضلات والصعوبات التي تواجه الأفراد والهيئات في أرض الواقع، من الميادين الجذابة التي تدفع الباحث إلى تناول هذه المشكلات التي تطرح تحديات في واقع الحياة اليومية، وتحفزه للمساهمة في الوصول إلى صياغة رياضية تسهل حل تلك المشكلات المعقدة.

من جهة أخرى تشكل التبعات والتأثيرات المعتبرة جراء التأخر في إيجاد تصور وحل فعال للمشكلة المتكررة بشكل شبه يومي المطروحة في هذا البحث، دافعا وحافزا قويا إلى إجراء بحثا ودراسة معمقة تهدف للتوصل إلى حل في صياغة رياضية نموذجية، قابلة للتجسيد برمجيا في تخصص الذكاء الاصطناعي Artificial intelligence.

إن توظيف الذكاء الاصطناعي لحل هذا النوع من المشكلات المعقدة يعتبر في حد ذاته دافعا إضافيا وراء اختيار مشكلة هذا البحث، باعتباره (الذكاء الاصطناعي) يرغم الباحث على نمذجة المشكلة في صياغة رياضية شاملة مدعمة بخطوات إجرائية منطقية في شكل خوارزمية Algorithm تغطي كل جوانب المشكلة وتمكن من إيجاد أنسب مسار (أسرع مسار) في ظل كل التغيرات المرورية الواجب مراعاتها في الحل المقترح.

3.2.1. أهمية موضوع البحث:

ينطلق موضوع البحث من مشكلة واقعية ملموسة بشكل شبه يومي خصوصا في الأماكن الحضرية، كما يندرج ضمن البحوث النوعية التي تعتمد على التقصي والتدقيق في التغيرات التي تطرأ على البيئة المرورية بغية التوصل إلى وضع صياغة رياضية تغطي جميع جوانب المشكلة، حيث يسهل فيما بعد معالجتها آليا بتوظيف الذكاء الاصطناعي من أجل التوصل إلى الأحسن من بين الحلول الممكنة.

4.2.1. الأهداف المرجوة:

يتمثل الهدف الرئيسي من حل هذا النوع من المشاكل في إيجاد أنسب طريق (مسار) للوصول إلى مكان الحدث (نقطة الهدف) في أقل مدة زمنية وفي أقصر مسافة ممكنة، من خلال إيجاد أحسن توليفة تراعي وتأخذ بعير الاعتبار عاملي المسافة والزمن. من خلال الهدف الرئيسي نسعى إلى تطوير أو وضع خوارزمية استكشافية heuristic algorithm لتوليد أمثل الحلول.

الفصل الثاني:

الأبحاث والدراسات السابقة

يمثل الفصل الثاني الركيزة البحثية لهاته المذكرة، حيث يتضمن أهم الأبحاث والدراسات المرتبطة مباشرة بموضوع البحث، مسبقة بالمفاهيم الأساسية في بحوث العمليات المتعلقة بنظرية البيانات وكذا الطرق والأشكال المعتمدة في تمثيل البيان. كما يتم التطرق كذلك إلى أشهر مشاكل النقل التقليدية والخوارزميات الأكثر استعمالاً في إيجاد اقصر مسار (ديكسترا بالخصوص) كمدخل للخوارزمية الجينية كإحدى الطرق الاستكشافية heuristic المصنفة ضمن عائلة الخوارزميات التطورية evolutionary algorithms.

1.2. لمحة على نظرية البيانات: theory of graphs

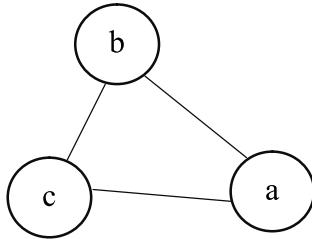
"بحوث العمليات أو علم القرار هو فرع من فروع الرياضيات التطبيقية. يسمى البرمجة الرياضية ويهتم بتحسين وطرائق معينة بقصد الوصول إلى حل أمثل للمشاكل. ولبحوث العمليات تطبيقات في الهندسة والعلوم الاقتصادية والإدارية والتسويقية. تستخدم في بحوث العمليات طرق النمذجة الرياضية والتحليل الإحصائي للوصول للحل الأمثل واتخاذ القرارات. ونظراً لتنوع وكثرة تطبيقاتها، تتقاطع بحوث العمليات مع مجالات أخرى متعددة مثل الهندسة الصناعية، وإدارة العمليات، وإدارة المواصلات. تتكون بحوث العمليات من مجموعة من الأساليب (الطرق) المختلفة (مسألة النقل، البرمجة الخطية، البرمجة الشبكية،...) هذه الطرق في حد ذاتها ليست متجانسة ولا تعالج نفس الموضوعات، إلا أنها تبحث كلها في الحل الأمثل حسب نوع وطبيعة المسائل. وعادة ما يكمن الهدف في الحل الأمثل المنشود هو الحصول على أقل تكلفة ممكنة أو أكبر ربح ممكن." موسوعة ويكيبيديا

تعتمد بحوث العمليات على نظرية البيانات (المخططات) التي تستعمل لتمثيل وتبسيط حل المشاكل، حيث تعتبر أهم وأنجع الأدوات المستعملة في هذا المجال و "هي نظرية في الرياضيات وعلوم الحاسب، تدرس خواص المخططات حيث يتم تمثيل مجموعة كائنات تدعى رؤوساً، ترتبط ببعضها بأضلاع و تدعى أحيانا أقواساً، يمكن أن تكون موجهة أي مزودة باتجاه (تستخدم الأسهم بدل الأضلاع) أو بدون اتجاه (أضلاع فقط). التمثيل لهذا المخطط يكون على الورق بمجموعة نقاط تمثل الرؤوس متصلة بخطوط هي حروف (أضلاع أو أسهم) المخطط". موسوعة ويكيبيديا

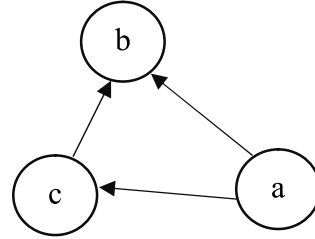
بدأت نظرية الرسم البياني في سنة 1736م عندما تمكن ليونهارد أويلر(*) من حل مشكلة جسر كونيغسبرغ المعروفة. هذه المشكلة تدور حول إجراء نزهة دائرية عبر بلدة كونيغسبرغ Königsberg حالياً كالينينغراد(*) Kaliningrad، خلالها يتم عبور الجسور السبعة في المدينة التي تمتد من نهر بريجل Pregel مرة واحدة فقط. [16]

1.1.2 مفهوم البيان: graph

البيان هو عبارة عن مجموعة من العقد (رؤوس، نقط) nodes (vertices, points) مرتبطة فيما بينها بأقواس (أضلاع، خط) arcs (edges, lines) تسمى أسهم عندما تكون موجهة. يرمز للبيان بالحرف G وهو زوج مرتب $G=(N,A)$ ، حيث N تمثل مجموعة العقد $\{a,b,c,...\}$ وتمثل A مجموعة الأقواس $\{(a,b),(a,c),(c,b), ..., \}$ على شكل ثنائيات من N . انظر الشكل (2):



(2.2) بيان غير موجه



(1.2) بيان موجه

الشكل 2: البيان الموجه وغير موجه.

-بيان موجه: directed graph

كل قوس في هذا البيان ينطلق من عقدة إلى العقدة المجاورة باتجاه محدد. يعتبر هذا النوع من البيانات مناسب لتمثيل مسلك (طريق، شارع، ممر، ...) ذو اتجاه واحد. انظر الشكل (1.2)

في البيان الموجه تسمى a عقدة سابقة predecessor للعقدة b ، والعقدة b تابعة successor للعقدة a .

-بيان بسيط: simple graph

هو البيان الذي لا يحتوي على لا حلقات ولا على أقواس متعددة. الحلقة هي قوس ينطلق ويصل إلى نفس العقدة، بمعنى أن طرفي القوس هما نفس العقدة. يحتوي بيان بأقواس متعددة على عدة أقواس مشتركة في نفس العقد.

-بيان مكتمل: complet graph

يسمى بيان مكتمل عندما يكون هناك أقواس بين كل عقدة وبقيّة العقد الأخرى.

-مسار: path

المسار (المسلك، ...) هو عبارة عن تسلسل من الأقواس يربط بين عقدة البداية (s) وعقدة النهاية (t) يمر عبر مجموعة من العقد ($n_1, n_2, ...$). اصغر مسار يتكون من قوس وعقدتين (02).

-دورة: cycle

الدورة هو مسار يبدأ وينتهي في نفس العقدة التي انطلق منها. دورة هاملتون Hamilton cycle هي مسار يمر عبر كل عقد البيان. [17]

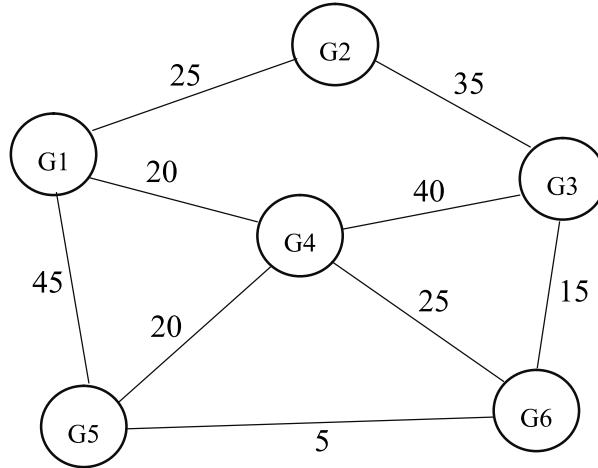
-بيان مرتبط: connected graph

يسمى بيان مرتبط عندما يكون هنالك مسار بين أي زوج من العقد، بمعنى لا وجود لعقدة معزولة.

2.1.2. تمثيل البيان: representation of the graph

-التمثيل البياني: graphic

هو عبارة عن شكل تُمثل فيه العقد على شكل دوائر (نقط، رمز، ...) والأقواس على شكل خط (مستقيم، منحني، ...). يسمى البيان موجه إذا كان الأقواس لها اتجاه واحد وهو مناسب لتمثيل شوارع ذات اتجاه واحد، أما إذا كانت الأقواس غير موجهة فيصبح البيان مناسب لتمثيل طرق مزدوجة الاتجاه وهي البيانات الأكثر استعمالاً على العموم للبحث عن المسار المناسب (مثلاً البحث عن أقصر مسار). [3]



الشكل 3: البيان المقيم غير موجه .

-التمثيل بمصفوفة الجوار: adjacency matrix

يعتبر التمثيل البياني غير مناسب وغير عملي لمعالجة هذا النوع من المشاكل عن طريق الكمبيوتر، تستعمل في هذه الحالة مصفوفة لتمثيل البيان تسمى "مصفوفة الجوار". للتذكير المصفوفة matrix عبارة عن بنية لحفظ القيم تتكون من جدول ببعدين (02)، كل خانة تحدد برقم السطر i ورقم العمود j تحتوي على قيمة عددية $AM(i,j)$.

في مصفوفة الجوار يمثل وجود قوس بقيمة عددية (< 0) وعدم وجود القوس بقيمة ∞ (ما لانهاية)، حيث يُمكن التمثيل بالمصفوفة من سهولة معالجة البيان للبحث بسهولة عن الحل الأنسب، وذلك بتطبيق خوارزميات استكشافية exploration algorithms تؤدي إلى إيجاد المسار المرغوب.

في البيان السابق (الشكل 3) تكون في مصفوفة الجوار قيم عددية (5، 15، 20، 25، ...) في حالة وجود خط (رابط، قوس) بين عقدة وعقدة مجاورة، أما في حالة عدم وجود خط بين عقدة (محطة) وعقدة أخرى توضع قيمة ∞ . في قطر المصفوفة توضع القيمة 0 وهي تعبر عن تكلفة مجانية لانتقال من محطة إلى نفس المحطة. مصفوفة الأطوال تكون كما في الشكل (4): [3]

باتجاه ➤ G1 G2 G3 G4 G5 G6

G1	0	25	∞	20	45	∞
G2	25	0	35	∞	∞	∞
G3	∞	35	0	40	∞	15
G4	20	∞	40	0	20	25
G5	45	∞	∞	20	0	5
G6	∞	∞	15	25	5	0

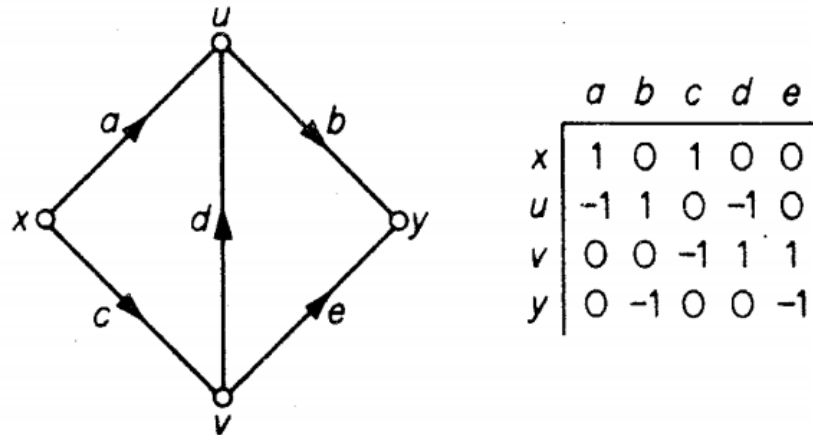
الشكل 4: مصفوفة الجوار.

-التمثيل بمصفوفة التأثير: incidence matrix

في مصفوفة التأثير IM يتم تمثيل الروابط بين الأقواس والعقد، حيث توضع في الخانة $IM(nj, ai)$ قيمة 1 إذا كانت العقدة nj في بداية (tail) القوس ai أو قيمة -1 إذا كانت العقدة في نهاية (head) القوس. أما إذا كانت العقدة nj ليست ضمن أطراف القوس ai فتوضع القيمة 0. تعطى الحالة العامة بالصيغة التالية: [6]

$$\begin{cases} 1 & \text{if } a \text{ is a link and } v \text{ is the tail of } a \\ -1 & \text{if } a \text{ is a link and } v \text{ is the head of } a \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث v هي العقدة والقوس هو a . الشكل (5) يمثل بيان موجه والمصفوفة التأثير الموافقة له: [6]

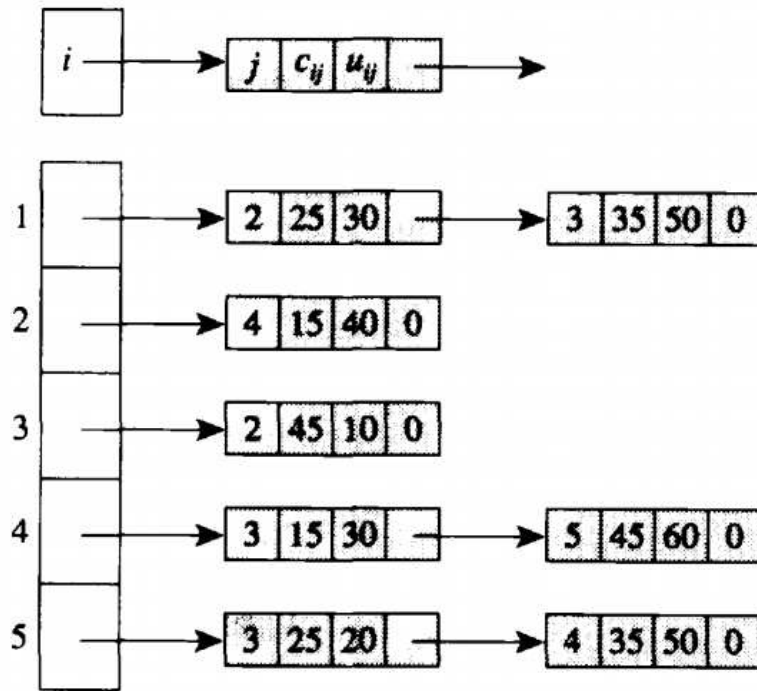


الشكل 5: مصفوفة التأثير.

ملاحظة: في البيان غير موجه توضع قيمة 1 إذا كانت العقدة من ضمن أطراف القوس، أما القيمة 2 عندما يكون القوس حلقة في نفس العقدة. موسوعة ويكيبيديا

-التمثيل بقائمة الجوار: adjacency list

يعتمد تمثيل البيان بقائمة الجوار على تجميع الأقواس المنطلقة من كل عقدة على حدا في قائمة فرعية، حيث يشكل كل عنصر في قائمة الجوار عقدة من البيان ويتفرع عن كل عقدة قائمة فرعية تضمن جميع الأقواس المنطلقة من تلك العقدة أي توابع العقدة (الشكل...). يمثل كل القوس منطلق من العقدة i في أربعة (04) خانات، الخانة الأولى نجد عقد الوصول j (أو العقدة التابعة) وفي الخانة الثانية تكلفة القوس c_{ij} (مسافة) الرابط بينهما، أما الخانة الثالثة تحوي قيمة القدرة u_{ij} (زمن، أعباء، ...) تعبر تكلفة إضافية وأخيرا الخانة الرابعة تؤثر للعنصر (القوس) الموالي يأخذ قيمة صفر عند انتهاء القائمة الفرعية. [5]



الشكل 6: قائمة الجوار.

3.1.2. تكلفة المسار: path cost

في إطار البحث عن أقصر مسار أو الأقل تكلفة أو الأسرع يستوجب إضافة معلومات إلى البيان، حيث يرفق بكل قوس قيمة عددية بدون وحدة (كيلومتر، دينار، دقيقة، ...)، أين تصبح مصفوفة الجوار تحمل قيم عددية مختلفة وتدعى في هذه الحالة مصفوفة الأطوال. Matrix of lengths

مثلا: من اجل التنقل بين محطات ركوب الحافلة، يرفق بكل قوس المدة الزمنية (بالدقيقة) اللازمة للذهاب من محطة إلى محطة أخرى، كما هو مبين في الشكل (3):

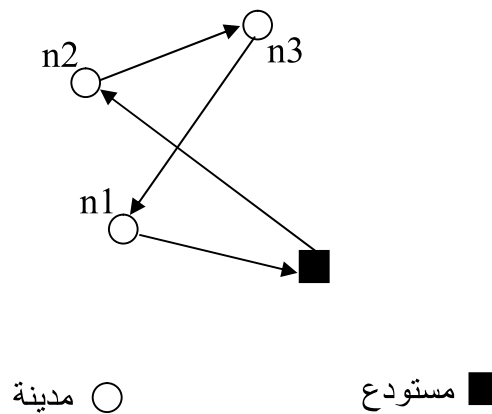
2.2. أشهر مشاكل النقل التقليدية:

1.2.2. مشكلة البائع المتجول: Traveling Salesman Problem

تعرف أيضا باختصار TSP، حيث انبثقت منها جميع مشاكل النقل (دانترزج 1954... Dantzig). تتطرق هذه المشكلة إلى تجوال بائع يقوم بزيارة مجموعة من المدن ثم يعود إلى نفس المدينة التي انطلق منها (في العادة يكون فيها مستودع التخزين).

تُمثل هذه المشكلة على شكل بيان غير موجه، أين تكون العقد هي المدن التي يتوقف فيها البائع والأقواس تعبر عن الطرق التي تربط بين كل مدينة وأخرى، حيث يقوم البائع بزيارة كل مدينة مرة واحد ثم العودة من حيث انطلق بما يعرف بدورة هاملتون.

البيان في الشكل (7) يمثل حل لمشكلة تتضمن مستودع (المربع الاسود) وثلاث (03) مدن (عقد من n_1 إلى n_3). هذا الحل يقترح الجولة $n_1-n_3-n_2$.



الشكل 7: بيان لمشكلة البائع المتجول.

ملاحظة:

يمكن استبدال البائع المتجول بسيارة، ساعي البريد، طبيب العائلة، آلة، ... وكذا استبدال المدن بزبائن، مرضى، مستشفيات، محلات، ...

عبر دانترزج (1954) عن حل مشكلة البائع المتجول بالصيغة الرياضية التالية: [2]

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

حيث:

c_{ij} تكلفة الانتقال من العقدة i إلى العقدة j .

$x_{ij} \in \{0, 1\}$ إذا كان هناك قوس بين العقدة i والعقدة j .

$\min$ التقليل من تكلفة المسار أثناء الانتقال من العقدة i إلى العقدة j .

إن الغرض الأساسي من حل مشكلة TSP هو التقليل قدر الإمكان من التجوال الإجمالي للبائع. [4]

تعتبر هذه المشكلة من أقل المشاكل تعقيدا في مشاكل النقل على اعتبار أن الزمن المستغرق للتنقل بين المدن غير مطروح، حيث يتم التركيز فقط على المسافة الفاصلة بين مدينة ومدينة أخرى. كما ان الحالة

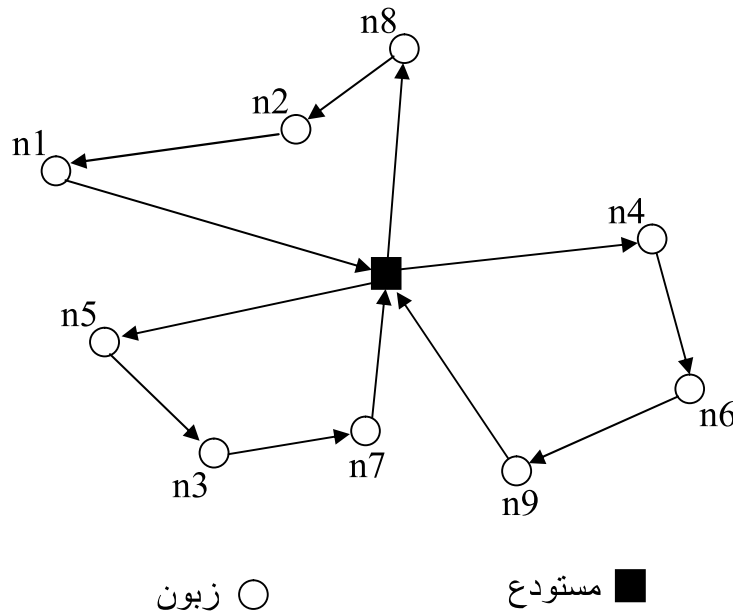
المرورية غير مأخوذة بالحسبان، ومن ثمة فإنه لا يمكن التعامل مع المشاكل المعقدة التي تشكل فيها المعوقات المرورية جزءاً أساسياً في مشكلة التنقل بنفس الشكل الذي تعالج فيه قضية البائع المتجول.

2.2.2. مشكلة توجيه المركبات: Vehicle Routing Problem

تعرف أيضاً باختصار VRP وهي حالة عامة من مشكلة البائع المتجول (دانترزج 1959)، حيث يطرح في هذه المشكلة عدد (أسطول fleet) من المركبات بنفس المواصفات (الحمولة، ...)، تقوم بتقديم خدمات إلى زبائن في عدة أماكن متباعدة جغرافياً (مدن، محلات، مدارس، أشخاص، ...).

- إضافة إلى أسطول المركبات يُطرح في هذه المشكلة كذلك بعض القيود، من قبيل:
- تقدم الخدمة لكل زبون من طرف مركبة واحدة ووحيدة فقط.
- كل مركبة تقوم بجولة واحدة فقط.
- كل زبون يجب أن يستفيد من الخدمات المقدمة.

البيان في الشكل (8) يمثل حل لمشكلة تتضمن مستودع (المربع الأسود) وتسع (09) زبائن (عقد من n1 إلى n9). هذا الحل يقترح ثلاث (03) جولات: (n1-n2-n8)، (n1-n2-n8)، (n1-n2-n8).



الشكل 8: بيان لمشكلة توجيه المركبات.

إن الغرض الأساسي من حل مشكلة VRP هو التقليل (التخفيض) قدر الإمكان من التجوال الجماعي للمركبات. [4]

رغم تعقيد مشكلة VRP ونجاعة الحلول التي يتم التوصل إليها لحل مثل هذا النوع من المشاكل المتشابكة، إلا أن عامل الوقت يبقى غير مهم وغير أساسي لإيجاد أفضل حل، نظراً لأنها تستهدف

بالأساس إلى التقليل والخفض قدر المستطاع من عدد المركبات من جهة، وكذا التقليل من عدد التنقلات بشكل فردي وجماعي للمركبات من جهة ثانية، كما أن الحالة المرورية غير مثارة وغير مدرجة بتاتا ضمن قيود المشكلة.

بالتالي تبقى مشكلة VRP مشكلة تقليدية لا يمكن استعمال الطرق والخوارزميات التي تعتمد عليها في معالجة مشكلة نقل تكون فيها البيئة المرورية جزءا رئيسيا من المشكلة والحل في آن واحد.

3.2.2 مشكلة أقصر مسار: Shortest Path Problem

تعرف أيضا باختصار SPP، تعتبر مشكلة أقصر مسار (طريق) أقدم وأشهر وأبسط مشاكل النقل، حيث وضعت وطورت عدة خوارزميات خصوصا في خمسينات القرن الماضي تعمل على إيجاد أقصر مسار بين نقطتين (مدن، محطات، أماكن، ...) وأشهرها وأكثرها استعمالا إلى يومنا هذا خوارزمية ديكسترا (1959)، حيث طرح في كتابه [13] هذه المشكلة بهذا التعبير:

Problem 2. Find the path of minimum total length between two given nodes P and Q .

من أجل البحث عن مسار بأقل طول إجمالي بين عقدتين.
تعج المراجع في هذا المجال بعدة تعريفات وتوصيفات لمشكلة أقصر مسار ديناميكي تدور جلها في هذه المقتطفات:

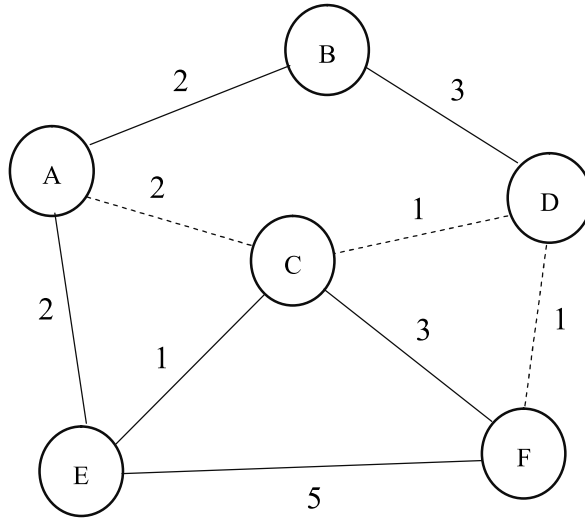
"What is the best way to traverse a network to get from one point to another as cheaply as possible?" [5]

"The shortest path problem is perhaps the simplest of all network flow problems. For this problem we wish to find a path of minimum cost (or length) from a specified source node s to another specified sink node t , assuming that each arc $(i, j) \in A$ has an associated cost (or length) c_{ij} ." [5]

"given a railway network connecting various towns, determine a shortest route between two specified towns in the network." [6]

تنكب هذه المشكلة في الأساس على البحث من أجل إيجاد أقصر مسار بين نقطتين (عقدتين) في شبكة (طرق مثلا) بأقل تكلفة ممكنة (في الغالب تكون إما المسافة أو الزمن).

البيان في الشكل (9) يمثل حل لمشكلة أقصر مسار بين مدينة A (الانطلاق) ومدينة F (الوصول) في شبكة طرق متكونة من ست (6) مدن (A, B, C, D, E, F).



الشكل 9: إيجاد أقصر مسار.

في هذه الحالة أقصر مسار هو: F-D-C-A بتكلفة 4 وحدات (مسافة أو زمن). هناك ثلاث (3) أنواع متداولة بكثرة في الأبحاث من مشكلة أقصر مسار، وهم: [5]
 - البحث عن أقصر مسار بين عقدة وجميع العقد الأخرى بأطوال موجبة.
 - البحث عن أقصر مسار بين عقدة وجميع العقد الأخرى بأطوال موجبة اختيارية.
 - البحث عن أقصر مسار بين عقدة وعقدة أخرى.
 يستهدف نموذج مشكلة أقصر مسار التقليل أو التخفيض (minimize) من تكلفة المسار والذي يُعبر عنه بالصيغة التالية: [7]

$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}$$

أين يكون:

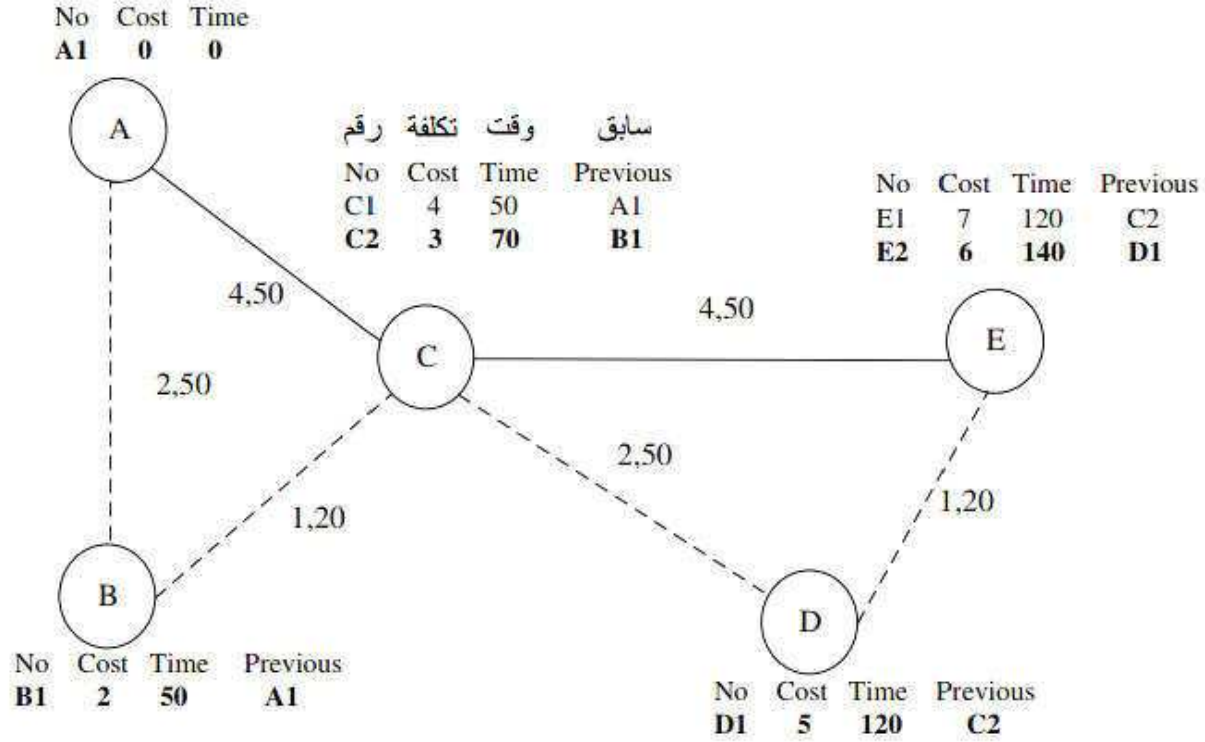
$$\sum_j x_{ij} - \sum_j x_{ji} = \begin{cases} 1, & i=s, \\ 0, & i \neq s, \neq t \\ -1, & i=t, \end{cases}$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (i,j) \in A.$$

وذلك للبحث عن أقصر مسار بين العقدة s (المصدر) والعقدة t (الهدف) من خلال الانتقال بين مجموعة من الأقواس الموجهة (i, j)، أين يرفق بكل قوس قيمة (تكلفة) تعبر عن الطول (المسافة) c_{ij} . يمثل الوسيط x_{ij} وجود قوس بين العقدة i والعقدة j ويأخذ القيمة 1 ($x_{ij}=1$)، أما في حال عدم وجود قوس يأخذ القيمة 0 ($x_{ij}=0$).

إن الغرض الأساسي من حل مشكلة SPP في جميع الحالات يؤدي إلى الوصول في اقل وقت ممكن على اعتبار أن اقل مسافة يؤدي في النهاية إلى الوصول بأقل وقت، ما يؤثر بشكل مباشرة وتلقائي ويعمل على التقليل من بعض التكاليف الأخرى (الوقود، الصلاحية، الصيانة، السائق، التلوث، ...).

رغم أهمية إيجاد أقصر مسار بين نقطتين لحل مشكلة SPP، والفائدة المترتبة عن ذلك من تقليل بعض التكاليف الإضافية، إلا أن مشكلة SPP في حقيقة الأمر لا يمكن التعامل معها بهذه السطحية خصوصا عندما يتعلق الأمر بشبكة طرق (مواصلات) تكون فيها الحالة المرورية عاملا أساسيا مؤثرا، وبالتالي ليس بالضرورة أن يكون أقصر مسار في المسافة هو أقل مسار في الوقت، كما يمكن أن يكون أسرع مسار fastest path في بعض الحالات هو أطول مسار في المسافة. الشكل (10) [11]



الشكل 10: اقصر مسار وأسرع مسار.

في هذا المثال يظهر بوضوح إن أقصر مسار للوصول إلى النقطة E انطلاقا من النقطة A هو: A-B-C-D-E بتكلفة 6 ومسافة 7.40 (1.20+2.50+1.20+2.50). أما إذا كان الوقت عاملا أساسيا للوصول في أقل وقت (أسرع مسار)، ففي هذه الحالة يصبح المسار E-C-A هو أسرع مسار في وقت قدره 120 وحدة زمنية بأقل من 20 عن أقصر مسار الذي يستغرق قطعه 140 وحدة زمنية، رغم أن تكلفته (أسرع مسار) هي 7 ومسافة قدرها 9 (4.50+4.50).

إن مشكلة أقصر مسار هي انسب نموذج يُركز عليه لحل المشكلة المطروحة في موضوع هذه المذكرة، على اعتبار أن نتائج البحث في نهاية المطاف تهدف إلى إيجاد أقصر مسار بين نقطتين، وعليه فإن الجزء المتبقي من عنصر "الأبحاث والدراسات السابقة" سوف يتعمق أكثر في المقترحات والإنجازات التي تنكب على البحث لإيجاد أقصر مسار مع الأخذ بعين الاعتبار العامل الزمني المتغير من حالة إلى حالة ومن وضعية إلى أخرى.

3.2. مشكلة أقصر مسار ديناميكي: dynamic shortest path problem

تعرف أيضا باختصار DSP، وهي امتداد للمشكلة الأم أقصر مسار SPP مع إدخال العامل الزمني كجزء أساسي في إعادة صياغة هذه المشكلة بجانب المسافة، حيث أخذت الدراسات والأبحاث السابقة القديمة منها والحديثة التي انكبت على معالجة وتطوير مشكلة أقصر مسار ديناميكي عدة مسميات وعناوين مختلفة منها:

"Point-to-Point Shortest Paths on Dynamic Time-Dependent Road Networks". [10]

"Finding a minimum cost path between a pair of nodes in a time-varying road network with a congestion charge". [11]

"Time dependent shortest path problem". [14]

"Plus court chemin avec contraintes d'horaires". [7]

"Plus court chemin avec dépendance horaire". [8]

"Plus court chemin avec Fenêtres de Temps". [9]

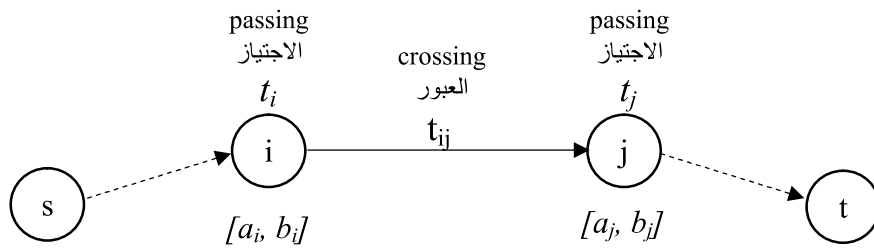
ويمكن تصنيفها من حيث زمن العبور من عقدة إلى أخرى إلى فئتين:

- الفئة الأولى: زمن ثابت للعبور ومتغير لاجتياز العقدة.

- الفئة الثانية: زمن متغير للعبور وثابت لاجتياز العقدة.

1.3.2. مشكلة DSP بزمن عبور ثابت:

في هذه الحالة يتم إعطاء قيمة زمنية ثابتة لكل قوس t_{ij} ، أين تُعبر هذه القيمة الموجبة عن الوقت المستغرق للعبور crossing من عقدة (i) إلى عقدة (j) أخرى. إضافة إلى تخصيص مجال زمني محدد $[a_i, b_i]$ لكل عقدة يتم خلاله من اجتياز passing تلك العقدة في اللحظة t_i . الشكل (11)



الشكل 11: زمن ثابت للعبور ومتغير لاجتياز العقدة.

حيث أن:

$$a_i + t_{ij} \leq b_j$$

كما تهدف المشكلة كذلك إلى التقليل من تكلفة المسار، ويُعبر عنها بالصيغة التالية: [7] [12]

$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}$$

أين يكون:

$$\sum_j x_{ij} - \sum_j x_{ji} = \begin{cases} 1, & i = s, \\ 0, & i \neq s, \neq t, \\ -1, & i = t, \end{cases}$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (i, j) \in A,$$

$$x_{ij} \neq 0 \Rightarrow t_i + t_{ij} \leq t_j, \quad (i, j) \in A,$$

$$a_i \leq t_i \leq b_i, \quad i \in N.$$

رغم مراعاة عامل الوقت ووجود الزمن في صلب الصياغة المقترحة، خصوصاً في اجتياز العقدة (نقطة دوران، أضواء تنظيم المرور، تقاطع مزدحم، جسر دوراني، ...)، إلا هذا التصور يبقى تجسيده بعيداً عن الواقع على اعتبار أن الحالة والوضعية المرورية لنفس الطريق لا يمكن أن تكون متشابهة في جميع الأحوال والأوقات (نفس اليوم، أيام الأسبوع، فصول السنة، أحوال الطقس، أشغال الصيانة، مناسبة خاصة، ...).

2.3.2. مشكلة DSP بزمن عبور متغير:

لقد اعتمدت عديد الأبحاث والدراسات التي تهدف إلى إيجاد أقصر مسار ديناميكي على وقت ثابت للعبور من العقدة إلى العقدة المجاورة. لكن الواقع عكس ذلك، فعلى سبيل المثال ظروف حركة المرور في الواحدة صباحاً غالباً ما تكون مختلفة عما هو عليه عند ساعات الذروة في الثامنة صباحاً وقت الخروج للعمل أو الرابعة مساءً إلى الخامسة وقت الرجوع للمنزل، والذي يستغرق بالتأكيد وقتاً أطولاً مقارنة بباقي أوقات اليوم. [7] اقتباس

إن نتائج نماذج الحلول المقترحة التي اعتمدت على وقت ثابت للعبور بين عقدتين متجاورتين قد يؤدي بالمركبات إلى قضاء وقتاً أطولاً في الازدحام عند سلك أقصر مسار، ناهيك على تكاليف إضافية منها ما هو اقتصادي (وقود، صيانة ...) واجتماعي (تأخر، ...) وبيئي (تلوث، ازدحام، ...) وحتى نفسي (قلق، عصبية، ...).

إن النماذج التي ارتكزت على تغير زمن العبور من العقدة إلى العقدة المجاورة أكثر واقعية ونتائجها بتأكيد تكون مقاربة لما عليه في الحقيقة، حيث تم اقتراح عدة صيغ رياضية حسب التكلفة المراد حسابها:

***تكلفة الوقود، السائق ورسوم العبور: [11]**

تركز الصيغة المالية على حساب اقل تكلفة $C_i(t)$ للمسار بين عقدة الانطلاق i وعقدة الوصول q من لحظة الانطلاق t :

$$C_i(t) = \begin{cases} \min_{j \in B(i)} c_{ij}(t) + C_j[t + k_{ij}(t)], & \text{if } i \neq q \\ 0, & \text{if } i = q \end{cases}$$

أين يعبر المتغير $k_{ij}(t)$ على المدة الزمنية المستغرقة للعبور من i إلى j بسرعة ثابتة بين العقدتين في اللحظة t . $B(i)$ هي مجموعة العقد السابقة للعقدة j الواقعة ضمن المسار الأقل تكلفة.

تمثل c_{ij} تكلفة العبور (القوس) من العقدة i إلى العقدة المجاورة j ضمن المسار المؤدي إلى عقدة الوصول q ، وتعطى بالصيغة التالية:

$$c_{ij}(t) = F_{ij}(t) + L_{ij}(t) + \lambda * C$$

حيث أن: $F_{ij}(t)$ تكلفة الوقود. $L_{ij}(t)$ تكلفة السائق.

C رسوم العبور و λ قيمة ثنائية (0، 1) تعبر عن وجود أو عدم وجود الرسوم.

***تكلفة الوقت: [21]**

تركز الصيغة المالية على حساب اقل وقت $f_i(t)$ للمسار بين عقدة الانطلاق i وعقدة الوصول N من لحظة الانطلاق t :

$$f_i(t) = \min_{j \neq i} (g_{ij}(t) + f_j(t + g_{ij}(t))), \quad i = 1, 2, \dots, N - 1$$

$$f_N(t) = 0.$$

حيث أن $g_{ij}(t)$ هو الوقت المستغرق بين العقدتين المتجاورتين من i إلى j من لحظة الانطلاق t .

مع ذلك تبقى هذه المحاولات كذلك بعيدة عن النتائج الأدق المراد الاقتراب منها، كونها تهمل الوقت المستغرق لاجتياز العقدة، كما أن قيمة وقت العبور بين عقدتين متجاورتين تعطى مباشرة بناءا تقديرات سابقة دون الاعتماد على صيغة رياضية في حساب هذا الوقت بالتدقيق.

إن إهمال وقت اجتياز العقدة يشكل ثغرة في النماذج المقترحة حتى وإن كان ضئيل القيمة والتأثير إلى درجة الإهمال، إلا أن هذا الوقت يمكن أن يصبح في بعض الحالات مدة زمنية معتبرة خصوصا مع زيادة عدد العقد المُشكلة للمسار المختار من جهة، وطبيعة كل عقدة (نقطة دوران، أضواء تنظيم المرور، تقاطع مزدحم، جسر دوراني، ...) من جهة ثانية.

4.2. خوارزميات أقصر مسار: shortest path algorithms

هناك عدة خوارزميات مصممة للبحث عن أقصر مسار في بيان (موجه أو غير موجه) بأقواس ذات قيم موجبة، بالأخص لحل المشاكل المتعلقة بالتنقل في شبكات الطرق والمواصلات، حيث لا زالت هذه الخوارزميات مستعملة ليومنا هذا في مختلف البرامج والتطبيقات وأنظمة توجيه المسافرين (مثلا في أنظمة تحديد المواقع Global Positioning System-GPS)، من أشهرها خوارزميات: ديكسترا Dijkstra، بلمان Bellman، A^* ، ...

1.4.2. خوارزمية ديكسترا: dijkstra

من أقدم وأشهر الخوارزميات في هذا المجال صممها العالم الهولندي ديكسترا dijkstra في سنة 1959، تبحث بشكل فعال عن أقصر مسار بين زوج من العقد في بيان شبكي. يقوم مبدأ الخوارزمية على وضع بطاقة المسافة $d(i)$ لكل عقدة i ، حيث تمثل هذه البطاقة المسافة القصوى للوصول إلى العقد i من عقدة الانطلاق s . [13]

In the course of the solution the nodes are subdivided into three sets:

A. the nodes for which the path of minimum length from P is known; nodes will be added to this set in order of increasing minimum path length from node P ;

B. the nodes from which the next node to be added to set A will be selected; this set comprises all those nodes that are connected to at least one node of set A but do not yet belong to A themselves;

C. the remaining nodes.

في كل خطوة بحث عن أقصر مسار، يتم تقسيم العقد إلى مجموعتين، مجموعة لديها بطاقات مسافات بقيمة دائمة (غير قابلة للتغيير) تمثل كل واحدة منها أقل مسافة بينها وبين عقدة الانطلاق. ومجموعة ثانية من العقد لديها بطاقات بقيمة مؤقتة (قابلة للتغيير) تمثل كل واحدة منها أقصى مسافة من عقدة الانطلاق. الفكرة الأساسية في خوارزمية ديكسترا تتركز على حساب أقل مسافة بين عقدة الانطلاق s وبقيّة العقد الأخرى بما فيها عقدة الوصول t ، ويتم ذلك بالخطوات التالية:

الخطوة 1: إعطاء قيمة دائمة (0) لعقدة الانطلاق s ، وقيمة مؤقتة (∞) لبقية العقد.

الخطوة 2: بداية البحث تبدأ من العقدة i ، حيث $i=s$ و s هي عقدة الانطلاق.

الخطوة 3: جمع قيمة بطاقة المسافة للعقدة i مع مسافة القوس c_{ij} للعقدة المجاورة j . إذا كان المجموع m أقل من قيمة بطاقة المسافة للعقدة i يتم استبدالها بالقيمة m .

الخطوة 4: تكرار الخطوة 3 مع باقي العقد المجاورة للعقدة i .

الخطوة 5: الانتقال للعقدة المجاورة k التي لديها أقل قيمة في بطاقة المسافة، مع الاحتفاظ بالعقدة k من ضمن عقد أقصر مسار S . وضع $(i=k)$ والرجوع إلى الخطوة 3 إلى أن تصبح جميع قيم البطاقات دائمة.

الخطوة 6: أقصر مسار بين العقدة s والعقدة t هو S .

الشكل (12) يمثل نص خوارزمية ديكسترا: [5]

algorithm Dijkstra;

begin

$S := \emptyset; \bar{S} := N;$

$d(i) := \infty$ for each node $i \in N;$

$d(s) := 0$ and $\text{pred}(s) := 0;$

while $|S| < n$ **do**

begin

let $i \in \bar{S}$ a node for which $d(i) = \min\{d(j) : j \in \bar{S}\};$

$S := S \cup \{i\};$

$\bar{S} := \bar{S} - \{i\};$

for each $(i, j) \in A(i)$ **do**

if $d(j) > d(i) + c_{ij}$ **then** $d(j) := d(i) + c_{ij}$ and $\text{pred}(j) := i;$

end;

end;

الشكل 12: نص خوارزمية ديكسترا.

S : مجموعة العقد المُشكلة لأقصر مسار. $|S|$ عدد العقد في المجموعة S .

$\bar{S}$: مجموعة العقد خارج اقصر مسار. N : مجموعة عقد البيان. n عدد عقد البيان.

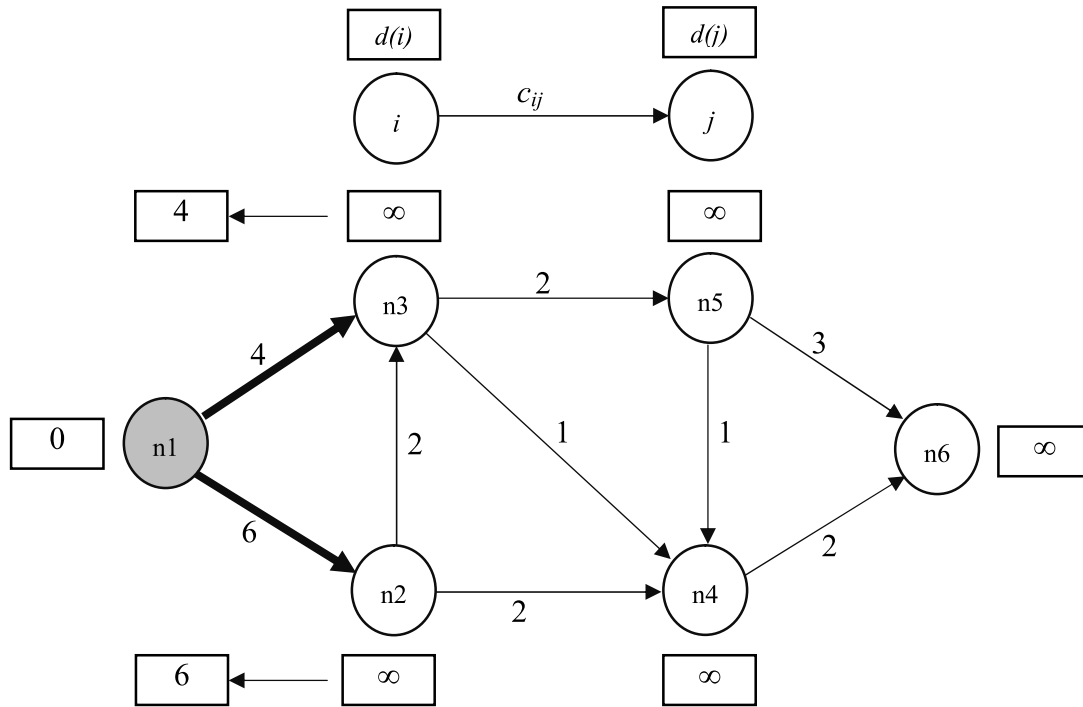
$d(i)$: المسافة بين العقدة i وعقدة الانطلاق s .

c_{ij} : مسافة القوس من العقدة i إلى العقدة j ، حيث تسمى i عقدة سابقة للعقدة j ($\text{pred}(j) := i$).

$A(i)$: مجموعة الأقواس الخارجة من العقدة i .

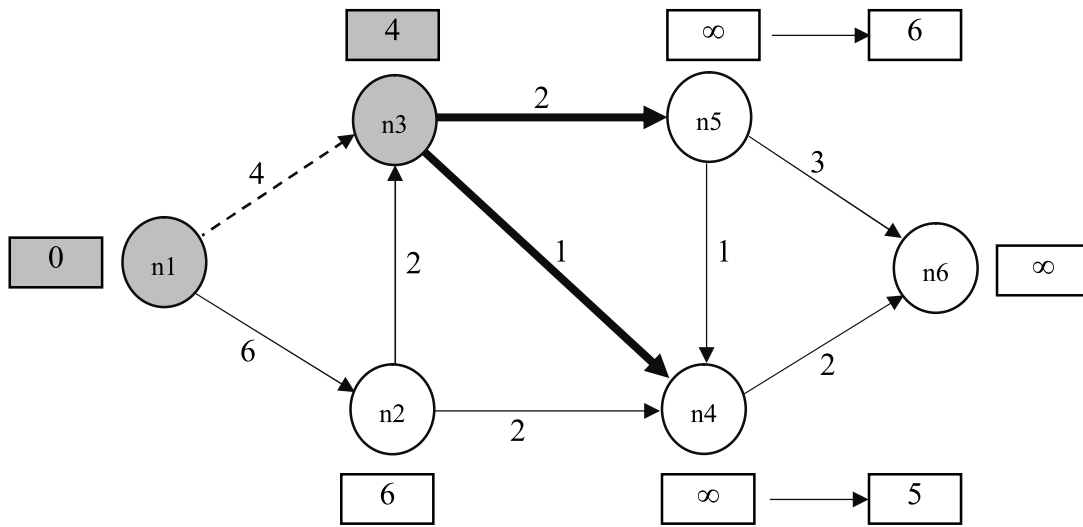
عند تطبيق الخوارزمية على البيان في الشكل (12) يمر البحث عن اقصر مسار بين العقدة $n1$ والعقدة

$n6$ بثلاث (03) تكرارات كما هو مبين في الأشكال (13): [5]



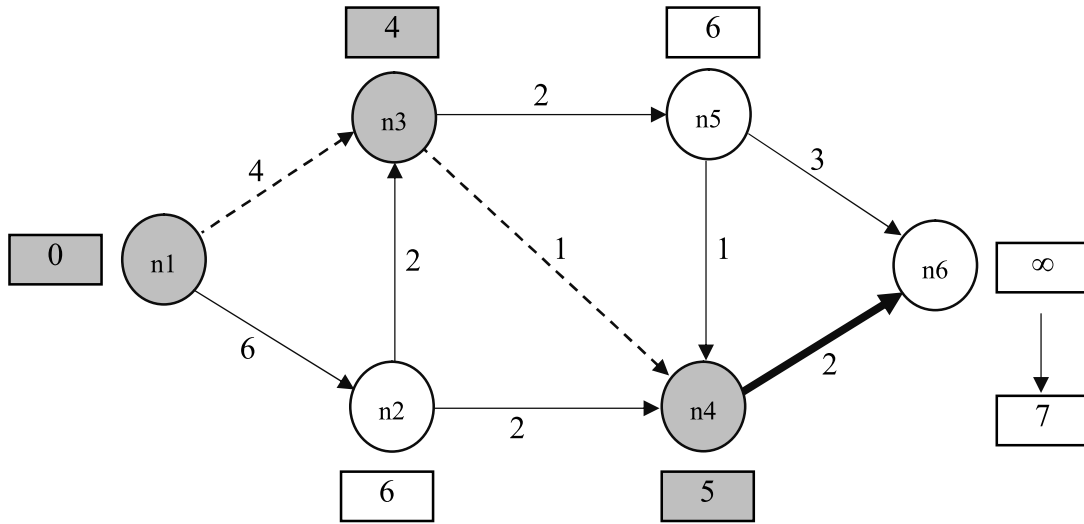
الشكل 1.13: خوارزمية ديكسترا – التكرار 1.

التكرار 1: تغيير بطاقة $n3$ بطول 4 وبطاقة $n2$ بطول 6.



الشكل 2.13: خوارزمية ديكسترا – التكرار 2.

التكرار 2: تغيير بطاقة $n4$ بطول 5 وبطاقة $n5$ بطول 6.



الشكل 3.13: خوارزمية ديكسترا - التكرار 3.

التكرار 3: تغيير بطاقة n6 بطول 7.

إذن اقصر مسار بين العقدة n1 والعقدة n6 هو n1-n3-n4-n6 بطول 7.

2.4.2. خوارزمية A*:

تصنف خوارزمية A* ضمن خوارزميات البحث الإرشادي أو الاستدلالي heuristic طورت عبر مراحل انطلاقاً من خوارزمية ديكسترا، تعتمد في البحث على نفس المبدأ وهو "اختيار الأفضل أولاً" best first search أي المسلك الأقل قيمة، ظهرت عام 1968 من طرف Peter Hart, ... موسوعة ويكيبيديا

خلال البحث عن العقد المُشكلة لأقصر مسار، يتم الانتقال من العقدة الحالية a إلى العقدة الأفضل n على طريق جمع قيمة g(n) تكلفة الانتقال إلى العقدة n مع قيمة h(n) التكلفة التقديرية (الإرشادية) للذهاب من العقدة n إلى عقدة الهدف (الوصول)، حيث:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

للتوضيح أكثر فإن المسافة الحقيقية من عقدة الانطلاق s إلى العقدة n تسمى g(n)، أما h(n) فهي المسافة التقديرية (الاستدلالية) الفاصلة بين العقدة n وعقدة الوصول t.

تمثل الدالة الكشف f(n) أقل تكلفة (مسافة) لأقصر مسار مار بالعقدة n. [15]

أثناء البحث تستعمل الخوارزمية قائمتين للتمييز العقد:

قائمة open: للعقد التي ولدت و طبق عليها دالة الكشف f(n)، لكن لم تفحص بعد أي لم يتم توليد عقد تابعة لها. هذه القائمة تمنح الأولوية الأكبر للعقد ذات القيم الأعلى في دالة الكشف.

قائمة closed: للعقد التي فحصت وتم توليد العقد التابعة لها. هذه القائمة تبقى في الذاكرة لفحصها عند توليد عقد جديدة لمعرفة إن كانت مولدة سابقاً و تم المرور بها. الخطوات الموالية تبين نص خوارزمية A* من المرجع الأصلي: [18]

Search Algorithm A:*

- 1) Mark s "open" and calculate $f(s)$.
- 2) Select the open node n whose value of f is smallest. Resolve ties arbitrarily, but always in favor of any node $n \in T$.
- 3) If $n \in T$, mark n "closed" and terminate the algorithm.
- 4) Otherwise, mark n closed and apply the successor operator Γ to n . Calculate f for each successor of n and mark as open each successor not already marked closed. Remark as open any closed node n_i which is a successor of n and for which $f(n_i)$ is smaller now than it was when n_i was marked closed. Go to Step 2.

خطوات خوارزمية A*:

1. وضع عقدة الانطلاق s في القائمة open والقائمة closed تكون خالية من العقد. حساب $f(s)$ حيث $g(s)=0$.

2. إلى أن نجد العقدة الوصول t نكرر الخطوات التالية:

1.2. نختار من القائمة open العقدة الأفضل bn (best node) ذات القيمة الأدنى للدالة f . نقل العقدة nb من القائمة open إلى القائمة closed.

2.2. نتحقق ما إذا كانت bn هي العقدة الوصول t . إذا كانت $bn=t$ نتوقف ونراجع اقصر مسار في القائمة closed، وإلا ننقل إلى العقدة التابعة sn (successor) للعقدة bn .

3.2. لكل عقدة تابعة sn نقوم بالآتي:

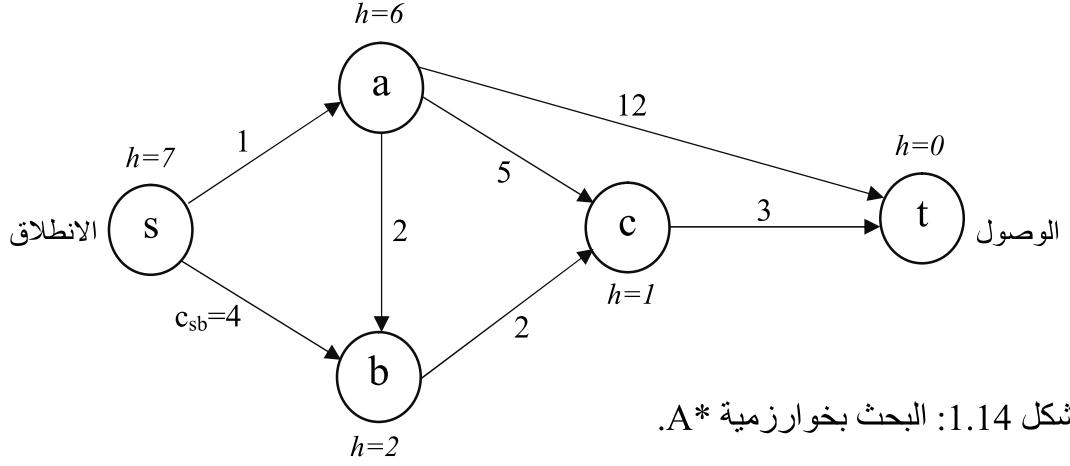
1.3.2. نجعل في sn إشارة مرجعية إلى bn . تساعد هذه الإشارة على استرجاع المسار إن تم عبرها الوصول إلى العقدة t .

2.3.2. نحسب $g(sn) = g(bn) + c_{bn sn}$ أي التكلفة للوصول للعقدة sn .

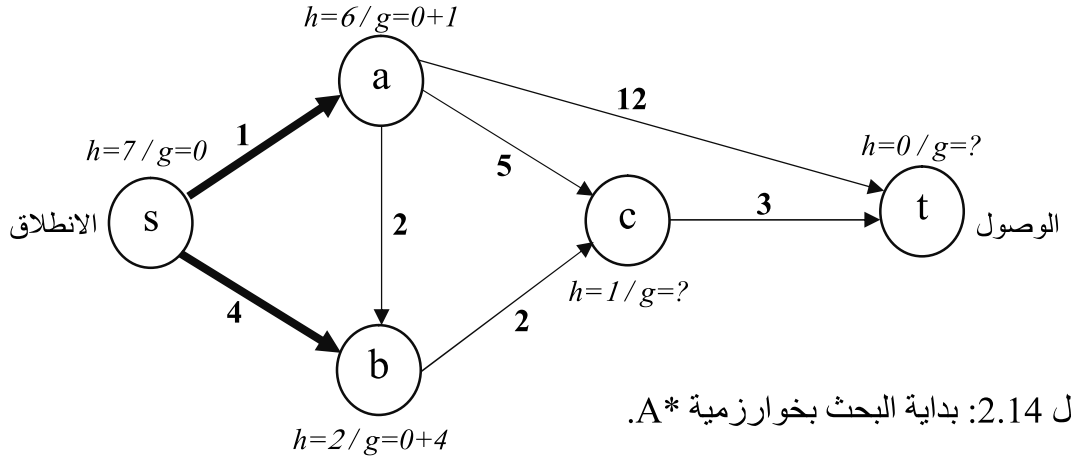
3.3.2. إن كانت sn موجودة في القائمة open أي مولدة و لكن لم يتم توليد عقد منها، نسمي العقدة الموجودة في القائمة ب old ونقارن بين old وطريق الوصول إليها و بين sn وطريق الوصول إليها من bn . أي نقارن قيمة g لكل منهما فإن كانت $g(old) < g(sn)$ لا نفعل شيئاً و إن كانت $g(sn) < g(old)$ نجعل الإشارة المرجعية للعقدة old يشير إلى bn و نجعل القيمة الأدنى محفوظة في $g(old)$ و نعدل قيمة $f(old)$.

4.3.2. إذا لم تكن sn في القائمة open، نرى أن كانت موجودة في القائمة closed (أي تم فحصها سابقاً) و إن كانت موجودة نسميها old و نكرر عملية المقارنة بين sn و old . هنا علينا أن ننقل التعديلات إلى توابع old و هذا معقد لأن old تشير إلى توابعها و التوابع بدورهم يشيرون إلى توابعهم إلى أن ينتهي كل فرع عند عقدة في القائمة open لديها قيمة g مكافئة أو أقل أو أن لا يكون لديها توابع إي نستخدم خوارزمية المسح (تفحص العقد) بأولوية العمق عند العقدة old و نغير قيمة g و f لكل عقدة نمر بها. بهذه الطريقة كل إشارة مرجعية لعقدة تشير إلى أفضل عقدة سابقة، و من انتشار قيمة g باتجاه الأسفل أصبح من الممكن أن يصبح الطريق الذي نتبعه أفضل من الطريق من خلال العقدة السابقة الحالية فإن كانت الحالة هكذا نغير العقدة السابقة و نكمل المسح. موسوعة ويكيبيديا

لتبسيط عمل خوارزمية A* نستعين بالمثال التالي: الشكل (1.14)



يكون البحث بشكل شجري من النقطة s بحساب قيمة دالة الكشف $f(s)=g(s)+h(s)=0+7=7$ ، ثم تُفحص العقد التابعة لها باختيار أفضل عقدة (أقل مسافة) وبنفس الكيفية مع باقي العقد إلى غاية أن تصبح العقدة t مُستهدفة بالفحص. الشكل (2.13)



العقدة s:

$$f = g_a + h_a = (g_s + c_{sa})_a + h_a = (0+1)+6=7 : a \leftarrow s \text{ : خطوة (1)}$$

$$f = g_b + h_b = (g_s + c_{sb}) + h_b = (0+4)+2=6 : b \leftarrow s \text{ : خطوة (2)}$$

s: تم فحصها.

العقدة b:

$$f = g_c + h_c = (g_b + c_{bc}) + h_c = (4+2)+1=7 : c \leftarrow b \leftarrow s \text{ : خطوة (3)}$$

العقدة a:

$$f = g_b + h_b = (g_a + c_{ab}) + h_b = (1+2)+2=5 : b \leftarrow a \leftarrow s \text{ : خطوة (4)}$$

$$f = g_c + h_c = (g_a + c_{ac}) + h_c = (1+5)+1=7 : c \leftarrow a \leftarrow s \text{ : خطوة (5)}$$

خطوة (6) : $t \leftarrow a \leftarrow s$: $f = g_t + h_t = (g_a + c_{at}) + h_t = (1+12)+0=13$

a: تم فحصها.

العقدة b:

خطوة (7) : $c \leftarrow b \leftarrow a \leftarrow s$: $f = g_c + h_c = (g_b + c_{bc}) + h_c = (3+2)+1=6$

b: تم فحصها.

العقدة c:

خطوة (8) : $t \leftarrow c \leftarrow b \leftarrow a \leftarrow s$: $f = g_t + h_t = (g_c + c_{ct}) + h_t = (5+3)+0=8$

خطوة (9) : $t \leftarrow c \leftarrow a \leftarrow s$: $f = g_t + h_t = (g_c + c_{ct}) + h_t = (6+3)+0=9$

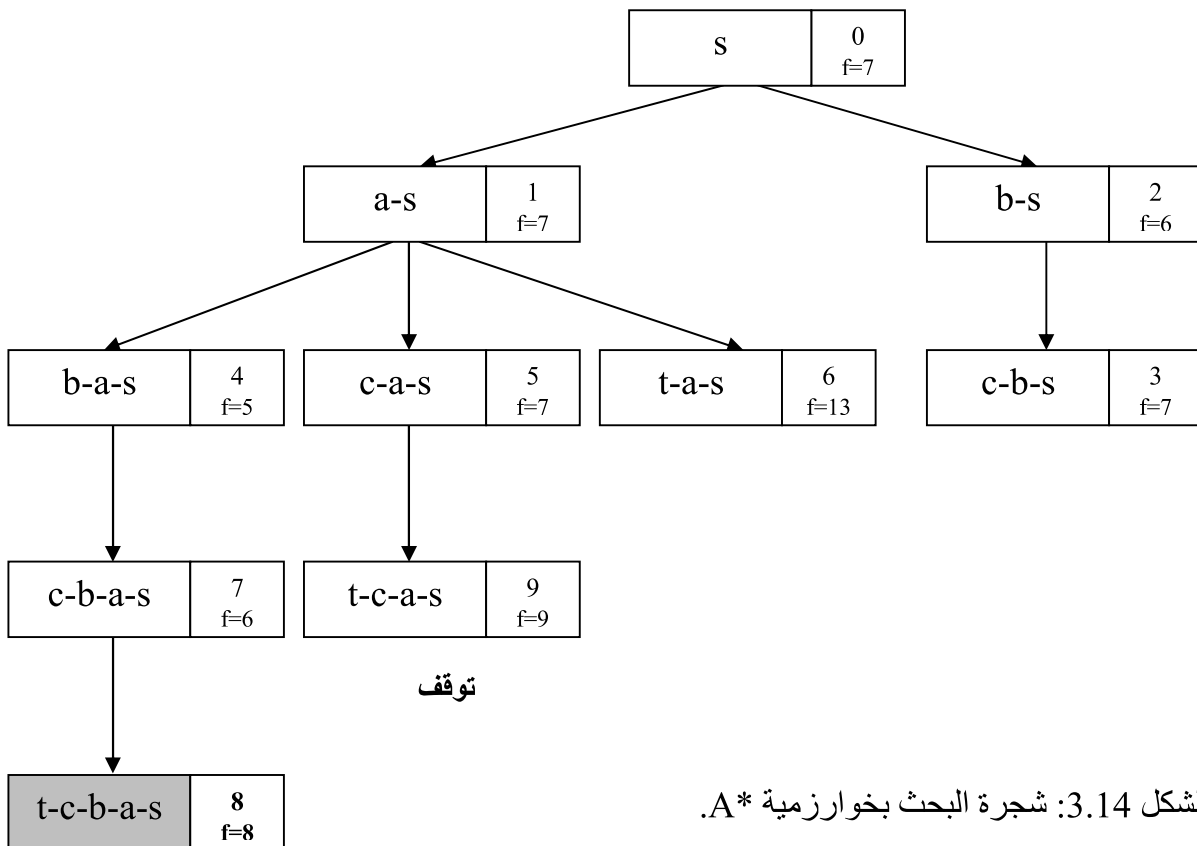
c: تم فحصها.

العقدة t:

توقف البحث. شرط التوقف عندما تصبح عقدة الوصول t مستهدفة بالفحص، حيث يكون اقصر مسار هو المسار الذي أخذت فيه الدالة f أقل قيمة للعقدة t.

اقصر مسار للوصول إلى العقدة t هو: t-c-b-a-s بمقدار 8.

الشكل (3.13) يمثل شجرة البحث التي تولدت خلال البحث عن اقصر مسار بين العقدة s والعقدة t:



الشكل 3.14: شجرة البحث بخوارزمية A*.

5.2 الخوارزميات التطورية: evolutionary algorithms

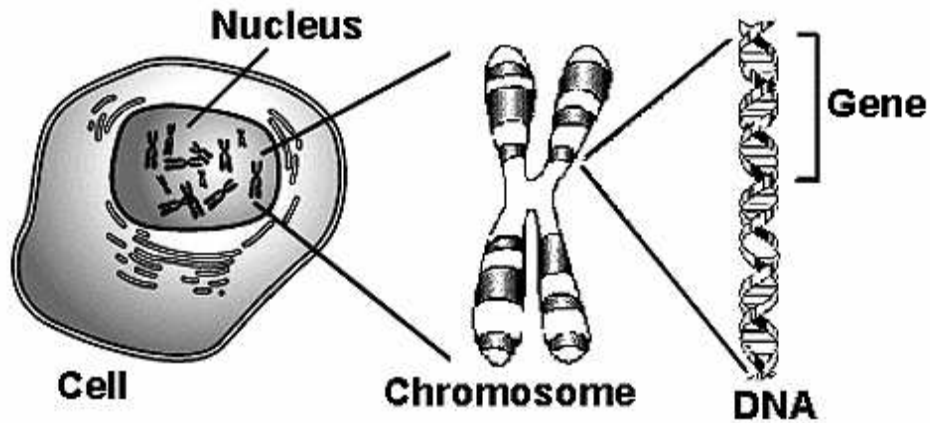
1.5.2 أساسيات علم الوراثة: genetic

في علم الأحياء "التطور هو التغير في السمات الوراثية الخاصة بأفراد التجمع الأحيائي عبر الأجيال المتلاحقة". يعتبر مصطلح التطور *evolution* من أعرق وأقدم المصطلحات التي استعملت في الميدان العلمي، حيث يعود إلى عام 1735م عندما صنف عالم النبات السويدي "كارل ليننيوس" (1778-1707) *Carl Linnæus -Linné-* الكائنات الحية إلى أنواع طبقاً للخواص البدنية المشتركة.

كما ظهرت مفهوم التطور ضمن النظريات علم الأحياء والوراثة، وكان ذلك في كتاب "أصل الأنواع" *the origin of species* لعالم الأحياء البريطاني المشهور تشارلز روبرت داروين (1882-1809) *Charles Robert Darwin* الذي صدر عام 1859م، الذي يعتبر أحد الأعمال المؤثرة في العلم الحديث وأحد ركائز علم الأحياء التطوري، قدم فيه داروين نظريته المثيرة للجدل والقاتلة بأن "الكائنات تتطور على مر الأجيال" و "البقاء يكون للأفضل"، والتي شكلت فيما بعد أساساً لعلم الوراثة.

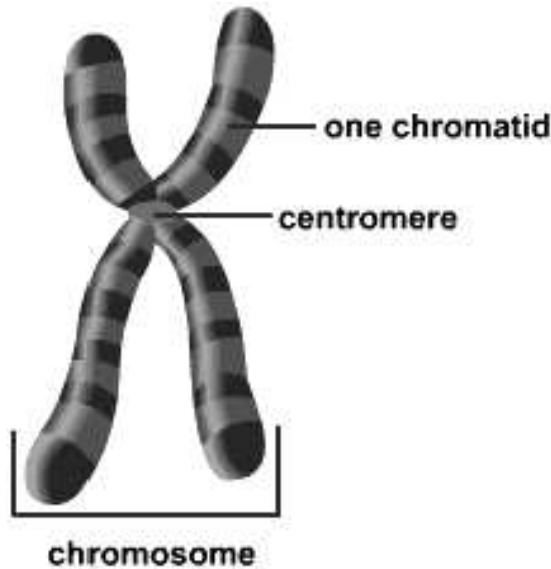
فقد بدأ علم الوراثة الحديث في شكل نظريات رياضية مع عالم النبات النمساوي يوهان غريغور مندل (1884-1822) *Johann Gregor Mendel*، في دراسته بعنوان "تجارب حول تهجين النباتات" التي قدمها إلى جمعية أبحاث الطبيعة في برون في سنة 1865، أين تتبع مندل الأنماط الوراثية في صفات نبات البازلاء و وصفها رياضياً، حيث تضمنت الدراسة انتقال الصفات الوراثية من الآباء للأبناء ونسب توزعها بين أفراد الأجيال المختلفة. موسوعة ويكيبيديا (اقتباس) و"التهجين" (*crossing*) هو عبارة عن إلقاء بين الأفراد سلالتين نقيتين متشابهتان بصفة واحدة أو عدة صفات، والغرض منه هو الحصول على جيل أو فرد جديد يجمع بين صفات الأبوين معاً، أو للحصول على فرد يزيد بصفاته على أبويه حيث كلما كان الفرق أكبر في الصفات كانت نتائج التهجين أكثر قوة ووضوحاً، على شرط أن يكونا من صنف واحد". موسوعة ويكيبيديا الشكل (20) يستمد الكائن الحي صفاته (لون العينين، الشعر، ... عند الإنسان) من المورثات التي تحدد تشكيل وتطور وسلوكيات هذه الكائن، وكذا الفوارق الجسدية وبعض الفوارق النفسية بين الأفراد التي تعزى إلى الاختلافات في المورثات التي تسمى بالجينات *genes*. "المورثة أو الجينة أو الجين (*gene*) هي الوحدات الأساسية للوراثة في الكائنات الحية. فضمن هذه المورثات يتم تشفير المعلومات المهمة لتكوين أعضاء الجنين والوظائف العضوية الحيوية له. تتواجد المورثات عادة ضمن المادة الوراثية للمتعضية (كائن حي) التي تمثلها الدنا (DNA)". موسوعة ويكيبيديا

والدنا DNA اختصار للعبارة "الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين" أو "الحمض النووي الصبغي" *DeoxyriboNucleic Acid* وهو مجموعات كبيرة متكررة من الأحماض النووية تتشكل في هيئة سلسلتين طويلتين حلزونيتين من الجزيئات وترتبط بين السلسلتين أحماضاً نووية مثل درجات السلم، تتجمع هذه السلاسل المتقابلة في هيئة كروموسومات. (الأشكال 15) الكروموسوم (*Chromosome*) ويسمى أيضاً الصبغي حزمة منظمة البناء والتركيب يتكون معظمها من DNA في الكائنات الحية، تقع في نواة الخلية *cell nucleus*.



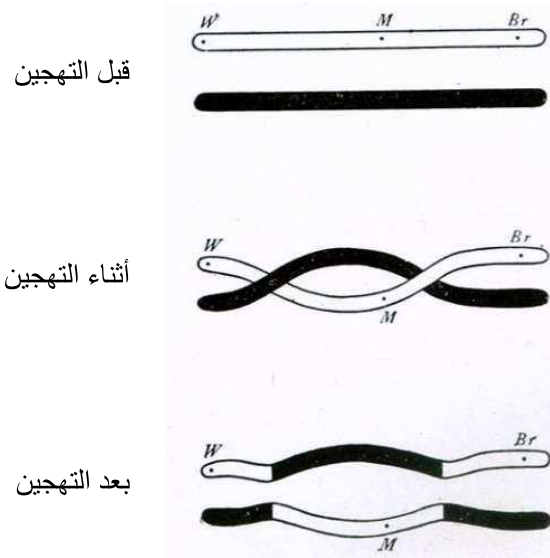
الشكل 1.15: مكونات الكروموسوم.

"يمتلك الإنسان 46 كروموسوما (كروموسوم) في كل خلية جسمية مرتبة على شكل 23 زوجا وكل زوج يتصل ببعضها عند نقطة قرب المركز تسمى القسم المركزي (*centromere*) في كل زوج من الكروموسومات يطلق عادة تسمية كروماتيد (*chromatid*) على القضيب الواحد الذي يتصل مع القضيب الآخر في الزوج، وللسهولة اعتدنا على استعمال مصطلح الكروموسوم لوصف الكروماتيدين المتحدين." موسوعة ويكيبيديا



الشكل 2.15: أجزاء الكروموسوم.

الشكل الموالي (16) يبين مراحل تهجين (تزاوج، عبور، ...) الكروموسومات وكيفية انتقال الجينات (المورثات) من كروموسوم إلى كروموسوم آخر:

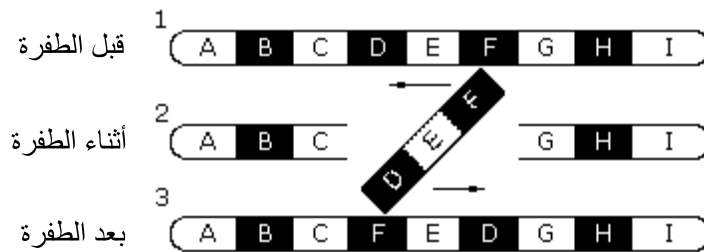


الشكل 16: تهجين الكروموسومات.

ومن هنالك كانت الاختلافات طبيعية بين الأفراد في أي تجمع أحيائي. "فكثير من هذه الاختلافات لا تؤثر على فرص البقاء (مثل لون العينين في الإنسان)، ولكن البعض منها قد يعزز من فرص البقاء. على سبيل المثال، الأرانب القادرة على العدو أسرع من غيرها لديها فرص أفضل للهروب من المفترسين والنجاة، والطحالب القادرة على استخراج الطاقة من أشعة الشمس بفعالية أكبر تنمو بشكل أسرع. ما يعزز من بقاء الفرد غالباً يعزز من معدل تكاثره أيضاً. ولكن أحياناً تكون هناك مبادلة بين فرص البقاء والتكاثر، بحيث يأتي أحدهما على حساب الآخر. وما يهم في النهاية هو مدة الحياة التكاثرية للكائن الحي." موسوعة ويكيبيديا

"إن اختلاف وتنوع التجمعات الأحيائية (إنسان، حيوان، نبات، ...) يعود إلى عدة عوامل وأسباب منها الطفرات العشوائية التي تحدث تغيرات في الجينوم *genome* (كامل تسلسل الدنا) الخاص بالكائنات الحية، وهذه الطفرات قد يتم توريثها للذرية. خلال حياة الكائنات الحية، يتفاعل الجينوم الخاص بهم مع بيئتهم، وذلك يولد اختلافات بين السمات (الصفات)." موسوعة ويكيبيديا

وتعرف الطفرة (*mutation*) في علم الأحياء هي أي تغير يحدث في المعلومات الجينية (الوراثية) الحيوية المشفرة في تسلسلات *DNA*. الشكل (17)



الشكل 17: الطفرة في الكروموسوم.

رغم الجدل الذي أثارته نظريات تشارلز داروين، يبقى مفهوم "الاصطفاء أو الانتقاء أو الانتخاب الطبيعي" *Natural selection* الذي ذكره في كتابه أصل الأنواع (1859) كآلية أساسية للتطور التكيفي *adaptive* هو حجر أساسي في علم الأحياء الحديث. وهو مناقض لمفهوم الاصطفاء الاصطناعي، الذي يقوم به مربّي النباتات والحيوانات بتفضيل السمات المرغوبة وتعزيز فرص تكاثر حاملها بانتظام. موسوعة ويكيبيديا (اقتباس)

2.5.2. مفاهيم في التحسين: optimization

*الأمثل: optimal

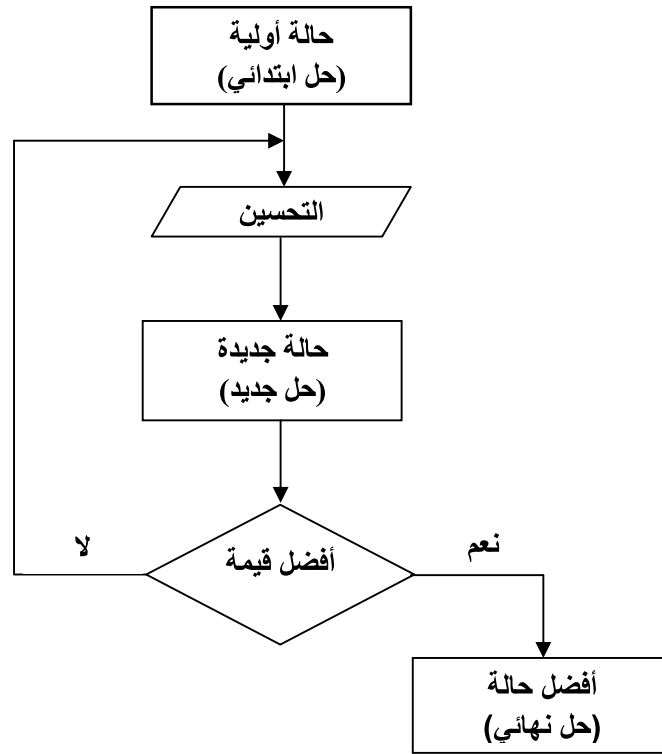
مرادفات الأمثل: الأفضل، الأحسن، الأجود، ...

يسمى الحل الأمثل هو "أفضل حل من بين عدة حلول ممكنة". يرتبط الحل الأمثل بطبيعة المشكلة المُعالجة والهدف المراد تحقيقه من وراء حلها، فقد يكون الهدف من الحل هو الوصول إلى أعلى قيمة (ربح) أو أحياناً يصبح الهدف السعي إلى أقل ما يمكن (تكلفة). [19] اقتباس

*التحسين: optimization

مرادفات التحسين: التطوير، الترقية، ...

التحسين هو مجموعة إجراءات متتابعة ومتكررة تؤدي إلى جعل شيء ما في حالة أفضل وأحسن مما كان عليه. إن الوصول بالشئ إلى أفضل ما يمكن، يستوجب الاسترشاد بمعايير واضحة ومحددة تستعمل كأداة لتقييم كل حالة جديدة وما إذا كانت هي الأفضل أم لا. الشكل (18) [19] اقتباس



الشكل 18: مراحل التحسين.

"Optimization is the process of making something better."

Optimization is the process of adjusting the inputs to or characteristics of a device, maximum output or .the minimum or mathematical process, or experiment to find result" [19]

يعتبر التحسين مقارنة للوصول إلى أفضل وضعية (أحسن حالة) لحل نوع من المشاكل بالأخص التي ليست لها حلول دقيقة، فهي (مقارنة) غير مناسبة لحل المسائل الرياضية التي لها حلول بقيم ثابتة.

مثلاً مشكلة "حقيبة الظهر" *knapsack problem* و"هي مسألة تدخل في إطار الاستمثال التوافقي . فإذا كانت لدينا مجموعة من العناصر ، لكل منها وزن و قيمة ، فعليك أن تحدد العناصر التي تُدرج في الحقيبة ، بحيث يكون مجموع أوزانها أقل من أو يساوي قدرًا معيناً ، وأن يكون مجموع القيم أعلى ما يكون . اسم هذه المسألة مأخوذ من حالة شخص ما لديه حقيبة ذات حجم محدد ، وعليه أن يعبئها بالعناصر الأعلى قيمةً." موسوعة ويكيبيديا

إن هذا النوع من المشاكل ليس له حل وحيد فقط بل له عدة حلول ، لكن في حل من هاته الحلول نقائص و عيوب . تمر عملية التحسين بخطوات أولها يتم إعطاء حل عشوائي (حالة ابتدائية) من دون أي ضوابط ثم يخضع لعملية تحسين يتولد على إثرها حل جديد (حالة جديدة) ، ثم يخضع هذا الحل الجديد للتقييم وفق معايير وقيود محددة لقياس مدى جودته ودرجة موائمته مع ما هو منتظر من أي حل مقترح . تطبق نفس الخطوات السابقة على كل حل يتولد إلى أن يتم الوصول لأفضل حل من بين الحلول السابقة . لفهم هذه المشكلة أكثر تتبع المثال في الأشكال (21).

*التحسين التوافقي: combinatorial optimization

مرادفات التوافق: الإدماج ، التوليف ، المزيج ، ...

إن الهدف الرئيسي من التحسين التوافقي هو العثور على أفضل خوارزميات لحل المشاكل التي تقبل أكثر من حل . في بعض الحالات يجب البحث عن أفضل العناصر لتوليد كل الحلول الممكنة (مثلاً: تصميم شبكة مياه ، غاز ، صحية ، ...) [22]

"To solve problems arising in the fields of transportation and telecommunication, the operations research analyst often has to use techniques that were first designed to solve classical problems from combinatorial optimization such as the maximum flow problem, the independent set problem and the travelling salesman problem."

[23]

يرتكز التحسين التوافقي على مجموعة من الخيارات يتم تركيبها ودمجها للإيجاد أفضل حل من بين الحلول الممكنة ، وبهذه الطريقة يتم اقتراح لنفس المشكلة مجموعة كبيرة من الحلول تتولد في كل مرة نتيجة تغيير وتبديل تلك الخيارات .

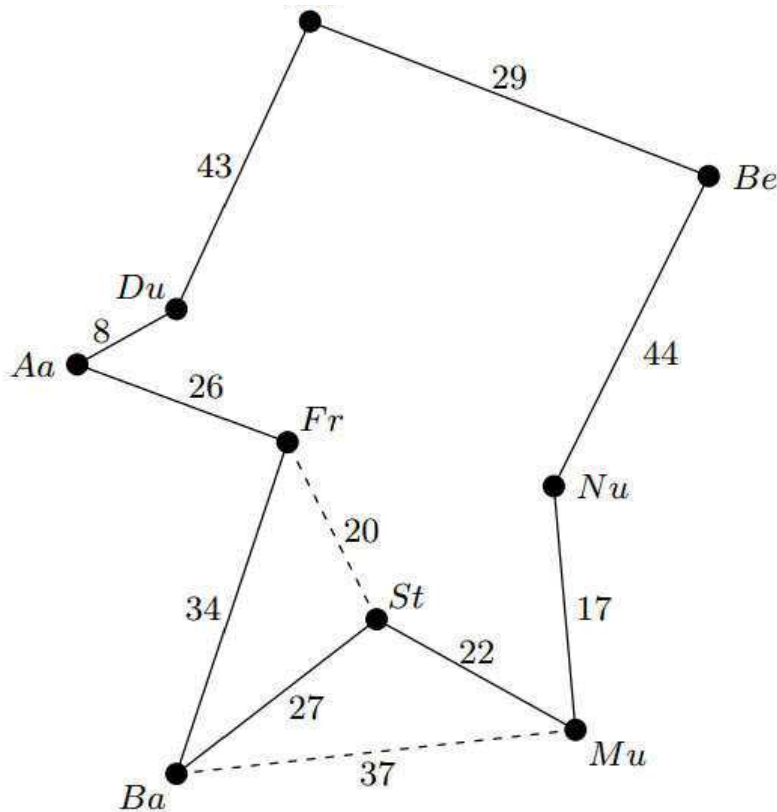
تعتبر نظرية البيانات من أهم المجالات المناسبة لتطبيق التحسين التوافقي خصوصاً عند البحث عن أنسب المسارات ، حيث اثبت كفاءة عالية في حل مشكلة البائع المتجول TSP . تخيل بائع متجول يريد القيام بجولة دائرية لزيارة n مدينة والعودة في آخر النهار إلى منزله . فهما هو الطريق الأفضل؟ لترجمة هذه المشكلة في نظرية البيانات يتم تمثيلها ببيان غير موجه ، حيث تعتبر المدن هي العقد والطرق الرابط بينها هي الخطوط (الأقواس) ، كما تكون متقلة بقيم تعبر عن المسافة بالكيلومتر . بتعبير آخر البحث من أجل إيجاد أحسن مسار دائري بما يعرف بدورة هاملتون . [16]

مثال 1: يريد بائع متجول التنقل بين تسع (9) مدن ألمانية ، وهي: آخن ، بازل ، برلين ، دوسلدورف ، فرانكفورت ، هامبورغ ، ميونيخ ، نورمبرغ وشتوتغارت بمسافات تقريبية إلى وحدات من 10 كيلومترا (الشكل 20). Aachen, Basel, Berlin, Dusseldorf, Frankfurt, Hamburg, Munich, Nuremberg, Stuttgart . ففي هذه المشكلة التي تبدوا بسيطة هناك آلاف من الحلول المقترحة ، حيث يساوي عدد الاحتمالات الممكنة $2/18 = 20160$ جولة . يحدد في مصفوفة الجوار (الشكل 19) المسافات بين المدن $(Aa, Ba$ ،

(مدينتين)، وتكون المسافة صفر عند نفس العقدة (المسافة بين المدينتين Be و Ha هي 29). التقاطع بين السطر والعمود يعطي المسافة الرابطة بين عقدتين (الشكل 20) يبين الحل الأفضل لهذه الحالة. عند استبدال القوسين (Mu, St) و (Ba, Fr) بالقوسين (Mu, Ba) و (St, Fr) نحصل على حل أسوأ بقليل بفارق وحدة واحدة (1).

	Aa	Ba	Be	Du	Fr	Ha	Mu	Nu	St
Aa	0	57	64	8	26	49	64	47	46
Ba	57	0	88	54	34	83	37	43	27
Be	64	88	0	57	56	29	60	44	63
Du	8	54	57	0	23	43	63	44	41
Fr	26	34	56	23	0	50	40	22	20
Ha	49	83	29	43	50	0	80	63	70
Mu	64	37	60	63	40	80	0	17	22
Nu	47	43	44	44	22	63	17	0	19
St	46	27	63	41	20	70	22	19	0

الشكل 19: مصفوفة الجوار لمشكلة بائع متجول TSP.



الشكل 20: بيان لمشكلة بائع متجول TSP.

مثال 2: مراحل الحل التوافقي في مشكلة "حقيبة الظهر" *knapsack problem*. يقوم شخص ما بترتيب حقيبة السفر، حيث يسعى إلى أخذ أكبر عدد من الأغراض (A,B,C, ...) ذات قيمة على أن لا يتجاوز وزنها 20 كغ kg. الأشكال (21) في بادئ الأمر يتم حساب قيمة كل غرض على حدا:

A 4kg – 15: 3.75	B 7kg – 15: 2.14	C 10kg – 20: 2	D 3kg – 10: 3.33
E 6kg – 11: 1.83	F 12kg – 16: 1.33	G 11kg – 12: 1.09	H 16kg – 22: 1.38
I 5kg – 12: 2.4	J 14kg – 21: 1.5	K 4kg – 10: 2.5	L 3kg – 7: 2.33

الشكل 1.21: مشكلة حقيبة الظهر – التحسين التوافقي.

ثم ترتيب الأغراض حسب درجة الأهمية من الأكبر إلى الأصغر لنحصل على القائمة التالية: G-F-H-J-E-C-B-L-I-K-D-A. عند الانطلاق تكون الحقيبة فارغة. حسب الترتيب يتم إضافة أول غرض وفق الترتيب، وهو A لتصبح القيمة 15.

الوزن: 4كغ القيمة: 15		
A 4kg – 15: 3.75		
I 5kg – 12: 2.4 C 10kg – 20: 2 H 16kg – 22: 1.38	D 3kg – 10: 3.33	K 4kg – 10: 2.5
	L 3kg – 7: 2.33	B 7kg – 15: 2.14
	E 6kg – 11: 1.83	J 14kg – 21: 1.5
	F 12kg – 16: 1.33	G 11kg – 12: 1.09

الشكل 2.21: مشكلة حقيبة الظهر – التحسين التوافقي.

القائمة المتبقية: G-F-H-J-E-C-B-L-I-K-D. ثم يتم إضافة الغرض الأول من القائمة المتبقية وهو D.

الوزن: 7 كغ القيمة: 25		
A 4kg – 15: 3.75	D 3kg – 10: 3.33	
I 5kg – 12: 2.4	L 3kg – 7: 2.33	K 4kg – 10: 2.5
C 10kg – 20: 2	E 6kg – 11: 1.83	B 7kg – 15: 2.14
H 16kg – 22: 1.38	F 12kg – 16: 1.33	J 14kg – 21: 1.5
		G 11kg – 12: 1.09

الشكل 3.21: مشكلة حقيبة الظهر – التحسين التوافقي.

القائمة المتبقية: G-F-H-J-E-C-B-L-I-K.
وكذا بنفس الطريقة يتم إضافة الغرض تلو الغرض من القائمة المتبقية وهم: K، I، L إلى أن يصبح الوزن 19 بقيمة 54.

الوزن: 19 كغ القيمة: 54		
A 4kg – 15: 3.75	D 3kg – 10: 3.33	K 4kg – 10: 2.5
I 5kg – 12: 2.4	L 3kg – 7: 2.33	
		B 7kg – 15: 2.14
C 10kg – 20: 2	E 6kg – 11: 1.83	J 14kg – 21: 1.5
H 16kg – 22: 1.38	F 12kg – 16: 1.33	G 11kg – 12: 1.09

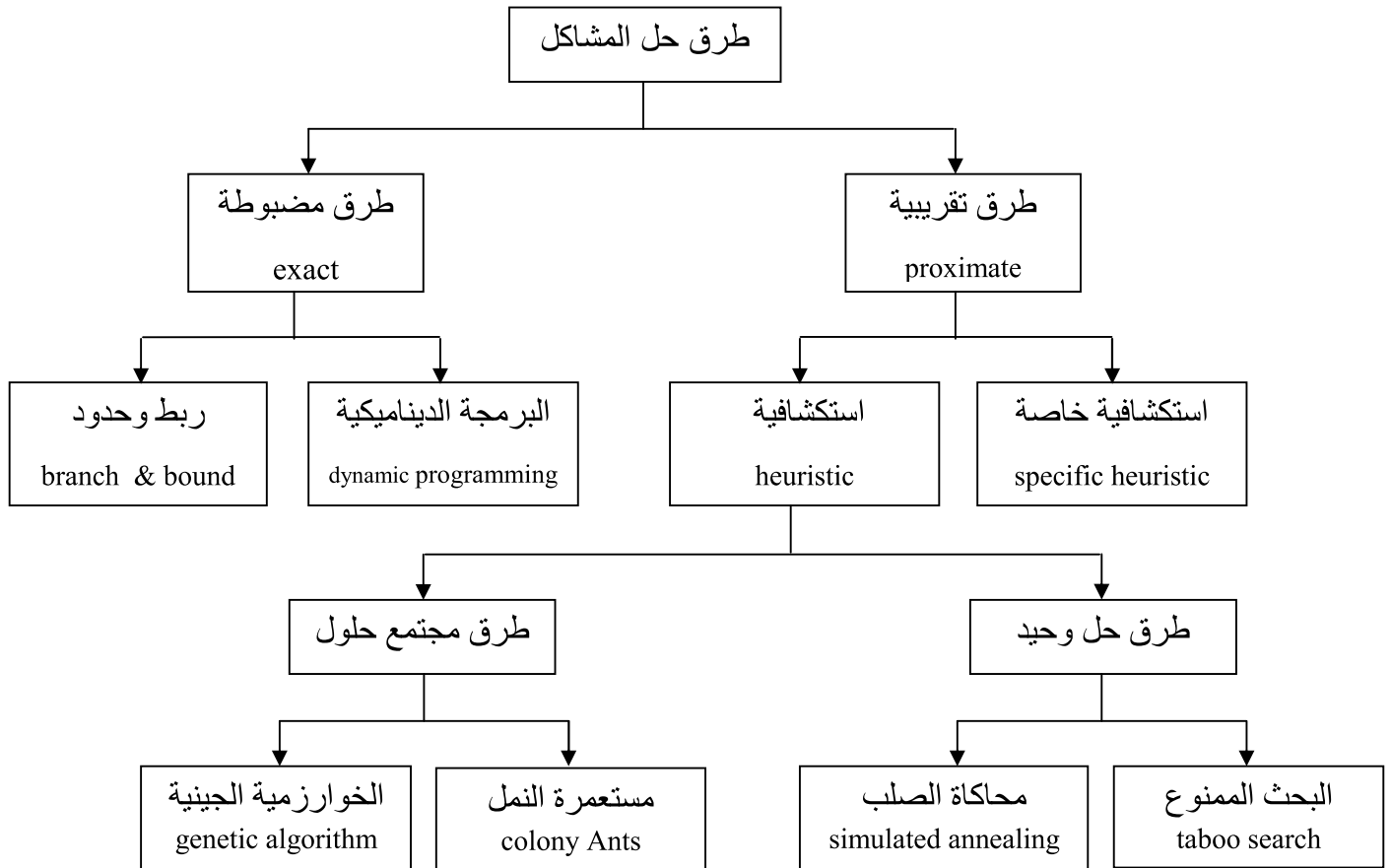
الشكل 4.21: مشكلة حقيبة الظهر – التحسين التوافقي.

في هذه الحالة تتوقف مراحل (خوارزمية) التحسين التوافقي بحل امثل، حيث تملئ الحقيبة بالأغراض التالية: A، D، I، K و L بوزن 19 كغ
يعتبر التحسين التوافقي من انسب الطرق المستخدمة للتعامل مع المشاكل التي لديها مجموعة من الحلول، حيث تحتاج إلى دمج (مزج) بين مجموعة خيارات بشكل متكرر لتوليد جميع الحلول الممكنة إلى غاية الوصول إلى الحل الأفضل (أحسن توليفة *best combination*).

- من المجالات التي يطبق فيها التحسين التوافقي، نذكر على سبيل المثال:
- موقعة هوائيات شبكة اتصالات الهاتف المحمول، أعمدة شبكة الكهرباء، ...
- معالجة تذبذب حركة الملاحة الجوية، البحرية، ...
- تنظيم المهام في ورشات الإنتاج (صناعة الطائرات مثلا).
- إسناد العمال والموظفين لاماكن ومناصب العمل.
- توزيع الحمولة على مقطورة عربية (حاوية، باخرة أو طائرة شحن، ...).

3.5.2. تصنيف طرق حل المشاكل:

تنقسم الطرق المستعملة في معالجة المشاكل حسب دقة الحلول المتوصل إلى صنفين أساسيين، طرق مضبوطة تمكن من التوصل إلى حلول دقيقة ومحددة، وطرق تقريبية تقترح أفضل الحلول الممكنة بالاقتراب أقصى ما يمكن من الحل النهائي الذي يسمى الحل الأمثل (الأفضل)، كما يوضح المخطط التالي (الشكل 22): [15]

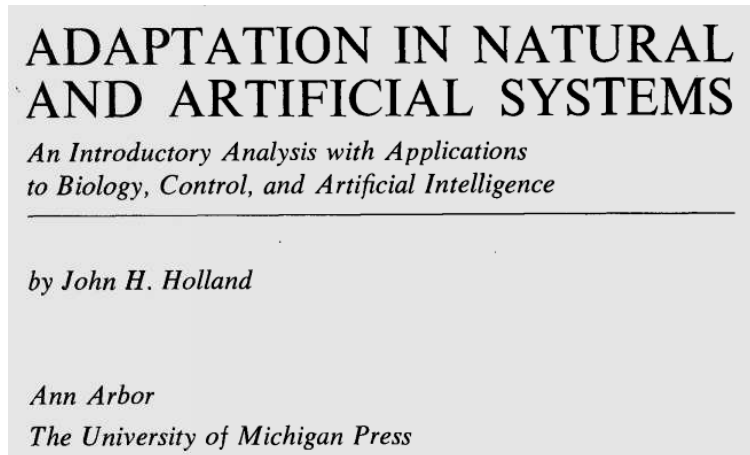


الشكل 22: تصنيف طرق حل المشاكل.

6.2. الخوارزميات الوراثية (الجينية): genetic algorithms

1.6.2. تعريف الخوارزمية الجينية: تعتبر الخوارزمية الجينية genetic algorithm طريقة للتحسين وتقنية للبحث عن أفضل الحلول الممكنة، مستوحاة من مفاهيم الوراثة في علم الأحياء. تقوم هذه الخوارزمية على فكرة تحسين وتطوير جيل من الأفراد بشكل متتالي وفق قواعد محدد إلى غاية الوصول إلى أفراد بأعلى قيمة جودة (fitness). [19] [24]

ظهرت هذه الخوارزمية في سنة 1975 من طرف الأستاذ جون هولند John Holland من جامعة ميشغن الأمريكية في كتابه Adaptation in Natural and Artificial Systems (غلاف الكتاب في الصورة الموائية) نتيجة أبحاث ودراسات أجريت بين 1960 و1970.



تعتمد الخوارزمية الجينية على مبدأ العشوائية في مختلف مراحلها للوصول إلى الحل الأمثل (الأفضل) من بين الحلول الممكنة، وذلك انطلاقاً من حلول مقترحة عشوائياً تخضع بشكل متتالي ومكثف إلى عمليات تطوير وتحسين وفق معايير محددة جيل بعد جيل إلى غاية الوصول إلى أحسن ما يمكن من الحلول المولدة.

2.6.2. أساسيات الخوارزمية الجينية:

تستعمل الخوارزمية الجينية التي تعرف باختصار GA جملة من المصطلحات تشكل ركائز ومراحل أساسية في حل المشكلة المعالجة، ملخصة في ما يلي:

-الفرد أو الكروموسوم chromosome.

-الجيل أو المجتمع population.

-الجودة أو التلاؤم fitness.

-الانتقاء أو الاختيار selection.

-التزاوج أو التقاطع crossover.

-الطفرة أو التحول mutation.

*الفرد أو الكروموسوم:

يشكل الكروموسوم في جميع مراحل بحث الخوارزمية الجينية حل مفترض للمشكلة المعالجة، حيث يُمكن أن يكون أفضل أو أسوء الحلول حسب جودة الكروموسوم مقارنة مع بقية الكروموسومات في نفس الجيل التي تقاس بدالة التلاؤم (الجودة).

يشكل إيجاد الصيغة الكروموسوم المناسبة أول واهم خطوة في الخوارزمية الجينية، على اعتبار أن المشاكل تختلف وتتغير حسب المجال ودرجة التعقيد، وبالتالي فإن التمكن من وضع الصيغة الأنسب من أدق واهم الأمور مع بداية معالجة أي مشكلة.

بعد إيجاد الصيغة الأفضل للكروموسوم يتم وضع الشكل العام للكروموسوم من خلال تمثيله في غالب الأحيان بسلسلة رقمية مكونة من أرقام عشرية (0-9) أو ثنائية (0،1).

مثال:

1	1	0	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

كروموسوم i:

*الجيل أو المجتمع:

الجيل مجموعة من الأفراد أو الكروموسومات تشكل جميعها حلول مقبولة للمشكلة، تتفاوت في جودتها ودرجة قربها من الحل المثالي (المضبوط أو الأفضل على الإطلاق).

يشكل الجيل الابتدائي (أو الجيل 0) نقطة انطلاق الخوارزمية الجينية في البحث عن أفضل حل، حيث يتم تكوين هذا الجيل بطريقة عشوائية يتولد عنها عدد من الكروموسومات (الأفراد) تشكل عينة ابتدائية على أساسها تبدأ الخوارزمية الجينية في تحسين وتطوير تلك الأفراد مع إبقاء الأحسن والتخلص من الأقل جودة (كفاءة) في الجيل الحالي تمهيداً لتكوين الجيل الموالي.

مثال:

1	1	0	0	1	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

كروموسوم 1:

0	1	1	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

كروموسوم 2:

1	0	0	1	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

كروموسوم n:

*الجودة أو التلاؤم:

الجودة أو التلاؤم هي قيمة عددية تعطى لكل كروموسوم تعبر عن كفاءة و درجة تميز هذا الكروموسوم بين أفراد الجيل الذي ينتمي إليه. تعطى هذه القيمة من خلال تطبيق دالة رياضية تسمى دالة الجودة على تركيبة الكروموسوم، حيث تستعمل هذه الدالة كأداة في تقييم evaluation درجة كفاءة الفرد بإرجاع قيمة عددية في الغالب تكون قيمة حقيقية.

في بعض الحالات تستهدف دالة الجودة تعظيم maximize قيمة التلاؤم (الكفاءة)، وهنا تفضل الكروموسومات التي لديها أكبر القيم، وفي حالات أخرى تستهدف التقليل (التخفيض) minimize. تعطى دالة الجودة في شكل صيغة رياضية بمتغير أو أكثر مرتبط بتركيب الكروموسوم، حيث تختلف من مشكلة إلى أخرى.

مثال:

تعطى دالة الجودة لمشكلة ما، بالصيغة التالية:

الجودة: 1.4946	1	0	0	0	1	1	0	1	كروموسوم: 1
الجودة: 1.4966	1	1	1	0	0	0	1	0	كروموسوم: 2
الجودة: 1.4950	1	0	0	1	0	1	1	1	كروموسوم: 3

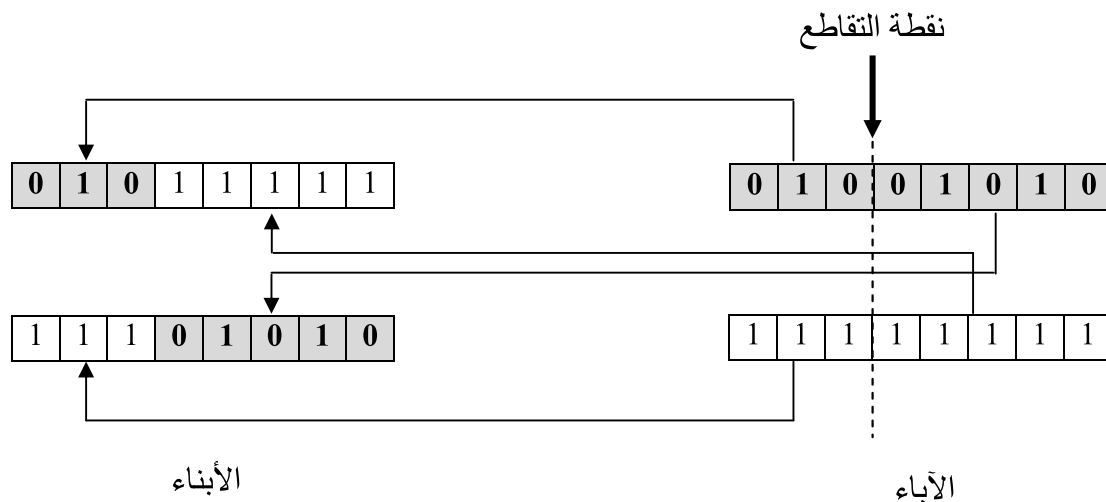
الكروموسوم 2 لديه أفضل جودة (تعظيم max) بين أفراد الجيل بقيمة 1.4966، بينما الكروموسوم 1 بقيمة جودة 1.4946 حيث تشكل أسوأ كفاءة في هذا الجيل.

*الانتقاء أو الاختيار:

عملية مهمة في الخوارزمية الجينية تتيح التحديد والإبقاء فقط على الأفراد (الكروموسومات) الذين لديهم أفضل قيمة جودة (أكبر أو أصغر) والتخلص من الأفراد لهم أسوأ جودة التي تقيّمها دالة التلاؤم. تتم عملية الانتقاء بعد ترتيب الكروموسومات من الأفضل إلى الأسوأ (من الأكبر إلى الأصغر أو من الأصغر إلى الأكبر) حسب القيمة التي تمنحها دالة التلاؤم بطريقتين، طريقة الانتقاء باستعمال العجلة المتدرجة Roulette Wheel (النسب) أو طريقة انتقاء النخبة Elitism. في المثال السابق الكروموسوم 1 مرشح للإقصاء حسب طريقة انتقاء النخبة.

*التزاوج أو التقاطع:

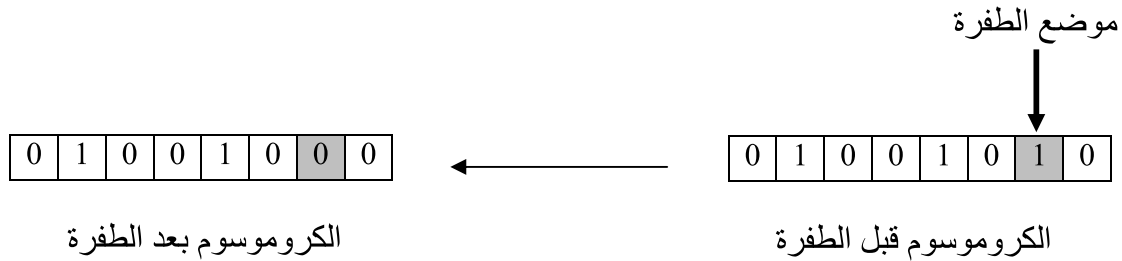
التزاوج مرحلة مهمة تلي مباشرة عملية الانتقاء، حيث تشكل لب و صلب الخوارزمية الجينية على اعتبار أن توليد الأفراد الجدد يتم بالتحديد في هذه المرحلة، أين يتم تبادل الصفات الوراثية بين كل زوجين من الكروموسومات لينجم عن هذه العملية أفراد جدد (الأبناء) بصفات هجينة من كروموسومات الآباء، في الغالب لديهم قدرة وكفاءة أفضل من الآباء بدرجات متفاوتة. تشكل تحديد نقطة التقاطع بين زوجين من الكروموسومات من التقنيات التي يركز عليها التزاوج، حيث يمكن أن تكون هذه النقطة في موضع محدد أو يترك تحديد موضعها بشكل عشوائي. مثال:



الشكل 23: التزاوج في الخوارزمية الجينية.

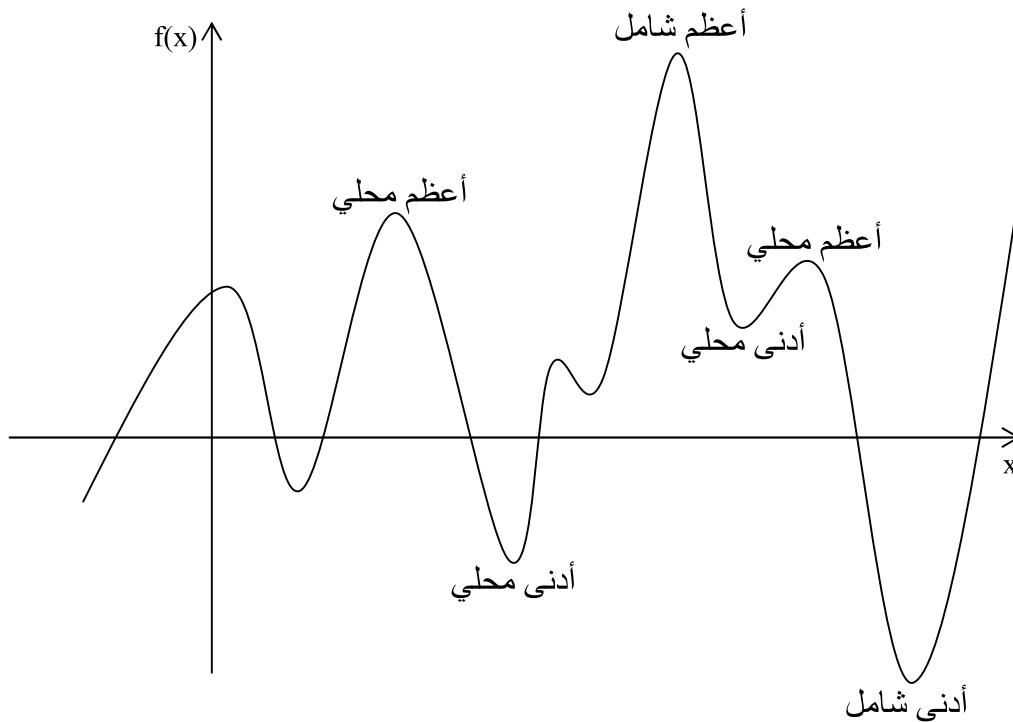
*الطفرة أو التحول:

عملية تجرى على الكروموسوم بشكل منفرد، حيث يتم اختيار احد الكروموسومات في الجيل الحالي بشكل عشوائي ثم إحداث تغيير إحدى جيناته (رقم ضمن السلسلة العددية) بقيمة أخرى عشوائية في موضع محدد أو عشوائي.



الشكل 24: الطفرة في الخوارزمية الجينية.

تكمّن أهمية هذا التغيير في توسيع دائرة البحث في مناطق جديدة بهدف الاقتراب إلى أفضل الحلول على نطاق شامل لإيجاد أعظم شامل global maximum ، تجنب لبقاء البحث في مساحة محدودة والوصول فقط إلى أفضل الحلول على نطاق محلي بالوقوع في أعظم محلي local maximum. الشكل (24)



الشكل 25: أعظم محلي وأعظم شامل في البحث.

3.6.2. خطوات الخوارزمية الجينية:

يعطى الهيكل العام للخوارزمية الجينية GA كما يلي:

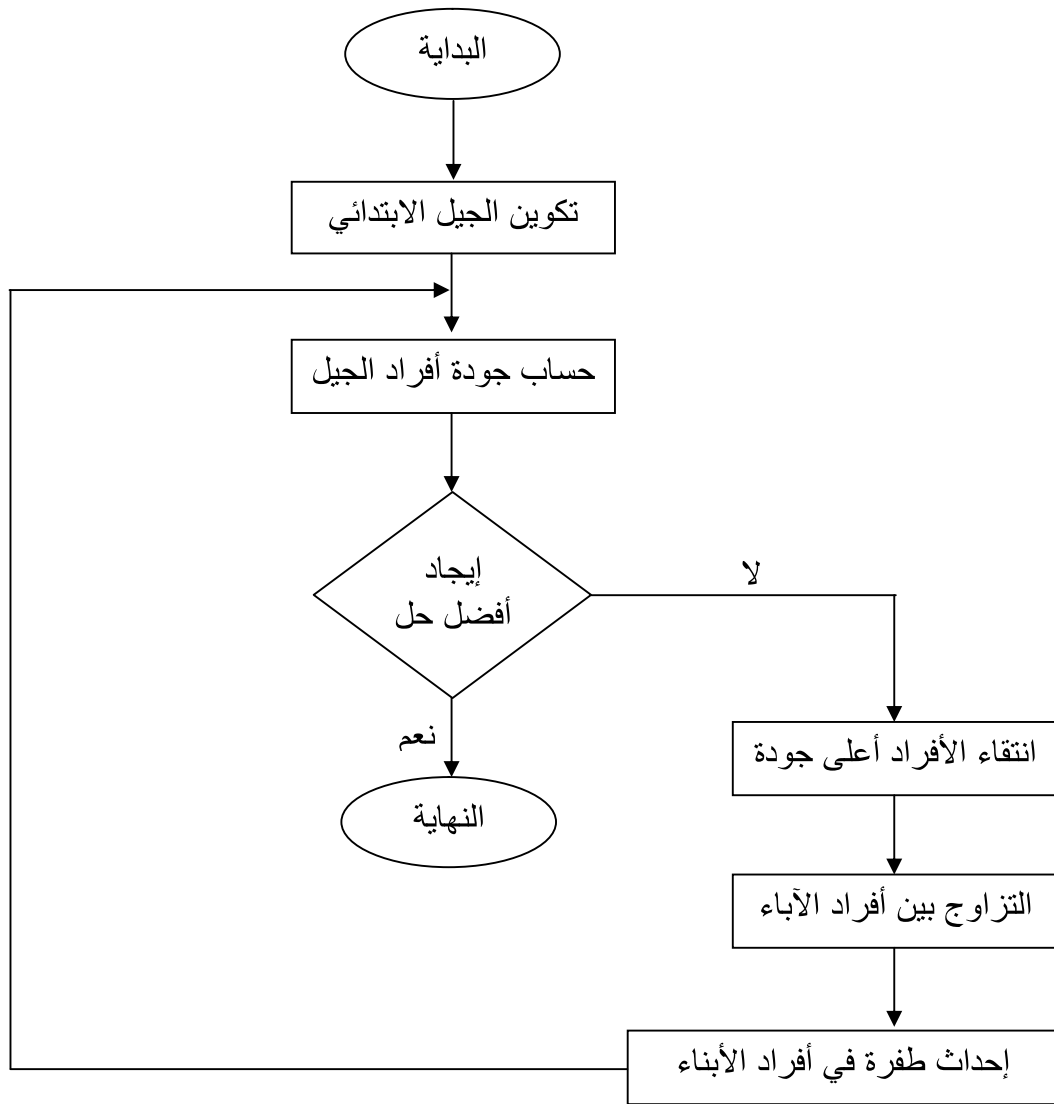
خوارزمية "GA"
البداية
-الجيل الابتدائي.
-الجودة.
كرر إلى غاية (شرط التوقف)
-الانتقاء.
-التزاوج.
-الطفرة.
- الجودة.
نهاية ككرر
النهاية

شرط التوقف: التوقف عند جيل محدد أو عدم القدرة على تحسين آخر حل تم التوصل إليه.

أما الشكل التفصيلي للخوارزمية الجينية يكون كالآتي:

خوارزمية "GA"
البداية
-الجيل الحالي → الجيل الابتدائي.
-حساب جودة كل كروموسوم في الجيل الحالي.
كرر إلى غاية (جيل محدد أو أفضل حل)
-انتقاء الكروموسومات الأعلى جودة في الجيل الحالي.
-التزاوج بين كل زوج من الكروموسومات (الآباء).
-إحداث طفرة في الكروموسومات الجديدة (الأبناء).
-الجيل الحالي → الكروموسومات الجديدة.
-حساب جودة كل كروموسوم في الجيل الحالي.
نهاية ككرر
النهاية

المخطط الموالي يبين مراحل الخوارزمية الجينية:



الشكل 26: مراحل الخوارزمية الجينية.

4.6.2. الخوارزمية الجينية ومشاكل اقصر مسار:

لقد عالجت عديد الأبحاث والدراسات مشاكل النقل باستخدام الخوارزميات التطورية (مستعمرة النمل، الخوارزمية الجينية، سرب الجزيئات، ...) بأشكال ومن زوايا مختلفة، وتعمق البعض منها وانكب على تطوير نماذج لحل هذا النوع من المشاكل بمقاربة التحسين و التقريب أقصى ما يمكن لأمثل وأفضل الحلول. في هذا الصدد نذكر على سبيل المثال لا الحصر فعالية خوارزمية مستعمرة النمل colony ants في حل مشكلة البائع المتجول TSP، التي ثبّت كفاءتها وقدرتها العالية على توليد أفضل الحلول.

نشر الثنائي (Anjum, Gihan) دراسة في سنة 2012 [25] حول التوجيه الأمثل في شبكات Ad-Hoc Network، انطلقت من فكرة أن كل كروموسوم عبارة عن مسار، وأي مسار ينطلق من عقدة المصدر إلى عقدة الهدف يمثل حل محتمل، حيث اعتمدت في تشكيل الجيل الابتدائي لنموذج

الخوارزمية المقترحة على توليد مسارات عشوائية قد تؤدي إلى عقدة الهدف وقد لا، كما أن طول الأقصى الافتراضي للكروموسوم (المسار) يساوي عدد عقد البيان. في خصوص عملية التزاوج crossover حسب الدراسة تتم في منتصف المسار، أما إحداث طفرة فلا يتم إلا إذا استقرت النتائج.

في الدراسة السابقة [25] تظهر نقطة ضعف الخوارزمية المقترحة أولاً في تكوين الجيل الابتدائي، حيث يتم قبول جميع الكروموسومات بما فيها المسارات غير المؤدية إلى عقدة الهدف ما يؤثر على مدة البحث بشكل إجمالي. إن قبول الكروموسومات غير المجدية يحتم على الخوارزمية التعامل مع مسارات غير صالحة من الأساس كحلول، بالتالي تضيق الوقت في سلسلة عمليات إضافية تنقص من فرص التوصل إلى أمثل الحلول خصوصاً إذا كان البيان الشبكي واسع للغاية. كما أن التزاوج ضعيف نوعاً ما على الاعتبار أن هذه العملية تتم دائماً في منتصف المسار، في حين يمكن أن نجد مسارات تشترك في عقد عند بداية أو نهاية المسار، أما بخصوص إحداث الطفرة فإن نتائج البحث يمكن أن تتغير بشكل طفيف لكن باستمرار، وبالتالي يمكن مصادفة حالات كثيرة تتعطل فيها تلقائياً هذه المرحلة المهمة في التركيبة الأساسية للخوارزمية الجينية.

كما تضمنت دراسة أخرى لمجموعة من الباحثين (YINZHEN LI,...) [14] نشرت في سنة 2005 للبحث عن اقصر مسار مرتبط بالزمن باستعمال الخوارزمية الجينية، اقترح نموذج يمنح لكل عقدة أولوية تعطى بشكل عشوائي أثناء الانتقال من عقدة إلى عقدة مجاورة أثناء تشكيل مسارات الجيل الابتدائي، حيث تفضل العقدة المجاورة الأكبر أولوية عند تشكيل مسار من عقدة الانطلاق إلى عقدة الهدف. إضافة إلى ظهور الكروموسوم (المسار) في هذا النموذج بعدد محدد من العقد.

عندما نبدأ من آخر نقطة، فإننا لا نستطيع قبول فكرة طول ثابت للمسار على اعتبار أن المسارات المحتملة بين عقدتين لا يمكن أن يكون لها نفس الطول، وعليه لا يمكن اعتماد هذا النموذج في التعامل مع معظم الحالات. كما أن تشكيل الجيل الابتدائي في هذا المقترح يعتمد بشكل بحت على العشوائية في منح أولوية الأكبر للعقدة المجاورة، حيث يمكن مصادفة مرور جميع المسارات خلال عملية تشكيل الجيل الابتدائي من عقدة واحدة مجاورة لعقدة الانطلاق، ما يحصر البحث عن اقصر مسار في رواق واحد وهو الشيء الذي سيؤدي لا محال إلى تجنب وإهمال مسارات أخرى بشكل نهائي يمكن أن تتضمن الحل الأمثل.

الفصل الثالث:

النموذج المقترح

يتضمن هذا الفصل ثمرة البحث من خلال تقديم النموذج المقترح لحل مشكلة انساب مسار من منظور المسافة والزمن، يبتدئ بعرض تمثيل الكروموسوم (المسار) يليه خوارزميات تشكيل الجيل الابتدائي ثم خطوات الخوارزمية الجينية المقترحة في البحث عن أفضل انساب مسار، وكذا الصيغ الرياضية للدالة الجودة المستعملة في التقييم لانتقاء أفضل الكروموسومات.

1.3. تمثيل الكروموسوم: chromosome

يعتبر الكروموسوم في الخوارزمية الجينية حل محتمل للمشكلة المعالجة، بالتالي فإن المسار في هذه الحالة يشكل في حد ذاته كروموسوماً. في البداية (الجيل 0) يتم توليد عدد عشوائي من المسارات المؤدية إلى عقدة الهدف t من عقدة الانطلاق s المارة من جميع العقد التابعة للعقدة s ، ثم إجراء تزاوج crossover بين كل زوج من المسارات مع إحداث طفرة mutation في كل جيل على أحد المسارات المختار بشكل عشوائي دون قبول كل مسار متولد غير صالح (لا يؤدي لعقدة الهدف، ظهور نفس العقدة أكثر من مرة، موجود في الجيل الحالي). تكرار نفس الخطوات في كل مرة إلى غاية عدم القدرة على توليد مسارات أفضل أو التوقف عند عدد من التكرارات (جيل محدد).

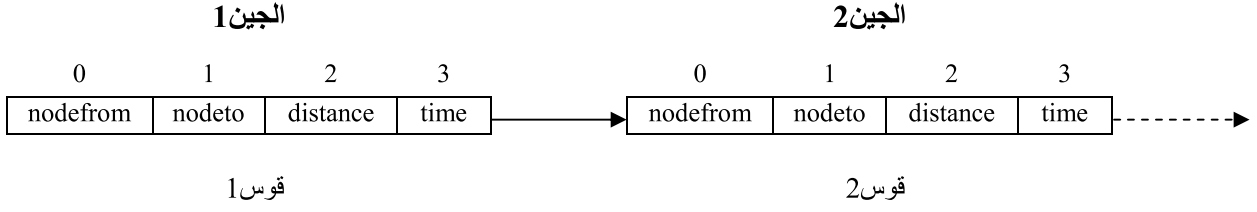
إذن، حجم الكروموسوم في مشكلة البحث عن "أفضل أسرع مسار" غير ثابت الطول، وإنما يتغير وتزداد عدد عقده على حسب الأقواس الرابطة بين العقد المشكلة للمسار.

ليكن البيان غير الموجه $G(N, A, D, T)$ في الشكل (28)، حيث تمثل N مجموعة عقد البيان $(N = \{n_1, n_2, \dots\})$ و A مجموعة الأقواس و D مجموعة مسافات المثقلة بالأقواس و T مجموعة المدد الزمنية للأقواس. تمثل $E(n_k)$ مجموعة توابع العقدة n_k أين $E(n_k) \subset N$ ، كما يرمز لعقدة الانطلاق بالحرف s وعقدة الهدف بالحرف.

يعطى الشكل العام للكروموسوم كما يلي:

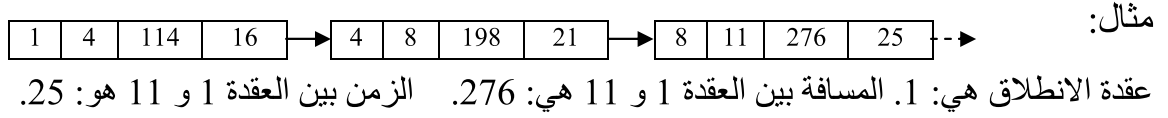
s	b	a	e	d	t	كروموسوم في الجيل 0
s	b	a	c	t		كروموسوم في الجيل 1
s	b	c	t			كروموسوم في الجيل i

يتم تمثيل الكروموسوم عن طريق قائمة ديناميكية dynamic list، يشكل كل عنصر فيها جين (قوس) وهو عبارة عن جدول ببعد واحد يتشكل من أربعة (04) خانات، كما يوضح الشكل (27) الموالي:

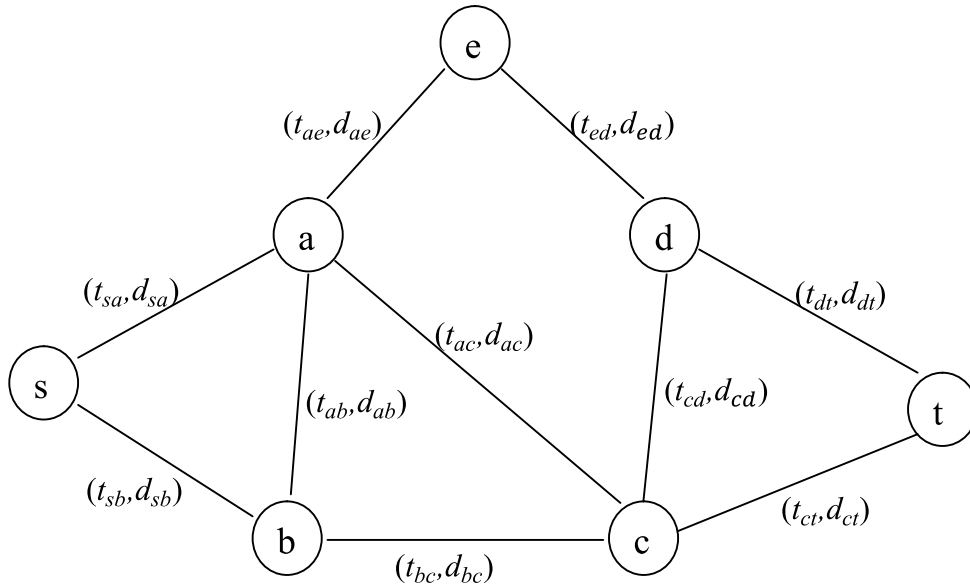


الشكل 27: تمثيل الكروموسوم (المسار).

حيث تمثل الخانة 0 عقدة من المسار nodefrom، أما في الخانة 1 توجد عقدة مجاورة لها nodeto. الخانة 2 تخزن المسافة distance بين عقدة الانطلاق (أول عقدة في المسار) والعقدة الحالية nodeto. في الخانة الأخيرة يوضع الزمن المستغرق time إلى تلك العقدة من عقدة الانطلاق كذلك.



لتوضيح مختلف مراحل الخوارزمية الجينية، نستعين بالبيان الموجه الموالي (الشكل 28):



الشكل 28: بيان غير موجه مثقل بالمسافة والزمن.

2.3. خوارزميات تشكيل الجيل الابتدائي:

ترتكز الخوارزمية الجينية للوصول إلى الحل الأمثل في الأساس على فكرة العشوائية في مختلف مراحلها، خصوصاً عند تشكيل الجيل الابتدائي أو ما يعرف باسم الجيل 0. لكن على الرغم من تلك العشوائية عند تشكيل هذا الجيل، فإن الطريقة المختارة (الخوارزمية المقترحة) يجب أن تضمن إلى حد

كبير تعددا وتنوعا في الأفراد (الكروموسومات) بهدف الزيادة في نسب واحتمالات الوصول إلى الحل الأمثل.

يمكن أن تشكل عملية البحث عن مسار في بيان (غير موجه) نقطة ضعف في الخوارزمية الجينية لإيجاد اقصر أو أفضل مسار، على اعتبار أن البحث العشوائي يمكن أن يولد مسارات مجمدة (عدم القدرة على إضافة عقد جديدة من دون الوصول إلى عقدة الهدف) أو مسارات منكسرة و طويلة جدا مؤدية إلى عقدة الهدف، ما يزيد في مدة البحث في مرحلة تشكيل الجيل الابتدائي.

بالتالي يجب وضع خوارزمية تتيج من تشكيل مسار مؤدي إلى عقدة الهدف مع المحافظة على مبدأ العشوائية، في المقابل يجب أن تُسرّع هذه الخوارزمية أقصى ما يمكن في عملية توليد المسارات (الكروموسومات) عن طريق معايير توجيهية خلال تشكيل المسار بهدف تقليص الوقت الإجمالي للبحث.

تعطى خوارزمية تشكيل (البحث) مسار عند تكوين الجيل الابتدائي بالشكل التالي:

خوارزمية "تشكيل مسار"

البداية

كرر إلى غاية (الوصول لعقدة الهدف أو التجمد)

إذا كان (عقدة مجاورة = عقدة الهدف) إذن اختر عقدة الهدف.

وإلا اختر عقدة مجاورة لديها عقد تابعة مجاورة لعقدة الهدف.

وإلا اختر عقدة مجاورة ليست تابعة لعقدة الانطلاق.

وإلا اختر عقدة مجاورة ليست من ضمن المسار قيد التشكل.

نهاية ككرر

النهاية

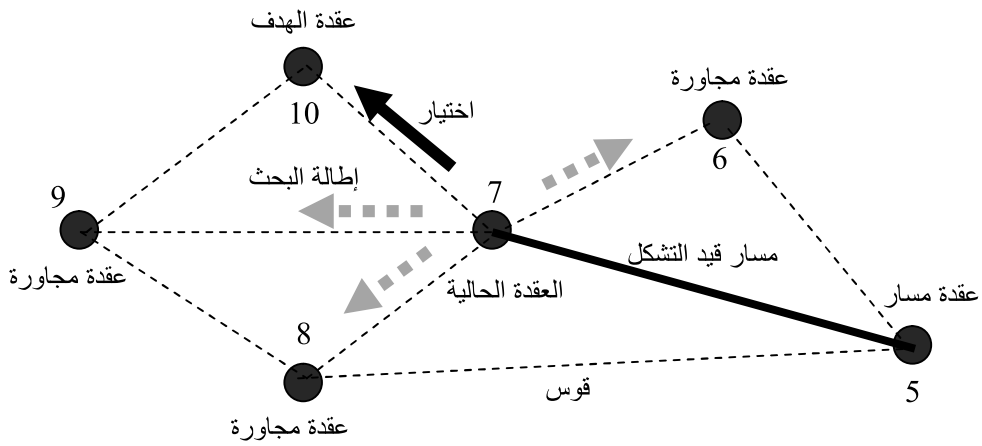
تعتمد خوارزمية تشكيل مسار أو يمكن أن نطلق عليها تسمية خوارزمية "البحث العشوائي الموجه" المقترحة على أربع (04) معايير، كل معيار يساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في التقليل من وقت البحث الإجمالي للوصول إلى عقدة الهدف مع التقليل قدر الإمكان من عدد عقد المسار المُشكّل.

*المعيار 01: اختيار عقدة الهدف لتجنب إطالة البحث والذهاب إلى عقدة مجاورة. (الشكل 1.29)

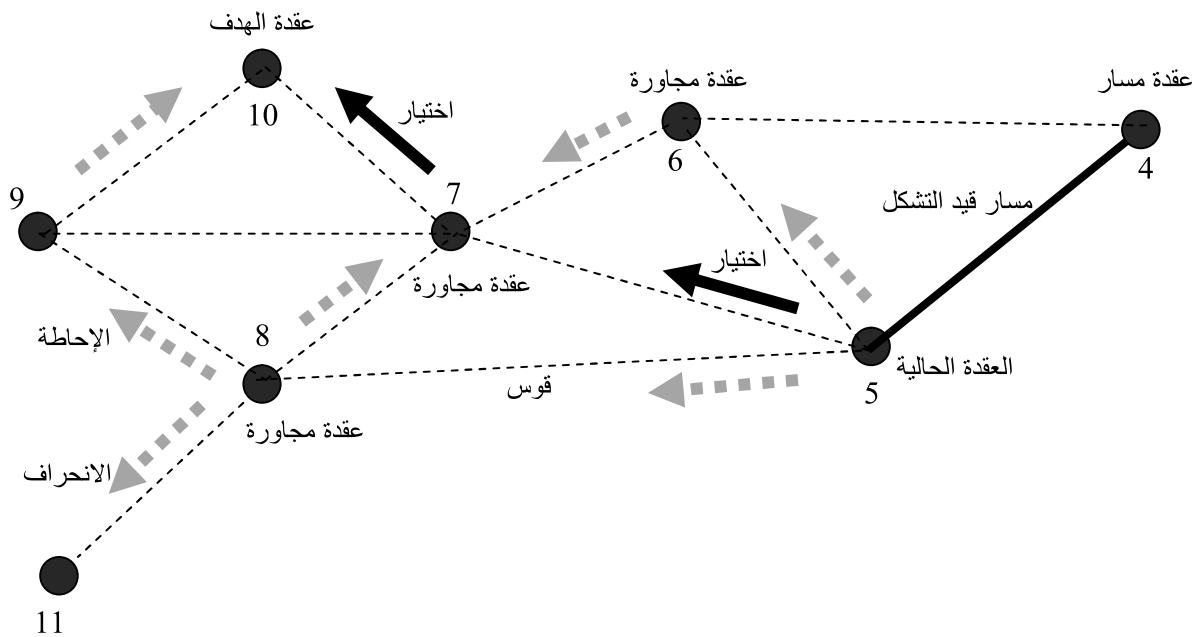
*المعيار 02: التقرب من عقدة الهدف لتجنب الإحاطة بها أو الانحراف عنها. (الشكل 2.29)

*المعيار 03: توجيه البحث نحو الأمام لتجنب الدوران أو الرجوع إلى عقدة الانطلاق. (الشكل 3.29)

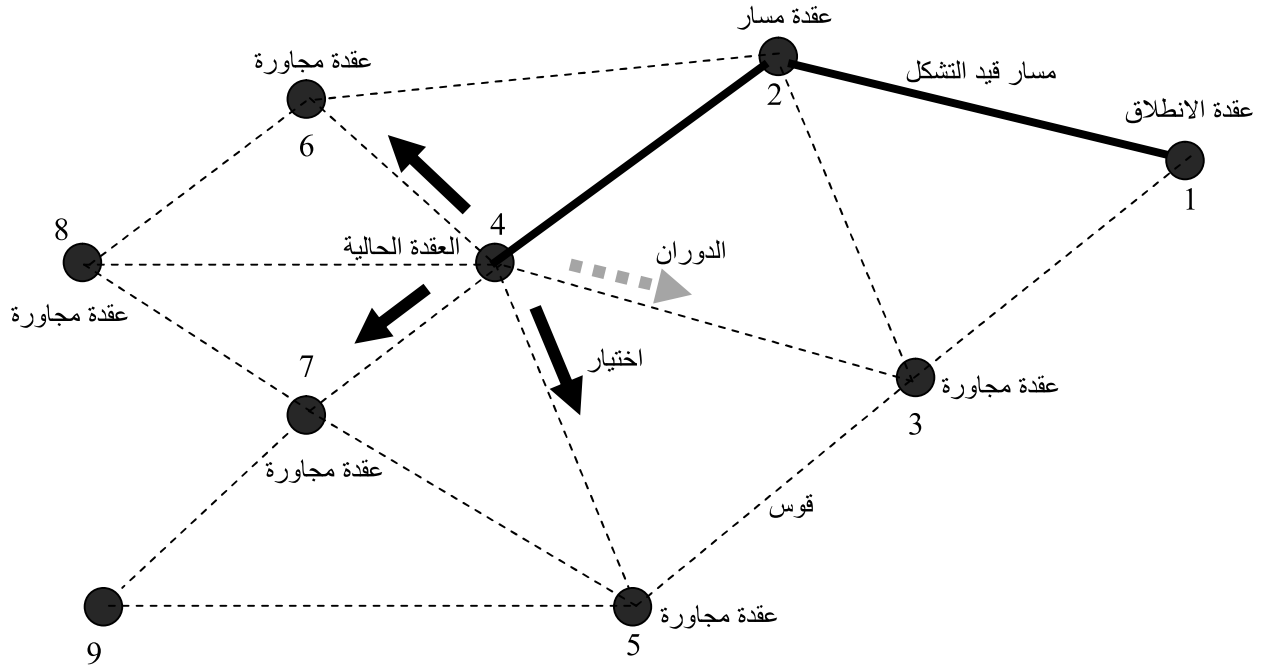
*المعيار 04: توجيه البحث في اتجاه مغاير لتجنب الالتفاف على المسار قيد التشكل. (الشكل 4.29)



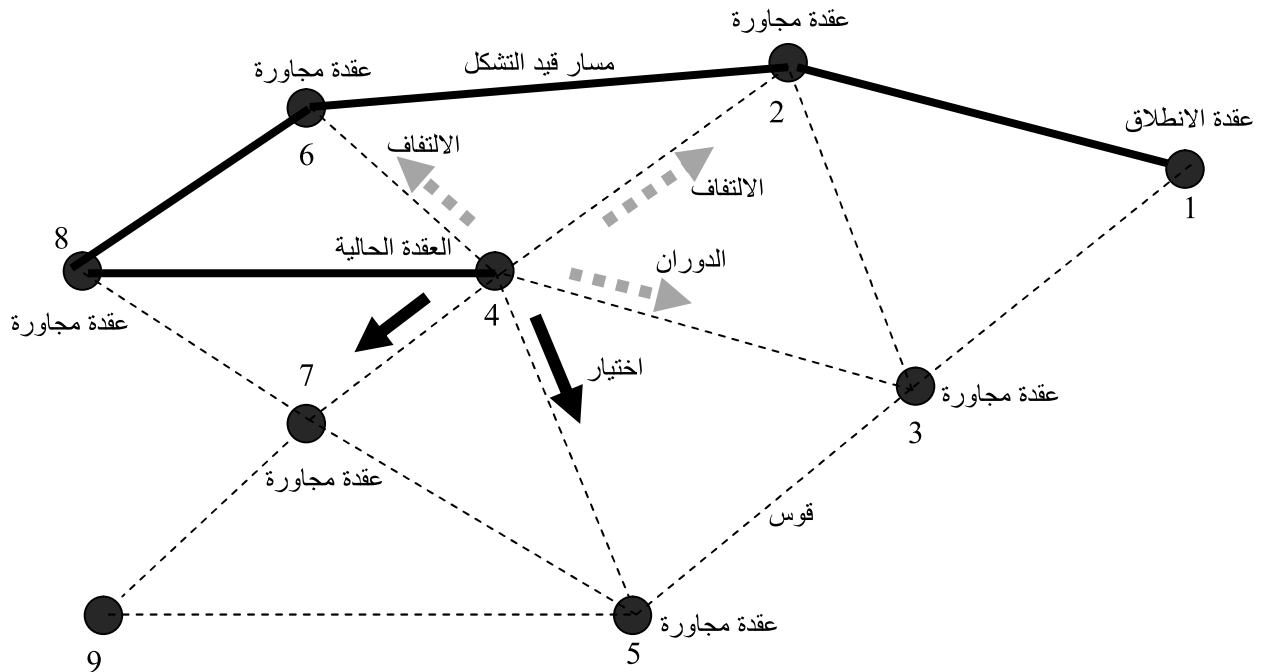
الشكل 1.29: الجيل الابتدائي-تجنب إطالة البحث.



الشكل 2.29: الجيل الابتدائي-تجنب الإحاطة أو الانحراف عن عقدة الهدف.



الشكل 3.29: الجيل الابتدائي-تجنب الدوران أو الرجوع إلى عقدة الانطلاق.



الشكل 4.29: الجيل الابتدائي-تجنب الالتفاف على المسار قيد التشكل.

تعطى خوارزمية تشكيل الجيل الابتدائي (الجيل 0) بالشكل التالي:

خوارزمية "تشكيل الجيل الابتدائي"

البداية

- عدد مسارات الجيل الابتدائي → عدد العقد التابعة لعقدة الانطلاق.

كرر إلى غاية (تشكيل الجيل الابتدائي أو استنفاد عدد المحاولات)

كرر إلى غاية (عدد مسارات الجيل الابتدائي أو تشكيل الجيل الابتدائي)

- البحث بخوارزمية تشكيل مسار (انطلق من عقدة تابعة أو مسار جزئي).

- إضافة المسار الجديد المؤدي إلى عقدة الهدف إلى الجيل الابتدائي.

نهاية ككرر

إذا (لم يتشكل الجيل الابتدائي) إذن

- توليد مسار جزئي من موضع عشوائي من كل مسار مؤدي إلى عقدة الهدف.

- عدد مسارات الجيل الابتدائي → جميع المسارات المؤدية وغير مؤدية لعقدة الهدف.

نهاية إذا

نهاية ككرر

النهاية

* عدد المحاولات ثابت يعطى بشكل تقديري: مثلاً 10.

3.3. خطوات الخوارزمية الجينية:

ليكن البيان غير الموجه $G(N,A,D,T)$ (الشكل 28)، N مجموعة العقد ($N = \{n_1, n_2, \dots\}$) و A مجموعة الأقواس و D مجموعة مسافات المثقلة بالأقواس و T مجموعة المدد الزمنية للأقواس.

① يتكون الجيل 0 من m كروموسوم ($m \geq |E(s)|, E(s) = \{n_1, n_2, \dots\}, E(s) \subset N$). كل كروموسوم p_k ($k=1, 2, \dots, m$) يمثل احد المسارات المختارة بشكل عشوائي من عقدة الانطلاق s إلى عقدة الهدف t :

s	i	...	j	t
---	---	-----	---	---

$$i \in E(s), \dots, t \in E(j), p_k = \{(s,i), \dots, (j,t)\}$$

② حساب جودة fitness كل مسار عن طريق دالة التلاؤم $f(p_k)$. التوقف عند عدم القدرة على توليد أفضل المسارات أو الوصول إلى الجيل المطلوب ($g=1, 2, \dots$) والذهاب إلى ⑦، وإلا اذهب إلى الخطوة الموالية ③.

③ انتقاء selection عدد m من المسارات التي لديها أكبر قيم للجودة. يمثل m عدد الكروموسومات (المسارات) الأقصى في كل جيل.

④ التزاوج crossover بين المسار $(i*2)$ والمسار $(i*2+1)$ من أول عقدة مشتركة بين المسارين انطلاقاً من بداية كل المسار (من العقدة الموالية للعقدة s)، حيث $i=0, 1, \dots$. (0) المسار الأول، (1) المسار الثاني، ...

*قبل التزاوج:

s	b	c	d	t
---	---	---	---	---

كروموسوم-اب k

s	a	e	d	c	t
---	---	---	---	---	---

كروموسوم-اب k+1

*بعد التزاوج:

s	b	c	t
---	---	---	---

كروموسوم-ابن k' (مقبول)

s	a	e	d	c	d	t
---	---	---	---	---	---	---

كروموسوم-ابن k'+1 (مرفوض)

أي مسار يتولد بعد التزاوج لا يتم إضافته إلى الجيل الجديد، إلا بعد أن يحقق الشروط التالية:

- يؤدي لعقدة الهدف.
- لا يحتوي على نفس العقدة أكثر من مرة.
- عدم وجوده في الجيل الجديد.

مع الإبقاء على مسارات الآباء احتياطاً وفق مبدأ النخبة (الأعلى جودة) Elitism تجنباً أن يكونوا الأبناء أقل جودة أو مسارات غير صالحة.

⑤ إحداث طفرة mutation في احد مسارات (كروموسومات) الجيل الحالي مختار بشكل عشوائي. تتم الطفرة عن طريق تثبيت عقدة i انطلاقاً من بداية المسار المعني ($i=1, 2, \dots$) والبحث عن أول عقدة j تابعة لها انطلاقاً من آخر المسار ($j=n, n-1, \dots$)، حيث n عدد عقد المسار و $j > i+1$. عند وجود أول عقدة تابعة يتم حذف جميع العقد بين i و j لتكوين مسار جديد (متولد)، يتم إضافته إلى الجيل بعد التثبيت من أن هذا المسار المتولد ليس من ضمن الجيل الحالي، وإلا يبقى المسار الأول على حاله قبل إحداث الطفرة.

*قبل الطفرة:

1	$i=2$	3	$j=4$	$n=5$
s	b	a	c	t

كروموسوم-أب

*بعد الطفرة:

1	2	3	$n=4$
s	b	c	t

كروموسوم-ابن

⑥ تكرار الخطوة ②.

⑦ "أفضل أسرع مسار" هو المسار المؤدي إلى عقدة الهدف t الذي لديه أكبر قيمة لدالة الجودة $\max f(p_i)$.

ملاحظة: المسار الذي تكون فيه قيمة الدالة $f(pk) = 1$ يعتبر أسوأ مسار، حيث يكون أطول مسافة وأكبر زمناً.

4.3.4 دالة الجودة (التلاؤم) : fitness

*الهدف: إيجاد أنسب مسار بين عقدة الانطلاق s وعقدة الهدف t .

*المعيار: أفضل أسرع مسار (بمراعاة طول المسار).

*الإستراتيجية: التقليل من المدة الزمنية للمسار بالتوازي مع تقليل المسافة للوصول إلى أفضل توليفة.

*الدالة:

يشكل p_i ($p_i \subseteq A$) المسار المتكون من تسلسل العقد $n_1 \rightarrow n_2 \rightarrow \dots \rightarrow n_k$ والرابط بين العقدة n_1 و العقدة n_k ، حيث $n_i \in N - \{s\}$ و $n_1=s$, $i=2, 3, \dots, k$.

تحتسب جودة المسار p_i بتعظيم قيمة الدالة $f(p_i)$ بالصيغ التالية:

$$\begin{cases} \max f(pi), \\ f(pi) = \lambda(1 + f_{td}(pi)), \\ f_{td}(pi) = f_t(pi) + f_d(pi). \\ i, k = 1, 2, \dots \end{cases}$$

حيث:

$$\begin{cases} f_{td}(pi) = 0 \text{ if } n_k \neq t \\ f_{td}(pi) \geq 0 \text{ if } n_k = t \\ \lambda = 1 \text{ if } E(n_k) \neq \varnothing \text{ or } n_k = t \\ \lambda = 0 \text{ if } E(n_k) = \varnothing \text{ and } n_k \neq t \end{cases}$$

1.4.3. حساب جودة المسافة (الطول) $f_d(pi)$: distance

$$f_d(pi) = \frac{d_{max} - d_{pi}}{d_{max}}$$

$$i=1, 2, \dots$$

حيث:

d_{max} أقصى مسافة (طول) لمسار يؤدي إلى عقدة الهدف t .

d_{pi} مسافة (طول) المسار pi المؤدي إلى عقدة الهدف t .

2.4.3. حساب جودة الزمن (الوقت) $f_t(pi)$: time

$$f_t(pi) = \frac{t_{max} - t_{pi}}{t_{max}}$$

$$i=1, 2, \dots$$

حيث:

t_{max} أقصى (أطول) مدة زمنية لمسار يؤدي إلى عقدة الهدف t .

t_{pi} المدة الزمنية للمسار pi المؤدي إلى عقدة الهدف t .

الفصل الرابع:

اختبار، نتائج وتقييم الخوارزمية الجينية

يتضمن هذا الفصل الأخير استعراض لسلسلة من الاختبارات التجريبية للخوارزمية الجينية المقترحة أجريت على بيان غير موجه (انظر في الملاحق الشكل 30، 31)، حيث تركز الاختبارات الأولية على التحقق من إمكانية إيجاد أفضل اقصر مسار ثم تعميم الاختبارات للوصول إلى أنسب مسار، بغية الوقوف على مدى قدرة الخوارزمية المقترحة على إيجاد أفضل الحلول، مع تدعيم تلك الاختبارات بجدول ومخططات النتائج التي أفرزتها، يليها كشف تقييمي على ضوء النتائج المتحصل عليها.

1.4. اختبار الخوارزمية:

من أجل التحقق من فعالية الخوارزمية الجينية المقترحة من جهة، وما مدى دقة النتائج التي تتوصل إليها من جهة ثانية، أجريت مجموعة من الاختبارات على بيان غير موجه به سبعون (70) عقدة ومائة وثمانون قوس (180) مثقلة بمسافات مدروسة حسب التباعد الفعلي بين العقد (دون مراعاة وحدة القياس) مع زمن يساوي عُشر مسافة القوس في بادئ الأمر، بغرض إهمال الزمن في الاختبارات الأولية التي تستهدف فقط البحث عن اقصر مسار. تتضمن هذه الاختبارات ما يلي:

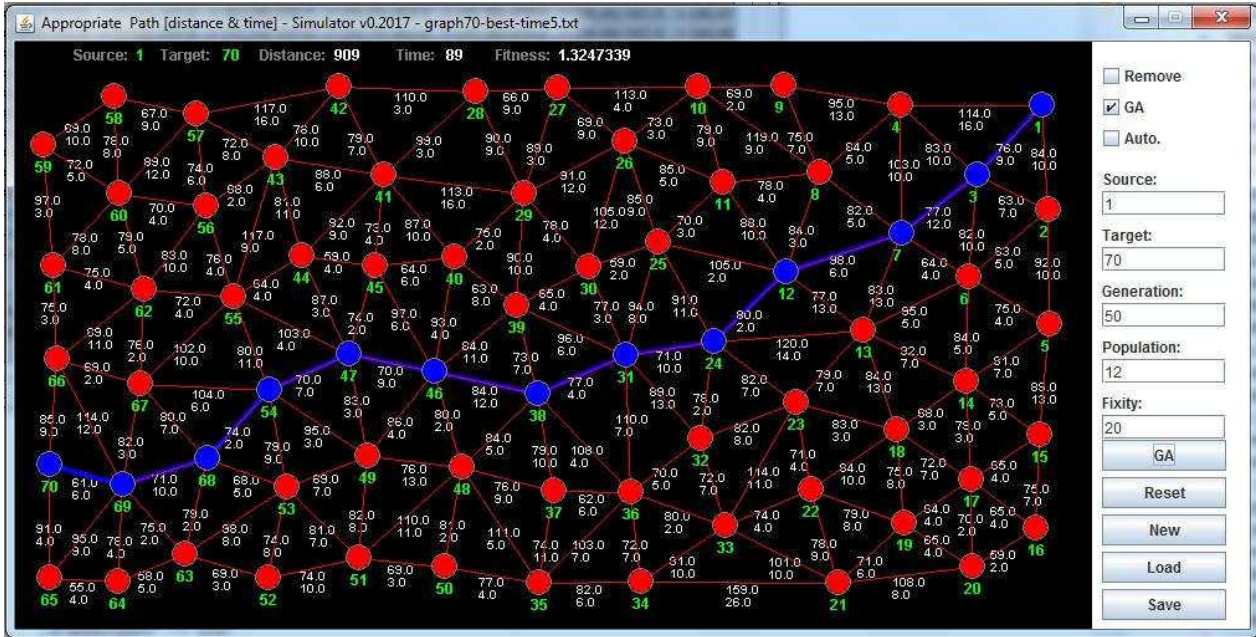
- الاختبار 1: تكوين أفراد (مسارات) الجيل الابتدائي.
- الاختبار 2: تتبع خطوات الخوارزمية خلال عملية بحث عن أفضل اقصر مسار.
- الاختبار 3: تتبع أفضل المسارات خلال عملية بحث عن أفضل اقصر مسار.
- الاختبار 4: البحث عن أفضل اقصر مسار حسب عدد أفراد الجيل.
- الاختبار 5: البحث عن أفضل أنسب مسار.

خلال عملية الاختبارات يستخدم مصطلح الثبات fixity، وهو عدد طبيعي أكبر من الصفر (متغير) يستعمل في الخوارزمية الجينية كشرط توقف عند استقرار البحث عند نفس طول للمسار أو المسارات المتوصل إليها، وعدم القدرة على تحسين النتيجة أكثر من ذلك، وعليه فإن الثبات يعبر عن اختبار دوري للنتائج المحصلة خلال عبر الأجيال المولدة بمقارنة نتيجة سابقة (الرجوع إلى الخلف بمقدار قيمة الثبات) مع النتيجة الحالية.

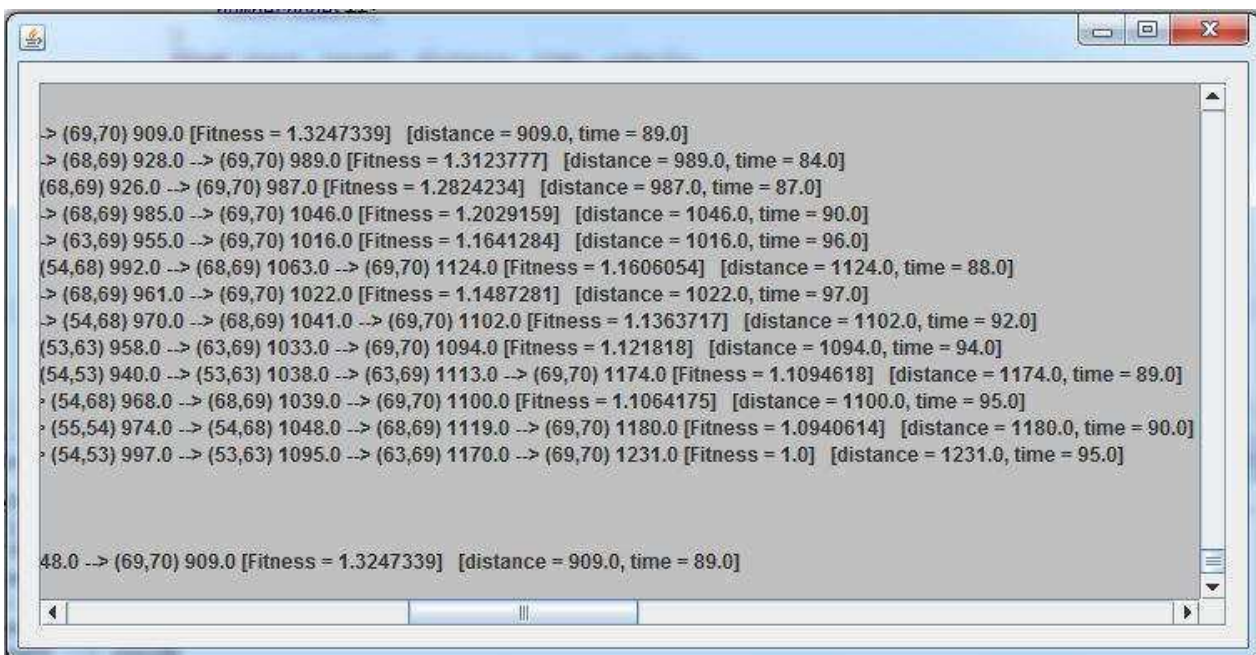
مثلاً، إذا كان عدد الثبات يساوي خمسة (05)، فإن الخوارزمية الجينية تختبر بعد كل خمس (05) أجيال نتيجة الجيل الخامس السابق مع نتيجة الجيل الحالي. إذا تساوت النتيجتان تتوقف الخوارزمية عن البحث وتكون النتيجة الحالية أفضل نتيجة متوصل إليها. من خلال الاختبارات التجريبية ثبت أن صغر قيمة الثبات في بيان كبير يؤدي إلى التوصل إلى نتيجة بعيدة عن أفضل الحلول الممكنة، كان يمكن التوصل إلى أحسن منها لو كانت قيمة الثبات أكبر.

من أجل إجراء تلك الاختبارات تم انجاز برنامج محاكاة simulator خصيصاً لهذه المهمة، متكون من نافذتين. النافذة الرئيسية يتم فيها رسم البيان غير موجه والبحث عن أفضل أنسب مسار بين عقدتين، أما النافذة الثانية مصممة لتتبع الخطوات الخوارزمية خلال البحث عن المسار المنتظر.

الصورة الموالية تبين النافذة الرئيسية لبرنامج المحاكاة. المساحة السوداء مخصص لرسم البيان والبحث عن المسارات، أما الجهة اليمنى تضم اختيارات وأزرار ومناطق كتابة لإدخال المعطيات (عقدة الانطلاق source، عقدة الهدف target، عدد الأجيال generation، عدد أفراد الجيل population، قيمة الثبات fixity). بالنسبة للأزرار، يستعمل الزر GA لإقلاع الخوارزمية الجينية والبدا في البحث عن أفضل انسب مسار، الزر Reset لإلغاء عملية البحث السابقة، الزر New لمسح البيان الحالي، الزر Load لتحميل بيان واخيرا الزر Save لحفظ البيان.



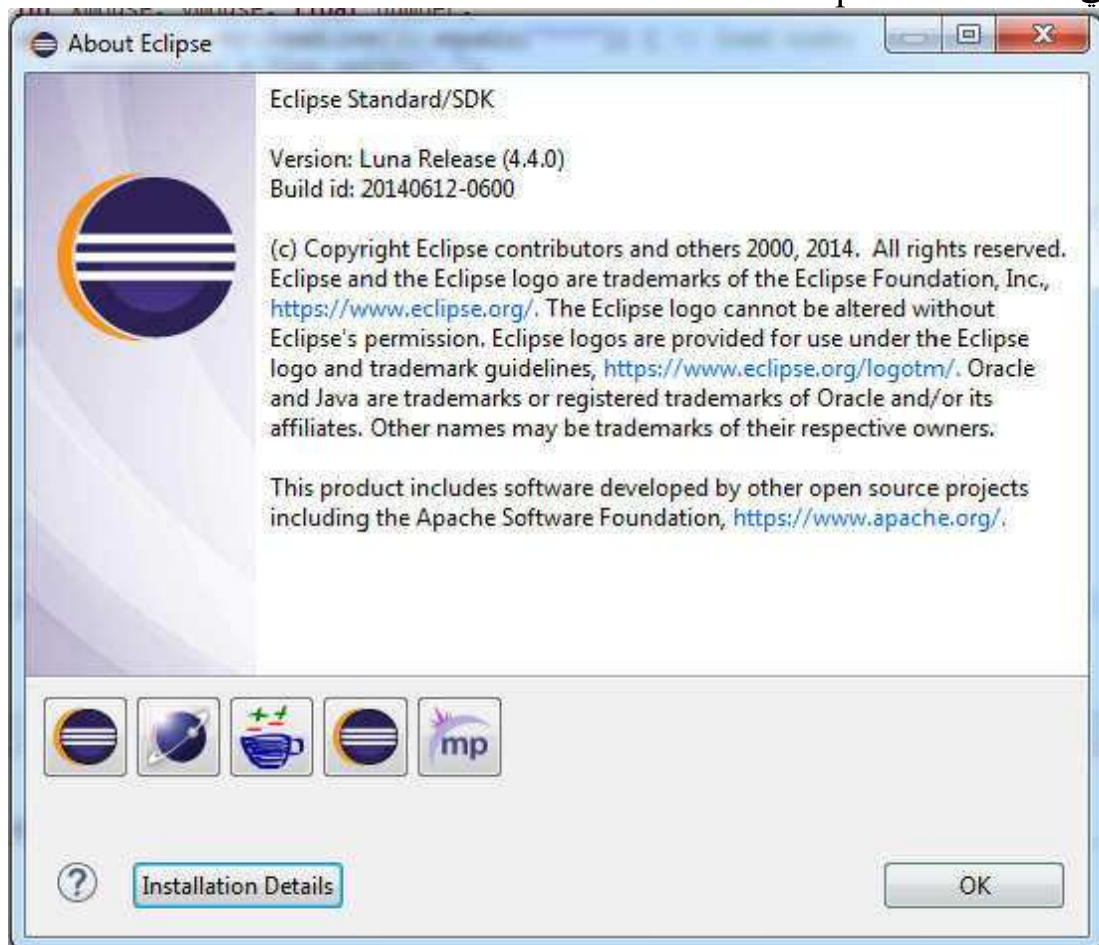
الصورة الموالية تبين النافذة المخصصة لتتبع مراحل الخوارزمية الجينية. بعد انتهاء عملية البحث تحتوي هذه النافذة على اثر مراحل البحث في كل جيل بداية من الجيل الابتدائي الى الجودة، الانتقاء، التزاوج والطفرة في كل جيل مولد.



تم انجاز هذا البرنامج في جهاز كمبيوتر محمول من نوع HP ProBook 4530s بالموصفات الآلية والبرمجية المبينة في الصورة التالية:



استعملت لغة جافا JAVA في البرمجة في بيئة التنفيذ (jre1.8.0) JavaSE-1.8 باستعمال المحرر البرمجي Eclipse Luna 4.4.0 :



2.4. نتائج الاختبارات: تتضمن الجداول والمخططات الموالية النتائج المتحصل عليها من الاختبارات السالفة الذكر على الخوارزمية الجينية المقترحة، وكانت كالاتي:

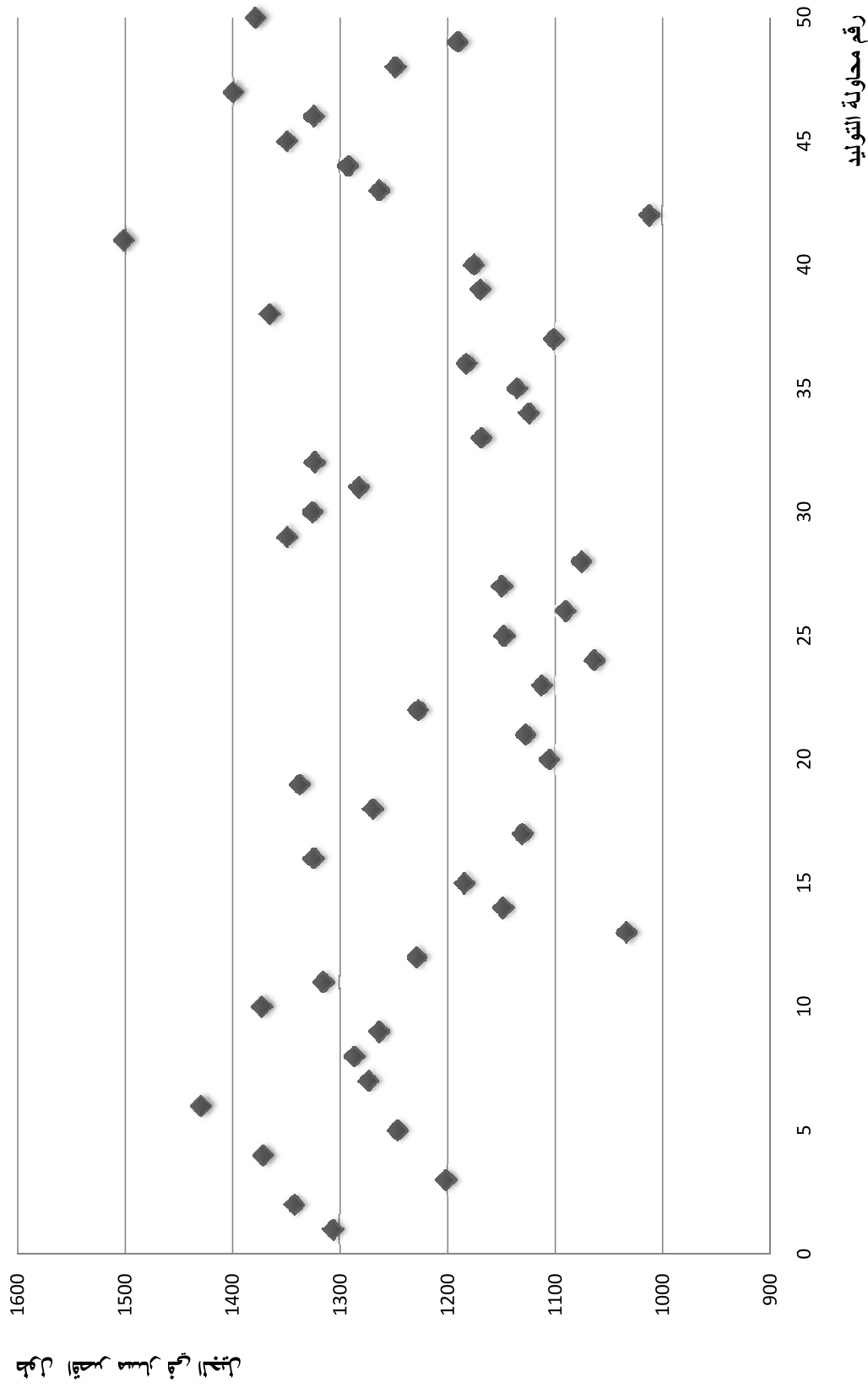
الاختبار 1: نتائج تكوين افراد (مسارات) الجيل الابتدائي

عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / عدد افراد الجيل المطلوبة: 24 / طول اقصر مسار: 900

رقم المحاولة	عدد المسارات المولدة	طول افضل اقصر مسار مولد	ظهور طول المسار
1	24	1307	1
2	24	1343	1
3	24	1202	1
4	24	1372	1
5	24	1247	1
6	24	1430	1
7	24	1274	1
8	24	1287	1
9	24	1264	2
10	24	1373	1
11	24	1316	1
12	24	1229	1
13	24	1034	1
14	24	1149	1
15	24	1185	1
16	24	1325	2
17	24	1131	1
18	24	1270	1
19	24	1338	1
20	24	1106	1
21	24	1128	1
22	24	1228	1
23	24	1113	1
24	24	1064	1
25	24	1148	1
26	24	1091	1
27	24	1150	1
28	24	1076	1
29	24	1350	2
30	24	1326	1
31	24	1283	1
32	24	1324	1
33	24	1169	1
34	24	1125	1
35	24	1136	1
36	24	1183	1
37	24	1102	1
38	24	1366	1
39	24	1170	1
40	24	1176	1
41	24	1502	1
42	24	1013	1
43	24	1264	2
44	24	1293	1
45	24	1350	2
46	24	1325	2
47	24	1400	1
48	24	1249	1
49	24	1191	1
50	24	1379	1

1013	اقصر مسار مولد
1502	اطول مسار مولد
1237	متوسط الطول

الاختبار 1: مخطط تكوين أفراد (مسارات) الجيل الابتدائي
 عقدة الانطلاق 1 عقدة الهدف 70 / عدد افراد الجيل المطلوبة: 24/ طول اقصر مسار 900



الاختبار 2: تتبع خطوات الخوارزمية خلال عملية بحث عن أفضل اقصر مسار

يعتبر هذا الاختبار من أهم الاختبارات للتأكد وتأكيد صلاحية النموذج المقترح، حيث يتم فيه تتبع خطوات بحث الخوارزمية الجينية (الجيل الابتدائي، الجودة، الانتقاء، التزاوج، الطفرة) خطوة بخطوة من عقدة الانطلاق 29 إلى العقدة الهدف 34، وهذا بهدف التحقق من مدى عمل وفعالية كل خطوة على حدا.

تمثل النتائج المولية كشف تفصيلي لعملية بحث عن أفضل اقصر مسار، وهو من مخرجات برنامج الاختبار المُعد خصيصاً لهذا الغرض:

Nodes of the graph= 70

Arcs of the graph= 180

Source: 29 --> Target: 34 (Population= 6 / Generation= 50 / Fixity= 2)

Successor: 30.0 [Distance: 78.0 Time: 7.8]

Successor: 26.0 [Distance: 91.0 Time: 9.1]

Successor: 27.0 [Distance: 89.0 Time: 8.9]

Successor: 28.0 [Distance: 90.0 Time: 9.0]

Successor: 41.0 [Distance: 113.0 Time: 11.3]

Successor: 40.0 [Distance: 75.0 Time: 7.5]

Successor: 39.0 [Distance: 90.0 Time: 9.0]

Generation: 0 -----

Path(0): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.5757926] [distance = 368.0, time = 36.8]

Path(1): (29,30) 78.0 --> (30,25) 137.0 --> (25,31) 231.0 --> (31,36) 341.0 --> (36,34) 413.0 [Fitness = 2.5239193] [distance = 413.0, time = 41.3]

Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 2.3118157] [distance = 597.0, time = 59.7]

Path(3): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0 [Fitness = 2.0778098]

[distance = 800.0, time = 80.0]

Path(4): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --

> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,45) 1166.0 --> (45,46) 1263.0 --> (46,48) 1343.0 --> (48,35) 1454.0 --> (35,34) 1536.0 [Fitness = 1.2293949] [distance

= 1536.0, time = 153.59999]

Path(5): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --

> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,47) 1194.0 --> (47,46) 1264.0 --> (46,49) 1350.0 --> (49,51) 1432.0 --> (51,48) 1542.0 --> (48,35) 1653.0 --> (35,34)

1735.0 [Fitness = 1.0] [distance = 1735.0, time = 173.5]

SELECTION **** start

Generation: 1 -----

Path(0): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.5757926] [distance = 368.0, time = 36.8]
 Path(1): (29,30) 78.0 --> (30,25) 137.0 --> (25,31) 231.0 --> (31,36) 341.0 --> (36,34) 413.0 [Fitness = 2.5239193] [distance = 413.0, time = 41.3]
 Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 2.3118157] [distance = 597.0, time = 59.7]
 Path(3): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0 [Fitness = 2.0778098]
 [distance = 800.0, time = 80.0]
 Path(4): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
 > (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,45) 1166.0 --> (45,46) 1263.0 --> (46,48) 1343.0 --> (48,35) 1454.0 --> (35,34) 1536.0 [Fitness = 1.2293949] [distance
 = 1536.0, time = 153.59999]
 Path(5): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
 > (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,47) 1194.0 --> (47,46) 1264.0 --> (46,49) 1350.0 --> (49,51) 1432.0 --> (51,48) 1542.0 --> (48,35) 1653.0 --> (35,34)
 1735.0 [Fitness = 1.0] [distance = 1735.0, time = 173.5]

SELECTION **** end

CROSSOVER **** start

Crossover between tow Paths n°: (0) and (1)

Done (cross1): false

Done (cross2): false

Crossover between tow Paths n°: (2) and (3)

#arc4 in Path(2) with #arc6 in Path(3)

Done (cross1): true

Done (cross2): true

Crossover between tow Paths n°: (4) and (5)

Done (cross1): false

Done (cross2): false

Generation: 1 -----

Path(0): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0
 Path(1): (29,30) 78.0 --> (30,25) 137.0 --> (25,31) 231.0 --> (31,36) 341.0 --> (36,34) 413.0
 Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0

```

Path(3): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0
Path(4): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,45) 1166.0 --> (45,46) 1263.0 --> (46,48) 1343.0 --> (48,35) 1454.0 --> (35,34) 1536.0
Path(5): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,47) 1194.0 --> (47,46) 1264.0 --> (46,49) 1350.0 --> (49,51) 1432.0 --> (51,48) 1542.0 --> (48,35) 1653.0 --> (35,34)
1735.0
Path(6): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0
Path(7): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0

CROSSOVER **** end

MUTATION **** start

Mutation in Path n°: (1)
#arc2 (30,25) with #arc4 (31,36)
Done: true

Generation: 1 -----

Path(0): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0
Path(1): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0
Path(3): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0
Path(4): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,45) 1166.0 --> (45,46) 1263.0 --> (46,48) 1343.0 --> (48,35) 1454.0 --> (35,34) 1536.0
Path(5): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,47) 1194.0 --> (47,46) 1264.0 --> (46,49) 1350.0 --> (49,51) 1432.0 --> (51,48) 1542.0 --> (48,35) 1653.0 --> (35,34)
1735.0
Path(6): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0
Path(7): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0

MUTATION **** end

```

FITNESS **** start

Generation: 1 -----

```
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.6115274] [distance = 337.0, time = 33.7]
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.5757926] [distance = 368.0, time = 36.8]
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 2.3118157] [distance = 597.0, time = 59.7]
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0 [Fitness = 2.28415] [distance = 621.0, time = 62.1]
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0 [Fitness = 2.1054754]
[distance = 776.0, time = 77.6]
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0 [Fitness = 2.0778098]
[distance = 800.0, time = 80.0]
Path(6): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,45) 1166.0 --> (45,46) 1263.0 --> (46,48) 1343.0 --> (48,35) 1454.0 --> (35,34) 1536.0 [Fitness = 1.2293949] [distance
= 1536.0, time = 153.59999]
Path(7): (29,28) 90.0 --> (28,42) 200.0 --> (42,57) 317.0 --> (57,60) 406.0 --> (60,56) 476.0 --> (56,62) 559.0 --> (62,67) 635.0 --> (67,66) 704.0 --> (66,69) 818.0 --> (69,68) 889.0 --
> (68,54) 963.0 --> (54,55) 1043.0 --> (55,44) 1107.0 --> (44,47) 1194.0 --> (47,46) 1264.0 --> (46,49) 1350.0 --> (49,51) 1432.0 --> (51,48) 1542.0 --> (48,35) 1653.0 --> (35,34)
1735.0 [Fitness = 1.0] [distance = 1735.0, time = 173.5]
```

FITNESS **** end

SELECTION **** start

Generation: 2 -----

```
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.6115274] [distance = 337.0, time = 33.7]
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.5757926] [distance = 368.0, time = 36.8]
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 2.3118157] [distance = 597.0, time = 59.7]
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0 [Fitness = 2.28415] [distance = 621.0, time = 62.1]
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0 [Fitness = 2.1054754]
[distance = 776.0, time = 77.6]
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0 [Fitness = 2.0778098]
[distance = 800.0, time = 80.0]
```

SELECTION **** end

```

CROSSOVER ***** start

Crossover between tow Paths n°: (0) and (1)
Done (cross1): false
Done (cross2): false

Crossover between tow Paths n°: (2) and (3)
Done (cross1): false
Done (cross2): false

Crossover between tow Paths n°: (4) and (5)
Done (cross1): false
Done (cross2): false

Generation: 2 -----
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0

CROSSOVER ***** end

MUTATION ***** start

Mutation in Path n°: (5)
#arc3 (10,11) with #arc5 (8,12)
Done: true

Generation: 2 -----
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0

```

Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0

MUTATION **** end

FITNESS **** start

Generation: 2 -----

Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.1314433] [distance = 337.0, time = 33.7]
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.0515463] [distance = 368.0, time = 36.8]
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 1.4613402] [distance = 597.0, time = 59.7]
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0 [Fitness = 1.3994846] [distance = 621.0, time = 62.1]
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0 [Fitness = 1.0360825] [distance = 762.0, time = 76.2]
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0 [Fitness = 1.0]
[distance = 776.0, time = 77.6]

FITNESS **** end

SELECTION **** start

Generation: 3 -----

Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.1314433] [distance = 337.0, time = 33.7]
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.0515463] [distance = 368.0, time = 36.8]
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 1.4613402] [distance = 597.0, time = 59.7]
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0 [Fitness = 1.3994846] [distance = 621.0, time = 62.1]
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0 [Fitness = 1.0360825] [distance = 762.0, time = 76.2]
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0 [Fitness = 1.0]
[distance = 776.0, time = 77.6]

SELECTION **** end

```

CROSSOVER **** start

Crossover between tow Paths n°: (0) and (1)
Done (cross1): false
Done (cross2): false

Crossover between tow Paths n°: (2) and (3)
Done (cross1): false
Done (cross2): false

Crossover between tow Paths n°: (4) and (5)
#arc4 in Path(4) with #arc5 in Path(5)
Done (cross1): true
Done (cross2): true

Generation: 3 -----
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0
Path(6): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,31) 556.0 --> (31,36) 666.0 --> (36,34) 738.0
Path(7): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0

CROSSOVER **** end

MUTATION **** start

Mutation in Path n°: (2)
Done: false

Generation: 3 -----
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0

```

```

Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0

Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0
Path(6): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,31) 556.0 --> (31,36) 666.0 --> (36,34) 738.0
Path(7): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0

```

MUTATION **** end

FITNESS **** start

Generation: 3 -----

```

Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.1575] [distance = 337.0, time = 33.7]
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.08] [distance = 368.0, time = 36.8]
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 1.5074999] [distance = 597.0, time = 59.7]
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0 [Fitness = 1.4475] [distance = 621.0, time = 62.1]
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,31) 556.0 --> (31,36) 666.0 --> (36,34) 738.0 [Fitness = 1.1550001] [distance = 738.0, time = 73.799995]
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0 [Fitness = 1.095] [distance = 762.0, time = 76.2]
Path(6): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,31) 594.0 --> (31,36) 704.0 --> (36,34) 776.0 [Fitness = 1.06] [distance = 776.0, time = 77.6]
Path(7): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,11) 281.0 --> (11,8) 359.0 --> (8,12) 443.0 --> (12,24) 523.0 --> (24,23) 605.0 --> (23,33) 719.0 --> (33,34) 800.0 [Fitness = 1.0] [distance = 800.0, time = 80.0]

```

FITNESS **** end

SELECTION **** start

Generation: 4 -----

```

Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.1575] [distance = 337.0, time = 33.7]
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.08] [distance = 368.0, time = 36.8]
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 1.5074999] [distance = 597.0, time = 59.7]
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0 [Fitness = 1.4475] [distance = 621.0, time = 62.1]
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,31) 556.0 --> (31,36) 666.0 --> (36,34) 738.0 [Fitness = 1.1550001] [distance = 738.0, time = 73.799995]

```

Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0 [Fitness = 1.095] [distance = 762.0, time = 76.2]

SELECTION **** end

CROSSOVER ***** start

Crossover between tow Paths n°: (0) and (1)

Done (cross1): false

Done (cross2): false

Crossover between tow Paths n°: (2) and (3)

Done (cross1): false

Done (cross2): false

Crossover between tow Paths n°: (4) and (5)

Done (cross1): false

Done (cross2): false

Generation: 4 -----

Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0

Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0

Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0

Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0

Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,31) 556.0 --> (31,36) 666.0 --> (36,34) 738.0

Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0

CROSSOVER ***** end

MUTATION ***** start

Mutation in Path n°: (1)

Done: false

```

Generation: 4 -----
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,31) 556.0 --> (31,36) 666.0 --> (36,34) 738.0
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0

MUTATION ***** end

FITNESS ***** start

Generation: 4 -----
Path(0): (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.1154857] [distance = 337.0, time = 33.7]
Path(1): (29,39) 90.0 --> (39,31) 186.0 --> (31,36) 296.0 --> (36,34) 368.0 [Fitness = 2.0341206] [distance = 368.0, time = 36.8]
Path(2): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,31) 415.0 --> (31,36) 525.0 --> (36,34) 597.0 [Fitness = 1.4330709] [distance = 597.0, time = 59.7]
Path(3): (29,26) 91.0 --> (26,11) 176.0 --> (11,12) 264.0 --> (12,24) 344.0 --> (24,23) 426.0 --> (23,33) 540.0 --> (33,34) 621.0 [Fitness = 1.3700788] [distance = 621.0, time = 62.1]
Path(4): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,31) 556.0 --> (31,36) 666.0 --> (36,34) 738.0 [Fitness = 1.0629921] [distance = 738.0, time = 73.799995]
Path(5): (29,27) 89.0 --> (27,10) 202.0 --> (10,8) 321.0 --> (8,12) 405.0 --> (12,24) 485.0 --> (24,23) 567.0 --> (23,33) 681.0 --> (33,34) 762.0 [Fitness = 1.0] [distance = 762.0, time = 76.2]

FITNESS ***** end

-----

THE BEST FASTEST PATH:

Best path (0) : (29,30) 78.0 --> (30,31) 155.0 --> (31,36) 265.0 --> (36,34) 337.0 [Fitness = 2.1154857] [distance = 337.0, time = 33.7]

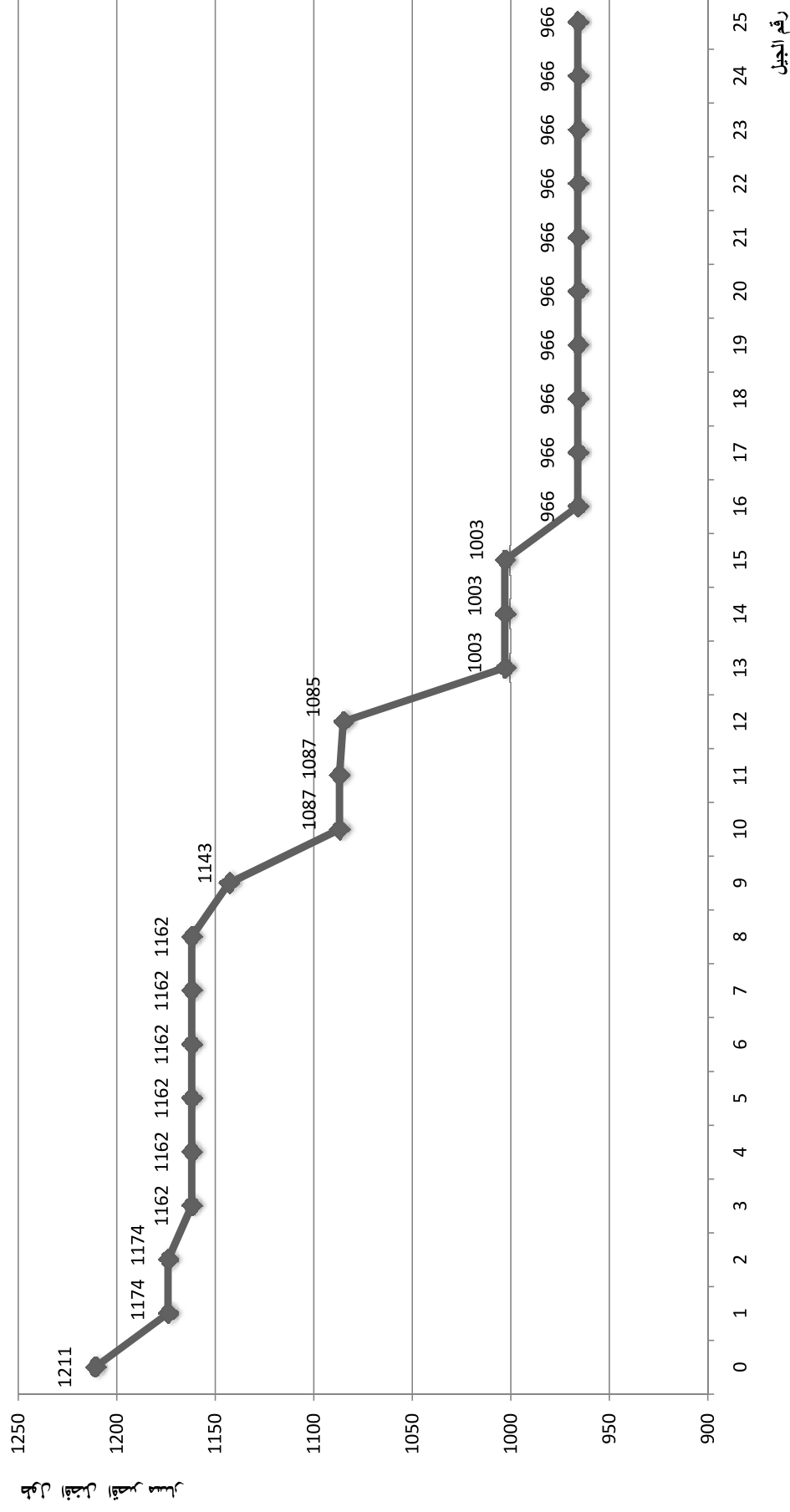
```

الاختبار 3: نتائج تتبع افضل المسارات خلال عملية بحث عن افضل اقصر مسار
 عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / الجيل: 6 مسارات / الثبات: 5 / طول اقصر مسار: 900

رقم الجيل	طول اقصر مسار	الثبات	افضل طول مسار	ظهور طول المسار
0	1211	-	1211	-
1	1174	1	1211	1
2	1174	2	-	-
3	1162	3	-	-
4	1162	4	-	-
5	1162	5	1162	-
6	1162	1	1162	6
7	1162	2	-	-
8	1162	3	-	-
9	1143	4	-	-
10	1087	5	1087	-
11	1087	1	1087	2
12	1085	2	-	-
13	1003	3	-	-
14	1003	4	-	-
15	1003	5	1003	-
16	966	1	1003	3
17	966	2	-	-
18	966	3	-	-
19	966	4	-	-
20	966	5	966	-
21	966	1	966	10
22	966	2	-	-
23	966	3	-	-
24	966	4	-	-
25	966	5	966	-

اقصر	966
اطول	1211
متوسط	1062

الاختبار 3: مخطط تتبع أفضل المسارات خلال عملية بحث عن أفضل اقصر مسار
 عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / الجيل: 6 مسارات/ الثبات: 5 / طول اقصر مسار: 900



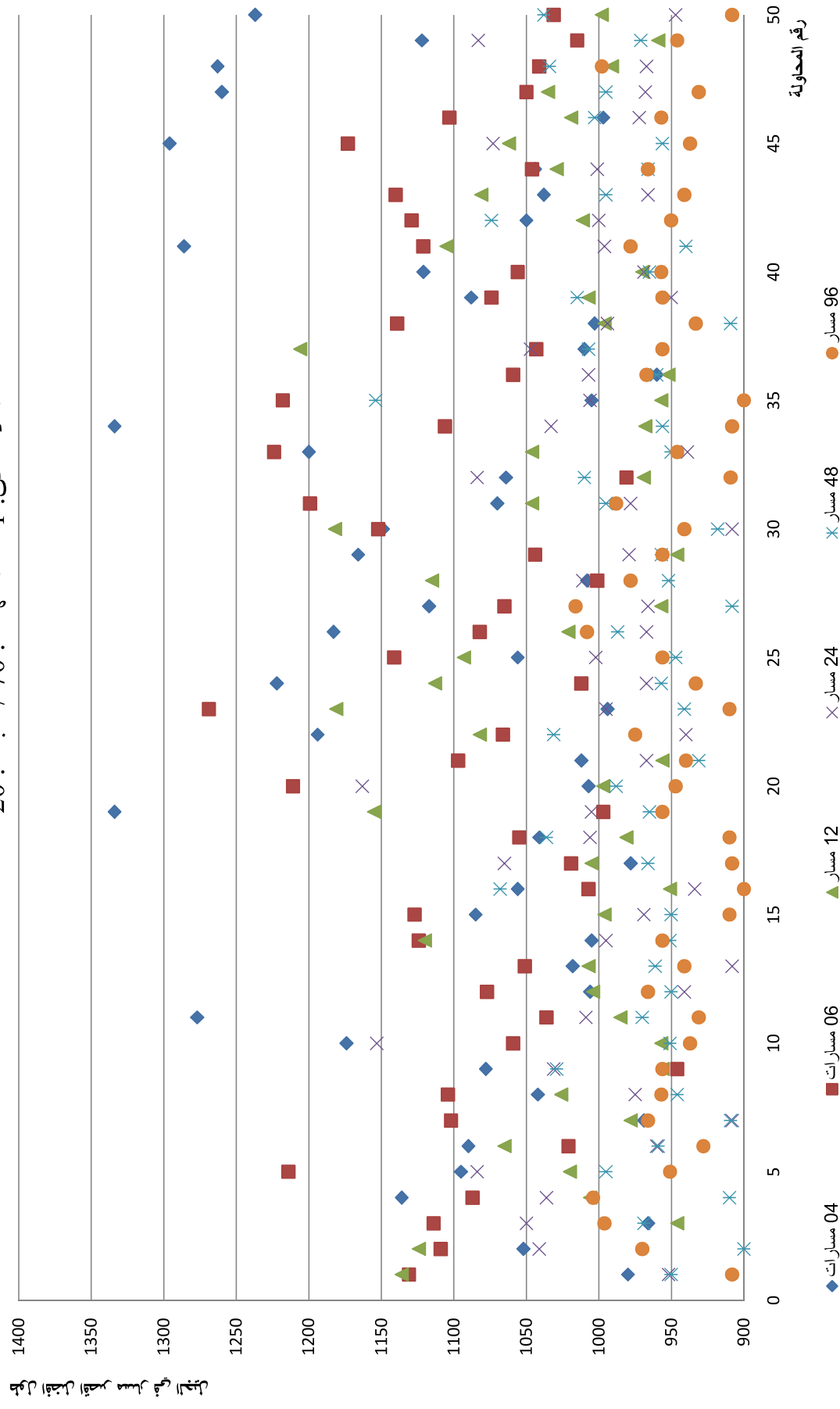
الاختبار 4: نتائج البحث عن أفضل اقصر مسار حسب عدد افراد الجيل/عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / الثبات: 20

عدد افراد الجيل	4	6	12	24	48	96	96	96
رقم المحاولة	طول اقصر مسار	طول اقصر مسار	طول اقصر مسار	طول اقصر مسار	طول اقصر مسار	طول اقصر مسار	الثبات: 10	الثبات: 5
1	980	1131	1136	952	950	908	979	979
2	1052	1109	1124	1041	900	970	1017	997
3	966	1114	946	1050	969	996	1036	956
4	1136	1087	1006	1036	910	1004	951	982
5	1095	1214	1020	1084	995	951	957	978
6	1090	1021	1065	960	959	928	933	966
7	969	1102	978	908	909	966	941	1036
8	1042	1104	1026	975	946	957	968	990
9	1078	946	956	1031	1029	956	910	980
10	1174	1059	957	1153	951	937	900	973
11	1277	1036	985	1009	970	931	1058	968
12	1006	1077	1004	941	950	966	908	988
13	1018	1051	1007	908	961	941	941	969
14	1005	1124	1120	995	951	956	968	968
15	1085	1127	996	969	950	910	908	970
16	1056	1007	951	934	1068	900	976	1118
17	978	1019	1005	1065	966	908	931	1050
18	1041	1055	981	1006	1036	910	1066	1017
19	1334	997	1155	1005	965	956	998	959
20	1007	1211	997	1163	988	947	910	947
21	1012	1097	956	967	931	940	900	1025
22	1194	1066	1082	940	1031	975	958	966
23	994	1269	1181	995	941	910	995	908
24	1222	1012	1113	967	957	933	998	988
25	1056	1141	1093	1002	947	956	975	995
26	1183	1082	1021	967	987	1008	973	909
27	1117	1065	957	966	908	1016	951	975
28	1008	1001	1115	1011	952	978	1011	1033
29	1166	1044	946	979	957	956	940	957
30	1149	1152	1182	908	918	941	962	988
31	1070	1199	1046	978	995	988	934	979
32	1064	981	969	1084	1010	909	959	958
33	1200	1224	1046	939	950	946	937	995
34	1334	1106	968	1033	956	908	956	976
35	1005	1218	957	1006	1154	900	910	968
36	960	1059	952	1007	960	967	950	950
37	1010	1043	1206	1047	1007	956	958	1023
38	1003	1139	996	994	909	933	941	1009
39	1088	1074	1007	950	1015	956	977	1045
40	1121	1056	970	969	965	957	950	941
41	1286	1121	1105	996	940	978	987	979
42	1050	1129	1011	1000	1074	950	1006	941
43	1038	1140	1081	966	995	941	952	940
44	1044	1046	1029	1001	966	966	968	951
45	1296	1173	1062	1073	956	937	966	959
46	997	1103	1019	972	1003	957	956	919
47	1260	1050	1035	968	995	931	909	1016
48	1263	1041	991	967	1034	998	1013	957
49	1122	1015	959	1083	971	946	950	1085
50	1237	1031	998	947	1038	908	1005	956

اقصر	960	946	946	908	900	900	900	908
اطول	1334	1269	1206	1163	1154	1016	1066	1118
متوسط	1099	1089	1029	997	975	949	962	982

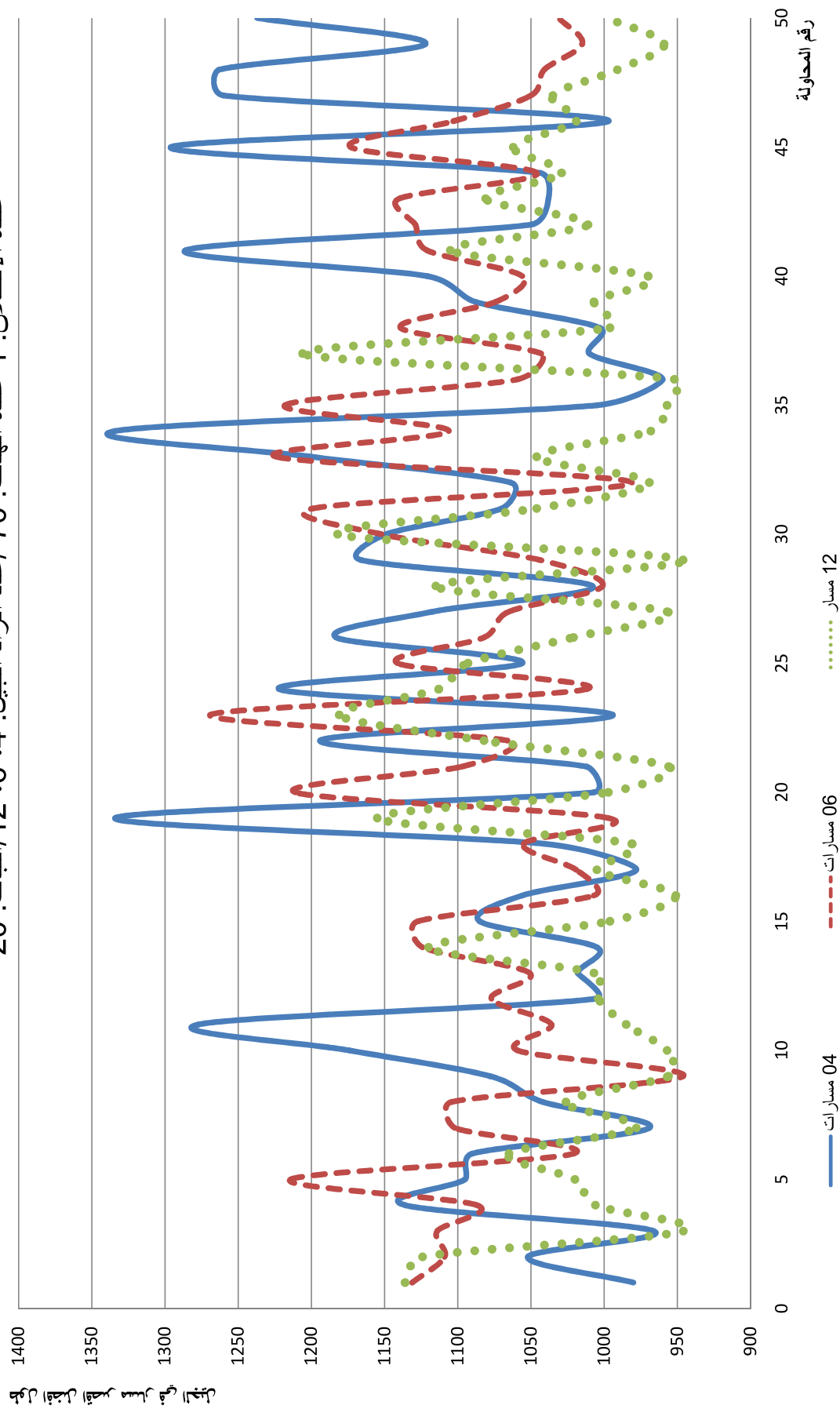
الاختبار 4: مخطط البحث عن افضل مسار اقصر حسب عدد افراد الجيل

عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / الثبات: 20

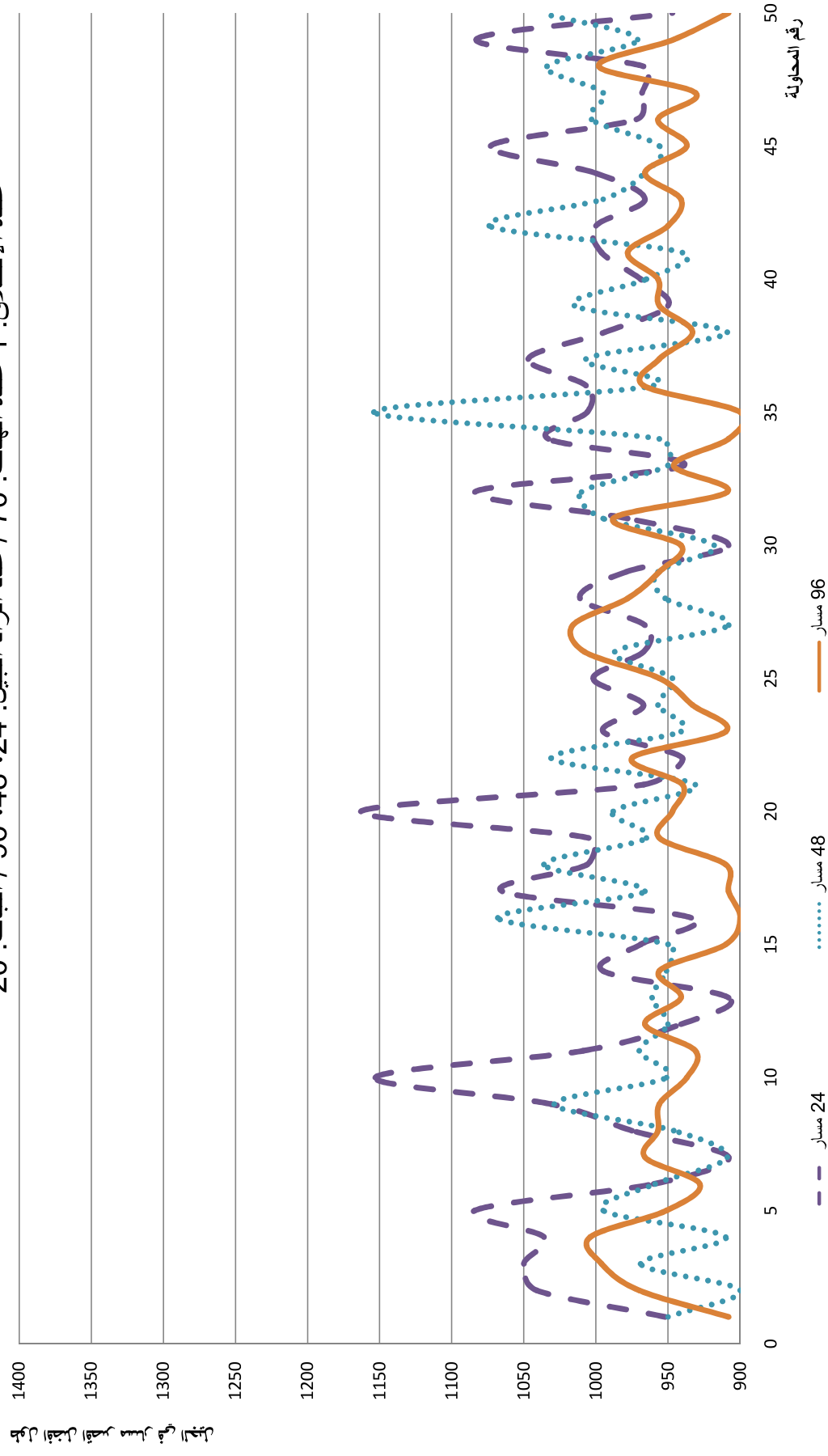


الاختبار 4: مخطط البحث عن افضل مسار حسب عدد افراد الجيل

عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / عدد افراد الجيل: 4، 6، 12 / الثبات: 20

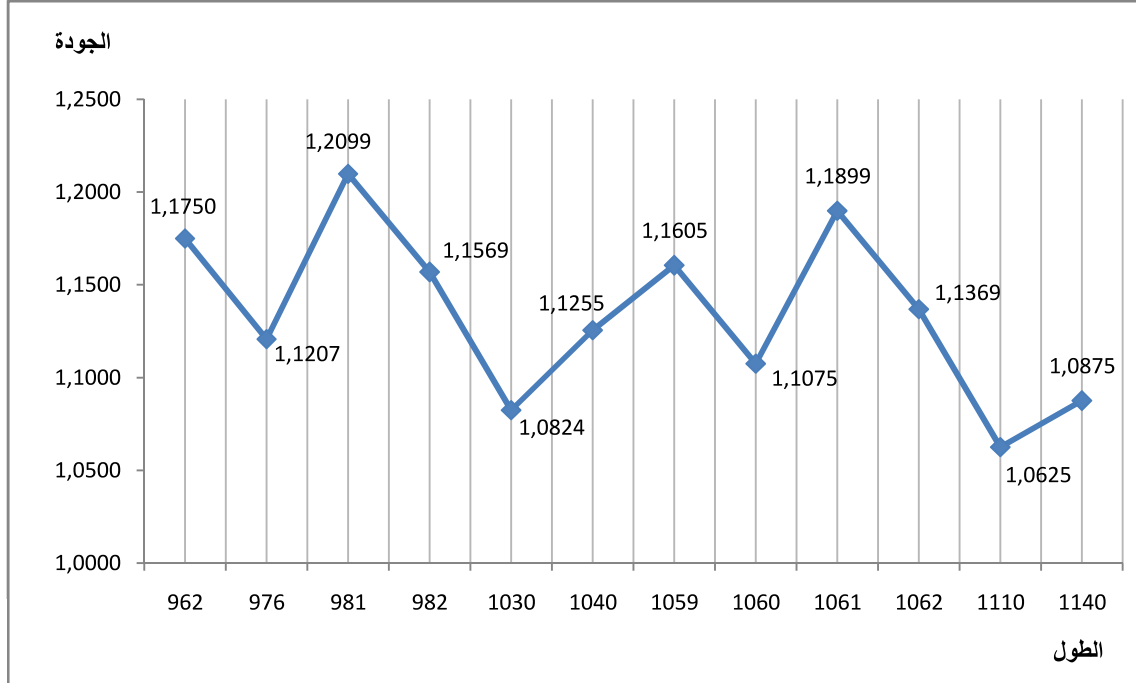


الاختبار 4: مخطط البحث عن افضل مسار حسب عدد افراد الجيل
عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / عدد افراد الجيل: 24، 48، 96 / الثبات: 20



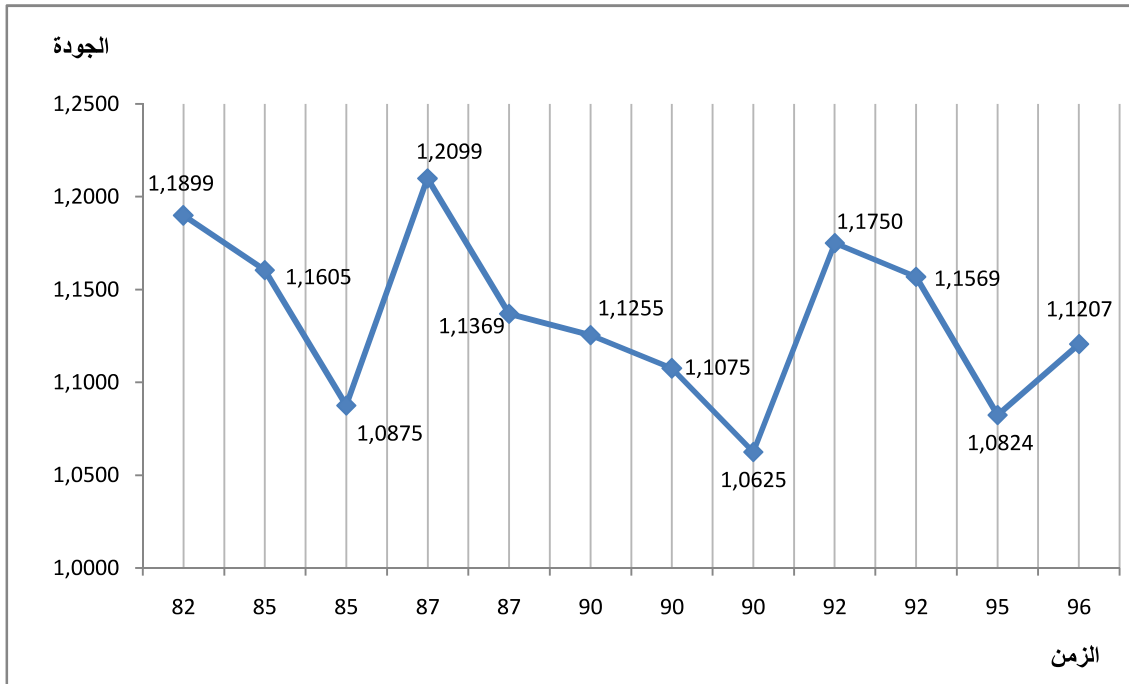
الاختبار 5: نتائج البحث عن أنسب مسار/ عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / عدد افراد الجيل: 12 / الثبات: 20
عينة 01: الترتيب حسب الطول

رقم المسار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الطول	962	976	981	982	1030	1040	1059	1060	1061	1062	1110	1140
الزمن	92	96	87	92	95	90	85	90	82	87	90	85
الجودة	1,1750	1,1207	1,2099	1,1569	1,0824	1,1255	1,1605	1,1075	1,1899	1,1369	1,0625	1,0875



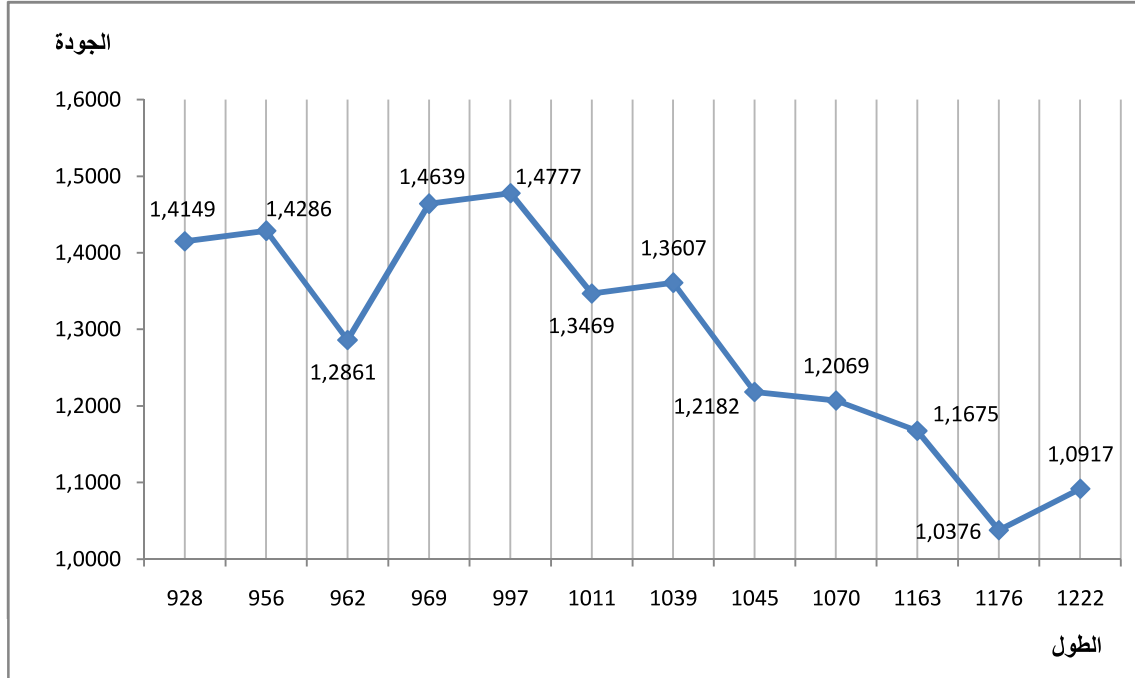
عينة 01: الترتيب حسب الزمن

رقم المسار	2	5	4	1	11	8	6	10	3	12	7	9
الطول	976	1030	982	962	1110	1060	1040	1062	981	1140	1059	1061
الزمن	96	95	92	92	90	90	90	87	87	85	85	82
الجودة	1,1207	1,0824	1,1569	1,1750	1,0625	1,1075	1,1255	1,1369	1,2099	1,0875	1,1605	1,1899



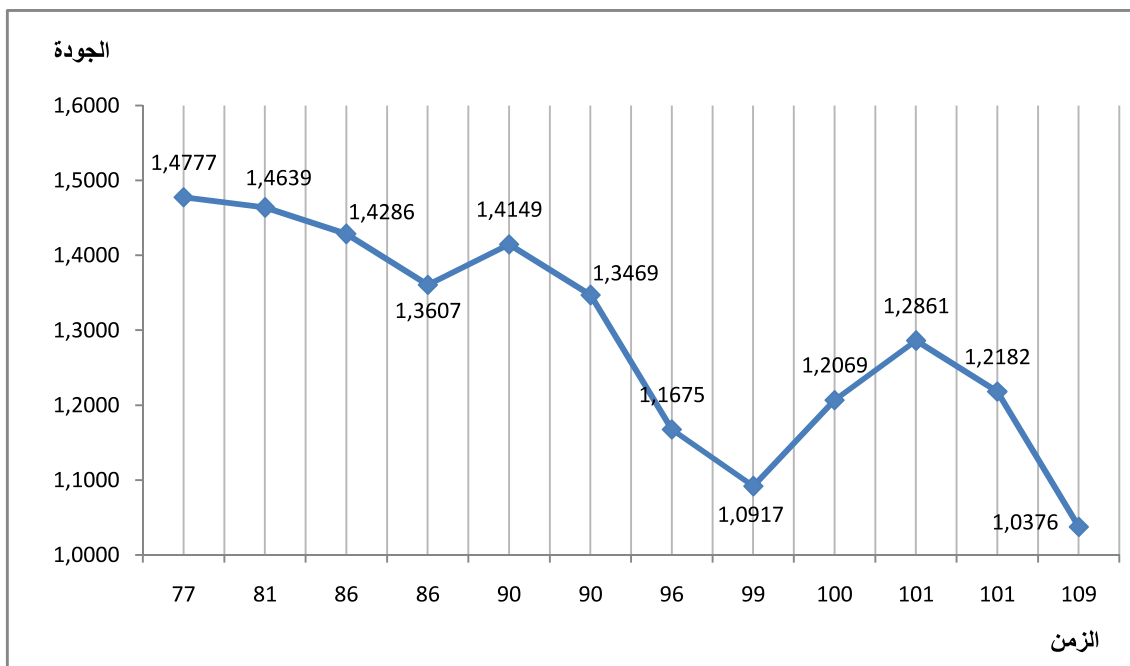
الاختبار 5: نتائج البحث عن أنسب مسار/ عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / عدد افراد الجيل: 12 / الثبات: 20
عينة 02: الترتيب حسب الطول

رقم المسار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الطول	928	956	962	969	997	1011	1039	1045	1070	1163	1176	1222
الزمن	90	86	101	81	77	90	86	101	100	96	109	99
الجودة	1,4149	1,4286	1,2861	1,4639	1,4777	1,3469	1,3607	1,2182	1,2069	1,1675	1,0376	1,0917



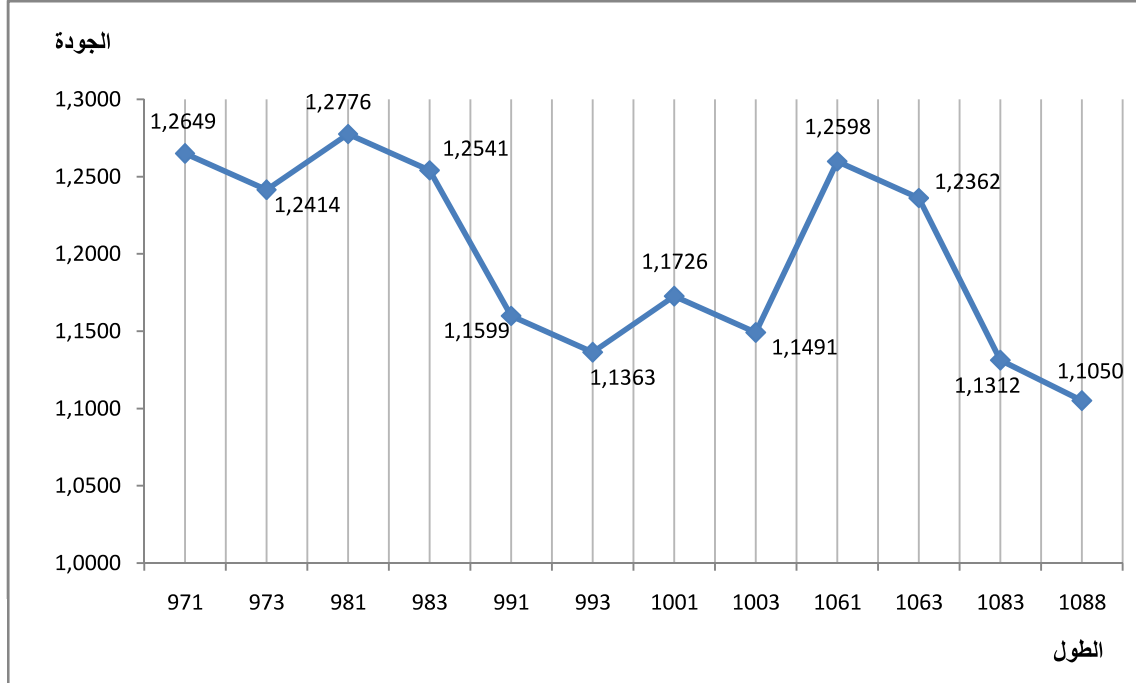
عينة 02: الترتيب حسب الزمن

رقم المسار	5	4	2	7	1	6	10	12	9	3	8	11
الطول	997	969	956	1039	928	1011	1163	1222	1070	962	1045	1176
الزمن	77	81	86	86	90	90	96	99	100	101	101	109
الجودة	1,4777	1,4639	1,4286	1,3607	1,4149	1,3469	1,1675	1,0917	1,2069	1,2861	1,2182	1,0376



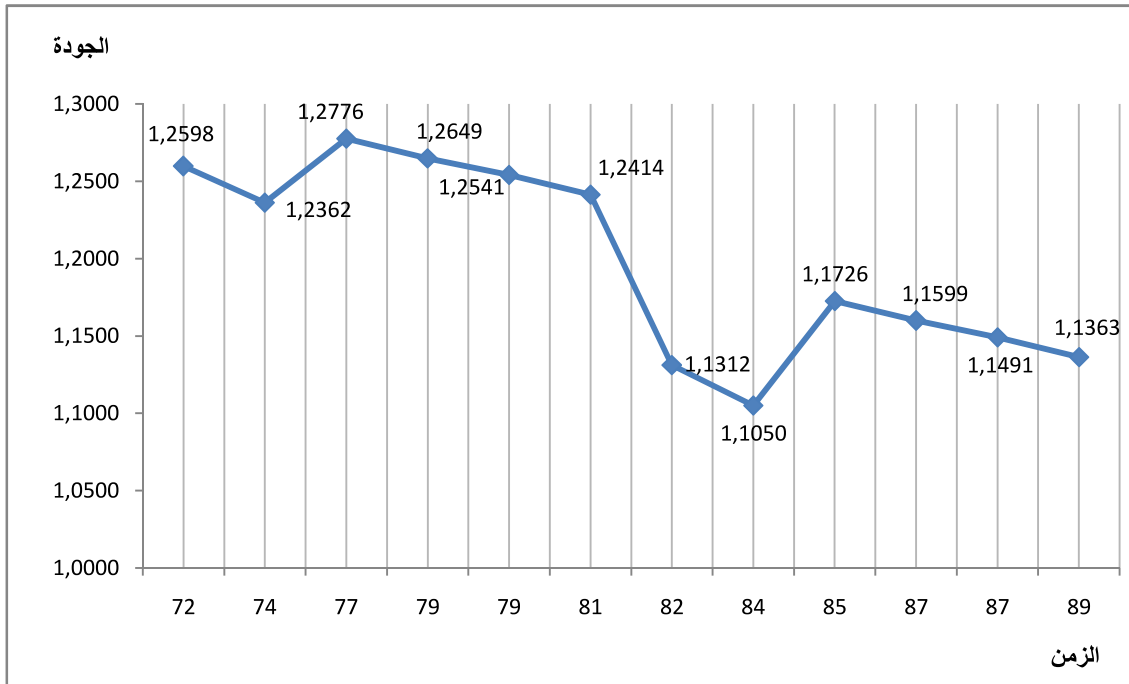
الاختبار 5: نتائج البحث عن أنسب مسار/ عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / عدد افراد الجيل: 12 / الثبات: 20 عينة 03: الترتيب حسب الطول

رقم المسار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الطول	971	973	981	983	991	993	1001	1003	1061	1063	1083	1088
الزمن	79	81	77	79	87	89	85	87	72	74	82	84
الجودة	1,2649	1,2414	1,2776	1,2541	1,1599	1,1363	1,1726	1,1491	1,2598	1,2362	1,1312	1,1050



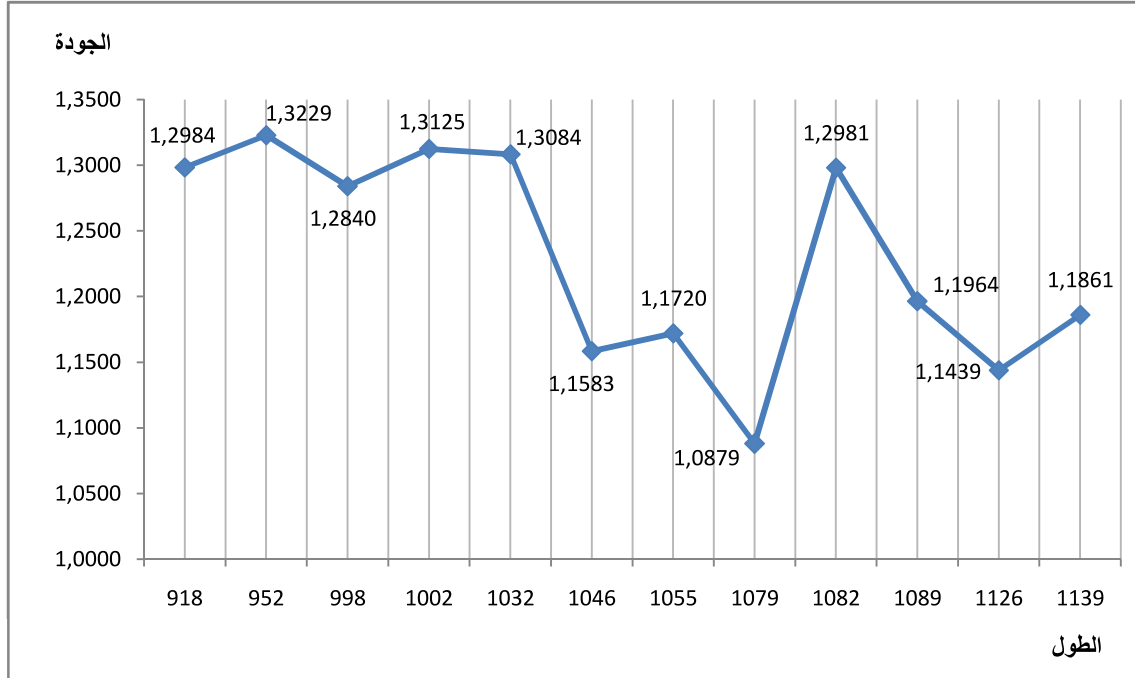
عينة 03: الترتيب حسب الزمن

رقم المسار	3	10	9	1	4	2	11	12	7	5	8	6
الطول	981	1063	1061	971	983	973	1083	1088	1001	991	1003	993
الزمن	77	74	72	79	79	81	82	84	85	87	87	89
الجودة	1,2776	1,2362	1,2598	1,2649	1,2541	1,2414	1,1312	1,1050	1,1726	1,1599	1,1491	1,1363



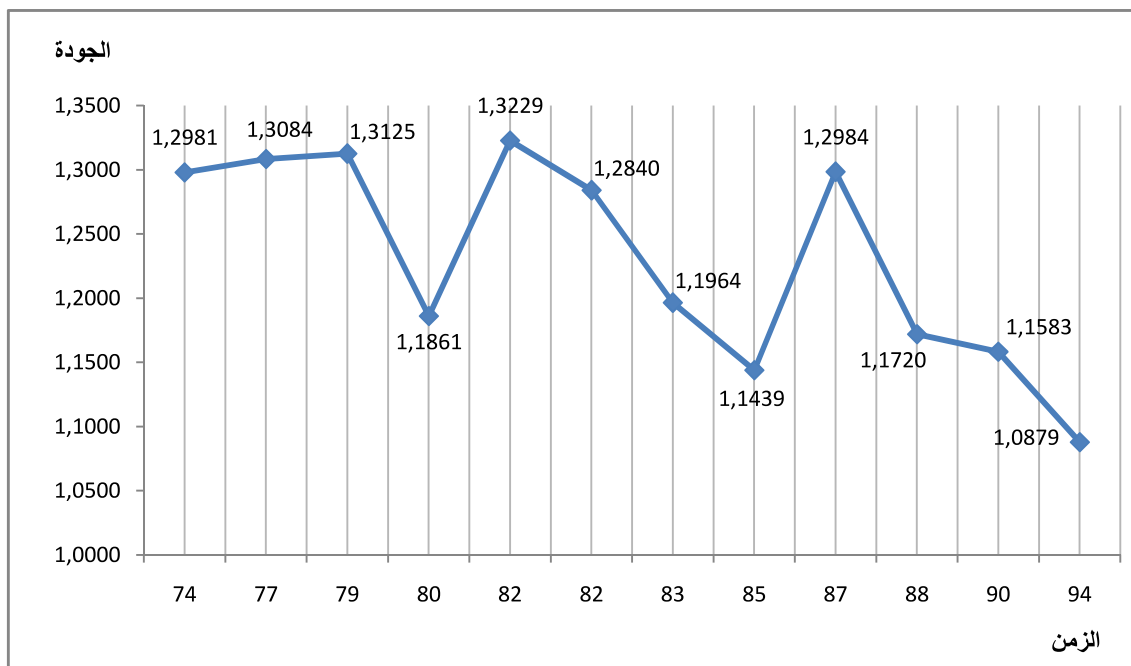
الاختبار 5: نتائج البحث عن أنسب مسار/ عقدة الانطلاق: 1 عقدة الهدف: 70 / عدد افراد الجيل: 12 / الثبات: 20
عينة 04: الترتيب حسب الطول

رقم المسار	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الطول	918	952	998	1002	1032	1046	1055	1079	1082	1089	1126	1139
الزمن	87	82	82	79	77	90	88	94	74	83	85	80
الجودة	1,2984	1,3229	1,2840	1,3125	1,3084	1,1583	1,1720	1,0879	1,2981	1,1964	1,1439	1,1861



عينة 04: الترتيب حسب الزمن

رقم المسار	8	6	7	1	11	10	3	2	12	4	5	9
الطول	1079	1046	1055	918	1126	1089	998	952	1139	1002	1032	1082
الزمن	94	90	88	87	85	83	82	82	80	79	77	74
الجودة	1,0879	1,1583	1,1720	1,2984	1,1439	1,1964	1,2840	1,3229	1,1861	1,3125	1,3084	1,2981



3.4. تقييم النتائج:

من اجل تقييم أي عمل مقدم، يستوجب بداية تحديد المعايير التي أساسها نقيس ونحكم بها على أداء وفعالية الحلول والنماذج المقترحة. لهذا الغرض تم اعتماد العناصر الأكثر تداولاً في تقييم الخوارزميات الجينية، وهم كالاتي:

- الاكتمال complete: دوما تجد حلا.
- الأمثلة optimal: دوما تجد الأفضل.
- الشمولية global: تجوب إجمالي مساحة البحث.
- الحتمية deterministe: تنفذ نفس الخطوات.
- العشوائية stochastic: تعتمد الاختيار الترجيحي.

1.3.4. الاكتمال:

عند الاطلاع على نتائج الاختبار 4 الخاص بالبحث عن أفضل اقصر مسار حسب عدد أفراد الجيل (4)، (6، 12، 48، 96)، حيث إجراء خمسين (50) محاولة بحث عن أفضل اقصر مسار بين العقدة 1 والعقدة 70 في ما مجموعة الإجمالي أربعة مائة (400) محاولة تم التوصل في كل محاولة على اختلاف عدد المسارات في الجيل إلى إيجاد احل وأحيانا اقصر مسار بشكل مضبوط (القيمة 900). وعليه نتأكد ونؤكد أن الخوارزمية الجينية المقترحة مكتملة.

2.3.4. الأمثلة:

عند الاطلاع على نتائج الاختبار 2 الذي أدى إلى الوقوع مباشرة في أفضل مسار بين العقدتين 29 و34، وكذا الاختبار 3 المتعلق بتتبع أفضل المسارات بين العقدة 1 و70 الوقوع في مسار بطول مسار 966 (الأقصر بمسافة 900)، وكذا الاختبار 4 الذي تم الوقوع في اقصر مسار بين العقدتين السالفتي الذكر مرتين (02) في جيل مكون من 96 مسار بمتوسط طول 949. وعليه يتأكد أن الخوارزمية الجينية المقترحة ينطبق عليها بنسبة عالية معيار الأمثلة.

3.3.4. الشمولية:

أولاً، عندما نحلل نتائج الاختبار 1 الخاص بتكوين أفراد (مسارات) الجيل الابتدائي، نجد من خلال جدول النتائج أن اقصر مسار تم توليده بقيمة 1013 أما الأعلى طولا بقيمة 1502، يبين بوضوح اتساع مساحة البحث التي (انظر مخطط الاختبار صفحة رقم...)، كما بقية المسارات منتشرة بشكل

ومتوازن على كامل هذه المساحة، يدل على التنوع في سلك مختلف الاتجاهات وعدم الارتكاز على جهة واحدة.

أيضا، يدعم ذلك نتائج الاختبار 2 عندما نجد في الجيل الابتدائي (الجيل 0) أفضل اقصر مسار مولد بقيمة 368 والأطول بقيمة 1735. نفس الشيء في الاختبار 3 الذي ينطلق من أفضل اقصر مسار بطول 1211 ليصل إلى مسار بقيمة 966. وعليه يمكن القول أن الخوارزمية الجينية المقترحة تحقق على العموم معيار الشمولية.

4.3.4. الحتمية:

من خلال نتائج الاختبار 2 يتبين بوضوح وشكل قاطع مرور الخوارزمية الجينية المقترحة بجميع المراحل (الجيل الابتدائي، الجودة، الانتقاء، التزاوج، الطفرة) إلى غاية الوقوع في اقصر مسار. كذلك الاختبار 4 الذي يبين من خلال النتائج المحصلة الوقوع أكثر من مرة في اقصر مسار (900) من العقدتين 1 و 70، أو الاقتراب منه، إضافة إلى الاختبار 5 المتعلق بالبحث عن انسب مسار يؤكد بأن خطوات الخوارزمية الجينية المقترحة تحقق معيار الحتمية.

5.3.4. العشوائية:

يتجسد مبدأ العشوائية ويتأكد بوضوح بمجرد النظر إلى نتائج الاختبار 1، لتجد أن في الجيل الابتدائي أفضل اقصر مسار مولد بقيمة 1013، بينما الأطول بقيمة 1502. وأيضا في الاختبار 4 لتجد من رغم العدد الهائل من المحاولات بعدد مختلف من المسارات في كل جيل، أطوال مختلفة ومتنوعة وقلما تسجل تكرار في القيم المدونة. الشيء ذاته من قراءة وتحليل نتائج الاختبار 5. وعليه يتأكد بشكل قاطع اعتماد الخوارزمية الجينية المقترحة على مبدأ العشوائية.

الخاتمة:

بالنظر إلى النتائج المحصلة عليها، وامثل الحلول التي تم التوصل بسلسلة كبير من الاختبارات المتكررة مبينة في المخططات والجداول الإحصائية، يمكن التأكيد على قابلية النموذج المقترح على العموم، من خلال النتائج التي أفرزتها الخوارزمية الجينية المكيفة، التي تمكن من البحث بشكل فعال وإيجاد أفضل انسب مسار من منظور المسافة والزمن.

كما ظهرت كذلك من نتائج تلك الاختبارات، نجاعة مختلف أجزاء الخوارزمية خصوصا في توليد الجيل الابتدائي، الذي تضمن "خوارزمية تشكيل الجيل الابتدائي" المقترحة تنوعا إلى حد كبير في المسارات المؤدية لعقدة الهدف وفي مختلف اتجاهات البحث، ما يزيد من فرص إيجاد أعظم شامل كأفضل حل.

أما في خصوص التزاوج والطفرة لقد أظهرت نتائج تتبع مسارات البحث في الاختبار 2 بالخصوص، على عمل هاتين العمليتين بشكل جيدا، خصوصا الطفرة التي اثبت قوتها في كل جيل مُولد على القفزة بسرعة إلى امثل الحلول. إن دالة الجودة (التلاؤم) المضمنة في الخوارزمية الجينية المقترحة بينت دورها المهم في تقييم وفرز امثل المسارات لانتقاء الأفضل عند تشكيل كل جيل جديد.

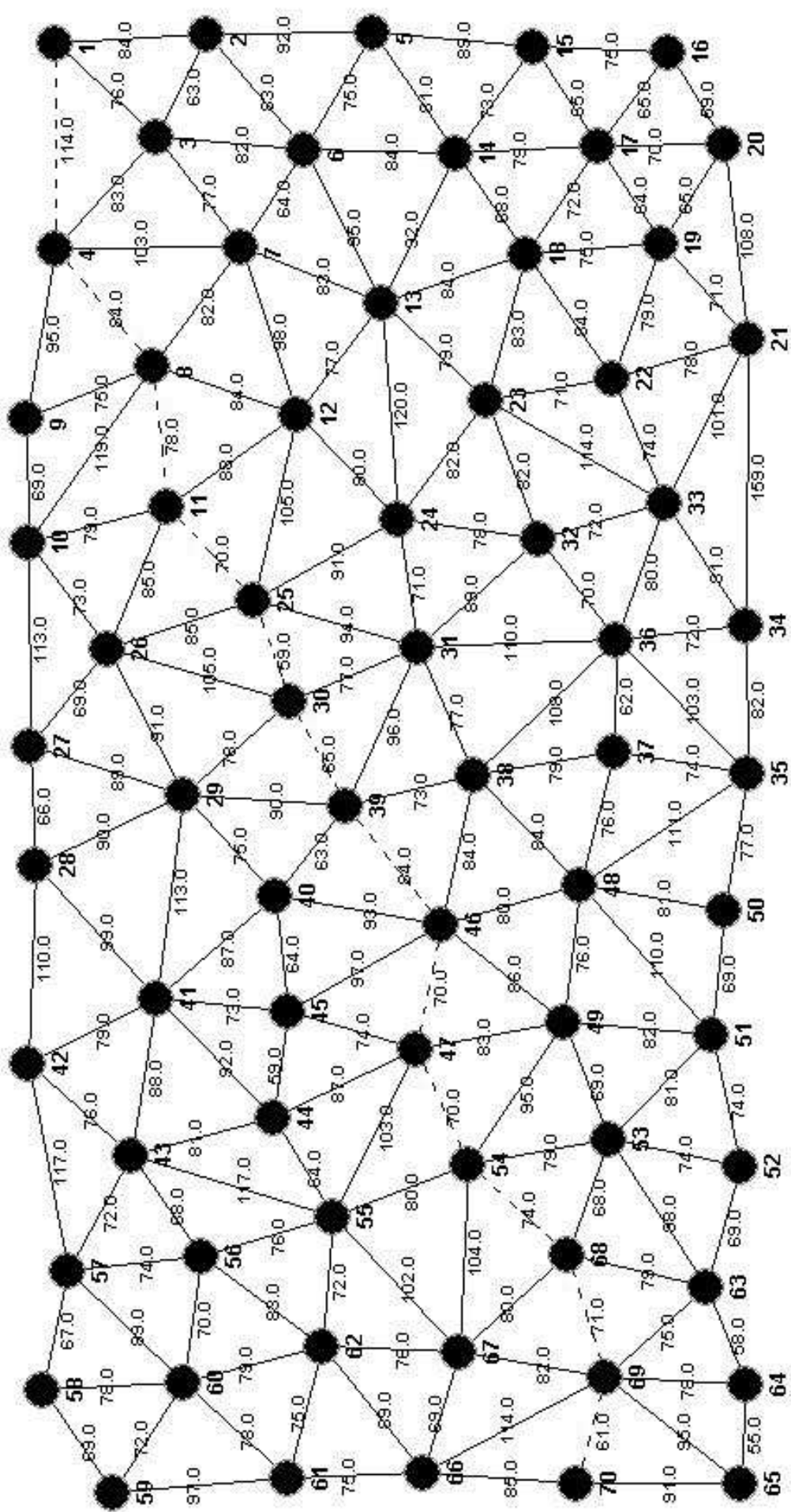
خلال معالجة هذا الموضوع تبين أن نقطة الضعف في الخوارزمية الجينية بشكل عام في تشكيل الجيل الابتدائي، حيث تؤثر هذه المرحلة بشكل مباشر وغير مباشر على البحث عن أفضل الحلول. بشكل مباشر عند التأخر أو استغراق وقت أطول في تشكيل الجيل الابتدائي (الجيل 0) أو العجز وعدم القدرة على تشكيل العدد الكافي من الأفراد (المسارات)، وبشكل غير مباشر عند توليد مسارات في جهة أو مساحة محددة (عبر نقاط أو عقدة بعينها) حينها يمكن الوقوع في أعظم حل محلي والابتعاد عن أفضل الحلول على الإطلاق (أعظم شامل).

وعليه يبقى التطوير والتحسين بابا مفتوحا لاقتراح أفضل الخوارزميات التي تولد بكفاءة عالية الجيل الابتدائي كما ونوعا بأقصر زمن ممكن.

قائمة المراجع:

- [1] FABIEN TRICOIRE.
Optimisation de tournées de véhicules et de personnels de maintenance : application à la distribution et au traitement des eaux. *Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes (France), 2006.*
- [2] CESAR REGO, CATHERINE ROUCAIROL.
Le problème de tournées de véhicules : étude et résolution approchée.
Rapport de recherche n°2197, Unité de recherche INRIA Rocquencourt (France), 1994.
- [3] VIRGINIE MATHIVET.
L'Intelligence Artificielle pour les développeurs. *Editions ENI - Décembre 2014, ISBN : 978-2-7460-9215-0 (imprimé en France)*
- [4] MAIS HAJ RACHID.
Les problèmes de tournées de véhicules en planification industrielle : classification et comparaison d'opérateurs évolutionnaires. *Thèse de Doctorat de l'Université de Franche-Comté (France), 2010.*
- [5] BAVINDRA K. AHUJA, THOMAS L. MAGNANTI, JAMES B. ORLIN
NETWORK FLOWS, Theory, Algorithms, and Applications. 1993 by Prentice-Hall, Inc, USA. ISBN 0-13-617549-X.
- [6] J. A. BONDY AND U. S. R. MURTY.
Graph theory with applications. 1976, USA. ISBN 0-444-19451-7.
- [7] JACQUES DESROSIERS, PAUL PELLETIER, FRANCOIS SOUMIS.
Plus court chemin avec contraintes d'horaires. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle, tome 17, n°4 (1983), p. 357-377.*
- [8] M. HAOURI, P. DEJAX.
Plus court chemin avec dépendance horaire. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle, tome 31, n°2 (1997), p. 117-131.*
- [9] COMITE SCIENTIFIQUE.
ROADEF 2009 (livre des résumes). *10ème Congrès de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Université de Nancy, 10-12 février 2009.*
- [10] GIACOMO NANNICINI.
Point-to-Point Shortest Paths on Dynamic Time-Dependent Road Networks. *Thèse présentée pour obtenir le grade de docteur de l'école polytechnique, paris, 2009.*
- [11] LIANG WEN, BULENT CATAY, RICHARD EGGLESE.
Finding a minimum cost path between a pair of nodes in a time-varying road network with a congestion charge. *European journal of operational research, 2014, www.elsevier.com/locate/ejor.*
- [12] MOHAMED AZIZ LIAZOGHLI.
Plus court chemin élémentaire avec fenêtres de temps. *Mémoire maîtres sciences, juin 2004. Université de Montréal.*
- [13] E.W. DIJKSTRA.
Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematlk 1, p. 269- 271 (1959)*

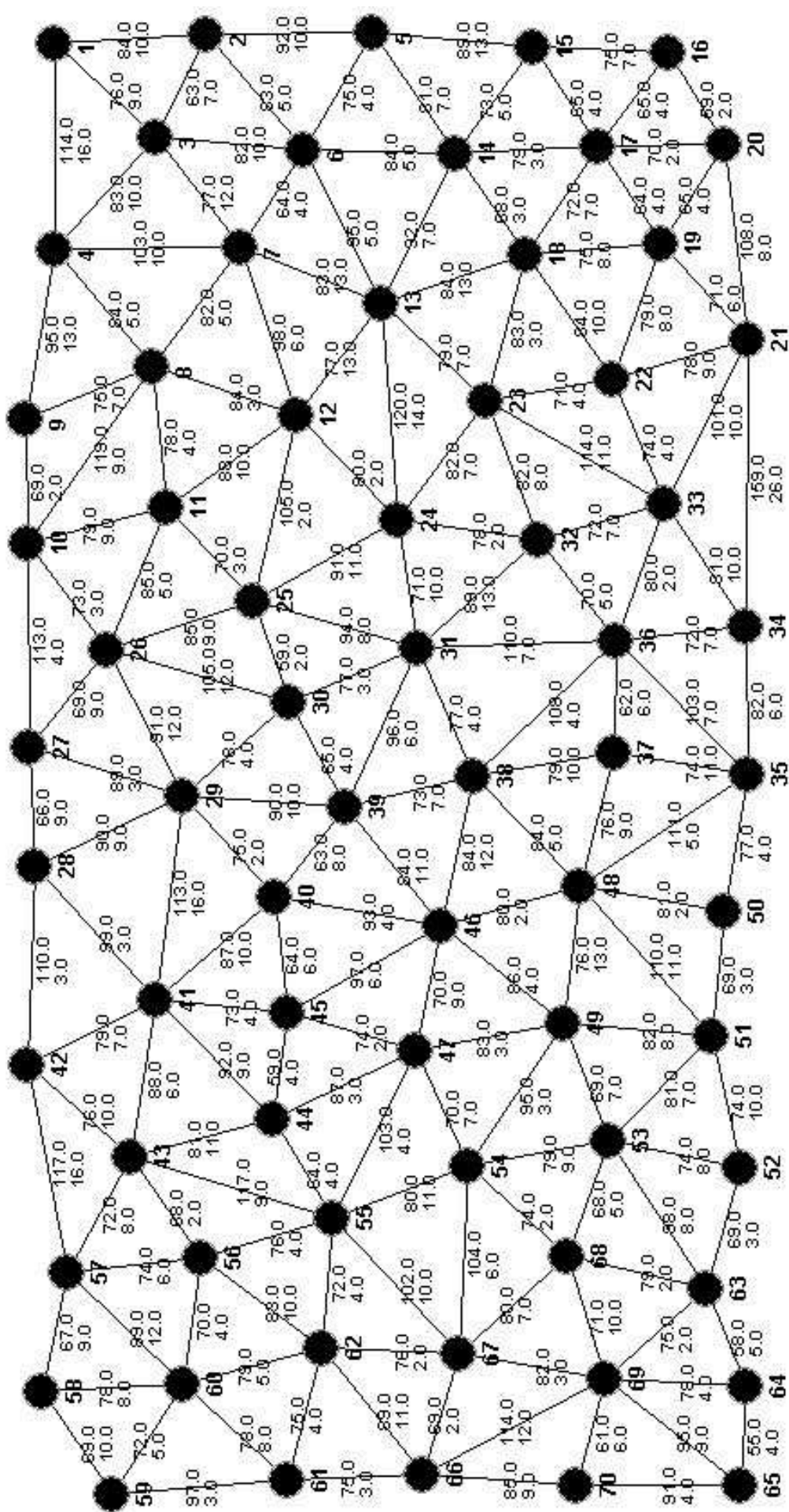
- [14] YINZHEN LI, RUICHUN HE, ZHONGFU ZHANG, YAOHUANG GUO.
Models and Algorithms for Shortest Paths in a Time Dependent Network. *International Symposium on OR and Its Applications 2005, Pages : 319-328.*
- [15] STUART RUSSELL, PETER VORVIG.
Intelligence Artificielle. 2^{édition}, Pearson Education France 2006, ISBN: 2-7440-7150-1.
- [16] DIETER JUNGnickel.
Graphs, Networks and Algorithms. Third Edition, ISBN 978-3-540-72779-8 Springer Berlin Heidelberg New York 2008.
- [17] ROBIN J. WILSON.
Introduction to Graph Theory. Fourth edition, Prentice Hall 1996, ISBN 0-582-24993-7.
- [18] PETER E. HART, NILS J. NILSSON, BERTRAM RAPHAEL.
Formal Basic for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions of Systems Science and Cybernetics*, vol. ssc-4, no.2, July1968.
- [19] RANDY L. HAUPT, SUE ELLEN HAUPT.
Practical genetic algorithms. 2nd ed. 1998 ,A Wiley-Interscience ISBN 0-471-45565-2. USA
- [20] POPA RUSTEM.
Genetic Algorithms: An Overview with Applications in Evolvable Hardware. *Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications*, Dr. Shangce Gao (Ed.), ISBN: 978-953-51-0214-4, InTech, 2012.
Available from: <http://www.intechopen.com/books/bio-inspired-computational-algorithms-and-their-applications/genetic-algorithms-an-overview>.
- [21] K. COOKE AND E. HALSEY.
The shortest route through a network with time-dependent intermodal transit times. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 14:493–498, 1966.
- [22] BERNHARD KORTE, JENS VYGEN.
Combinatorial Optimization Theory and Algorithms. Third Edition, ISBN-10 3-540-25684-9 Springer, Germany.
- [23] DAVID AVIS, ALAIN HERTZ, ODILE MARCOTTE.
Graph theory and combinatorial optimization. 2005 by Springer, ISBN-13: 978-0387-25591-0, USA.
- [24] DAVID A COLEY.
An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers. 1999 by World Scientific, ISBN 981-02-3602-6, Singapore.
- [25] ANJUM A. MOHAMMED, GIHAN NAGIB.
Optimal Routing In Ad-Hoc Network Using Genetic Algorithm. *Int. J. Advanced Networking and Applications*, Volume: 03, Issue: 05, Pages: 1323-1328 (2012).



Best path: (1,4) 114.0 --> (4,8) 198.0 --> (8,11) 276.0 --> (11,25) 346.0 --> (25,30) 405.0 --> (30,39) 470.0 --> (39,46) 554.0 --> (46,47) 624.0 --> (47,54) 694.0 --> (54,68) 768.0 --> (68,69) 839.0 --> (69,70) 900.0

بيان: 70 عقدة / 180 قوس.

الشكل 30: بيان لاختبار الخوارزمية الجينية متقل بالمسافة.



بيان: 70 عقدة / 180 قوس.

الشكل 31: بيان لاختبار الخوارزمية الجينية مثقل بالمسافة والزمن.