

# ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ

Ακαδημαϊκό Έτος 2023-2024

Εργαστηριακή Άσκηση

Μέρος Β΄

Ονοματεπώνυμο: Ελένη Μαράκη

ΑΜ: 1084534

Έτος: 4<sup>ο</sup>

Github Repo:

[https://github.com/ElinaMaraki/computer\\_intelligence\\_B/tree/main](https://github.com/ElinaMaraki/computer_intelligence_B/tree/main)

## Σκοπός

Σκοπός της εργασίας είναι η υλοποίηση ενός γενετικού αλγορίθμου που να συμπληρώνει την φθαρμένη επιγραφή [...]αλεξανδρε ουδισ[...], αξιοποιώντας την ομοιότητα των πιθανών συμπληρωμένων φράσεων που προκύπτουν από την αρχική, με τις επιγραφές της περιοχής της Συρίας.

## B1. Σχεδιασμός ΓΑ

Για τον σχεδιασμό του Γενετικού Αλγορίθμου είναι αναγκαίος ο ορισμός των βασικών τμημάτων του. Η λειτουργία τους προσομοιώνει αυτή της φυσικής επιλογής, δηλαδή την επιβίωση του ισχυρότερου μεταξύ ατόμων διαδοχικών γενεών. Κάθε γενιά του αλγορίθμου αποτελείται από έναν **πληθυσμό** ατόμων, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μία πιθανή λύση. Κάθε **άτομο** με την σειρά του αναπαρίσταται από στοιχεία, τα οποία ονομάζονται **γονίδια**.

Παρακάτω θα εξηγηθεί πως ορίστηκε κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους, για την υλοποίηση του γενετικού αλγόριθμου. Γνωρίζοντας ότι κάθε λύση του αλγορίθμου θα πρέπει να παράγει δύο λέξεις οι οποίες θα συμπληρώνουν την ημιτελής φράση, οι τελεστές επιλέχθηκαν με ανάλογο τρόπο.

**Γονίδιο** : Κάθε γονίδιο του γενετικού αλγορίθμου είναι ένας ακέραιος από 0 έως 1678. Κάθε ακέραιος αντιστοιχίζεται σε μία λέξη του λεξικού. (Εξηγείται παρακάτω το μέγεθος του λεξικού)

**Άτομο** : Κάθε άτομο ορίστηκε ως ένας συνδυασμός από δύο ακεραίους. Έτσι κάθε άτομο είναι ένας συνδυασμός από δύο λέξεις που συμπληρώνουν την αρχική φράση.

Πληθυσμός : Ο πληθυσμός αποτελείται είτε από 20, είτε από 200 (όπως ζητείται από την εκφώνηση) άτομα. Δηλαδή από 20 ή 200 ζεύγη ακεραίων.

### **α)Κωδικοποίηση**

Σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας σχεδιασμού του γενετικού αλγορίθμου, είναι η προεπεξεργασία των δεδομένων, με σκοπό τον μετασχηματισμό τους, σε μορφή κατάλληλη για την χρήση τους από τον γενετικό αλγόριθμο.

Για την επιλογή της κωδικοποίησης, σημαντική είναι η κατανόηση του σκοπού χρήσης των δεδομένων. Για την εύρεση των καλύτερων λέξεων για την συμπλήρωση της επιγραφής, θα χρησιμοποιηθεί η διανυσματική αναπαράσταση των πιθανών συμπληρωμένων φράσεων για τον υπολογισμό της ομοιότητάς τους με τις επιγραφές. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η διανυσματική αναπαράσταση των επιγραφών, της φθαρμένης επιγραφής, αλλά και των πιθανών λύσεων, πρέπει να έχουν ίδια μορφή, καθώς διανύσματα ίδιας μορφής θα οδηγήσουν σε εύκολη σύγκριση και εύρεση ομοιότητας.

Για την αναπαράσταση των δεδομένων, όπως προτείνεται χρησιμοποιήθηκε κωδικοποίηση Bag of Words tf-idf. Με την χρήση επιγραφών από την γεωγραφική περιοχή της Συρίας (region\_main\_id=1693), ορίστηκε λεξικό από 1678 λέξεις. Παρατηρήθηκε, όμως ότι στο λεξικό αυτό δεν περιέχεται η λέξη 'αλεξανδρε', της φθαρμένης επιγραφής. Με σκοπό την αναπαράσταση σε διανύσματα ίδιου μεγέθους των επιγραφών, των λύσεων και της φθαρμένης επιγραφής, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο λεξικό προστέθηκε η λέξη αυτή αυξάνοντάς το κατά 1 λέξη (1679).

Θα αναλυθεί περαιτέρω και στον υπολογισμό ομοιότητας.

Το λεξικό που προκύπτει αντιστοιχίζει κάθε λέξη σε έναν ακέραιο δείκτη, ο οποίος με την σειρά του αντιστοιχίζεται σε μία στήλη του παραγόμενου tf-idf μητρώου. Για την κωδικοποίηση των γονιδίων, άρα και των ατόμων χρησιμοποιήθηκε η αντιστοίχιση αυτή. Εφαρμόστηκε, λοιπόν, ακέραιη κωδικοποίηση στην οποία κάθε λέξη αναπαρίσταται από έναν ακέραιο αριθμό από 0 έως 1678. Άρα κάθε γονίδιο αναπαρίσταται από έναν ακέραιο και κάθε άτομο από ένα ζεύγος δύο ακεραίων.

### **β)Πλεονάζουσες τιμές**

Έχοντας 1679 πιθανές τιμές (0-1678), εάν γινόταν χρήση δυαδικής κωδικοποίησης θα προέκυπταν πλεονάζουσες τιμές. Κάθε άτομο αποτελείται από ένα ζεύγος δύο ακεραίων, οπότε κατά την διασταύρωση απλά θα δημιουργηθούν δύο νέα ζεύγη, με την ανταλλαγή του ενός ακεραίου της μίας λέξης με τον αντίστοιχο του δεύτερου. Άρα στην διασταύρωση δεν θα υπάρξουν πλεονάζουσες τιμές. Όμως κατά την μετάλλαξη είναι πιθανό να υπάρξουν τιμές εκτός των επιθυμητών. Η αντιμετώπιση τέτοιων τιμών μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Στην συνάρτηση καταλληλότητας(fitness function), μπορεί να γίνεται έλεγχος των γονιδίων κάθε ατόμου. Σε περίπτωση που το γονίδιο αυτό είναι διαφορετικό από τους επιθυμητούς

ακέραιους μπορεί να γίνει απόρριψη του γονιδίου και παραγωγή νέου νόμιμου γονιδίου στην θέση του, είτε με τυχαίο τρόπο, είτε με προκαθορισμένη τιμή, είτε με την κοντινότερη επιτρεπτή. Ακόμα, μπορεί η καταλληλότητα (fitness) του ατόμου που ανήκει το γονίδιο να τεθεί ίση με μηδέν. Ο τρόπος που εφαρμόστηκε όμως, λόγω της δυνατότητας από την βιβλιοθήκη που επιλέχθηκε, είναι ο ορισμός συγκεκριμένου εύρους επιτρεπτών τιμών κάθε γονιδίου. Κατά την δημιουργία της κλάσης του γενετικού αλγορίθμου, η παράμετρος εύρος γονιδίων ('gene\_space') ορίζεται ως μία λίστα ακεραίων τιμών από 0 έως το μέγεθος του λεξικού (1678). Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται ότι κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου δεν θα παραχθούν ποτέ τιμές εκτός από τον καθορισμένο αυτό εύρος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο καλός ορισμός του αρχικού πληθυσμού στην αποφυγή πλεοναζουσών τιμών.

### γ) Αρχικός πληθυσμός

Για την δημιουργία του αρχικού πληθυσμού δημιουργείται ένας πίνακας μεγέθους (μέγεθος πληθυσμού  $\times 2$ ), παράγοντας τυχαίους ακεραίους που ανήκουν στο διάστημα  $[0, \text{μέγεθος λεξικού})$ . Παράγεται λοιπόν ένας πίνακας όπου κάθε γραμμή αποτελεί ένα ζεύγος ακεραίων, δηλαδή ένα άτομο και έχει τόσες γραμμές, όσο το επιθυμητό μέγεθος του πληθυσμού.

### δ) Υπολογισμός ομοιότητας

Ο υπολογισμός ομοιότητας πραγματοποιείται με τον υπολογισμό της απόστασης των διανυσμάτων των επιγραφών από την αρχική επιγραφή. Όπως επιγράφηκε παραπάνω, κάθε επιγραφή, καθώς και η αρχική, αναπαρίστανται από ένα διάνυσμα ίσο με το μέγεθος του λεξικού. Για την χρήση οποιασδήποτε μετρικής, είτε αυτή είναι η Ευκλείδεια απόσταση, ή απόσταση Manhattan ή ομοιότητα συνημίτονου, είναι βασική προϋπόθεση τα διανύσματα που θα συγκριθούν να έχουν ίδιο μέγεθος. Ο λόγος για αυτό θα γίνει κατανοητός με την ανάλυση των μετρικών.

#### i. Ευκλείδεια Απόσταση

Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο διανυσμάτων  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  και  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$  ορίζεται πάντα και αντιστοιχεί στην L2 νόρμα της διαφοράς  $x-y$  των διανυσμάτων. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\|x - y\|_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2}$$

Η Ευκλείδεια απόσταση είναι από τις πιο συνηθισμένες μετρικές απόστασης και υπολογίζει το μέγεθος της ευθείας που ενώνει τα δύο σημεία στον Ευκλείδειο χώρο. Σημαντικό στοιχείο της είναι ότι εάν δεν αντιμετωπίζει κανονικοποιημένα δεδομένα και οι μονάδες των διανυσμάτων διαφέρουν αρκετά, είναι επιρρεπής σε παραμορφώσεις, καθώς η απόσταση που υπολογίζεται βασίζεται αποκλειστικά στη διαφορά μεταξύ των δύο διανυσμάτων. Ακόμα, όσο περισσότερες είναι οι διαστάσεις, δηλαδή τα στοιχεία των διανυσμάτων, τόσο μειώνεται η αποδοτικότητά της, καθώς

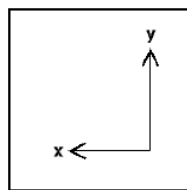
λόγω της αραιότητας της κατανομής τους σε έναν χώρο περισσότερων διαστάσεων η μέση απόσταση αυξάνεται αρκετά. Παρόλα αυτά, είναι εύκολα υλοποιήσιμη και προτιμάται σε πολλές περιπτώσεις.

ii. Απόσταση Manhattan

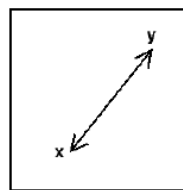
Η απόσταση Manhattan προκύπτει από το άθροισμα των απόλυτων διαφορών μεταξύ των αντίστοιχων στοιχείων/ συνιστωσών των διανυσμάτων. Η απόσταση Manhattan, ή νόρμα L1, μεταξύ δύο διανυσμάτων  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  και  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ , δίνεται από τον τύπο:

$$d_{\text{Manhattan}}(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

Σε αντίθεση με την Ευκλείδεια απόσταση, δεν υπολογίζεται ως η ευθεία γραμμή μεταξύ των δύο σημείων, αλλά η απόσταση ακολουθώντας το πλέγμα, κάνοντας δηλαδή οριζόντιες και κάθετες κινήσεις. Ακόμα, η απόσταση Manhattan είναι πιο ανθεκτική σε ακραίες τιμές (outliers) σε σύγκριση με την Ευκλείδεια απόσταση, καθώς αθροίζει απόλυτες τιμές.



**Manhattan**



**Euclidean**

iii. Απόσταση

Hamming

Η απόσταση Hamming χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό απόστασης δυαδικών διανυσμάτων, ίσου μεγέθους. Συγκρίνοντας δύο δυαδικές συμβολοσειρές ίδιου μεγέθους, η απόστασή τους ορίζεται ως το πλήθος των θέσεων bits όπου τα δύο bit είναι διαφορετικά. Υπολογίζεται με βάση των τύπο:

$$d_{\text{Hamming}}(x, y) = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

όπου τα στοιχεία των  $x, y$  ανήκουν στο διάστημα  $\{0, 1\}$ .

Ένας απλός τρόπος υπολογισμού της απόστασης Hamming είναι με την εφαρμόζοντας την πράξη XOR μεταξύ των συμβολοσειρών και αθροίζοντας το πλήθος των 1 στο αποτέλεσμα.

iv. Ομοιότητα Συνημιτόνου

Η ομοιότητα Συνημιτόνου υπολογίζει την ομοιότητα δύο διανυσμάτων, ανεξαρτήτως του μεγέθους τους. Εστιάζει στην γωνία που δημιουργείται μεταξύ των διανυσμάτων σε πολυδιάστατο χώρο, καθώς η τιμή του προέρχεται από το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ των δύο διανυσμάτων. Πιο συγκεκριμένα για δύο διανύσματα  $n$  διαστάσεων  $X$  και  $Y$  η ομοιότητα συνημιτόνου υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\text{cosine similarity} = \cos(\theta) = \frac{X \cdot Y}{\|X\| \cdot \|Y\|} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2}}$$

Οι τιμές της ομοιότητας συνημίτονου ανήκουν στο διάστημα  $[-1,1]$ . Η τιμή 1 υποδεικνύει ότι η κατεύθυνση των διανυσμάτων είναι ίδια, 0 ότι είναι ορθογώνια, δηλαδή δεν έχουν καμία ομοιότητα και -1 ότι είναι αντιδιαμετρικά. Η ομοιότητα συνημίτονου είναι ανεξάρτητη του μεγέθους των διανυσμάτων και μπορεί να εφαρμοστεί σε χώρους μεγάλων διαστάσεων, παρά την αραιότητα της κατανομής των διανυσμάτων σε αυτούς. Δεν εξαρτάται, λοιπόν, από το μέγεθος των διανυσμάτων, αλλά από την κατεύθυνσή τους.

#### ν. Συσχέτιση Pearson

Η συσχέτιση Pearson είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος μέτρησης μίας γραμμικής συσχέτισης. Είναι ένας αριθμός μεταξύ  $-1$  και  $1$ , που αναπαριστά την ισχύ και την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών. Τιμές κοντά στο  $-1$  υποδεικνύουν ισχυρή αρνητική γραμμική συσχέτιση, δηλαδή αντίστοιχες αλλαγές αντίθετης κατεύθυνσης, κοντά στο  $1$  ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση, δηλαδή αντίστοιχες αλλαγές ίδιας κατεύθυνσης, ενώ κοντά στο μηδέν ασθενή ή και καμία γραμμική συσχέτιση. Αναλυτικότερα για  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  και  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ , υπολογίζεται από τον τύπο:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Σημαντικά χαρακτηρίστηκα της είναι ότι είναι συμμετρική, καθώς και ότι όπως και η ομοιότητα συνημίτονου, δεν εξαρτάται από το μέγεθος των διανυσμάτων, αλλά από την γραμμική τους σχέση.

**ΕΠΙΛΟΓΗ:** Λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο μέγεθος και την αραιότητα των διανυσμάτων που δημιουργούνται στην συγκεκριμένη υλοποίηση, καθώς και τον στόχο της εύρεσης ομοιών λέξεων μεταξύ επιγραφών, γίνεται αντιληπτό ότι η καταλληλότερη μετρική για τον υπολογισμό της απόστασης των διανυσμάτων του προβλήματος είναι η ομοιότητα συνημίτονου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημά της, είναι η δυνατότητά της να παρέχει ουσιαστικά μέτρα ομοιότητας μεταξύ των διανυσμάτων, ανεξάρτητα από το μήκος τους.

#### ε) Συνάρτηση καταλληλότητας

Σκοπός της συνάρτησης καταλληλότητας είναι η αξιολόγηση μίας πιθανής λύσης, με βάση την ομοιότητά της με τις 5 φράσεις που βρέθηκαν στο προηγούμενο ερώτημα. Η συνάρτηση δέχεται ως είσοδο μία λύση, δηλαδή ένα ζεύγος ακεραίων, οι οποίοι αντιστοιχίζονται στις 2 λέξεις που θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία της πιθανής συμπληρωμένης φράσης. Αρχικά χρησιμοποιούνται οι ακεραίοι αυτοί για την εντοπισμό των λέξεων που θα συμπληρώσουν την φράση. Δημιουργείται η ολοκληρωμένη επιγραφή και κωδικοποιείται, με τον ίδιο vectorizer που χρησιμοποιήθηκε για την κωδικοποίηση των επιγραφών και της

φθαρμένης επιγραφής. Έπειτα υπολογίζεται η ομοιότητα συνημιτόνου της συμπληρωμένης επιγραφής με κάθε μία από τις 5 φράσεις. Βάση του τύπου της ομοιότητας συνημιτόνου, οι τιμές του ανήκουν από -1 έως 1. Για κάθε μία από τις πέντε φράσεις, στην συνάρτηση ομοιότητας συνημιτόνου, δίνουμε το διάνυσμά της και το διάνυσμα της συμπληρωμένης φράσης. Τα διανύσματα αυτά έχουν ίδιο μέγεθος, καθώς χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος vectorizer για την κωδικοποίησή τους και περιέχουν τιμές από 0 μέχρι 1. Οι τιμές αυτές είναι οι tf-idf τιμές κάθε λέξης, για την συγκεκριμένη φράση/επιγραφή. Υπολογίζοντας λοιπόν, την ομοιότητα συνημιτόνου των δύο αυτών διανυσμάτων, γίνεται αντιληπτό ότι δεν μπορεί να είναι μικρότερη του 0. Το αποτέλεσμα ομοιότητας της συμπληρωμένης επιγραφής με κάθε μία από τις 5 προεπιλεγμένες επιγραφές, αποθηκεύεται και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους. Είναι προφανές, πως καθώς καθένα από τα αποτελέσματα θα ανήκει στο διάνυσμα  $[0,1]$  και ο μέσος όρος τους θα ανήκει στο διάστημα αυτό. Επομένως, η ελάχιστη τιμή που μπορεί να έχει η συνάρτηση καταλληλότητας είναι το 0 και η μέγιστη το 1.

#### στ) Γενετικοί τελεστές

Οι γενετικοί τελεστές οδηγούν την εξέλιξη των λύσεων του γενετικού αλγορίθμου ανά γενιά.

##### i. Επιλογή

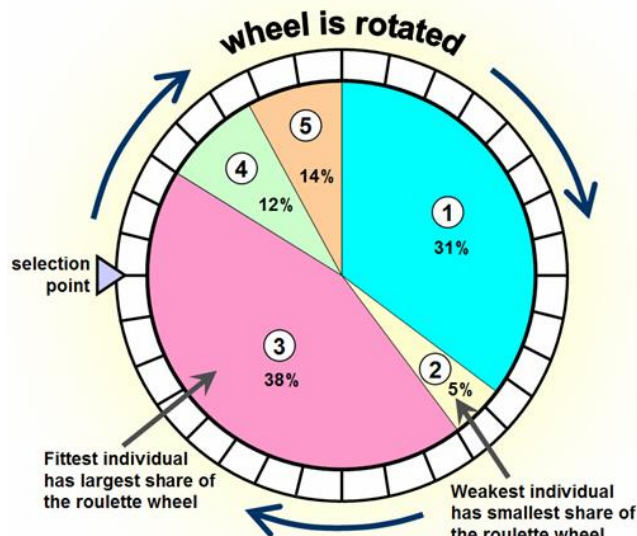
Η διαδικασία της επιλογής πραγματοποιεί επιλογή της «Mating Pool», που θα χρησιμοποιηθεί για οδηγήσει στην βέλτιστη λύση. Επιλέγονται οι γονείς που με την διασταύρωση και την μετάλλαξη θα οδηγήσουν στην δημιουργία νέων ατόμων. Επικρατεί η ιδέα «survival of fittest», η οποία βασίζεται στην αυξημένη πιθανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής των ατόμων, που προσαρμόζονται καλύτερα στο περιβάλλον τους. Η επιλογή αυτή των γονέων μπορεί να εστιάζει σε δύο μεθόδους, την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση. Η εξερεύνηση αναφέρεται στην εξερεύνηση νέων περιοχών λύσεων, παράγοντας νέα πληροφορία και η εκμετάλλευση, στην εκμετάλλευση της προ-παραγόμενης γνώσης και διάδοση της προσαρμογής. Η μεγαλύτερη διαφορά τους είναι στην πίεση της επιλογής, καθώς οι τεχνικές εξερεύνησης, εφαρμόζοντας ομοιόμορφη μέθοδο κλιμάκωσης, ελέγχουν την πίεση της επιλογής, ξεπερνώντας έτσι, προβλήματα κλιμάκωσης, όπως στασιμότητα και πρόωρη σύγκλιση.

- **Επιλογή Ρουλέτας(Roulette Wheel Selection)**

Η επιλογή ρουλέτας ανήκει στην κατηγορία «Fitness Proportionate Selection», δηλαδή επιλογή ανάλογη της καταλληλότητας. Κάθε γονέας μπορεί να επιλεγεί με πιθανότητα ανάλογη της καταλληλότητάς του. Εστιάζει στην τεχνική της εκμετάλλευσης. Αναπαρίσταται ως μία πίτα(ή τροχός) κομμένη σε  $n$  κομμάτια, όσα και τα άτομα του πληθυσμού. Σε κάθε άτομο αναλογεί κομμάτι της πίτας, ανάλογο της καταλληλότητάς του. Η διαδικασία είναι η εξής: Επιλέγεται σταθερό σημείο και περιστρέφεται ο τροχός. Έπειτα επιλέγεται ο γονέας στον οποίον αναλογεί η περιοχή στην οποία βρίσκεται το σταθερό σημείο όταν σταματήσει ο τροχός.

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία για την επιλογή των υπόλοιπων γονέων. Προφανώς, όσο πιο κατάλληλο είναι ένα άτομο, τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεγεί, άρα η πιθανότητα επιλογής εξαρτάται άμεσα από την καταλληλότητα του ατόμου.

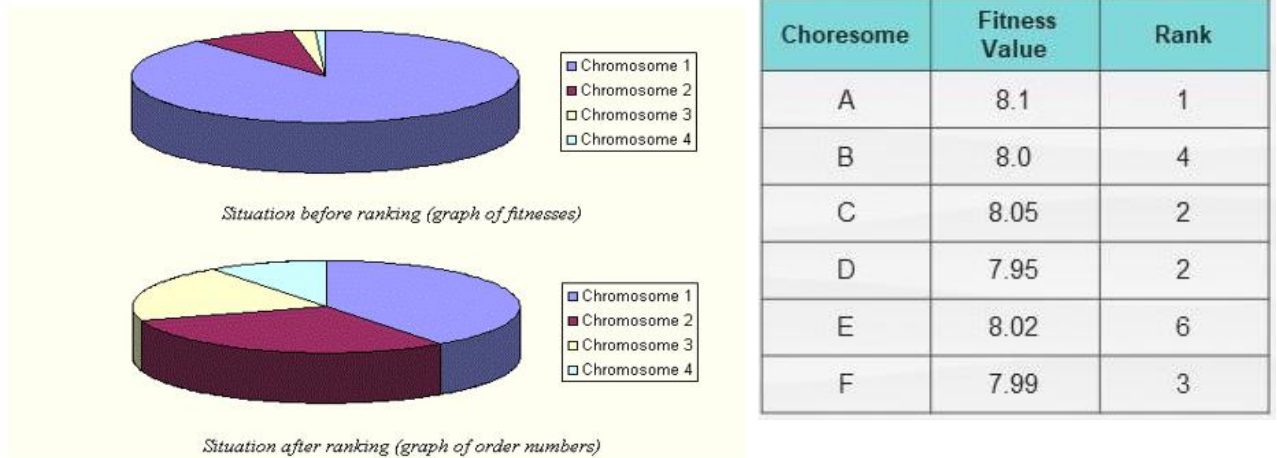
Παρότι η υλοποίησή αυτή της επιλογής είναι εύκολη, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όταν οι διαφορές στην καταλληλότητα των ατόμων είναι μεγάλες, μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη σύγκλιση. Ακόμα, η επιλογή αυτή είναι προκατειλημμένη σε καταλληλότερα άτομα, δημιουργώντας πιθανότητα να μην βρεθούν τα καλύτερα άτομα του πληθυσμού. Τέλος, όταν οι διαφορές στις τιμές της καταλληλότητας είναι πολύ μικρές, η επιλογή τείνει προς την τυχαία.



- **Επιλογή με βάση την Κατάταξη(Rank Selection)**

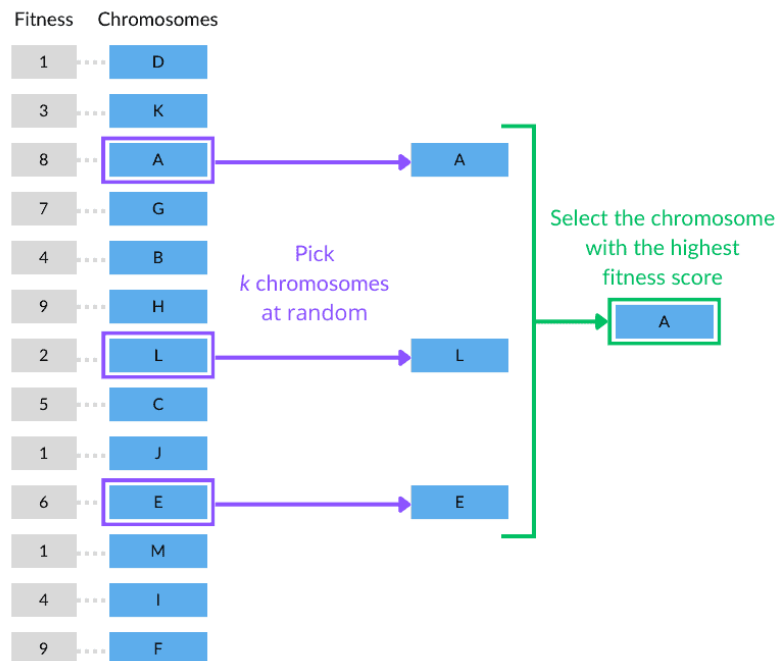
Η επιλογή με βάση την κατάταξη εστιάζει σε τεχνικής εξερεύνησης. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι η εξής: Κάθε άτομο κατατάσσεται με βάση την καταλληλότητά του και η επιλογή γίνεται με βάση την κατάταξη, αντί την ακριβή τιμή της καταλληλότητας. Τα άτομα υψηλότερα στην κατάταξη προτειμούνται από τα χαμηλότερα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η επιλογή όλων των γονέων. Λειτουργεί και με αρνητικές τιμές και χρησιμοποιείται κυρίως όταν τα άτομα έχουν πολύ κοντινές τιμές καταλληλότητας. Δηλαδή όταν όλα τα άτομα έχουν σχεδόν ίσο κομμάτι στην πίτα, άρα σχεδόν ίση πιθανότητα να επιλεγθούν. Γεγονός που παρατηρείται συνήθως προς το τέλος της εκτέλεσης του αλγορίθμου. Εστιάζοντας στην κατάταξη αντί την καταλληλότητα, μειώνεται η πίεση στην επιλογή πιο κατάλληλων ατόμων. Βοηθά έτσι, στην αποφυγή πρόωρης σύγκλισης. Ακόμα, εξισορροπεί καλύτερα την εκμετάλλευση καλύτερων λύσεων και την εξερεύνηση νέων περιοχών του χώρου λύσεων. Η υλοποίησή της όμως, είναι πολύπλοκη και μπορεί να οδηγήσει σε πολύ τυχαία επιλογή, μειώνοντας την

βελτίωση. Σημειώνεται ότι η σύγκλιση στην καλύτερη λύση μπορεί να είναι πιο αργή.



- Τουρνουά(K-Way Tournament Selection)**

Στην επιλογή τουρνουά επιλέγονται τυχαία  $k$  άτομα του πληθυσμού και από αυτά επιλέγεται το καλύτερο για να γίνει γονέας. Επαναλαμβάνεται αυτή η διαδικασία για να επιλεγούν και οι υπόλοιποι γονείς. Και αυτή η επιλογή λειτουργεί και με αρνητικές τιμές καταλληλότητας. Είναι απλή και αποδοτική σε χρόνο υπολογισμού και η δυνατότητα προσαρμογής του μεγέθους του τουρνουά επιτρέπει ρύθμιση της πίεσης επιλογής. Σημειώνεται ότι με μεγάλο μέγεθος τουρνουά μπορεί να υπάρξει πρόωρη σύγκλιση, λόγω μειωμένης ποικιλότητας. Ακόμα, στην συγκεκριμένη μέθοδο η επιλογή του αρχικού πληθυσμού επηρεάζει άμεσα την επιλογή.



**ΕΠΙΛΟΓΗ:** Για τον συγκεκριμένο αλγόριθμο επιλέχθηκα roulette wheel selection, καθώς φάνηκε να διαχειρίζεται καλύτερα την καταλληλότητα των λύσεων και σε



καλό χρόνο. Εξετάστηκε και η επιλογή με βάση την κατάταξη, καθώς θα μπορούσε να αποτρέψει την πρόωρη σύγκλιση, όμως η επιλογή ρουλέτας φάνηκε να φτάνει σε καλύτερες τιμές καταλληλότητας σε λιγότερο χρόνο.

## ii. Διασταύρωση

Η διασταύρωση χρησιμοποιείται για την παραγωγή νέων ατόμων και την εξέλιξη του πληθυσμού. Κατά την διασταύρωση επιλέγονται τυχαία γονείς από το «mating pool», για την μεταβολή των ατόμων ανά γενιά. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι διασταύρωσης και η επιλογή τους εξαρτάται κυρίως από την μέθοδο κωδικοποίησης.

- **Διασταύρωση μονού σημείου (One Point Crossover)**

Στην διασταύρωση μονού σημείου γίνεται επιλογή ενός τυχαίου σημείου διασταύρωσης και ανταλλάσσονται οι ουρές των δύο γονέων. Η τεχνική αυτή προσφέρει απλή και εύκολη υλοποίηση. Η εξερεύνηση όμως μπορεί να είναι περιορισμένη, εάν το σημείο διασταύρωσης πέφτει συχνά στην ίδια περιοχή.



- **Διασταύρωση πολλαπλού σημείου (Multiple Point Crossover)**

Στην διασταύρωση πολλαπλών σημείων γίνεται επιλογή πολλαπλών σημείων διασταύρωσης και ανταλλαγή των γονιδίων που βρίσκονται ανάμεσα στα δύο αυτά σημεία, μεταξύ των γονέων. Πραγματοποιείται καλύτερο ανακάτεμα σε σχέση με αυτό της διασταύρωσης μονού σημείου, με πολυπλοκότερη υλοποίηση.



- **Ομοιόμορφη διασταύρωση (Uniform Crossover)**

Στην ομοιόμορφη διασταύρωση κάθε γονίδιο του χρωμοσώματος αντιμετωπίζεται ξεχωριστά. Με τυχαία επιλογή κρίνεται εάν θα παραμείνει ίδιο το γονίδιο, ή θα ανταλλαχθεί με το αντίστοιχο του δεύτερου γονέα. Επιτυγχάνεται μέγιστη ανάμειξη γονιδίων και ποικιλομορφία, υπάρχει όμως πιθανότητα καταστροφής ατόμων υψηλής καταλληλότητας.



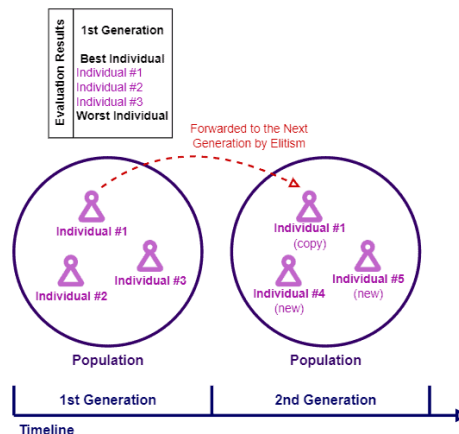
**ΕΠΙΛΟΓΗ:** Για την υλοποίηση του αλγορίθμου λόγω της μορφής των ατόμων η καλύτερη επιλογή ήταν η διασταύρωση μονού σημείου. Αναλυτικότερα, όπως εξηγήθηκε παρά πάνω τα άτομα του πληθυσμού είναι ένα ζεύγος από ακεραίους. Κάθε άτομο αποτελείται, λοιπόν, από μόνο 2 γονίδια. Κατά την διαδικασία της διασταύρωσης, λοιπόν το μόνο σημείο που μπορεί να πραγματοποιηθεί η διασταύρωση είναι ένα. Επομένως, καμία άλλη διασταύρωση, διαφορετική από αυτή του μονού σημείου δεν έχει νόημα να επιλεγθεί.

iii. Μετάλλαξη

Ο τελεστής της μετάλλαξης επιλέγει γονίδια των χρωμοσωμάτων και τους αλλάζει τυχαία την τιμή. Η μετάλλαξη αυτή εισάγει καινοτομία στον πληθυσμό, αποτρέποντας τον πρόωρο τερματισμό του γενετικού αλγορίθμου. Η ενσωμάτωση της μετάλλαξης εγγυάται ότι η πιθανότητα εξερεύνησης οποιουδήποτε χρωμοσώματος δεν είναι ποτέ μηδενική. Τα μεγάλα ποσοστά μετάλλαξης, παρότι αποτρέπουν την πρόωρη σύγκλιση, αυξάνουν την πιθανότητα καταστροφής καλών αποτελεσμάτων.

- **Ελιτισμός (Elitism)**

Ο ελιτισμός είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται για την εγγύηση ότι οι καλύτερες λύσεις (άτομα) της τρέχουσας γενιάς θα διατηρηθούν και θα μεταφερθούν αυτούσια στην επόμενη γενιά. ‘Καλές’ περιοχές του χώρου αναζήτησης διατηρούνται για εξερεύνηση. Επιτυγχάνεται έτσι διατήρηση υψηλής καταλληλότητας λύσεων και βελτιώνεται η ταχύτητα σύγκλισης και η απόδοση του αλγορίθμου.



### **B3. Αξιολόγηση και Επίδραση Παραμέτρων**

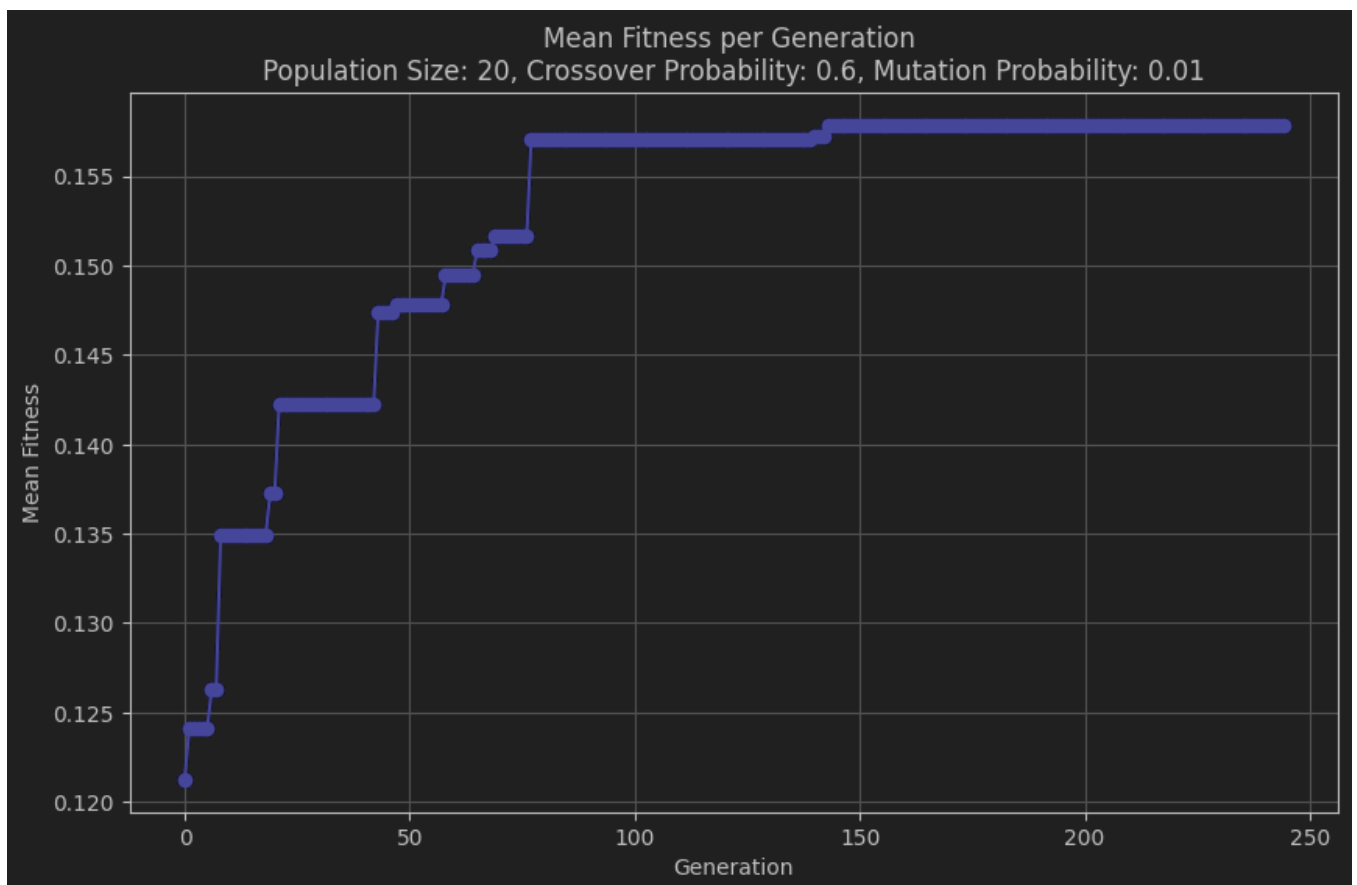
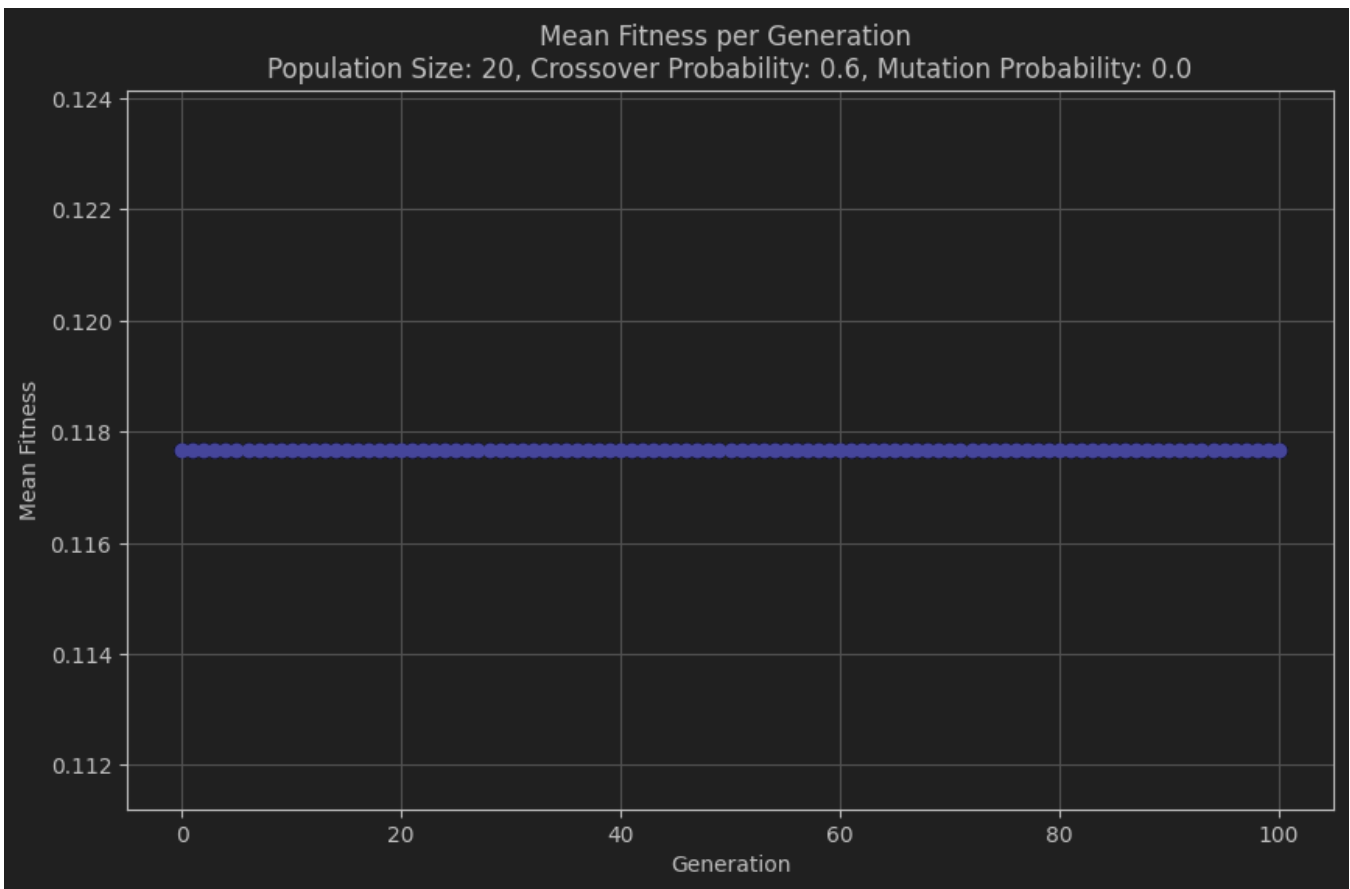
α)

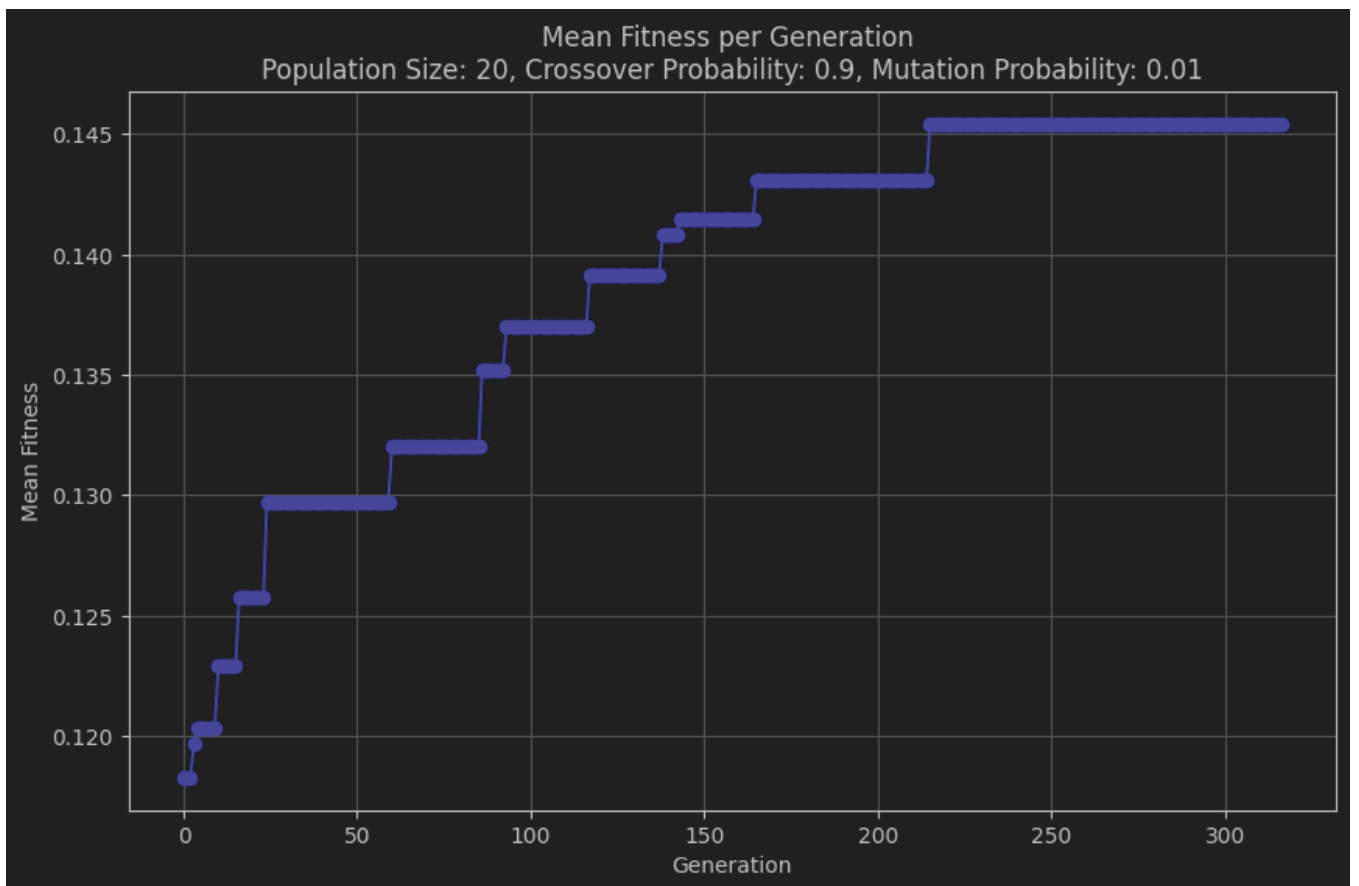
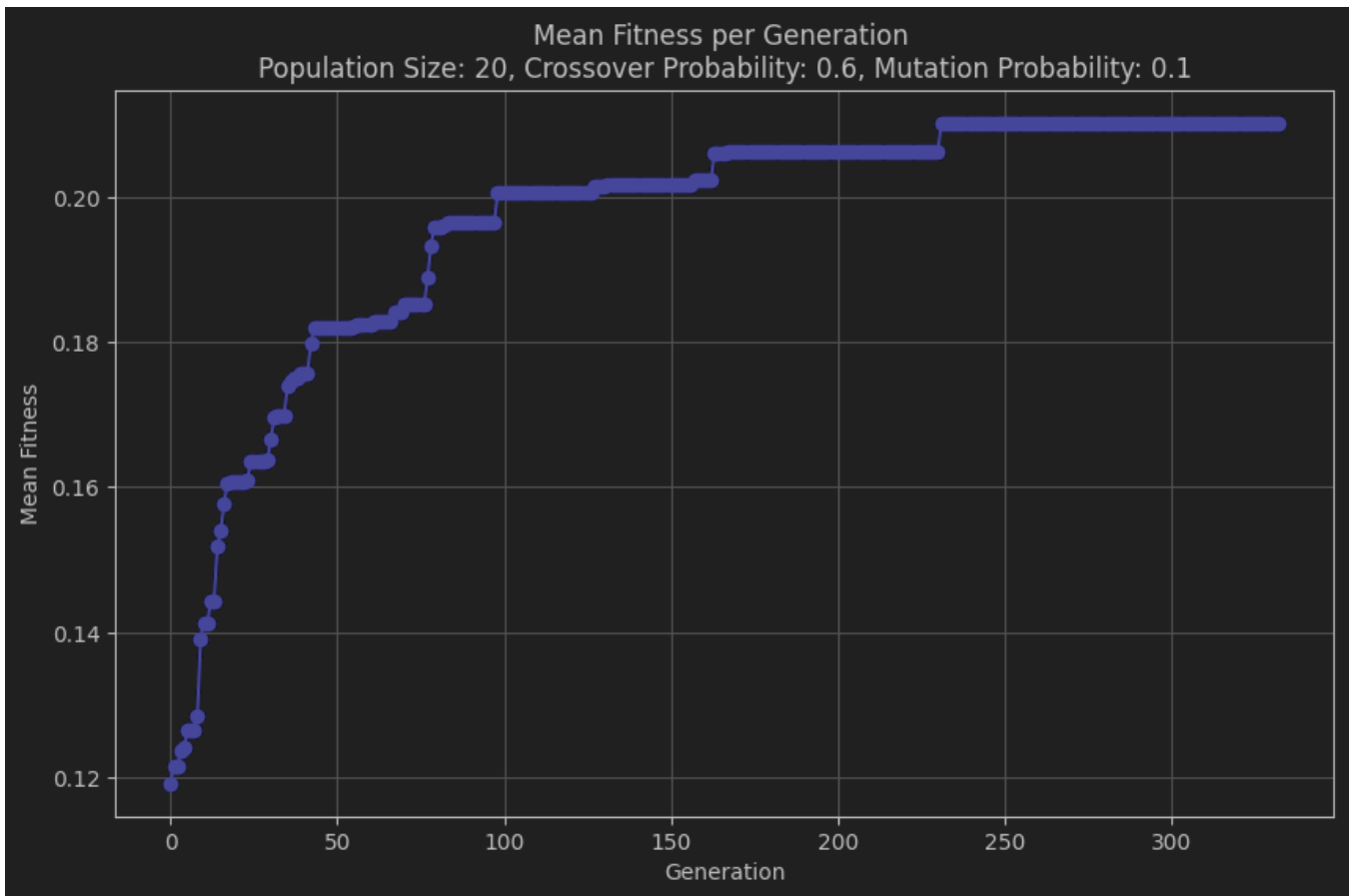
	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗΣ	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑΞΗΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ	ΜΕΣΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΝΕΩΝ
1	20	0.6	0.00	0.11767859	80.2
2	20	0.6	0.01	0.15786322	122.0
3	20	0.6	0.10	0.21015973	177.7
4	20	0.9	0.01	0.14542581	147.1
5	20	0.1	0.01	0.14586222	149.4
6	200	0.6	0.00	0.1930456	104.4
7	200	0.6	0.01	0.21284445	177.1
8	200	0.6	0.10	0.25261245	168.2
9	200	0.9	0.01	0.21127203	144.3
10	200	0.1	0.01	0.21585187	173.3

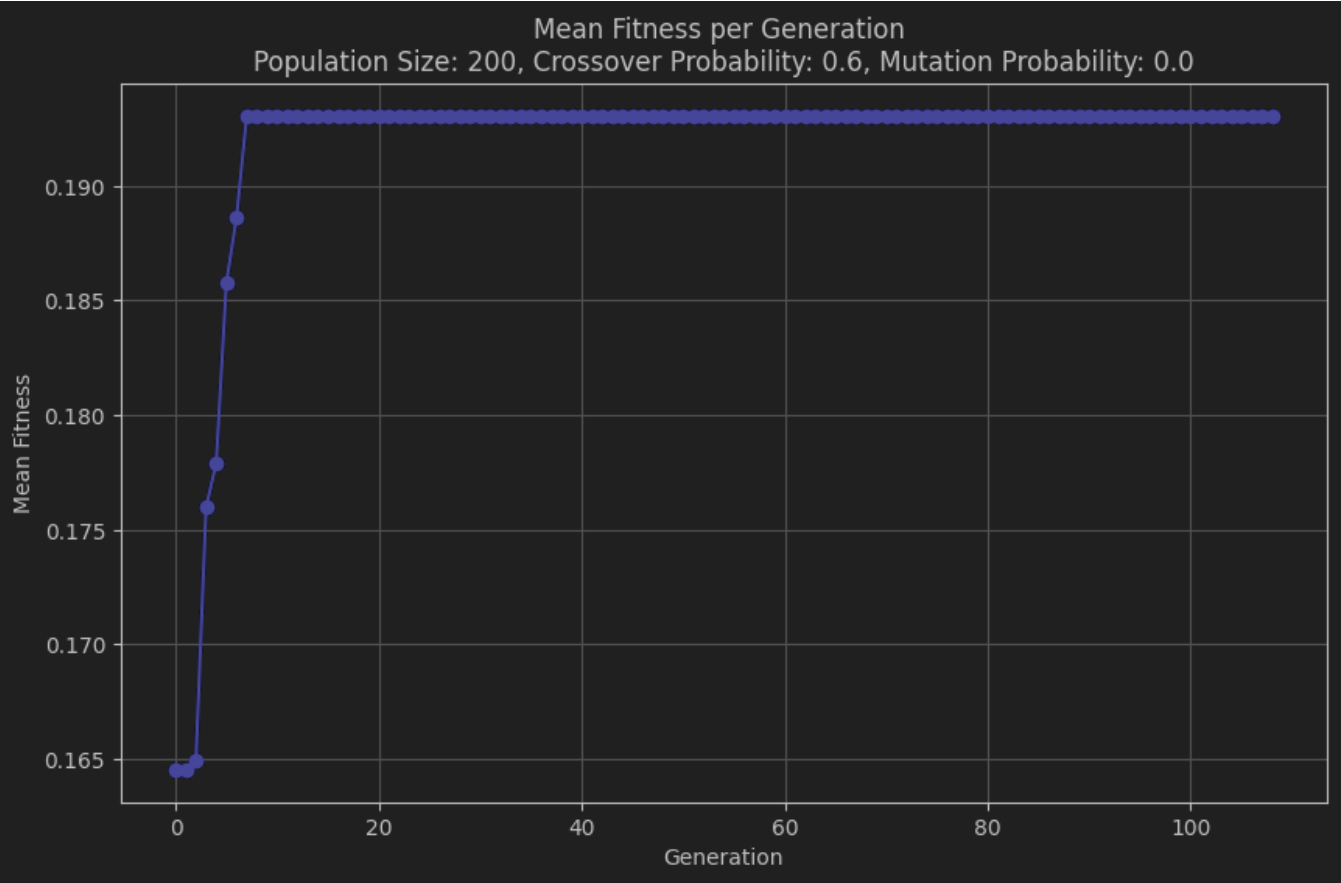
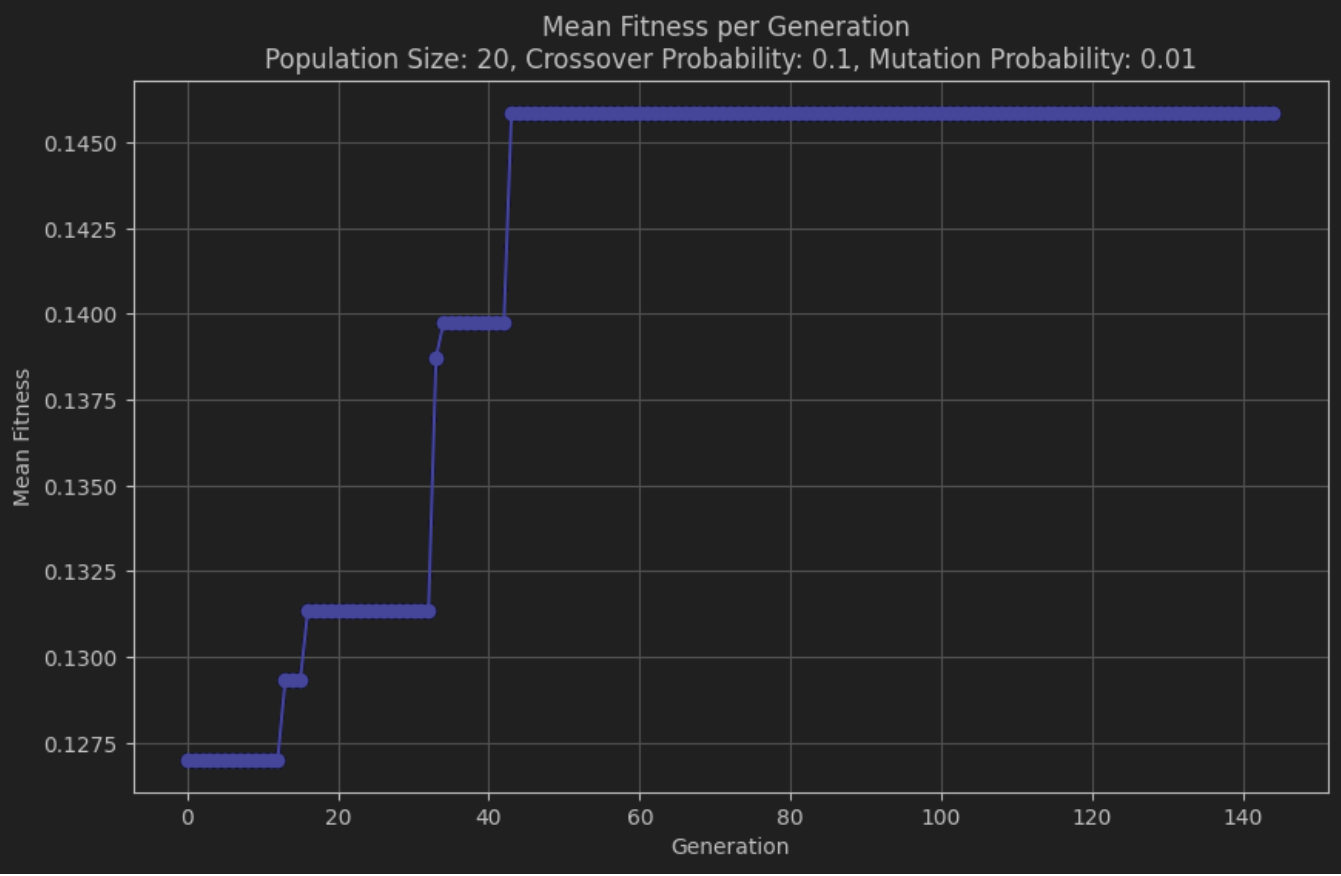
Για την υλοποίηση των κριτηρίων τερματισμού:

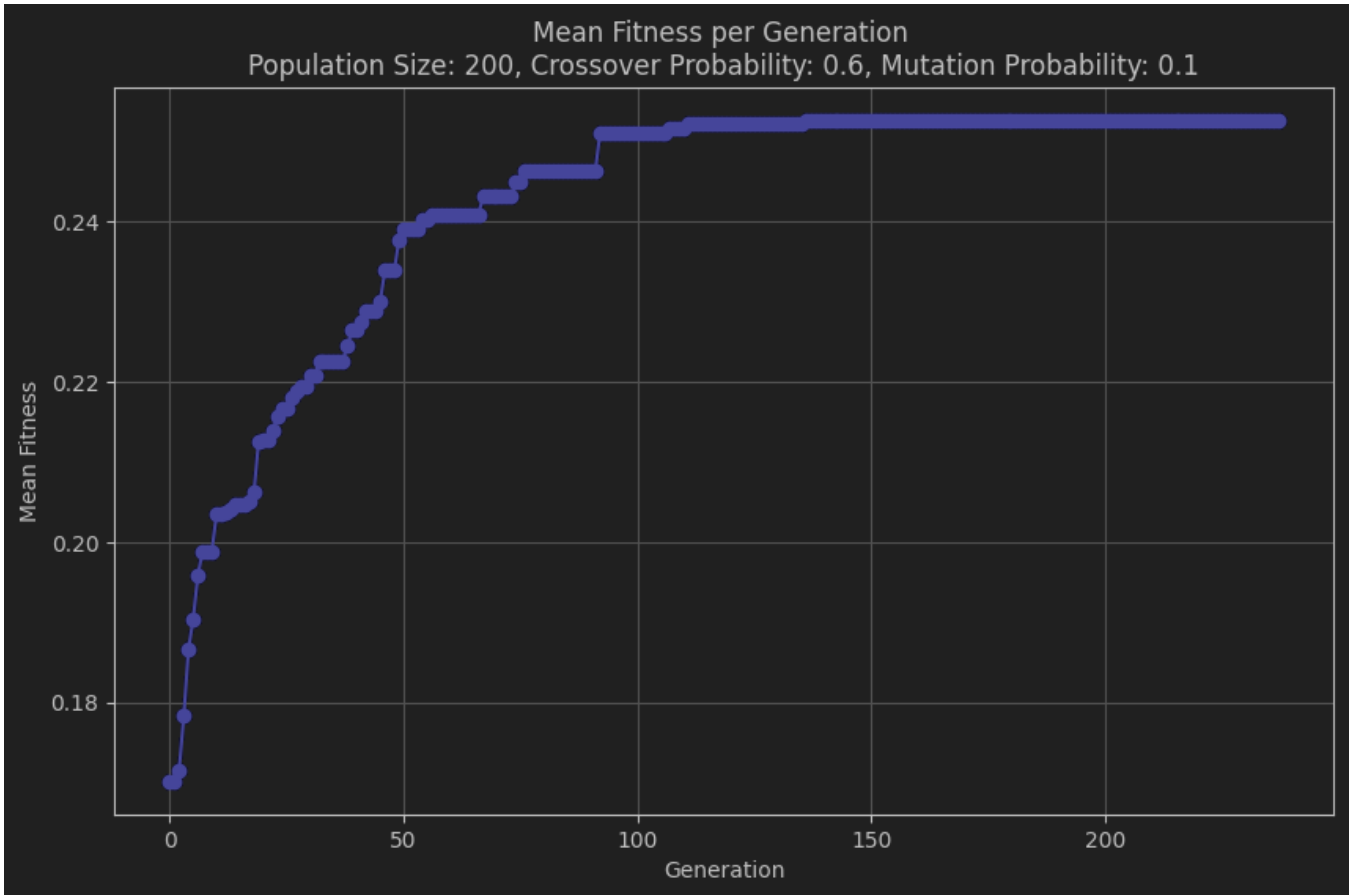
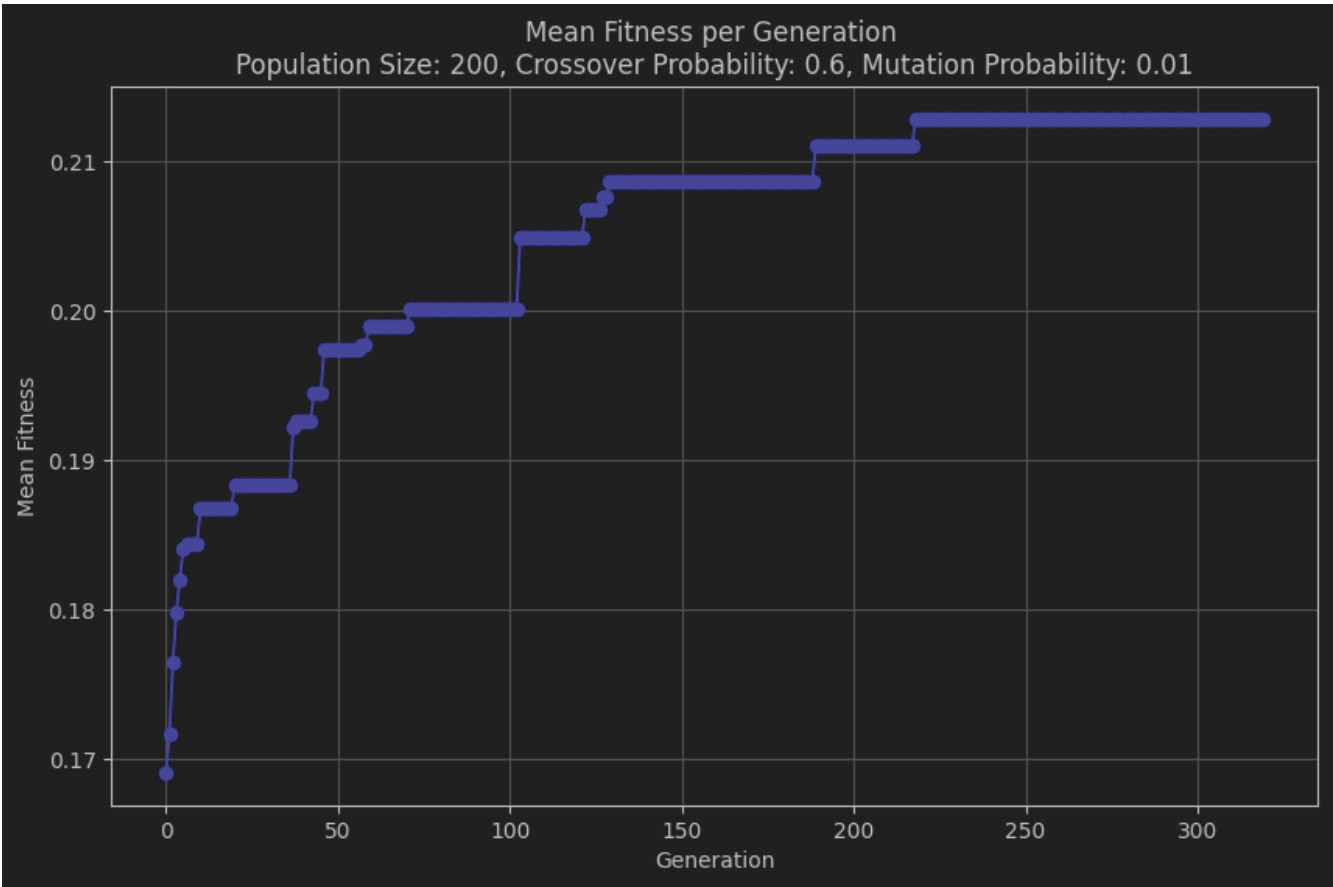
- i. Έχει ξεπεραστεί ένας προκαθορισμένος αριθμός γενεών:  
Τέθηκε η παράμετρος του instance του αλγορίθμου `num_generations = 1000`, άρα όταν το πλήθος των γενεών φτάσει τις 1000 ο αλγόριθμος τερματίζει.
- ii. Το καλύτερο άτομο της κάθε γενιάς πάψει να βελτιώνεται για ορισμένο αριθμό γενεών:  
Τέθηκε η παράμετρος του instance του αλγορίθμου `stop_criteria= "saturate_100"`, επομένως εάν η τιμή καταλληλότητας του καλύτερου ατόμου είναι σταθερή για 100 συνεχόμενες γενιές ο αλγόριθμος τερματίζει.
- iii. βελτιώνεται κάτω από ένα ποσοστό (<1%):  
Υλοποιήθηκε συνάρτηση η οποία συγκρίνει την προηγούμενη τιμή της καταλληλότητας της καλύτερης λύσης με την τωρινή και υπολογίζει το ποσοστό βελτίωσης. Χρησιμοποιείται μετρητής για την παρακολούθηση της μεταβολής. Εάν το ποσοστό βελτίωσης είναι μικρότερο από 0.01, αυξάνεται κατά ένα ο μετρητής, εάν όχι μηδενίζεται. Όταν ο μετρητής φτάσει την τιμή 100 γυρνάει μήνυμα «stop». Με τον τρόπο αυτό εάν για 100 συνεχόμενες γενιές η τιμή καταλληλότητας του καλύτερου ατόμου έχει βελτίωση μικρότερη από 1% ο αλγόριθμος σταματά. Η συνάρτηση αυτή καλείται με την παράμετρο `on_generation` του αλγορίθμου.

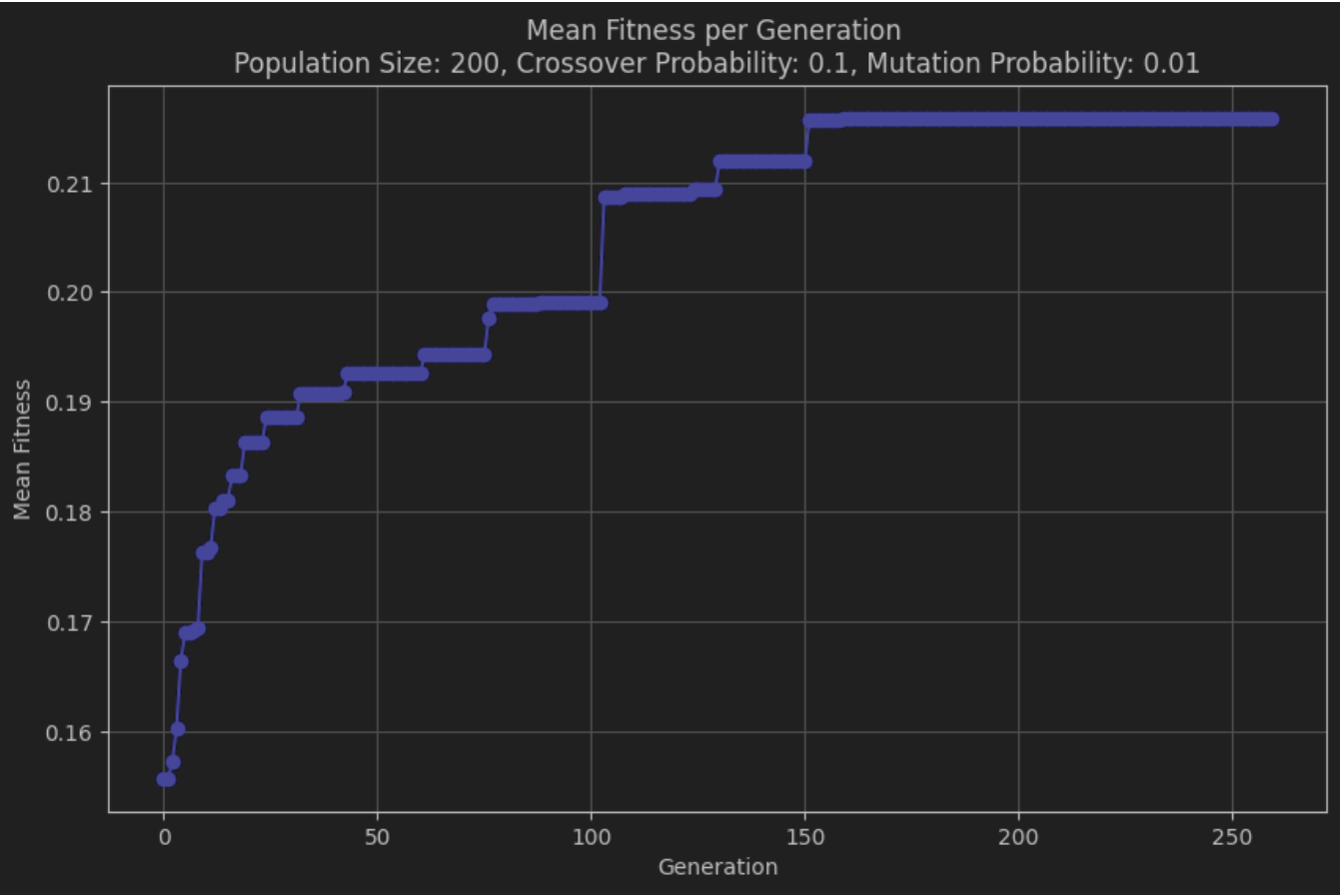
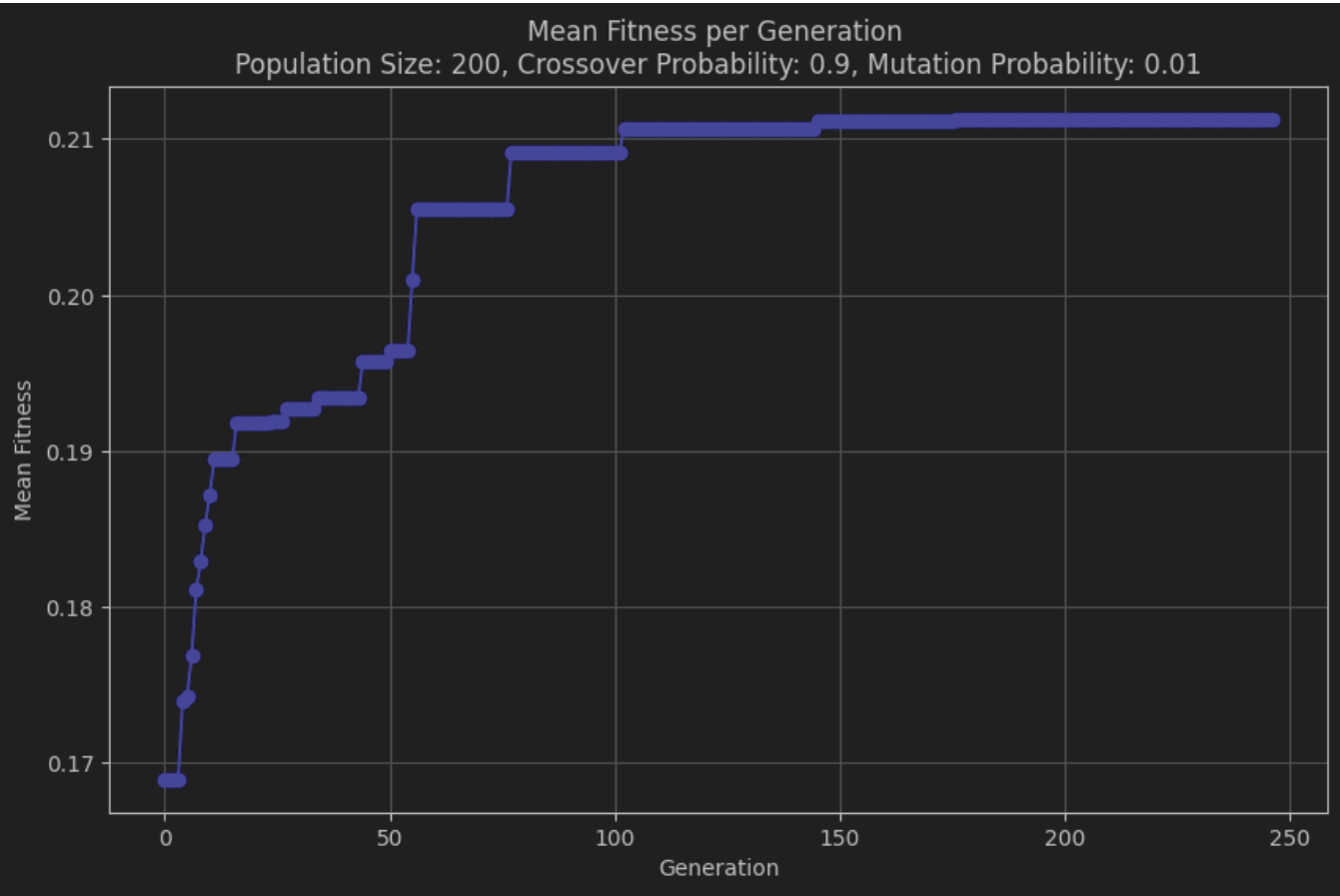
**βi) Καμπύλη εξέλιξης καλύτερης τιμής για κάθε περίπτωση**













### **βii) Καλύτερη λύση**

Επιγραφή που προκύπτει:

**«νυς αλεξανδρε ουδισ θαρσι»**

Με τιμή καταλληλότητας:

**0. 25463345**

### **γ) Συμπεράσματα**

#### **i. Μέγεθος Πληθυσμού**

Παρατηρείται ότι με την αύξηση του μεγέθους πληθυσμού οι λύσεις είναι σαφώς καλύτερες. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς με την αύξηση του πληθυσμού οι πιθανές λύσεις είναι περισσότερες και ο χώρος αναζήτησης εξερευνάται παραπάνω. Ακόμα, η αύξηση του μεγέθους πληθυσμού συμβάλει στην αποφυγή τοπικών βέλτιστων. Όμως η αξιολόγηση μεγαλύτερου αριθμού ατόμων σε κάθε γενιά αυξάνει την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου, απαιτώντας μεγαλύτερο υπολογιστικό κόστος και ισχύ.

#### **ii. Πιθανότητα Διασταύρωσης**

Η καλύτερη απόδοση του αλγορίθμου από τις καμπύλες εξέλιξης, φαίνεται να προέρχεται από την μέτρια τιμή της πιθανότητας διασταύρωσης. Η χαμηλή πιθανότητα διασταύρωσης μπορεί να βοηθήσει στην διατήρηση καλών λύσεων, εστιάζοντας στην εκμετάλλευσή τους μέσω προσαρμογών. Παρόλα αυτά, μπορεί να περιορίσει την εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης, αυξάνοντας την πιθανότητα πρόωρης σύγκλισης. Αντίθετα, η υψηλότερη πιθανότητα μετάλλαξης ενισχύει την παραγωγή νέων λύσεων και την καλύτερη εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης πιο γρήγορα. Η υπερβολική, όμως διασταύρωση μπορεί να μειώσει την εστίαση του αλγορίθμου στην εκμετάλλευση των υπάρχοντων λύσεων, διακόπτοντας συχνά την εξέλιξη καλών λύσεων. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι η καλύτερη απόδοση είναι λογικό να εμφανίζεται σε ούτε υπερβολικά υψηλές, ούτε υπερβολικά χαμηλές τιμές της πιθανότητας διασταύρωσης, εξισορροπώντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε περίπτωσης.

#### **iii. Πιθανότητα Μετάλλαξης**

Παρατηρείται ότι στις μεγαλύτερες τιμές της πιθανότητας μετάλλαξης, η μέση τιμή καταλληλότητας που φτάνει ο αλγόριθμος είναι μεγαλύτερη και η σύγκλιση πιο ομαλή. Η απόδοση αυτή δικαιολογείται, καθώς η αύξηση της τιμής της πιθανότητας μετάλλαξης, προωθεί την εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης, με την προσθήκη νέων λύσεων στον πληθυσμό. Φαίνεται ξεκάθαρα από τις καμπύλες εξέλιξης με μηδενική πιθανότητα μετάλλαξης, ότι ο αλγόριθμος εκμεταλλεύεται όσο μπορεί τον αρχικό πληθυσμό, έως ότου συγκλίνει στην τοπικά καλύτερη λύση, όπου και τερματίζει. Γενικότερα, φαίνεται ότι η χαμηλή πιθανότητα μετάλλαξης οδηγεί σε εγκλωβισμό σε τοπικά βέλτιστες λύσεις. Ακόμα, με υψηλότερη πιθανότητα μετάλλαξης παρατηρείται πιο αργή σύγκλιση, που είναι λογικό, αφού εισάγει συνεχώς νέα άτομα. Είναι επίσης κατανοητό ότι η υπολογιστική ισχύς και το κόστος

που απαιτούνται είναι μεγαλύτερα. Ωστόσο, αυξάνεται η πιθανότητα εύρεσης του ολικού βέλτιστου και αποφεύγεται η πρόωρη σύγκλιση.

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι, η αύξηση του πληθυσμού ευνοεί την απόδοση του αλγορίθμου, η πιθανότητα διασταύρωσης επιδρά καλύτερα σε μέτριες προς αυξημένες τιμές, ενώ το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για την πιθανότητα μετάλλαξης. Πράγματι, παρατηρώντας τις καμπύλες εξέλιξης το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται, καθώς οι υψηλότερες τιμές καταλληλότητας και η πιο ομαλή σύγκλιση εμφανίζεται στην περίπτωση που οι παράμετροι έχουν τις τιμές: Μέγεθος Πληθυσμού: 200, Πιθανότητα Διασταύρωσης: 0.6 και Πιθανότητα Μετάλλαξης: 0.1.