ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

<u>ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ</u>

ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΕΜΠΝΕΥΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΥΣΗ

ΒΙΤΤΩΡΙΑΣ ΜΙΧΑΗΛ
Διπλ. Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Λέκτορας ΜΑΡΙΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Χανιά, Ιανουάριος 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η μεταπτυχιακή αυτή διατριβή είναι αφιερωμένη στους γονείς μου Αντώνη και Ζωή και στην μικρή μου αδελφή Ελένη που ανελλιπώς με στήριξαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου παρέχοντας μου τα ποιοτικότερα ψυχικά και υλικά εφόδια. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους μου για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση τους. Η διατριβή αυτή αποτελεί καρπό των προσπαθειών μου και δεν θα είχε ποτέ επιτευχθεί χωρίς την βοήθεια σας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, Κ. Ιωάννη Μαρινάκη, για την συνεχή στήριξη και παροχή βοήθειας κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το πρόβλημα ανάθεσης εργασιών

Ο προγραμματισμός εργασιών έχει ορισθεί ως η διαδικασία ανάθεσης πόρων σε εργασίες για την εξασφάλιση του τερματισμού των εργασιών αυτών σε λογικό χρονικό πλαίσιο ή ικανοποιώντας όσο το δυνατό περισσότερο τους περιορισμούς που σχετίζονται άμεσα με τις εργασίες αυτές. Η χαρακτηριστικότερη κατηγορία προβλημάτων ανάθεσης εργασιών είναι αυτή στην οποία εντάσσονται τα προβλήματα jobshop. Για την κατηγορία αυτή, πρόβλημα αποτελεί η εύρεση της σειράς με την οποία οι εργασίες περνούν ανάμεσα από τους πόρους (π.χ. μηχανές) έτσι ώστε το πρόγραμμα που θα σχεδιαστεί να είναι παράλληλα εφικτό αλλά και βέλτιστο ως προς κάποιο κριτήριο απόδοσης όπως παραδείγματος χάριν ο ολικός χρόνος παραγωγής ενός προϊόντος [1].

Στην γενικότερη κατηγορία προβλημάτων ανάθεσης εργασιών ανήκει και το πρόβλημα προγραμματισμού χρονοδιαγράμματος, με το οποίο έχουμε ασχοληθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία. Ο προγραμματισμός χρονοδιαγράμματος (Timetabling) αποτελείται βασικώς από τη ανάθεση διαφόρων γεγονότων σε έναν πεπερασμένο αριθμό χρονικών περιόδων (time slots) κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιείται ένα ορισμένο σύνολο περιορισμών. Στα προβλήματα χρονοδιαγράμματος συνήθως εξετάζονται δύο τύποι περιορισμών, οι αποκαλούμενοι σκληροί περιορισμοί (hard constraints), οι οποίοι πρέπει να εκπληρωθούν κάτω από όλες τις περιστάσεις, και οι μαλακοί περιορισμοί (soft constraints), οι οποίοι πρέπει να εκπληρωθούν αν είναι δυνατό. Σε μερικές περιπτώσεις, δεν είναι δυνατό να ικανοποιηθούν πλήρως όλοι οι περιορισμοί, και στόχος της βελτιστοποίησης τελικά αποτελεί η εύρεση καλών λύσεων υπαγόμενες σε ορισμένα ποιοτικά κριτήρια (π.χ., που ελαχιστοποιούν τον αριθμό παραβιασμένων περιορισμών, ή εναλλακτικά που μεγιστοποιούν τον αριθμό ικανοποιημένων σκληρών περιορισμών, ενώ ο αριθμός παραβιασμένων μαλακών περιορισμών ελαχιστοποιείται). Ο προγραμματισμός χρονοδιαγράμματος προκύπτει με πολλές διαφορετικές μορφές που διαφέρουν κυρίως στο είδος των γεγονότων (π.χ., εξετάσεις, διαλέξεις, μαθήματα, κ.λπ.) που ανατίθενται. Μέχρι το μέσο της δεκαετίας του '90, είχε ήδη προταθεί ότι η ενσωμάτωση ποσοστού τοπικής αναζήτησης στους εξελικτικούς αλγόριθμους θα βελτίωνε την ποιότητα των τελικών λύσεων, με αποτέλεσμα να προκύψουν πειράματα με κατευθυνόμενη και στοχευόμενη μετάλλαξη (mutation) [2].

1.2 Μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων

Τα προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης, όπως τα προβλήματα που περιγράφθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούν να λυθούν - βελτιστοποιηθούν χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω στο τρέχον κεφάλαιο. Η πρώτη προσέγγιση είναι με τη χρήση των ακριβών ή αλλιώς αναλυτικών αλγορίθμων (Exact algorithms). Η δεύτερη προσέγγιση εφαρμόζεται συνήθως σε πιο σύνθετα ή μεγαλύτερα προβλήματα, οδηγεί σε κοντινές στο βέλτιστο λύσεις και χαρακτηρίζεται από την χρήση των κατά προσέγγιση ή προσεγγιστικών αλγορίθμων (Approximate algorithms). Η δεύτερη προσέγγιση μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω στις ευρετικές και τις μεθευρετικές μεθόδους. Λόγω της φύσης του προβλήματος που αντιμετωπίστηκε στην εργασία αυτή και των μεθόδων που υλοποιήθηκαν προς την επίλυση του, το κεφάλαιο εστιάζει περισσότερο στις μεθευρετικές μεθόδους επίλυσης [3].

1.2.1 Ακριβείς – Αναλυτικοί αλγόριθμοι

Οι ακριβείς ή αναλυτικοί αλγόριθμοι (Exact algorithms) εγγυούνται την εύρεση, για κάθε πεπερασμένη περίπτωση μεγέθους ενός συνδυαστικού προβλήματος βελτιστοποίησης, μιας βέλτιστης λύσης σε ορισμένο χρονικό ορίζοντα. Εντούτοις, για τα χαρακτηριστικά συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως το πρόβλημα ανάθεσης εργασιών που είναι συνήθως κλάσης NP-hard, δεν υπάρχουν αλγόριθμοι που να λύνουν τα προβλήματα αυτά σε πολυωνυμικό χρόνο. Επομένως οι ακριβείς αλγόριθμοι χρειάζονται εκθετικό χρόνο υπολογισμού των λύσεων που στις περισσότερες περιπτώσεις οδηγεί σε μη πρακτικό υπολογιστικό φορτίο για τις πραγματικές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Η οικογένεια των ακριβών μεθόδων είναι αρκετά μεγάλη αλλά οι πιο κοινές μέθοδοι για τα προβλήματα προγραμματισμού και ανάθεσης εργασιών είναι η μέθοδος διακλάδωσης και οριοθέτησης (Branch and Bound), ο μικτός ακέραιος προγραμματισμός (Mixed integer programming) και οι μέθοδοι αποσύνθεσης (Decomposition methods).

<u>1.2.2 Ευρετικοί αλγόριθμοι</u>

Όπως είδαμε, η χρήση των ακριβών - αναλυτικών μεθόδων για την επίλυση σύνθετων συνδυαστικών προβλημάτων βελτιστοποίησης οδηγεί συχνά σε μη πρακτικούς υπολογιστικούς χρόνους. Το φαινόμενο αυτό έχει οδηγήσει την πλειοψηφία των ερευνητών στις προσεγγιστικές μεθόδους. Στις μεθόδους προσέγγισης, η εγγύηση για την εύρεση των βέλτιστων λύσεων θυσιάζεται προκειμένου να υπολογισθούν οι κοντινές στις βέλτιστες λύσεις σε λογικούς και πρακτικούς υπολογιστικούς χρόνους. Οι προσεγγιστικοί αυτοί αλγόριθμοι καλούνται ευρετικοί, ένα όνομα που προέρχεται από το ρήμα ευρίσκειν. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι ταξινομούνται στους κατασκευαστικούς ευρετικούς αλγόριθμους (Constructive heuristics) και στους αλγόριθμους τοπικής αναζήτησης (Local search algorithm).

Αρχικά, οι κατασκευαστικοί ευρετικοί αλγόριθμοι παράγουν τις λύσεις προσθέτοντας βαθμιαία μέρη της λύσης στην αρχικά κενή μερική λύση. Οι κατασκευαστικοί ευρετικοί αλγόριθμοι είναι εν γένει οι γρηγορότεροι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι παρόλο που σε ορισμένες εφαρμογές μπορούν να καταλήξουν σε υψηλό υπολογιστικό φορτίο. Το πλεονέκτημά τους σε υπολογιστικές χρονικές απαιτήσεις αντισταθμίζεται από τις γενικά κατώτερα ποιοτικές λύσεις συγκρινόμενες με τις τεχνικές τοπικής αναζήτησης

Οι αλγόριθμοι τοπικής αναζήτησης εκκινούν από μια αρχική λύση (που παράγεται τις περισσότερες φορές από κάποιο κατασκευαστικό ευρετικό αλγόριθμο ή τυχαία) και προσπαθούν επαναληπτικώς να αντικαταστήσουν μέρος ή ολόκληρη τη λύση με μια καλύτερη σε ένα κατάλληλα καθορισμένο σύνολο γειτονικών λύσεων. Προκειμένου να αντικατασταθούν τα μέρη μιας αρχικής λύσης, οι μέθοδοι τοπικής αναζήτησης εκτελούν μια σειρά κινήσεων - στρατηγικών που οδηγούν στο σχηματισμό νέων λύσεων στην ίδια γειτονία. Οι πιο κοινές κινήσεις - στρατηγικές είναι η 2−Opt, η −1 ανταλλαγή και οι −0 ανταλλαγή. Στο πρόβλημα προγραμματισμού εργασιών (jobshop scheduling), η στρατηγική 2−Opt αντιστρέφει ένα σύνολο εργασιών τυχαίου μήκους σε μια μηχανή ενώ η στρατηγική ανταλλαγής 1−1 ανταλλάσσει δύο εργασίες εντός της ίδιας μηχανής. Τέλος, η 1-0 στρατηγική ανταλλαγής μεταφέρει μια εργασία από την θέσης της σε μια άλλη εντός της ίδιας μηχανής. Φυσικά, ο αριθμός πιθανών κινήσεων – στρατηγικών και οι αντίστοιχες γειτονίες είναι ουσιαστικά απεριόριστες.

Το κύριο μειονέκτημα των βασικών μεθόδων τοπικής αναζήτησης είναι ότι εγκλωβίζονται εύκολα σε τοπικά βέλτιστα λόγω της μυωπικής τους φύσης. Πιο συγκεκριμένα, η τοπική αναζήτηση με τις κατάλληλες κινήσεις μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική για την έρευνα της γειτονίας μιας αρχικής λύσης αλλά δεν υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να μπορεί να οδηγήσει σε άλλες απόμακρες γειτονιές του χώρου των λύσεων όπου ενδεχομένως υπάρχει το ολικό βέλτιστο. Για την αντιμετώπιση αυτής της αδυναμίας, έχουν αναπτυχθεί οι σύγχρονες μέθοδοι τοπικής αναζήτησης (explorative local search) ενσωματώνοντας meta-στρατηγικές για την καθοδήγηση της διαδικασίας αναζήτησης. Τέτοιες μέθοδοι είναι οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο [3].

1.2.3 Μεθευρετικοί αλγόριθμοι

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, προέκυψε μια νέα οικογένεια προσεγγιστικών αλγορίθμων που έχει κυριαρχήσει στον επιστημονικό κόσμο της συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Ο νέος αυτός τύπος αλγορίθμων συνδυάζει τα βασικά χαρακτηριστικά των ευρετικών μεθόδων στα πλαίσια πιο υψηλού επιπέδου. Στόχος της νέας μεθοδολογίας είναι η αποδοτική και αποτελεσματική εξερεύνηση στο χώρο των λύσεων, καθοδηγούμενη από λογικές κινήσεις και τη γνώση της επίδρασης μιας κίνησης με αποτέλεσμα τον μη εγκλωβισμό σε τοπικά βέλτιστες λύσεις. Αυτές οι μέθοδοι καλούνται σήμερα μεθευρετικές (meta-heuristics), ένας όρος που εισήχθη αρχικά από τον Glover. Οι μεθευρετικές μέθοδοι έχουν πλεονέκτημα σε σχέση με την απλούστερη μορφή των ευρετικών μεθόδων από άποψη ευρωστίας λύσης, εντούτοις είναι συνήθως δυσκολότερο να εφαρμοστούν και να συντονιστούν δεδομένου ότι χρειάζονται πρόσθετες πληροφορίες για το πρόβλημα προς επίλυση ώστε να επιτύχουν καλά αποτελέσματα. Λόγω της υπολογιστικής πολυπλοκότητας των προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης, των μέτριων αποτελεσμάτων που αποκτιούνται με τις ευρετικές μεθόδους και των χρονικών περιορισμών για την εφαρμογή των αναλυτικών αλγορίθμων, η εφαρμογή των μεθευρετικών μεθόδων για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων είναι πλέον ένας καθιερωμένος τομέας της έρευνας.

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί των μεθευρετικών αλγορίθμων και μεθόδων. Ίσως, ο πιό λεπτομερής ορισμός δόθηκε από τον Stutzle το 1999 [4]:

«Οι μεθευρετικοί μέθοδοι είναι τυπικά στρατηγικές υψηλού επιπέδου που καθοδηγούν μία λανθάνουσα πιο συγκεκριμένη ως προς το πρόβλημα ευρετική μέθοδο, για να αυξήσουν την απόδοσή της. Ο κύριος στόχος είναι να αποφευχθούν τα μειονεκτήματα της επαναληπτικής βελτίωσης, και ιδιαίτερα της πολλαπλής καθόδου επιτρέποντας την τοπική αναζήτηση να απεγκλωβιστεί από τοπικά βέλτιστα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε επιτρέποντας βήματα σε χειρότερες λύσεις είτε παράγοντας νέες αρχικές λύσεις προς τοπική αναζήτηση με τρόπο ευφυέστερο από την απλή παροχή τυχαίων λύσεων στον αλγόριθμο αναζήτησης. Πολλές από τις μεθευρετικές μεθόδους μπορούν να ερμηνευθούν ως ειδικές δυνατότητες εισαγμένες στις απλές ευρετικές μεθόδους έτσι ώστε να παράγονται γρήγορα υψηλής ποιότητας λύσεις. Οι δυνατότητες αυτές μπορεί να είναι διάφορων μορφών όπως δυνατότητα καθόδου (descent bias) βασισμένη στην αντικειμενική συνάρτηση, δυνατότητα μνήμης (memory bias) βασισμένη στις προηγουμένως παραγόμενες λύσεις και δυνατότητα εκμάθησης (experience bias) βασισμένη στην προγενέστερη απόδοση – τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Πολλές από τις μεθευρετικές προσεγγίσεις στηρίζονται σε πιθανολογικές αποφάσεις που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της αναζήτησης. Η κύρια όμως διαφορά μεταξύ της καθαρά τυχαίας αναζήτησης και των μεθευρετικών αλγορίθμων είναι ότι η τυχαιότητα δεν χρησιμοποιείται τυφλά αλλά με ευφυή και αποτελεσματικό τρόπο.»

Βάσει του παραπάνω ορισμού, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι μεθευρετικοί μέθοδοι είναι ένας ευφυής τρόπος να ερευνηθεί ο χώρος των λύσεων ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Οι αναλυτικοί αλγόριθμοι είναι πάρα πολύ αργοί για προβλήματα ακόμη και με μικρό ή μεσαίο χώρο λύσεων και οι απλές ευρετικές μέθοδοι προγραμματίζουν τυφλά ή μυωπικά την επόμενη τους κίνηση βάσει κανόνων που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ευφυείς και λογικά καθορισμένοι. Με βάση πρόσφατα συμπεράσματα στον τομέα της έρευνας, οι αποδοτικότερες μέθοδοι για προβλήματα ανάθεσης εργασιών είναι εκείνες που ενσωματώνουν υβριδικές τεχνικές, όπως οι τεχνικές τοπικής αναζήτησης, μέσα σε μετα-στρατηγικές που υπερνικούν τον εγκλωβισμό σε τοπικά βέλτιστα μέσω της αποδοχής μη βελτιωτικών κινήσεων δηλαδή κατώτερων λύσεων. Παρόλο που η αποδοχή μη βελτιωτικών κινήσεων φαίνεται αρχικώς αντιφατική, ουσιαστικά βοηθά τους μεθευρετικούς αλγορίθμους να απεγκλωβιστούν από τοπικά βέλτιστα αφού η νέα κατώτερη λύση είναι δυνατό να βρίσκεται στην ίδια γειτονία με την ολικά βέλτιστη λύση η οποία μπορεί μετέπειτα να ευρεθεί με την χρήση μιας απλής τεχνικής τοπικής αναζήτησης.

Αναφορικά με τη στρατηγική κατεύθυνσης αναζήτησης, μπορούν να οριστούν οι στρατηγικές διαφοροποίησης και ενδυνάμωσης. Όταν μια μεθευρετική μέθοδος εφαρμόζει τη στρατηγική διαφοροποίησης, ο κύριος στόχος είναι η αποτελεσματική εξερεύνηση όλων των πιθανών γειτονιών του χώρου των λύσεων. Αντιθέτως, η στρατηγική ενδυνάμωσης εστιάζει στη χρήση της αποκτούμενης γνώσης αναζήτησης και την εξερεύνηση στενότερου υπόχωρου των λύσεων.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια ταξινόμησης των μεθευρετικών αλγορίθμων σε κατηγορίες, βάσει των διαφόρων ιδιοτήτων τους. Μεταξύ τους, το σημαντικότερο και ευρύτατα χρησιμοποιούμενο κριτήριο ταξινόμησης είναι βασισμένο στην ποσότητα λύσεων που παράγουν οι αλγόριθμοι. Πιο συγκεκριμένα, οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι μπορούν να διαιρεθούν σε αυτούς που παράγουν πληθυσμό λύσεων προς αναζήτηση (population based search) και αυτούς που παράγουν μόνο μία λύση ή λύση ενός σημείου προς αναζήτηση (single point search). Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι που βασίζονται σε πληθυσμό λύσεων συνδυάζουν πλήθος διαφορετικών λύσεων σε μια προσπάθεια να παραχθούν νέες λύσεις που μοιράζονται τις καλές αξίες των παλαιών και αναμένονται να αντιστοιχούν σε καλύτερη αποτίμηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Τέτοιες μέθοδοι είναι επαναληπτικές διαδικασίες που αντικαθιστούν βαθμιαία τις λύσεις με καλύτερες. Αντιθέτως, οι μέθοδοι αναζήτησης ενός σημείου βελτιώνουν μια συγκεκριμένη λύση ερευνώντας την γειτονία της με ένα προκαθορισμένο σύνολο κινήσεων.

Ένα άλλο σημαντικό και ευρέως χρησιμοποιούμενο κριτήριο ταξινόμησης είναι βασισμένο στη μνήμη που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναζήτησης. Η χρήση μνήμης είναι πλέον δεδομένη στις σύγχρονες μεθευρετικές μεθόδους. Η χρήση μνήμης αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό των αποτελεσματικών μεθευρετικών μεθόδων και είναι ένδειξη της γνώσης που υιοθετείται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αναζήτησης. Η χρήση μνήμης μπορεί να διαιρεθεί περαιτέρω σε βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη. Η βραχυπρόθεσμη μνήμη παρακολουθεί τις πρόσφατες κινήσεις του αλγορίθμου και προτρέπει την ανακύκλωση γύρω από συγκεκριμένες λύσεις. Αντιθέτως, με την χρήση μακροπρόθεσμης μνήμης, οι πληροφορίες αποθηκεύονται βαθμιαία και εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα στάδια του αλγορίθμου, εξαρτώμενα από την εφαρμογή και την μέθοδο. Αλγόριθμοι χωρίς την χρήση μνήμης υλοποιούνται σήμερα σπάνια για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης [3].

Επιγραμματικά, οι δημοφιλέστερες μεθευρετικές μέθοδοι για την επίλυση προβλημάτων ανάθεσης εργασιών είναι:

- Αλγόριθμοι εξελικτικού υπολογισμού (Evolutionary Computation) που εμπίπτουν κυρίως σε τρεις κύριες κατηγορίες: Γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic Algorithms) [5], Εξελικτικές στρατηγικές (Evolutionary Strategies) [6] και εξελικτικός προγραμματισμός (Evolutionary Programming) [7]. Ένας από τους νεώτερους αλγορίθμους αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος διαφορικής εξέλιξης (Differential Evolution Algorithm - DEA) των Storn και Price [8].
- Βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization - PSO) [9].
- Βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization - ACO) του Dorigo [10].
- Αναζήτηση διασποράς και επανασύνδεση μονοπατιών (Scatter Search and Path Relinking) των Glover et al [11].
- Νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks - NN) [12,13] που αποτελούν τεχνολογία προηγμένης τεχνητής νοημοσύνης που μιμείται την εκμάθηση και την διαδικασία λήψης αποφάσεων του ανθρώπινου εγκεφάλου.
- Η βασική τοπική αναζήτηση (Basic local search) όπου η γειτονία μιας λύσης εξερευνείται με ένα σύνολο κινήσεων και επιστρέφεται το τοπικό βέλτιστο.
- Εξερευνητική τοπική αναζήτηση (Explorative local search) που αντιπροσωπεύεται κυρίως από την άπληστη τυχαίοποιημένη προσαρμοστική διαδικασία αναζήτησης (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure - GRASP) των Feo και Resende [14], την μεταβλητή αναζήτηση γειτονίας (Variable Neighborhood Search - VNS) των Hansen και Mladenovic [15]

και την επαναληπτική τοπική αναζήτηση (Iterated Local Search - ILS) του Stutzle [16].

- Προσομοιωμένη ανόπτηση (Simulated Annealing - SA) που προτείνεται από τους Kirkpatrick et al [17].
- Αναζήτηση Tabu (Tabu Search - TS) του Glover [18].
- Αποδοχή ορίων (Threshold Accepting) των Dueck και Scheuer [19].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΠΙΤΗΡΗΤΩΝ

2.1 Περιγραφή - Μοντελοποίηση

Στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με την περιγραφή και επίλυση ενός αληθινού και υπαρκτού προβλήματος προγραμματισμού χρονοδιαγράμματος (Timetable problem). Το πρόβλημα αυτό αφορά την ανάθεση επιτηρητών στο πρόγραμμα εξεταστικής προπτυχιακών μαθημάτων του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το πρόβλημα αυτό είναι αρκετά επίπονο και χρονοβόρο αφού συγκαταλέγεται στα προβλήματα μεγάλης κλίμακας και αποτελείται από αρκετούς περιορισμούς. Αυτό σημαίνει ότι η αναλυτική του επίλυση χωρίς την χρήση κάποιου αλγόριθμου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, απαιτεί ημέρες εργασίας έως την εύρεση του βέλτιστου χρονοδιαγράμματος. Επίσης, λόγω της κλίμακας του προβλήματος οι ακριβείς αλγόριθμοι κρίνονται ακατάλληλοι λόγω μεγάλου φόρτου εργασίας που έχει άμεσο αντίκτυπο στον χρόνο επίλυσης.

Ειδικότερα, πρόβλημα αποτελεί η ορθή και ευφυής ανάθεση των επιτηρητών στο πρόγραμμα μαθημάτων της εξεταστικής με σκοπό να επιτευχθεί η επαρκής επιτήρηση κάθε μαθήματος αλλά και η τήρηση τουλάχιστον των σκληρών περιορισμών του προβλήματος και των μαλακών αν αυτό κρίνεται δυνατό. Ως μεταβλητή απόφασης για την μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος ορίζεται η δυαδική μεταβλητή x_{ij} για την οποία ισχύει:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο επιτηρητής i έχει ανατεθεί στο μάθημα j} \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \tag{2.1}$$

Όπως απορρέει από την (2.1), το πρόβλημα συγκαταλέγεται στην κατηγορία των διακριτών δυαδικών προβλημάτων (Discrete binary problems), οι μεταβλητές απόφασης δηλαδή παίρνουν μόνο τις τιμές 0 και 1. Η προς ελαχιστοποίηση συνάρτηση του προβλήματος είναι μία συνάρτηση τιμωρίας/ποινών (Penalty function) η οποία αποτελεί το άθροισμα των ποινών που τίθενται κατά την παραβίαση των περιορισμών του προβλήματος. Η εν λόγω συνάρτηση επιλέχθηκε για την μοντελοποίηση του προβλήματος αφού δεν υπάρχει κάποια μαθηματική συνάρτηση $f:\Re^D \rightarrow \Re$ (όπου D η διάσταση του προβλήματος) η οποία να μπορεί να περιγράψει το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται. Οι πόντοι ποινής για την παραβίαση κάθε περιορισμού καθώς και οι ίδιοι οι περιορισμοί αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι στην περίπτωση μας το πρόβλημα επιλύθηκε για συνολικά 65 επιτηρητές και 65 μαθήματα, δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν 4225 μεταβλητές απόφασης x_{ij}, γεγονός το οποίο δικαιολογεί την κατάταξη του προβλήματος στην κατηγορία προβλημάτων μεγάλης κλίμακας (Large scale problems). Μαθηματικά η συνάρτηση τιμωρίας/ποινών προς ελαχιστοποίηση εκφράζεται ως:

$$f = \sum_{p=1}^{P} penalty_p \tag{2.2}$$

όπου $penalty_p$ το σύνολο πόντων ποινής λόγω παραβίασης του περιορισμού p και P το πλήθος των περιορισμών.

Συνολικά η μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος μπορεί να αποτυπωθεί ως ακολούθως:

$\min_x f$

υπό τους περιορισμούς

1. Μη παραβίαση συνεργασίας Καθηγητή – Επιτηρητή		Μ
2. Μη παραβίαση ανάγκης σε επιτηρητές/μάθημα	$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = needs_j$	Σ
3. Μη παραβίαση πλήθους επιτηρήσεων/επιτηρητή/ημέρα	$\sum_{j=1}^{M} x_{ij} y_{jk} \le 2$	Μ
4. Μη παραβίαση προτιμήσεων επιτηρητή		Μ
5. Μη παραβίαση πλήθους επιτηρήσεων/επιτηρητή	$\sum_{j=1}^{M} x_{ij} \le sum_i$	Σ

$x_{ij} = \{0,1\} \forall i, j$

Τα σύμβολα Μ και Σ δίπλα στους περιορισμούς υποδεικνύουν σε ποια κατηγορία ανήκει κάθε περιορισμός, όπου Μ σημαίνει μαλακός και Σ σκληρός. Παρατηρείται επίσης ότι οι περιορισμοί (1) και (4) λόγω του ότι είναι ποιοτικοί δεν μπορούν να εκφραστούν μέσω μαθηματικών σχέσεων και η τήρηση τους ελέγχεται εντός του αλγορίθμου μέσω λογικών τελεστών IF. Ολικά βέλτιστη λύση του παραπάνω μαθηματικού προβλήματος αποτελεί η λύση $\boldsymbol{x}^*$ εκείνη για την οποία ισχύει $\boldsymbol{f}^*(\boldsymbol{x}^*) = 0$, δηλαδή μια λύση κατά την οποία δεν παραβιάζεται κανένας από τους παραπάνω περιορισμούς. Όπως θα δούμε και παρακάτω η βέλτιστη λύση του προβλήματος εξαρτάται από το πλήθος των μαθημάτων και των επιτηρητών καθώς και από τις ισχύουσες συνεργασίες μεταξύ επιτηρητών και καθηγητών, δηλαδή εν γένει από τους περιορισμούς του προβλήματος, και η τιμή $f^* = 0$ δεν αποτελεί πάντα εφικτή λύση του προβλήματος.

2.2 Περιορισμοί

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αναλύονται οι περιορισμοί του προβλήματος. Οι περιορισμοί στο πρόβλημα μας είναι ζωτικής σημασίας αφού η παραβίαση τους αυξάνει με πόντους ποινής την τιμή της συνάρτησης τιμωρίας f. Ειδικότερα αν κάποιος περιορισμός παραβιάζεται για μια συγκεκριμένη λύση τότε προστίθεται στην συνάρτηση τιμωρίας μία προκαθορισμένης τιμής ποινή ανάλογα με τον περιορισμό που παραβιάστηκε αλλά και το ποσοστό παραβίασης του. Ο καθορισμός διαφορετικής ποινής για κάθε περιορισμό προσδίδει διαφορετική σημαντικότητα σε κάθε περιορισμό έτσι ώστε σε περιπτώσεις όπου η μη παραβίαση κάποιου περιορισμού οδηγεί σε παραβίαση κάποιου άλλου και αντιστρόφως τότε να υπερισχύει και τελικά να μην παραβιάζεται ο σημαντικότερος εκ των δύο. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα χρονοδιαγράμματος λήφθηκαν υπόψη πέντε περιορισμοί καθένας εκ των οποίων έχει διαφορετική σημαντικότητα από τους υπόλοιπους. Η επιλογή σημαντικότητας και η κατάταξη κάθε περιορισμού στην κατηγορία των σκληρών ή μαλακών περιορισμών διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην καθοδήγηση των μεθευρετικών αλγορίθμων, που χρησιμοποιήθηκαν, προς την βέλτιστη λύση.

Ο πρώτος περιορισμός αφορά την συνεργασία μεταξύ καθηγητή και επιτηρητή. Ο περιορισμός αυτός εντάσσεται στην κατηγορία των μαλακών περιορισμών, δηλαδή προτιμάται να μην παραβιάζεται αλλά η μη παραβίαση του δεν είναι υποχρεωτική όπως στους αντίστοιχους σκληρούς περιορισμούς. Συνεργασία νοείται η επιθυμία κάποιου καθηγητή για την ανάθεση επιτήρησης στο μάθημα του σε κάποιον συγκεκριμένο επιτηρητή, συνήθως εργαστηριακούς βοηθούς, υποψήφιους διδάκτορες υπό την επίβλεψη τους κτλ. Επίσης ο περιορισμός αυτός εντάσσεται στους ποιοτικούς αφού δεν μπορεί να περιγραφθεί από μία συγκεκριμένη μαθηματική σχέση. Ο περιορισμός αυτός παραβιάζεται όταν $x_{ij} = 0$ και υπάρχει συνεργασία μεταξύ του επιτηρητή i και του καθηγητή του μαθήματος j, εξαιρουμένης της περίπτωσης κατά την οποία οι κενές θέσεις επιτήρησης του μαθήματος j έχουν καλυφθεί εξ' ολοκλήρου από συνεργάτες του καθηγητή. Για κάθε παραβίαση συνεργασίας η συνάρτηση τιμωρίας επιβαρύνεται με 20 πόντους ποινής. Για παράδειγμα αν σε ένα μάθημα υπάρχουν δύο θέσεις οι οποίες έχουν καλυφθεί από επιτηρητές μη συνεργαζόμενους με τον καθηγητή ενώ παράλληλα υπάρχουν δύο διαθέσιμοι συνεργάτες του καθηγητή, τότε οι συνάρτηση τιμωρίας επιβαρύνεται με $2 \cdot 20 = 40$ πόντους ποινής.

Ο δεύτερος περιορισμός αφορά την ανάγκη σε επιτηρητές κάθε μαθήματος. Μαθηματικά ο περιορισμός αυτός θα μπορούσε να παρασταθεί ως εξής:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = needs_j \tag{2.3}$$

όπου $needs_j$ η ανάγκη σε επιτηρητές για το μάθημα j και N το πλήθος των επιτηρητών. Ο περιορισμός αυτός κατατάσσεται στην κατηγορία των σκληρών αφού η τήρηση του είναι κρίσιμη για την επαρκή επιτήρηση των μαθημάτων. Η ανάγκη σε επιτηρητές υπολογίζεται σύμφωνα με την δυναμικότητα των αιθουσών στις οποίες εξετάζεται το κάθε μάθημα. Σε περίπτωση όπου έχουν ανατεθεί παραπάνω επιτηρητές από όσους χρειάζονται, η συνάρτηση τιμωρίας επιβαρύνεται με 8 πόντους ποινής για κάθε επιπλέον επιτηρητή ενώ αν οι επιτηρητές είναι λιγότεροι από την ανάγκη σε επιτηρητές επιβαρύνεται με 10 πόντους ποινής για κάθε λιγότερο επιτηρητή. Η διαφορά ανάμεσα στους πόντους ποινής για κάθε διαφορετική περίπτωση υποδεικνύει ότι η έλλειψη επιτηρητών είναι σημαντικότερη από το πλεόνασμα.

Ο τρίτος περιορισμός αφορά το πλήθος επιτηρήσεων για κάθε επιτηρητή ανά ημέρα. Ο περιορισμός αυτός περιγράφεται μαθηματικά ως εξής:

$$\sum_{j=1}^{M} x_{ij} y_{jk} \leq 2 \tag{2.4}$$

όπου Μ το πλήθος των μαθημάτων και y_{jk} μια δυαδική μεταβλητή με τιμή 1 αν το μάθημα j εξετάζεται την ημέρα k και 0 διαφορετικά. Ο περιορισμός αυτός κατατάσσεται στους μαλακούς περιορισμούς αφού η παραβίαση του δεν επηρεάζει άμεσα την διαδικασία επιτήρησης. Θέτοντας ένα προκαθορισμένο πλήθος επιτηρήσεων ανά ημέρα ως όριο, ο περιορισμός αυτός εξασφαλίζει ότι κάθε επιτηρητής δεν θα επιβαρύνεται με παραπάνω επιτηρήσεις ανά ημέρα. Το πλήθος αυτό είναι το ίδιο για κάθε επιτηρητή και στο συγκεκριμένο πρόβλημα έχει ορισθεί στις δύο επιτηρήσεις ανά ημέρα, όπως φαίνεται και από την ανίσωση (2.4). Αν κάποιος επιτηρητής έχει παραπάνω από δυο επιτηρήσεις εντός της ίδιας ημέρας τότε η συνάρτηση τιμωρίας επιβαρύνεται με 4 πόντους ποινής για κάθε επιπλέον επιτήρηση.

Ο τέταρτος περιορισμός αφορά την ικανοποίηση των προτιμήσεων κάθε επιτηρητή και είναι επίσης ποιοτικός. Με τον όρο προτιμήσεις νοείται ένα σύνολο ημερών και ωρών κατά τις οποίες ο επιτηρητής δεν μπορεί να παρευρίσκεται σε επιτήρηση μαθήματος λόγω άλλων υποχρεώσεων. Ο περιορισμός αυτός κατατάσσεται στην κατηγορία των μαλακών περιορισμών. Κατά την παραβίαση του η συνάρτηση τιμωρίας επιβαρύνεται με 5 πόντους ποινής.

Ο πέμπτος και τελευταίος περιορισμός αφορά την μη παραβίαση του πλήθους των υποχρεωτικών επιτηρήσεων που έχει υπολογισθεί για κάθε επιτηρητή. Κάθε επιτηρητής ανάλογα με την ιδιότητα του (υποψήφιος διδάκτωρ, προσωπικό εργαστηρίου κτλ.) υποχρεούται να πραγματοποιήσει ένα συγκεκριμένο αριθμό επιτηρήσεων. Για τον υπολογισμό των επιτηρήσεων που υποχρεούται κάθε επιτηρητής ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Υπολογίζεται το πλήθος των επιτηρητών σε κάθε κατηγορία. Αν κάποιος επιτηρητής ανήκει σε παραπάνω από μία κατηγορίες τότε υπολογίζεται σε όσες ανήκει.
2. Υπολογίζεται το πλήθος των επιτηρήσεων που χρειάζονται σύμφωνα με τα μαθήματα του προγράμματος και τις αίθουσες στις οποίες εξετάζονται αυτά.
3. Υπολογίζεται το ποσοστό επιτηρήσεων ανά κατηγορία επιτηρητή, διαιρώντας τον συντελεστή της κατηγορίας, ο οποίος είναι δεδομένος, με το άθροισμα των γινομένων των συντελεστών και του πλήθους επιτηρητών ανά κατηγορία.

4. Υπολογίζεται η αρχική κατανομή επιτηρήσεων ανά κατηγορία πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό επιτηρήσεων της κατηγορίας με το πλήθος των απαιτούμενων επιτηρήσεων.
5. Υπολογίζεται το πλήθος επιτηρήσεων ανά επιτηρητή προσθέτοντας την αρχική κατανομή της κατηγορίας στην οποία ανήκει με την τυχόν χρωστούμενες επιτηρήσεις που μπορεί να υπάρχουν από προηγούμενη εξεταστική περίοδο.

Ο περιορισμός αυτός κατατάσσεται στην κατηγορία των σκληρών περιορισμών αφού η παραβίαση του θα προκαλούσε δυσαρέσκεια στους επιτηρητές. Αν ο αριθμός των ανατεθειμένων επιτηρήσεων κάποιου επιτηρητή είναι μεγαλύτερος από το υπολογισμένο πλήθος επιτηρήσεων τότε η συνάρτηση τιμωρίας επιβαρύνεται με 8 πόντους ποινής για κάθε επιπλέον ανατεθειμένη επιτήρηση. Σε περίπτωση που κάποιος επιτηρητής δεν έχει καμία ανάθεση τότε η συνάρτηση τιμωρίας επιβαρύνεται με 80 πόντους ποινής. Ο περιορισμός αυτός, όπως είδαμε προηγουμένως, μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως εξής:

$$\sum_{j=1}^{M} x_{ij} \leq sum_i \tag{2.5}$$

όπου sum_i το πλήθος των υπολογισμένων υποχρεωτικών επιτηρήσεων για τον επιτηρητή i και M το πλήθος των μαθημάτων.

2.3 Μέθοδοι επίλυσης

Για την επίλυση του προβλήματος που περιγράφθηκε στην προηγούμενη παράγραφο χρησιμοποιήθηκαν τρεις εξελικτικοί μεθευρετικοί αλγόριθμοι οι οποίοι κάνουν χρήση πληθυσμού λύσεων για την βελτιστοποίηση του προβλήματος. Η επιλογή των εν λόγω αλγορίθμων έγινε κυρίως λόγω τις δυνατότητας τους επίλυσης προβλημάτων μεγάλης κλίμακας σε ικανοποιητικό χρονικό ορίζοντα εν αντιθέσει με τις αναλυτικές μεθόδους επίλυσης. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι:

- Ο αλγόριθμος διαφορικής εξέλιξης – Differential evolution algorithm (DE)
- Ο γενετικός αλγόριθμος – Genetic algorithm (GA)
- Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων – Particle swarm optimization algorithm (PSO)

Όσο αφορά τον χρόνο επίλυσης του προβλήματος, και οι τρεις αλγόριθμοι έχουν τις ίδιες περίπου επιδόσεις, αναφορικά όμως με τα αποτελέσματα ο γενετικός αλγόριθμος έδωσε τις καλύτερες λύσεις αφού στην βασική του μορφή είναι σχεδιασμένος να επιλύει προβλήματα δυαδικά και εν γένει ακέραια. Αντιθέτως οι αλγόριθμοι της διαφορικής εξέλιξης (DE) και της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων (PSO) παράγουν συνεχείς λύσεις και η μετατροπή των λύσεων σε δυαδικές κρίνεται απαραίτητη. Η μετατροπή αυτή επιτεύχθηκε μέσω της σιγμοειδούς συνάρτησης η οποία περιγράφεται σε παρακάτω κεφάλαιο. Η ιδιαιτερότητα αυτή των λύσεων ευθύνεται για τις ελαφρώς χειρότερες λύσεις των δύο μεθόδων σε σχέση με τις λύσεις του γενετικού αλγόριθμου.

Για την επιτάχυνση της διαδικασίας αναζήτησης της βέλτιστης λύσης ενσωματώθηκε στις μεθόδους ένας αλγόριθμος επιδιόρθωσης (repair algorithm). Ο αλγόριθμος αυτός εξασφαλίζει την μη παραβίαση των σκληρών περιορισμών του προβλήματος (περιορισμοί 2 και 5) όπως επίσης βοηθά στην όσο το δυνατό τήρηση του περιορισμού συνεργασίας (περιορισμός 1).

Στα παρακάτω υποκεφάλαια περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα κάθε αλγόριθμου για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών, καθώς και τα βήματα του αλγορίθμου αποτίμησης και επιδιόρθωσης των λύσεων.

2.3.1 Διαφορική Εξέλιξη (Differential Evolution)

Η μέθοδος διαφορικής εξέλιξης (Differential Evolution - DE) είναι μια από τις επιτυχέστερες προσεγγίσεις στον τομέα της συνεχούς βελτιστοποίησης. Η διαφορική εξέλιξη αναπτύχθηκε μέσα από τις προσπάθειες του K. Price να λύσει το πολυωνυμικό πρόβλημα Chebycheff που του παρατέθηκε από τον P. Storn [8]. Η κύρια ιδέα της μεθόδου είναι η χρήση διανυσματικών διαφορών για τη διαταραχή του διανυσματικού πληθυσμού. Αυτή η ιδέα έχει ενσωματωθεί σε έναν νέο τελεστή επανασυνδυασμού δύο ή περισσότερων λύσεων και έναν τελεστή μετάλλαξης για να κατευθύνει την αναζήτηση προς τις «καλές» λύσεις.

Όπως κάθε εξελικτικός αλγόριθμος, η DE παράγει έναν τυχαία κατανεμημένο αρχικό πληθυσμό P_0 μεγέθους k ($k \geq 4$). Κάθε άτομο είναι ένα D-διαστάσεων πραγματικό διάνυσμα x_{ij} (2.6). Κάθε στοιχείο του διανύσματος x_{ij} παράγεται τυχαία στο πεδίο $\left[x_j^{lo}, x_j^{hi}\right]$ που αντιπροσωπεύει τα κάτω και άνω όρια για κάθε μεταβλητή.

$$x_{ij} = x_j^{lo} + rand_j \cdot \left(x_j^{hi} - x_j^{lo}\right),\ i \in [1,k],\ j \in [1,D] \tag{2.6}$$

όπου $rand_j$ τυχαίος αριθμός στο πεδίο [0,1].

Αντί της χρήσης κλασσικών τελεστών διασταύρωσης που ενσωματώνονται στους εξελικτικούς αλγορίθμους και επανασυνδιάζουν μέρη των γονέων, ο τελεστής διασταύρωσης της DE είναι βασισμένος σε γραμμικό συνδυασμό στον οποίο η έννοια της απόστασης διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο, δεδομένου ενός γονέα i και τριών τυχαίων ατόμων του πληθυσμού r_1, r_2, και r_3. Η παράμετρος F αντιπροσωπεύει έναν παράγοντα κλίμακας ($F \in [0,1]$) ενώ η παράμετρος CR αντιπροσωπεύει μια πιθανότητα ($CR \in [0,1]$). Όταν $rand_j < CR$ ή $j = jrand$, όπου $rand_j$ τυχαίος αριθμός στο διάστημα [0,1] και $jrand$ τυχαίος ακέραιος αριθμός στο σύνολο {1,2…,k}, η μεταβλητή του απόγονου είναι ένας γραμμικός συνδυασμός τριών τυχαία επιλεγμένων λύσεων (2.7).

$$x_{ij} = r_3(j) + F \cdot (r_1(j) - r_2(j)) \tag{2.7}$$

Διαφορετικά, η μεταβλητή του απογόνου κληρονομεί την αξία του γονέα της. Ο όρος $j = jrand$ συμπεριλαμβάνεται για να εξασφαλίσει ότι τουλάχιστον μια μεταβλητή του απογόνου θα είναι διαφορετική από την αντίστοιχη μεταβλητή του γονέα της (για παράδειγμα, για $CR = 0$). Ο παράγοντας κλίμακας F ελέγχει την ενίσχυση της διαφοράς μεταξύ των ατόμων r_1 και r_2 και χρησιμοποιείται για να αποφευχθεί η στασιμότητα κατά την διαδικασία αναζήτησης. Δεδομένου ότι κανένα μέγεθος βήματος δεν μπορεί να ερευνήσει αποτελεσματικά όλες τις διαστάσεις, ο κανόνας μετάλλαξης στη συνεχή βελτιστοποίηση θα πρέπει να κλιμακώνει δυναμικά την κατανομή για να ταιριάξει σε κάθε μεταβλητή. Επιπλέον, ο τελεστής μετάλλαξης πρέπει να χρησιμοποιεί μια κατανομή με μηδενική μέση τιμή κατά την παραγωγή μεταλλαγμένων διανυσμάτων, και να συσχετίζει τις μεταλλάξεις για να εξασφαλίζει περιστροφική σταθερότητα (rotational invariance) [20].

Τα βήματα για εύρεση βέλτιστου με την χρήση του αλγόριθμου διαφορικής εξέλιξης στο πρόβλημα ανάθεσης επιτηρητών, που επιλύθηκε στην παρούσα διατριβή, περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

1. Διάβασε δεδομένα (Διάσταση προβλήματος D, μέγεθος πληθυσμού NP, σταθερά διαφόρισης F, σταθερά διασταύρωσης CR, αριθμό γενεών G, άνω και κάτω φράγμα U και L)
2. Δημιούργησε ένα αρχικό πληθυσμό τυχαίων λύσεων, εντός των ορισμένων φραγμάτων, και υπολόγισε για κάθε λύση την τιμή της συνάρτησης τιμωρίας.
3. Για κάθε μέλος του πληθυσμού j επέλεξε τρία διαφορετικά μεταξύ τους άτομα.
4. Για κάθε διάσταση του προβλήματος i γέννησε ένα τυχαίο αριθμό $rand_1$ στο διάστημα [0,1] και ένα τυχαίο ακέραιο $rand_2$ στο διάστημα [1,D]. Αν ο $rand_1$ είναι μικρότερος από την σταθερά διασταύρωσης CR ή ο $rand_2$ είναι ίσος με την τρέχουσα διάσταση i τότε χρησιμοποίησε τον τελεστή διασταύρωσης.
5. Έλεγξε αν η δημιουργηθείσα λύση X είναι καλύτερη από την λύση του ατόμου j και αν ναι, αντικατέστησε την και έλεγξε αν είναι και βέλτιστη. Αν είναι βέλτιστη αποθήκευσε την στην μνήμη.
6. Αν ο αριθμός γενεών είναι μικρότερος από G, προχώρησε στην δημιουργία επόμενης γενεάς επιστρέφοντας στο βήμα 3, αλλιώς τερμάτισε.

Αλγόριθμος 2.1 – Ο αλγόριθμος Διαφορικής Εξέλιξης που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών.

2.3.2 Γενετικός Αλγόριθμος (Genetic Algorithm)

Ο όρος γενετικός αλγόριθμος (Genetic Algorithm – GA) χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον John Holland, του οποίου το βιβλίο με τίτλο “Adaption in Natural and Artificial Systems” το 1975 [5] συνέβαλε στη δημιουργία ενός ακμάζοντος τομέα της έρευνας. Πολλοί άνθρωποι χρησιμοποιούν τώρα τον όρο εξελικτικός αλγόριθμος (Evolutionary Algorithm – EA), προκειμένου να καλύψουν τις εξελίξεις των τελευταίων 10 ετών. Εντούτοις, στα πλαίσια των μεθευρετικών αλγόριθμων, είναι δίκαιο να ειπωθεί ότι ο γενετικός αλγόριθμος στην αρχική του μορφή εμπεριέχει τα περισσότερα απ’ όσα χρειάζεται κάποιος να γνωρίζει.

Η επιρροή του Holland στην ανάπτυξη του θέματος των μεθευρετικών αλγορίθμων είναι πολύ σημαντική, αλλά διάφοροι άλλοι επιστήμονες με διαφορετικά επιστημονικά υπόβαθρα συμμετείχαν επίσης στην ανάπτυξη παρόμοιων ιδεών. Τη δεκαετία του '60 στην Γερμανία, οι Ingo Rechenberg και Hans-Paul Schwefel ανέπτυξαν την ιδέα του Evolutionsstrategie (στρατηγική εξέλιξης), ενώ παράλληλα οι Bremermann, Fogel και άλλοι εφάρμοσαν στις ΗΠΑ την ιδέα τους για αυτό που ονόμασαν ως εξελικτικό προγραμματισμό (Evolutionary Programming). Το κοινό κομμάτι σε αυτές τις ιδέες ήταν η χρήση των τελεστών μετάλλαξης και επιλογής, έννοιες που αποτελούν τον πυρήνα της νέο-Δαρβινικής θεωρίας για την εξέλιξη. Αν και μερικά ελπιδοφόρα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν, η θεωρία του εξελικτικού υπολογισμού δεν απογειώθηκε πραγματικά μέχρι τη δεκαετία του '80, λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων που προσέφεραν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές εκείνης της εποχής.

Το αρχικό κίνητρο για την προσέγγιση του γενετικού αλγόριθμου, ήταν μια βιολογική αναλογία. Στην εκλεκτική αναπαραγωγή των φυτών ή των ζώων, παραδείγματος χάριν, επιδιώκεται ο απόγονος να φέρει ορισμένα επιθυμητά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά που καθορίζονται σε γενετικό επίπεδο από τον τρόπο με τον οποίο συνδυάζονται τα χρωμοσώματα των γονέων. Στην περίπτωση των γενετικών αλγόριθμων, χρησιμοποιείται ένας πληθυσμός λύσεων, οι οποίες αναφέρονται συχνά στη βιβλιογραφία ως χρωμοσώματα. Ο συνδυασμός χρωμοσωμάτων για την παραγωγή νέων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τις απλές αναλογίες της γενετικής διασταύρωσης και της μετάλλαξης, και η αναζήτηση καθοδηγείται από την αποτίμηση της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε παραγόμενη λύση. Με βάση αυτήν την αξιολόγηση, μπορούν να προσδιοριστούν οι λύσεις που έχουν την υψηλότερη ικανότητα, δηλαδή αντιπροσωπεύουν τις καλύτερες, και σε αυτές δίνεται μεγαλύτερη ευκαιρία να αναπαραγάγουν νέες λύσεις [21].

Αναφορικά με τον τελεστή διασταύρωσης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή απόγονων, πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία μερικά γονίδια κάποιου γονέα αντικαθίστανται με γονίδια από άλλο γονέα και αντίστροφα. Ένα παράδειγμα διασταύρωσης ενός-σημείου είναι το ακόλουθο. Δεδομένου των γονέων p1 και p2, με το σημείο 3 να είναι το σημείο διασταύρωσης (που υποδεικνύεται από το X), ο απόγονος θα είναι το ζευγάρι λύσεων o1 και o2:

p1	1	0	1	0	0	1	0	o1	1	0	1	1	0	0	1
			X												
p2	0	1	1	1	0	0	1	o2	0	1	1	0	0	1	0

Ο άλλος κοινός τελεστής είναι η μετάλλαξη, στην οποία ένα υποσύνολο των γονιδίων ενός χρωμοσώματος επιλέγεται τυχαία και η τιμή αυτών μεταβάλλεται με συγκεκριμένο τρόπο. Στην περίπτωση δυαδικών χρωμοσωμάτων, τα επιλεγμένα γονίδια μεταβάλλουν την τιμή τους σε 0 αν ήταν 1 και αντίστροφα.. Αυτή η διαδικασία μετάλλαξης ονομάζεται bitflip. Παραδείγματος χάριν, η λύση p1 που φαίνεται παραπάνω, με μετάλλαξη στα γονίδια 3 και 5 θα γινόταν:

p1	1	0	0	0	1	1	0

Το πρότυπο για τη λειτουργία ενός γενετικού αλγορίθμου παρουσιάζεται παρακάτω:

```
Επέλεξε ένα αρχικό πληθυσμό χρωμοσωμάτων
Όσο δεν ικανοποιούνται τα κριτήρια τερματισμού
    Αν το κριτήριο διασταύρωσης ικανοποιείται τότε
        Επέλεξε γονικά χρωμοσώματα
        Επέλεξε παραμέτρους διασταύρωσης
        Κάνε διασταύρωση
    Αν το κριτήριο μετάλλαξης ικανοποιείται τότε
        Επέλεξε τα γονίδια προς μετάλλαξη
        Κάνε μετάλλαξη
    Κάνε αποτίμηση αντικειμενικής συνάρτησης
    Δημιούργησε νέο πληθυσμό
Τέλος
```

Αλγόριθμος 2.2 – Πρότυπο Γενετικού Αλγορίθμου

Ο παραπάνω αλγόριθμος τροποποιημένος κατάλληλα για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών στην εξεταστική περίοδο παρουσιάζεται παρακάτω:

1. Διάβασε δεδομένα (Διάσταση προβλήματος D, μέγεθος πληθυσμού χρωμοσωμάτων NP, μέγεθος πληθυσμού προς μετάλλαξη n_m, μέγεθος πληθυσμού προς διασταύρωση n_c, αριθμός γενεών G)
2. Δημιούργησε ένα αρχικό πληθυσμό τυχαίων δυαδικών λύσεων και υπολόγισε για κάθε λύση την τιμή της συνάρτησης τιμωρίας. Βρες και αποθήκευσε στην μνήμη την καλύτερη λύση.
3. Για κάθε μέλος του πληθυσμού χρωμοσωμάτων j, εφάρμοσε τον τελεστή επιλογής. Επέλεξε το βέλτιστο άτομο και $n_c - 1$ άτομα του τρέχοντος πληθυσμού για διασταύρωση (elite selection) και n_m άτομα για μετάλλαξη.
4. Εφάρμοσε τον τελεστή διασταύρωσης ανάμεσα στο βέλτιστο άτομο και τα υπόλοιπα τυχαία επιλεγμένα άτομα, χρησιμοποιώντας crossover ενός σημείο σε κάποιο διαφορετικό σημείο κάθε φορά.
5. Εφάρμοσε τον τελεστή μετάλλαξης στα n_m επιλεγμένα άτομα, εφαρμόζοντας τον κανόνα bitflip σε τυχαία ψηφία τα οποία θα αντικατοπτρίζουν το 15% του ατόμου.
6. Έλεγξε την τιμή των λύσεων και αποθήκευσε στην μνήμη τις NP καλύτερες λύσεις (επικράτηση των καλύτερων – survival of the fittest). Βρες την βέλτιστη εξ’ αυτών και αποθήκευσε την στην μνήμη.
7. Αν ο αριθμός γενεών είναι μικρότερος από G, προχώρησε στην δημιουργία επόμενης γενεάς επιστρέφοντας στο βήμα 3, αλλιώς τερμάτισε.

Αλγόριθμος 2.3 – Ο Γενετικός Αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών.

2.3.3 Βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (Particle Swarm Optimization)

Η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων είναι μία πιθανολογική βασισμένη σε πληθυσμό λύσεων μεθευρετική μέθοδος που εμπνέεται από τη νοημοσύνη σμηνών. Μιμείται την κοινωνική συμπεριφορά των φυσικών οργανισμών όπως τα σμήνη πουλιών και τα κοπάδια ψαριών για να βρουν μια θέση με αρκετή τροφή. Πράγματι σε τέτοιες ομάδες οργανισμών παρατηρείται μια συντονισμένη συμπεριφορά που χρησιμοποιεί τοπικές μετακινήσεις χωρίς οποιοδήποτε κεντρικό έλεγχο. Αρχικά, η μέθοδος αυτή είχε σχεδιαστεί επιτυχώς για την επίλυση συνεχών προβλημάτων βελτιστοποίησης ενώ μετέπειτα ακολούθησαν εφαρμογές της και σε άλλα είδη προβλημάτων.

Στο βασικό πρότυπο της μεθόδου [9], ένα σμήνος αποτελείται από N σωματίδια που περιφέρονται σε ένα διάστημα αναζήτησης D-διάστασης. Κάθε σωματίδιο i είναι μια υποψήφια λύση του προβλήματος, και αντιπροσωπεύεται από το διάνυσμα x_i. Κάθε σωματίδιο έχει την δική του θέση και ταχύτητα μέσα στο σμήνος, δηλαδή την δική του κατεύθυνση και βήμα. Η βελτιστοποίηση εκμεταλλεύεται τη συνεργασία μεταξύ των σωματιδίων. Η επιτυχία των σωματιδίων επηρεάζει τη συμπεριφορά των ακόλουθων τους. Κάθε μόριο ρυθμίζει διαδοχικά τη θέση του x_i ως προς το ολικό βέλτιστο σύμφωνα με τους ακόλουθους δύο παράγοντες: την καλύτερη θέση που έχει επισκεφθεί έως τώρα (p_i^{best}) συμβολισμένη ως $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, ..., p_{iD})$ και την καλύτερη θέση που έχει επισκεφθεί ολόκληρο το σμήνος (g^{best}) συμβολισμένη ως $p_g = (p_{g1}, p_{g2}, ..., p_{gD})$. Το διάνυσμα $p_g - x_i$ αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ της τρέχουσας θέσης του σωματιδίου i και της καλύτερης θέσης στην γειτονία του [20].

Όσο αφορά την γειτονία των σωματιδίων, αυτή θα πρέπει να καθοριστεί για κάθε σωματίδιο αφού προσδίδει την κοινωνική επιρροή μεταξύ των σωματιδίων. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες να καθοριστεί μια τέτοια γειτονία. Συνήθως, χρησιμοποιούνται οι δύο παρακάτω μέθοδοι:

- Μέθοδος gbest (Global Best – Ολικό Βέλτιστο): Ως γειτονία ορίζεται ολόκληρος ο πληθυσμός των σωματιδίων.

- Μέθοδος lbest (Local Best – Τοπικό Βέλτιστο): Ως γειτονία ορίζεται μια δεδομένη τοπολογία για κάθε σμήνος. Ως εκ τούτου, η γειτονιά ενός σωματιδίου είναι το σύνολο άμεσα συνδεδεμένων μεταξύ των σωματιδίων.

Σύμφωνα με την μέθοδο γειτονίας που χρησιμοποιείται, ένας ηγέτης (δηλ., το σωματίδιο με την καλύτερη θέση τοπικά ή ολικά) αντιπροσωπεύει το σωματίδιο που χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει την αναζήτηση ενός σωματιδίου προς τις καλύτερες περιοχές του χώρου των λύσεων.

Ένα σωματίδιο αποτελείται από τρία διανύσματα:

- Το x-διάνυσμα καταγράφει την τρέχουσα θέση (τοποθεσία) του σωματιδίου στο χώρο των λύσεων.
- Το p-διάνυσμα καταγράφει τη θέση της καλύτερης λύσης που έχει βρεθεί έως τώρα από το σωματίδιο.
- Το u-διάνυσμα περιέχει μια παράγωγο (κατεύθυνση) σύμφωνα με την οποία το σωματίδιο θα ταξιδέψει αν παραμείνει ανενόχλητο.
- Δύο τιμές αντικειμενικής συνάρτησης: Η x-τιμή καταγράφει την επίδοση του x-διανύσματος, και η p-τιμή καταγράφει την ικανότητα του p-διανύσματος.

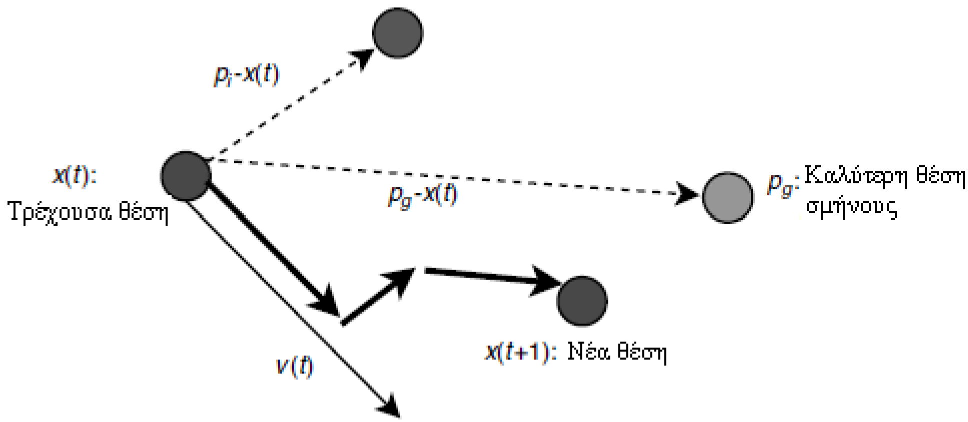
Ένα σμήνος μορίων μπορεί να αντιμετωπισθεί ως ένα σύστημα κυττάρων όπου οι μεμονωμένες αναπροσαρμογές κυττάρων (αντίστοιχα σωματίδια στην PSO) γίνονται παράλληλα. Η νέα τιμή κάθε κυττάρου εξαρτάται μόνο από την παλαιά τιμή και την γειτονία του κυττάρου, ενώ όλα τα κύτταρα ενημερώνονται ακολουθώντας τους ίδιους κανόνες. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, κάθε σωματίδιο ακολουθεί τις παρακάτω διαδικασίες:

- Ενημέρωση της ταχύτητας: Η ταχύτητα καθορίζει το ποσό θα μεταβληθεί η θέση του σωματιδίου στον χώρο των λύσεων και ορίζεται ως:

$$u_i(t) = u_i(t-1) + rand_1 \cdot C_1 \cdot (p_i - x_i(t-1)) + rand_2 \cdot C_2 \cdot (p_g - x_i(t-1)) \quad (2.8)$$

όπου $rand_1$ και $rand_2$ είναι δύο τυχαίες μεταβλητές στο διάστημα [0,1]. Οι σταθερές C_1 και C_2 αντιπροσωπεύουν τις σταθερές εκμάθησης.

Αντιπροσωπεύουν δηλαδή την έλξη που ένα σωματίδιο έχει είτε προς την καλύτερη του θέση είτε προς την καλύτερη θέση των γειτονικών του σωματιδίων. Η παράμετρος C_1 είναι η σταθερά γνωστικής εκμάθησης που αντιπροσωπεύει την έλξη που ένα σωματίδιο έχει προς την καλύτερη του θέση. Η παράμετρος C_2 είναι η σταθερά κοινωνικής εκμάθησης που αντιπροσωπεύει την έλξη που ένα σωματίδιο έχει προς την καλύτερη θέση των γειτονικών του σωματιδίων. Η ταχύτητα καθορίζει την κατεύθυνση στην οποία το σωματίδιο θα κινηθεί καθώς και την απόσταση που θα διανύσει. (*Εικόνα 2.1*).



Εικόνα 2.1 – Ενημέρωση θέσης σωματιδίου

- Ενημέρωση της θέσης: Κάθε σωματίδιο ενημερώνει τις συντεταγμένες του στο χώρο των λύσεων σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$x_i(t) = x_i(t-1) + u_i(t) \tag{2.9}$$

Κατόπιν κινείται προς τη νέα θέση.

- Ενημέρωση/Καταγραφή των καλύτερων σωματιδίων: Κάθε σωματίδιο ενημερώνει (ενδεχομένως) την καλύτερη τοπική λύση:

Αν $f(x_i) < pbest_i$ τότε $p_i = x_i$

επιπλέον, ενημερώνεται η ολικά βέλτιστη λύση του σμήνους:

$$\text{Αν } f(x_i) < gbest \text{ τότε } g_i = x_i$$

ως εκ τούτου, σε κάθε επανάληψη, κάθε σωματίδιο αλλάζει τη θέση του σύμφωνα με την εμπειρία που έχει αποκτήσει προσωπικά ή από τα γειτονικά του σωματίδια.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα για την εύρεση της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα ανάθεσης επιτηρητών με την χρήση του αλγόριθμου βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων:

1. Διάβασε δεδομένα (Διάσταση προβλήματος D, μέγεθος σμήνους σωματιδίων NP, σταθερά επιτάχυνσης c_1, σταθερά επιτάχυνσης c_2, αριθμός επαναλήψεων IT, άνω και κάτω φράγμα U και L)
2. Δημιούργησε ένα αρχικό πληθυσμό τυχαίων λύσεων, εντός των ορισμένων φραγμάτων, και υπολόγισε για κάθε λύση την τιμή της συνάρτησης τιμωρίας. Βρες και αποθήκευσε στην μνήμη την καλύτερη λύση.
3. Για κάθε σωματίδιο j, υπολόγισε την νέα ταχύτητα και την νέα θέση του σωματιδίου.
4. Έλεγξε αν η νέα θέση του σωματιδίου είναι καλύτερη από την τρέχουσα και αν ναι αντικατέστησε την τρέχουσα με την νέα θέση. Βρες την βέλτιστη εξ' αυτών και αποθήκευσε την στην μνήμη.
5. Αν ο αριθμός επαναλήψεων είναι μικρότερος από IT, επέστρεψε στο βήμα 3 αλλιώς τερμάτισε.

Αλγόριθμος 2.4 – Ο Αλγόριθμος βελτιστοποίσης σμήνους σωματιδίων που χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών.

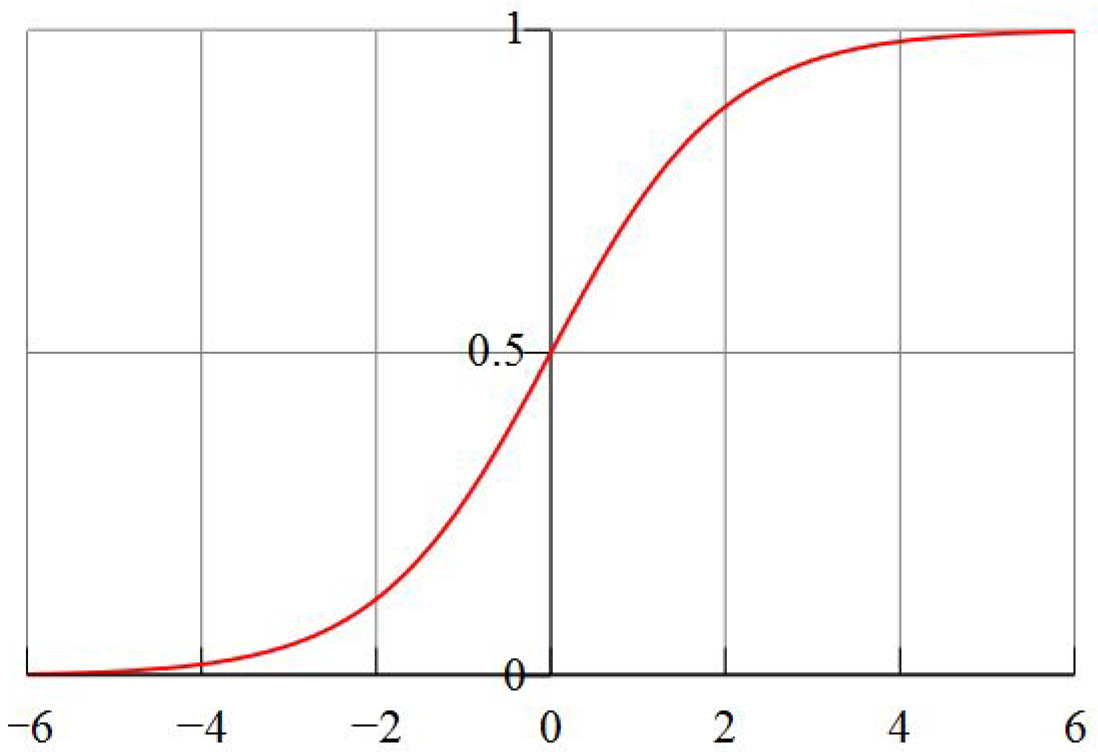
2.3.4 Αλγόριθμος αποτίμησης και επιδιόρθωσης λύσεων (Evaluation & Repair Algorithm)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι αλγόριθμοι της διαφορικής εξέλιξης και της βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων παράγουν λύσεις αποτελούμενες από συνέχεις τιμές οι οποίες απαιτούν μετατροπή αυτών σε δυαδικές. Η μετατροπή αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση της σιγμοειδούς συνάρτησης *(Εικόνα 2.2)*:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{2.10}$$

Η σιγμοειδής συνάρτηση δέχεται σαν όρισμα συνεχείς τιμές στο πεδίο $[-\infty,+\infty]$ και επιστρέφει συνεχείς τιμές στο πεδίο $[0,1]$. Για το λόγο αυτό για μετατροπή από συνεχείς σε δυαδικές τιμές χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη τροποποιημένη σιγμοειδής συνάρτηση (2.11):

$$f(x) = round\left(\frac{1}{1+e^{-x}}\right) \tag{2.11}$$



Εικόνα 2.2 – Η σιγμοειδής συνάρτηση

Η τροποποιημένη συνάρτηση (2.11) δέχεται σαν όρισμα συνεχείς τιμές στο πεδίο $\left[-\infty,+\infty\right]$ και επιστρέφει την τιμή 0 αν το όρισμα είναι αρνητικό ή την τιμή 1 αν το όρισμα είναι 0 ή θετικό. Με τον τρόπο αυτό οι συνεχείς τιμές που παράγονται από τους προαναφερόμενους αλγόριθμους, μετατρέπονται σε δυαδική λύση.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο §2.1 η συνάρτηση προς ελαχιστοποίηση στο πρόβλημα μας αποτελεί μια συνάρτηση τιμωρίας-ποινών. Πριν την αποτίμηση της συνάρτησης αυτής εφαρμόζεται ό αλγόριθμος επιδιόρθωσης της λύσης ο οποίος βοηθά καταλυτικά τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης, που αναφέραμε στα παραπάνω κεφάλαια, στην εύρεση ενός βέλτιστου χρονοδιαγράμματος. Ο αλγόριθμος αυτός επεμβαίνει δραστικά, τροποποιώντας την λύση έτσι ώστε να μην παραβιάζονται κάποιοι από τους περιορισμούς. Στην περίπτωση μας η λύση επιδιορθώνεται έτσι ώστε να μην παραβιάζονται ποτέ οι περιορισμοί 2 και 5, που αποτελούν τους σκληρούς περιορισμούς, και όσο το δυνατόν για λιγότερους επιτηρητές ο περιορισμός 1. Η επέμβαση αυτή στην λύση καθοδηγεί τις μεθευρετικές μεθόδους γρηγορότερα προς τις βέλτιστες λύσεις. Αναλυτικότερα ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης επεμβαίνει στην λύση ώστε:

- Περιορισμός 2: Εξασφαλίζεται ότι η ανάγκη κάθε μαθήματος σε επιτηρητές δεν παραβιάζεται. Ειδικότερα ο αλγόριθμος ελέγχει την εξής συνθήκη:

$$\sum_{j=1}^{M} needs_j \leq \sum_{i=1}^{N} sum_i \tag{2.12}$$

  Αν η συνθήκη (2.12) ικανοποιείται, δηλαδή υπάρχει επαρκές πλήθος επιτηρήσεων για να καλυφθούν οι ανάγκες των μαθημάτων, ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης φροντίζει ώστε ο περιορισμός να μην παραβιάζεται είτε προσθέτοντας τυχαία επιλεγμένους επιτηρητές στα μαθήματα που παρατηρείται έλλειψη, είτε αφαιρώντας τυχαία επιλεγμένους επιτηρητές από μαθήματα στα οποία υπάρχει πλεόνασμα ανατεθειμένων επιτηρητών. Αν δηλαδή η συνθήκη ικανοποιείται, ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης επεμβαίνει έτσι ώστε κάθε μάθημα να έχει ακριβώς το πλήθος των απαιτούμενων επιτηρητών. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου η συνθήκη (2.12) δηλαδή δεν ικανοποιείται, κρίνεται έλλειψη επιτηρητών και ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης φροντίζει να αναθέσει όλες τις διαθέσιμες επιτηρήσεις στα μαθήματα. Η επιδιόρθωση αυτή θα ενεργοποιεί μεν τον περιορισμό, αλλά θα αποτελεί την βέλτιστη περίπτωση για την ισχύουσα κατάσταση διαθέσιμων επιτηρητών.

- Περιορισμός 5: Ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης εξασφαλίζει ότι σε κάθε επιτηρητή θα ανατεθεί το πολύ το πλήθος επιτηρήσεων που υποχρεούται. Σε αυτή την περίπτωση ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης επεμβαίνει μόνο στην περίπτωση ανάθεσης περισσότερων επιτηρήσεων από τις υπολογισμένες υποχρεωτικές επιτηρήσεις για κάποιον επιτηρητή.
- Περιορισμός 1: Ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης μεταβάλλει την λύση έτσι ώστε να ικανοποιείται όσο το δυνατό περισσότερο ο περιορισμός της συνεργασίας. Λόγω του ότι ο περιορισμός της συνεργασίας είναι μαλακός, επιδιόρθωση της λύσης προς ικανοποίηση του δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να οδηγήσει σε παραβίαση των σκληρών περιορισμών 2 και 5. Το παραπάνω είναι ο λόγος που ο αλγόριθμος επιδιόρθωσης δεν μπορεί να εγγυηθεί την μη παραβίαση του περιορισμού αυτού.

Αφού η λύση επιδιορθωθεί, ο αλγόριθμος προχωρά στην αποτίμηση της επιδιορθωμένης λύσης χρεώνοντας την συνάρτηση τιμωρίας με πόντους ποινής ανάλογα με τις παραβιάσεις των περιορισμών. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η επιδιορθωμένη λύση επιστρέφει στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης με σκοπό ο αλγόριθμος να συνεχίσει βάσει αυτής και τελικώς να συγκλίνει γρηγορότερα σε ένα βέλτιστο χρονοδιάγραμμα. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα του αλγόριθμου αποτίμησης-επιδιόρθωσης της λύσης:

1. Διάβασε την λύση προς αποτίμηση, X.
2. Αν η λύση προέρχεται από DE ή PSO τότε μετέτρεψε την σε δυαδική μέσω της σιγμοειδούς αλλιώς προχώρησε στο βήμα 3.
3. Επιδιόρθωσε την λύση
4. Έλεγξε τους περιορισμούς και υπολόγισε την συνάρτηση τιμωρίας
5. Επέστρεψε στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης την επιδιορθωμένη λύση X και την τιμή της συνάρτησης τιμωρίας.

Αλγόριθμος 2.5 – Ο αλγόριθμος αποτίμησης – επιδιόρθωσης της λύσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

3.1 Γενικά

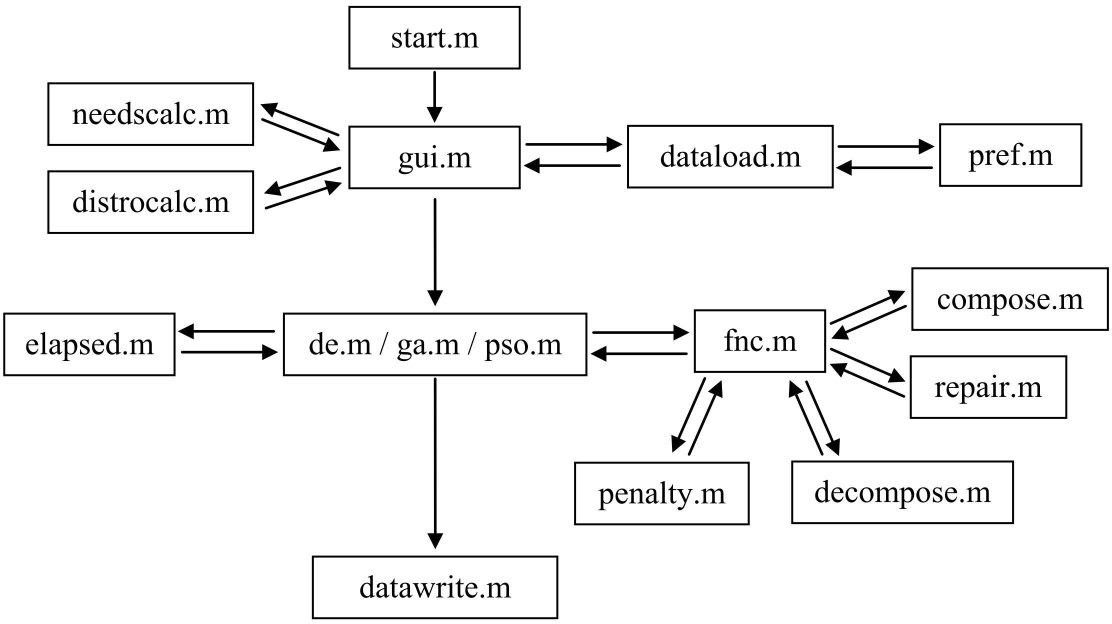
Η υλοποίηση των αλγορίθμων για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών έγινε με την χρήση της μαθηματικής γλώσσας προγραμματισμού Matlab και ειδικότερα της έκδοσης 7.9.0 (R2009b). Το Matlab είναι ένα αριθμητικό υπολογιστικό περιβάλλον και τέταρτης γενεάς γλώσσα προγραμματισμού. Ανεπτυγμένο από την εταιρία MathWorks [22], το Matlab επιτρέπει το χειρισμό πινάκων, τη χάραξη διαγραμμάτων συναρτήσεων και γενικά αριθμητικών δεδομένων, την εφαρμογή αλγορίθμων, τη δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος, και τη διασύνδεση με προγράμματα και άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Σύμφωνα με στατιστικά, το 2004 το Matlab χρησιμοποιήθηκε από παραπάνω από ένα εκατομμύριο χρήστες ανά τον κόσμο σε εφαρμογές βιομηχανίας ή ακαδημαϊκής έρευνας.

Το πρόγραμμα αποτελείται από γραφικό περιβάλλον, σχεδιασμένο με το πακέτο GUIDE του Matlab, το οποίο παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα καθορισμού διαφόρων παραμέτρων που αφορούν τους αλγόριθμους καθώς και πληροφορίες για την πορεία της βελτιστοποίησης. Το πρόγραμμα αποτελείται συνολικά από 16 αρχεία συναρτήσεων-υπορουτίνων (mfiles) και 1 αρχείο σχεδίου (figure) το οποίο είναι το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος. Πριν την έναρξη της βελτιστοποίησης ζητείται από τον χρήστη η εισαγωγή δύο αρχείων μορφής Microsoft Office Excel Worksheet (.xls, .xlsx). Το πρώτο αρχείο αποτελεί την λίστα των διαθέσιμων επιτηρητών, την λίστα των αιθουσών όπως και άλλες πληροφορίες οι οποίες παρουσιάζονται σε παρακάτω κεφάλαιο αναλυτικά. Το δεύτερο αρχείο αποτελεί το πρόγραμμα των μαθημάτων της εξεταστικής στο οποίο επιθυμούμε να γίνει η ανάθεση των επιτηρητών. Επίσης ο χρήστης καλείται να επιλέξει την τοποθεσία στην οποία θα σωθεί το αρχείο των αποτελεσμάτων καθώς και το όνομα που θα φέρει αυτό.

Τέλος το σύνολο των αρχείων συνάρτησης καθώς και το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος, μετατράπηκαν σε ένα εκτελέσιμο αρχείο (.exe) για περιβάλλον Microsoft Windows. Το αρχείο δεν αξιοποιεί την ύπαρξη περισσότερων του ενός πυρήνων επεξεργαστή, λόγω των συναρτήσεων και βιβλιοθηκών του Matlab που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ επίσης δεν επιτρέπει την εκτέλεση δύο η παραπάνω ταυτόχρονα βελτιστοποιήσεων (multiple threads). Για την εκτέλεση του αρχείου είναι απαραίτητη η εγκατάσταση των βιβλιοθηκών του Matlab.

3.2 Διάγραμμα ροής προγράμματος

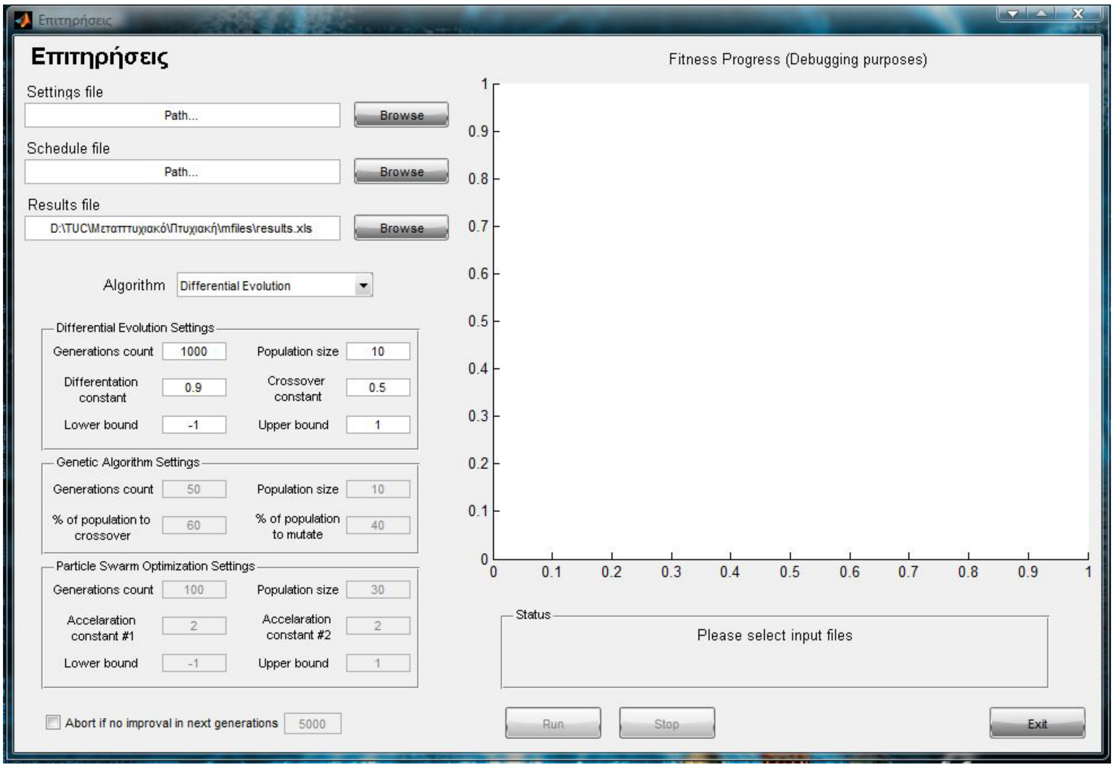
Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα η υλοποίηση των μεθόδων αποτελείται συνολικά από 16 αρχεία συναρτήσεων τα οποία συνδέονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέχρι το πέρας της βελτιστοποίησης. Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά το διάγραμμα ροής μεταξύ των αρχείων συναρτήσεων του προγράμματος:



Κατά την εκτέλεση του προγράμματος καλείται αρχικά, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα ροής παραπάνω, η συνάρτηση start.m. Η συνάρτηση αυτή προετοιμάζει το περιβάλλον στο οποίο θα τρέξει η εφαρμογή και στην συνέχεια καλεί την συνάρτηση gui.m η οποία αποτελεί τον αλγόριθμο του γραφικού περιβάλλοντος του προγράμματος. Μέσω της gui.m καλείται η συνάρτηση dataload.m δύο φορές για την φόρτωση των δεδομένων του προβλήματος. Ο λόγος που καλείται δύο φορές είναι ότι υπάρχουν δύο διαφορετικά αρχεία δεδομένων. Το πρώτο αρχείο περιέχει τους διαθέσιμους επιτηρητές, τις αίθουσες και άλλες απαραίτητες παραμέτρους και το δεύτερο το πρόγραμμα της εξεταστικής περιόδου. Αμέσως μετά την φόρτωση των απαραίτητων δεδομένων καλούνται αυτόματα οι συναρτήσεις needscalc.m και distrocalc.m οι οποίες υπολογίζουν τις ανάγκες σε επιτηρήσεις για κάθε μάθημα και το πλήθος των επιτηρήσεων που υποχρεούται κάθε επιτηρητής αντίστοιχα. Αφού φορτωθούν και αναλυθούν τα απαραίτητα δεδομένα μέσω των διαδικασιών που προαναφέρθηκαν, ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει μέσω της συνάρτησης gui.m την βελτιστοποίηση καλώντας μια από τις συναρτήσεις de.m, ga.m ή pso.m ανάλογα με την μέθοδο που έχει επιλέξει. Οι συναρτήσεις βελτιστοποίησης de.m, ga.m και pso.m εμπεριέχουν τα βήματα των αλγορίθμων που αναφέρθηκαν αναλυτικά στο §2.3. Η συνάρτηση fnc.m καλείται κάθε φορά που είναι απαραίτητη η αποτίμηση κάποιας παραγμένης λύσης από τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Με το κάλεσμα της fnc.m αρχικά γίνεται η μετατροπή της λύσης από διάνυσμα σε πίνακα δύο διαστάσεων, μέσω της συνάρτησης compose.m, όπου οι γραμμές αντιπροσωπεύουν του επιτηρητές και οι στήλες τα μαθήματα του προγράμματος της εξεταστικής. Η μετατροπή αυτή γίνεται χάριν προγραμματιστικής ευκολίας στις επόμενες συναρτήσεις που καλούνται από την fnc.m. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η compose.m αναλαμβάνει την μετατροπή των λύσεων από συνεχείς σε δυαδικές μέσω της σιγμοειδούς συνάρτησης (2.11) που αναφέρεται στο §2.3.4. Στην συνέχεια η fnc.m καλεί την συνάρτηση επιδιόρθωσης της λύσης, repair.m, και υπολογίζει την συνάρτηση τιμωρίας μέσω της συνάρτησης penalty.m. Η τελευταία κατά σειρά συνάρτηση που καλείται από την fnc.m είναι η decompose.m η οποία στην ουσία έχει το αντίστροφο αποτέλεσμα από την compose.m, μετατρέπει δηλαδή την λύση από πίνακα δύο διαστάσεων σε διάνυσμα και μετατρέπει τις δυαδικές τιμές της λύσης σε συνεχείς για τους αλγόριθμους βελτιστοποίησης de.m και pso.m. Η μετατροπή αυτή κρίνεται απαραίτητη διότι οι διορθωμένες λύσεις επιστρέφουν από την fnc.m στις συναρτήσεις βελτιστοποίησης καθοδηγώντας τις μεθόδους επίλυσης κοντά σε βέλτιστες λύσεις. Μετά το πέρας της επίλυσης, οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης καλούν την συνάρτηση datawrite.m η οποία αναλαμβάνει να τυπώσει σε αρχείο μορφής Microsoft Office Excel Worksheet (.xls, .xlsx) τα αποτελέσματα της επίλυσης και τελικώς την συνάρτηση elapsed.m η οποία επιστρέφει τον ολικό χρόνο που έχει διανυθεί για την επίλυση του προβλήματος.

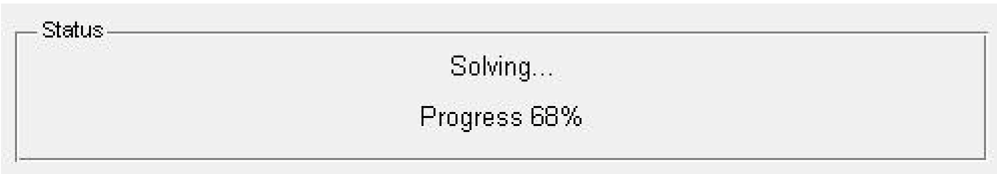
3.3 Το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος

Όπως προαναφέρθηκε, το πρόγραμμα αποτελείται από γραφικό περιβάλλον το οποίο είναι ιδιαίτερα φιλικό στον χρήστη και δίνει την δυνατότητα ρύθμισης όλων των ζωτικών, για τους αλγόριθμους, παραμέτρων χωρίς να γεννάται η ανάγκη παρέμβασης στον προγραμματιστικό κώδικα. Επίσης το γραφικό περιβάλλον παρέχει πληροφορίες για την πορεία της επίλυσης του προβλήματος όπως το ποσοστό ολοκλήρωσης της διαδικασίας βελτιστοποίησης αλλά και το γράφημα της τιμωρίας συνάρτησης το οποίο σχεδιάζεται ζωντανά κατά την διαδικασία βελτιστοποίησης. Το σχέδιο του γραφικού περιβάλλοντος είναι το αρχείο gui.fig ενώ το αρχείο συνάρτησης gui.m αποτελεί το προγραμματιστικό κομμάτι κώδικα το οποίο ευθύνεται εξ' ολοκλήρου για την λειτουργία του γραφικού περιβάλλοντος. Παρακάτω *(Εικόνα 3.1)* απεικονίζεται το γραφικό περιβάλλον κατά την έναρξη του προγράμματος.

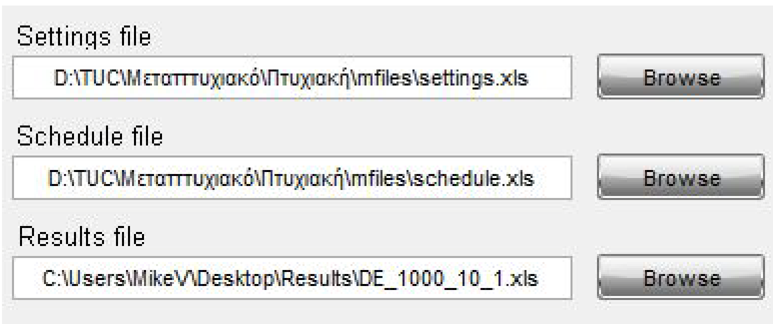


Εικόνα 3.1 – Γραφικό περιβάλλον προγράμματος κατά την έναρξη

Στην κάτω δεξιά πλευρά του γραφικού περιβάλλοντος υπάρχει το πλαίσιο κατάστασης στο οποίο αναγράφονται πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του προγράμματος *(Εικόνα 3.2)*. Οι πληροφορίες αυτές επίσης συμβουλεύουν τον χρήστη σχετικά με τα αρχεία εισόδου που χρειάζεται να φορτωθούν έτσι ώστε το πρόγραμμα να είναι έτοιμο και να μπορεί να ξεκινήσει η επίλυση του προβλήματος. Με την έναρξη του προγράμματος ο χρήστης καλείται να φορτώσει τα δύο αρχεία εισόδου, όπως φαίνεται στο πάνω αριστερό μέρος της εικόνας. Τα αρχεία μπορούν να φορτωθούν είτε αναζητώντας το κάθε αρχείο και φορτώνοντας το με το πάτημα του κουμπιού “Browse” είτε εισάγοντας το όνομα του αρχείου και τη διαδρομή (path) στην οποία βρίσκεται μέσα στο αντίστοιχο πεδίο κειμένου (text box) *(Εικόνα 3.3)*. Μετά την φόρτωση των δύο αρχείων εισόδου ενεργοποιείται το κουμπί έναρξης, Run, και ο χρήστης ειδοποιείται μέσω του πλαισίου κατάστασης ότι μπορεί να γίνει η εκκίνηση της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Όσο αφορά το αρχείο αποτελεσμάτων ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το όνομα και την διαδρομή της αρεσκείας του ή να αφήσει την προεπιλεγμένη κατάσταση η οποία θα αποθηκεύσει το αρχείο αποτελεσμάτων στην διαδρομή που έχει εκκινηθεί το πρόγραμμα.

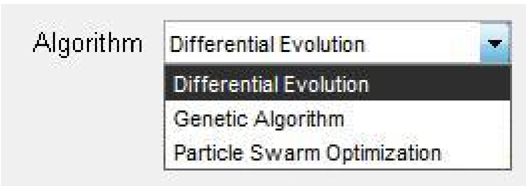


Εικόνα 3.2 - Πλαίσιο κατάστασης (Status box)

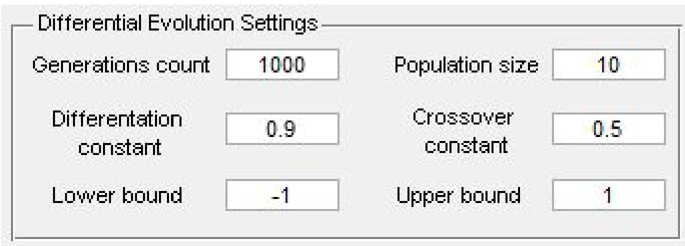


Εικόνα 4.3 – Φόρτωση αρχείων εισόδου-δεδομένων και καθορισμός αρχείου εξόδου-αποτελεσμάτων

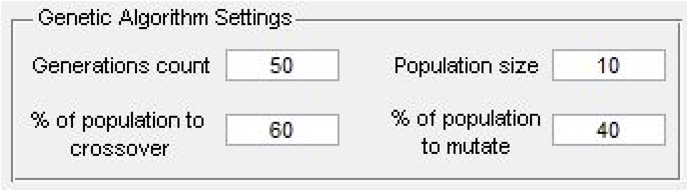
Επίσης ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αλγόριθμο που θα επιλύσει το πρόβλημα ανάθεσης των επιτηρητών, πατώντας στο αντίστοιχο μενού επιλογών (drop down menu) *(Εικόνα 3.4)*. Ανάλογα με τον αλγόριθμο που επιλέγεται, ενεργοποιούνται οι αντίστοιχες ρυθμίσεις παραμέτρων του αλγόριθμου. Για τον αλγόριθμο διαφορικής εξέλιξης μπορούν να επιλεχθούν: το πλήθος επαναλήψεων, το μέγεθος του πληθυσμού των λύσεων, οι σταθερές διαφόρισης και διασταύρωσης καθώς και τα άνω και κάτω όρια στα οποία μπορούν να κινηθούν οι λύσεις *(Εικόνα 3.5)*. Αντίστοιχα, για τον γενετικό αλγόριθμο μπορούν να επιλεχθούν: το πλήθος επαναλήψεων, το μέγεθος του πληθυσμού των λύσεων και τα ποσοστά διασταύρωσης και μετάλλαξης επί του πληθυσμού *(Εικόνα 3.6)*. Τέλος για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το πλήθος των επαναλήψεων, το μέγεθος του πληθυσμού των λύσεων, τις δύο σταθερές επιτάχυνσης και τα άνω και κάτω όρια της αρχικής λύσης *(Εικόνα 3.7)*. Για όλες τις παραπάνω ρυθμίσεις υπάρχουν προκαθορισμένες τιμές για τις οποίες οι μέθοδοι καταλήγουν σε βέλτιστες λύσεις. Ο χρήστης μπορεί επίσης να επιλέξει τον αυτόματο τερματισμό του αλγόριθμου αν αυτός δεν βελτιώσει την τιμή της συνάρτησης τιμωρίας εντός ορισμένου αριθμού συνεχόμενων επαναλήψεων *(Εικόνα 3.8)*.



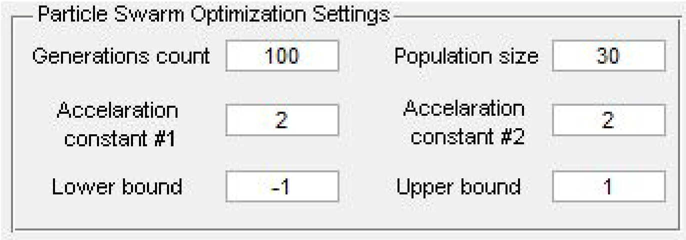
Εικόνα 5.4 – Μενού επιλογής αλγορίθμου



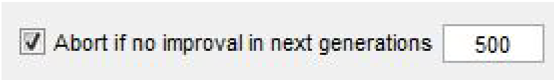
Εικόνα 6.5 – Διαθέσιμες ρυθμίσεις αλγόριθμου DE



Εικόνα 7.6 – Διαθέσιμες ρυθμίσεις αλγόριθμου GA

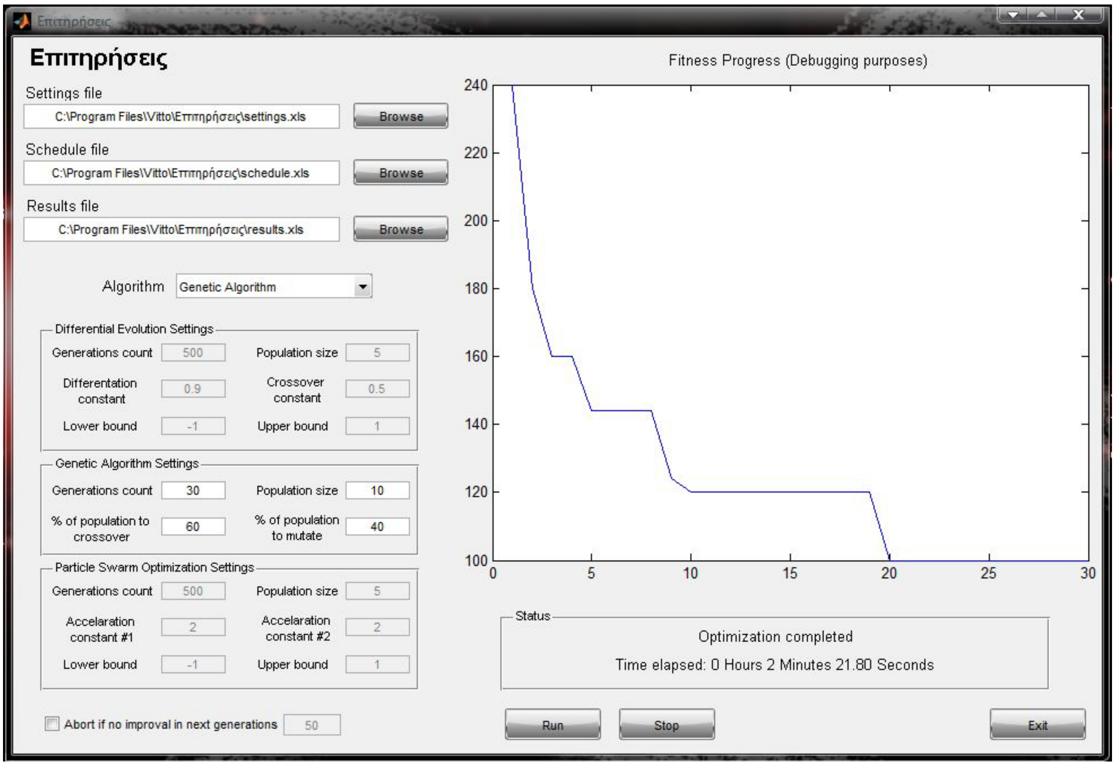


Εικόνα 8.7 – Διαθέσιμες ρυθμίσεις αλγόριθμου PSO



Εικόνα 9.8 – Αυτόματος τερματισμός αλγόριθμου

Αφού έχουν γίνει όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις από τον χρήστη, η επίλυση μπορεί να ξεκινήσει πατώντας το κουμπί Run. Επίσης παρέχεται και το κουμπί Stop με το οποίο ο χρήστης μπορεί να τερματίσει την επίλυση του προβλήματος ανά πάσα στιγμή. Με το πέρας της επίλυσης, τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο επιλεγμένο αρχείο αποτελεσμάτων. Τέλος το διάγραμμα που φαίνεται στην πάνω δεξιά μεριά του γραφικού περιβάλλοντος, απεικονίζει ζωντανά την εξέλιξη της πορείας της συνάρτησης τιμωρίας σε σχέση με τον αριθμό επαναλήψεων. Στην παρακάτω εικόνα *(Εικόνα 3.9)* παρουσιάζεται η κατάσταση του γραφικού περιβάλλοντος μετά το πέρας την επίλυσης του προβλήματος. Όπως παρατηρούμε το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος μας ενημερώνει ότι η επίλυση έχει ολοκληρωθεί και αναγράφει τον συνολικό χρόνο που διανύθηκε για την επίλυση του προβλήματος. Επίσης απεικονίζεται το γράφημα της τιμής της συνάρτησης τιμωρίας σε σχέση με τις επαναλήψεις του αλγόριθμου, η οποία σχεδιάστηκε ζωντανά κατά την επίλυση του προβλήματος. Στην συνέχεια ο χρήστης μπορεί είτε να λύσει πάλι το πρόβλημα μεταβάλλοντας οποιαδήποτε από τις ρυθμίσεις του προγράμματος όπως τον αλγόριθμο επίλυσης ή τα αρχεία εισόδου, είτε να κλείσει το πρόγραμμα πατώντας το κουμπί εξόδου, Exit.



Εικόνα 3.9 – Γραφικό περιβάλλον προγράμματος μετά το πέρας της επίλυσης του προβλήματος

3.4 Αρχεία εισόδου - εξόδου

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται η δομή των αρχείων εισόδου που φέρουν τα δεδομένα για την επίλυση του προβλήματος και η δομή του αρχείου εξόδου. Για την επίλυση του προβλήματος είναι αναγκαία η εισαγωγή στο πρόγραμμα χρήσιμων δεδομένων και πληροφοριών. Τα δεδομένα αυτά βρίσκονται εισάγονται με την μορφή αρχείων Microsoft Office Excel Worksheet (.xls, .xlsx) και είναι συνολικά δύο.

Το πρώτο αρχείο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τους επιτηρητές, την κατηγορία που ανήκουν, τις αίθουσες που είναι διαθέσιμες κατά την εξεταστική περίοδο και πληροφορίες σχετικά με τους επιτηρητές. Πιο συγκεκριμένα το αρχείο αυτό αποτελείται από πέντε τμήματα. Το πρώτο τμήμα αποτελείται από την λίστα των διαθέσιμων αιθουσών και τον αριθμό δυναμικότητας τους, δηλαδή το πλήθος επιτηρητών που χρειάζονται. Οι πληροφορίες αυτές είναι χρήσιμες για τον υπολογισμό του πλήθους των επιτηρητών που χρειάζεται κάθε μάθημα της εξεταστικής περιόδου βάσει των αιθουσών στις οποίες έχει προγραμματιστεί να εξετασθεί. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται μέσω του αρχείου συνάρτησης needscalc.m. Το δεύτερο τμήμα του αρχείου περιέχει τις κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι επιτηρητές και το ποσοστό επιτηρήσεων που αντιστοιχεί σε κάθε μια από αυτές. Το τρίτο τμήμα του αρχείου περιέχει την λίστα των διαθέσιμων επιτηρητών. Για κάθε επιτηρητή αναγράφεται το ονοματεπώνυμο, η κατηγορία ή οι κατηγορίες στις οποίες ανήκει και το πλήθος των επιτηρήσεων που χρωστούνται στον καθένα από προηγούμενες εξεταστικές περιόδους. Το δεύτερο και το τρίτο τμήμα χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του πλήθους των υποχρεωτικών επιτηρήσεων για κάθε επιτηρητή μέσω του αρχείου συνάρτησης distrocalc.m. Το τέταρτο τμήμα του αρχείου περιέχει την μήτρα συνεργασιών μεταξύ των επιτηρητών και των καθηγητών. Η μήτρα αυτή είναι ουσιαστικά ένας πίνακας στου οποίου τις γραμμές βρίσκονται τα ονόματα των επιτηρητών και στις στήλες τα ονόματα των καθηγητών. Η συνεργασία μεταξύ επιτηρητή και καθηγητή συμβολίζεται με “Χ” ενώ η μη συνεργασία με κενό κελί του πίνακα. Ο πίνακας αυτός χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα για να ελεγχθεί ο περιορισμός συνεργασίας (περιορισμός 1). Στο πέμπτο και τελευταίο τμήμα του πίνακα υπάρχει ένα ημερολόγιο που αποτελείται από τις ημέρες και τις ώρες εξέτασης των μαθημάτων. Το ημερολόγιο αυτό συμπληρώνεται με το ονοματεπώνυμο κάποιου επιτηρητή σε κάποια συγκεκριμένα ώρα και ημέρα όπου δεν θα μπορεί να παρευρίσκεται για επιτήρηση λόγω άλλων υποχρεώσεων. Το τμήμα αυτό χρησιμοποιείται στον έλεγχο του περιορισμού προτιμήσεων των επιτηρητών (περιορισμός 4).

Το δεύτερο αρχείο δεδομένων περιέχει το ημερολόγιο της εξεταστικής περιόδου. Στην ουσία πρόκειται για έναν πίνακα στου οποίου τις γραμμές αναγράφονται οι ημέρες και στις στήλες οι ώρες εξέτασης των μαθημάτων. Στα ενδιάμεσα κελιά αναγράφονται τα μαθήματα της εξεταστικής. Κάθε κελί μαθήματος αναγράφει το όνομα του μαθήματος, τις αίθουσες στις οποίες εξετάζεται καθώς και το όνομα του διδάσκοντος καθηγητή.

Όσο αφορά το αρχείο αποτελεσμάτων, πρόκειται επίσης για ένα αρχείο μορφής Microsoft Office Excel Worksheet (.xls, .xlsx) το οποίο αποτελείται από συνολικά από έξι τμήματα. Στο πρώτο τμήμα αναγράφονται αναλυτικά στατιστικά που σχετίζονται με τους περιορισμούς του προβλήματος. Για κάθε περιορισμό αναγράφεται το πλήθος των φορών που παραβιάστηκε ο κάθε περιορισμός. Επίσης αναγράφεται το συνολικό πλήθος παραβιάσεων και ο αριθμός των πόντων ποινής που αντιστοιχούν σε αυτές. Τέλος αναγράφεται το πλήθος των επιτηρήσεων που έχουν ανατεθεί για όλο το πρόγραμμα της εξεταστικής. Το δεύτερο τμήμα περιέχει την μήτρα των μεταβλητών απόφασης x_{ij}. Το τρίτο τμήμα περιέχει το πλήθος των υπολογισμένων υποχρεωτικών επιτηρήσεων για κάθε επιτηρητή καθώς και το πλήθος των επιτηρήσεων που τελικώς του έχουν ανατεθεί. Το τέταρτο τμήμα περιέχει την υπολογισμένη ανάγκη σε επιτηρητές για κάθε μάθημα και το πλήθος των επιτηρητών που τελικώς έχει ανατεθεί σε κάθε ένα από αυτά. Τέλος το πέμπτο τμήμα περιέχει το πρόγραμμα επιτηρήσεων για κάθε ένα επιτηρητή ενώ το έκτο και τελευταίο τμήμα το πρόγραμμα επιτηρητών για κάθε μάθημα. Τα δύο τελευταία τμήματα αποτελούν ουσιαστικά μια μεταφρασμένη αποτύπωση της μήτρας των λύσεων που περιέχεται στο δεύτερο τμήμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Γενικά

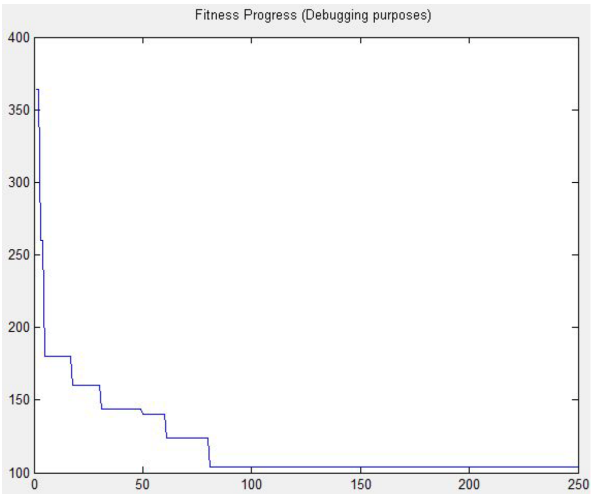
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα από την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών στο πρόγραμμα μαθημάτων της εξεταστικής περιόδου με την χρήση του προγράμματος που υλοποιήθηκε. Το πρόβλημα που επιλύθηκε απαρτίζεται από πραγματικά δεδομένα όσο αφορά τους διαθέσιμους επιτηρητές αλλά και το πρόγραμμα της εξεταστικής περιόδου. Χάριν τήρησης του προσωπικού απορρήτου τα δεδομένα αυτά δεν αναφέρονται στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Ειδικότερα το πρόβλημα αποτελείται από 65 μαθήματα τα οποία σύμφωνα με τις αίθουσες στις οποίες εξετάζονται έχουν ανάγκη συνολικά από 270 επιτηρήσεις. Το πλήθος των επιτηρητών είναι 65 ενώ οι συνολικά επιτηρήσεις που υποχρεούνται να έχουν είναι 291. Το παραπάνω υποδεικνύει ότι υπάρχει πλεόνασμα το οποίο σημαίνει αφ’ ενός ότι θα ικανοποιείται πάντοτε ο περιορισμός που αφορά τις ανάγκες για επιτηρητές ανά μάθημα (περιορισμός 2) και αφ’ ετέρου ότι κάποιοι εκ των επιτηρητών θα έχουν λιγότερες επιτηρήσεις απ’ όσες υποχρεούνται. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι στα δεδομένα λαμβάνονται υπ’ όψη και οι πραγματικές συνεργασίες μεταξύ καθηγητών και επιτηρητών. Η εξεταστική περίοδος έχει διάρκεια 23 ημέρες ενώ κάθε ημέρα αποτελείται από 4 τρίωρα. Όσο αφορά τις προτιμήσεις των επιτηρητών, 5 εξ’ αυτών έχουν τυχαία δηλωθεί στα δεδομένα να μην δύναται να παρευρεθούν για επιτήρηση συγκεκριμένες μέρες και ώρες.

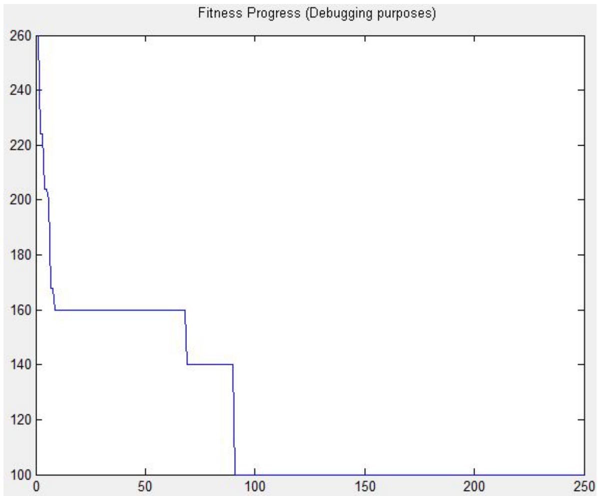
Για κάθε μία από τις τρεις μεθόδους επίλυσης που υλοποιήθηκαν, δοκιμάζονται διαφορετικές τιμές παραμέτρων και συγκεκριμένα το πλήθος επαναλήψεων και το μέγεθος του πληθυσμού των λύσεων. Μετά το πέρας κάθε τρεξίματος καταγράφεται η τιμή της συνάρτησης τιμωρίας, το πλήθος των παραβιάσεων, το διάγραμμα της πορείας της συνάρτησης τιμωρίας και ο συνολικός χρόνος που εκτίθηκε κατά την βελτιστοποίηση. Το πρόγραμμα έτρεξε σε έναν AMD Opteron 185 χρονισμένο στα 2.8GHz με 2GB μνήμης RAM DDR432 σε περιβάλλον Windows Vista Royal Business. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για κάθε αλγόριθμο χωριστά στα υποκεφάλαια που ακολουθούν.

4.2 Αποτελέσματα μεθόδου DE

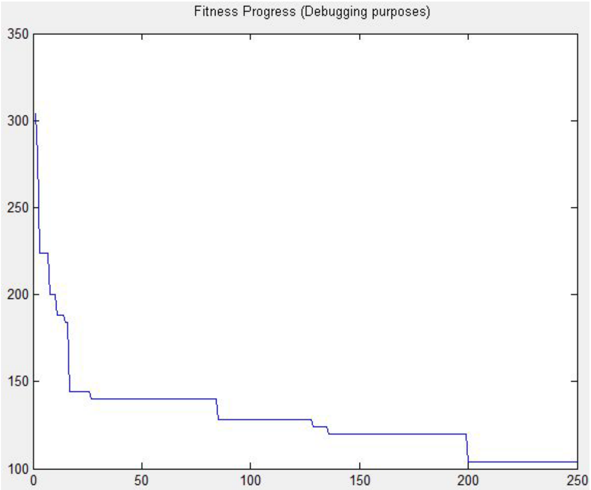
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος με την μέθοδο της διαφορικής εξέλιξης, για διαφορετικούς συνδυασμούς μεταξύ του πλήθους επαναλήψεων και του μεγέθους του πληθυσμού των λύσεων. Η σταθερά διαφόρισης F επιλέχθηκε 0.9 και η σταθερά διασταύρωσης CR 0.5 ενώ ως κάτω και άνω όρια για τις αρχικές τυχαία παραγόμενες λύσεις ορίσθηκαν τα -1 και 1 αντίστοιχα.

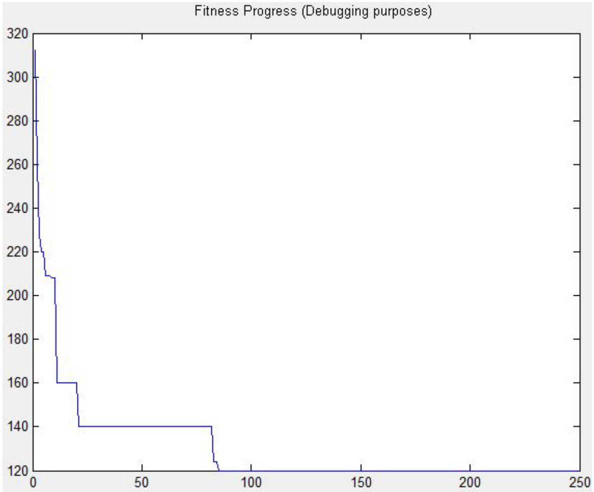
Αριθμός γενεών G=250 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	1ο τρέξιμο	2ο τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	5	5
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	1	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	6	5
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	104	100
Συνολικός χρόνος	4m 0,66sec	4m 1,87sec



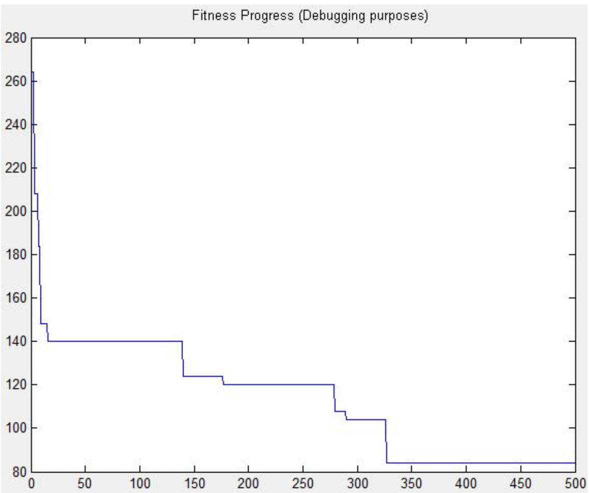


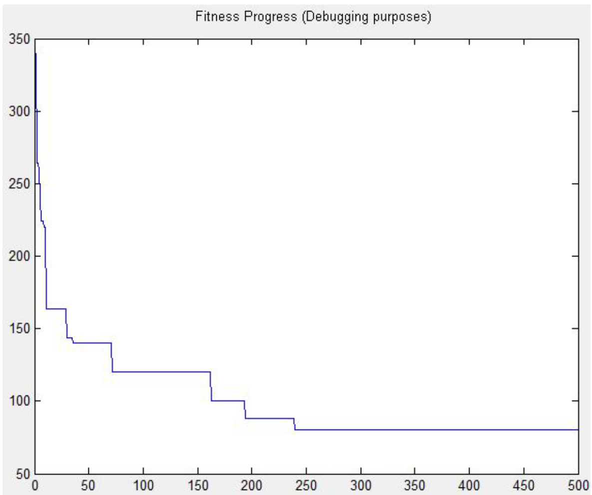
Αριθμός γενεών G=250 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	1^{o} τρέξιμο	2^{o} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	5	6
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	1	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	6	6
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	104	120
Συνολικός χρόνος	7m 59,58sec	8m 26,21sec



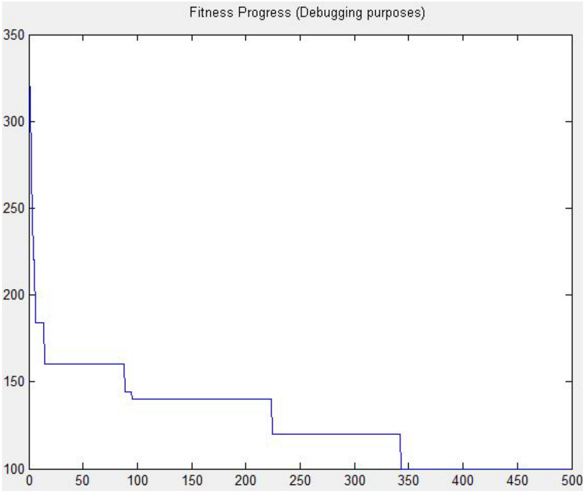


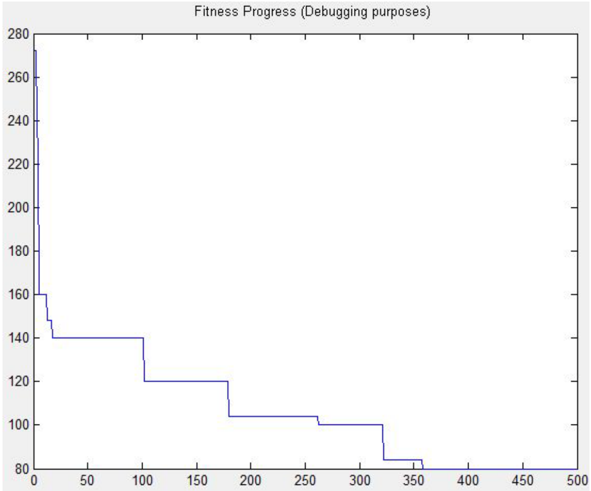
Αριθμός γενεών G=500 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	1^{o} τρέξιμο	2^{o} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	4	4
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	1	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	5	4
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	84	80
Συνολικός χρόνος	8m 3,52sec	7m 56,35sec



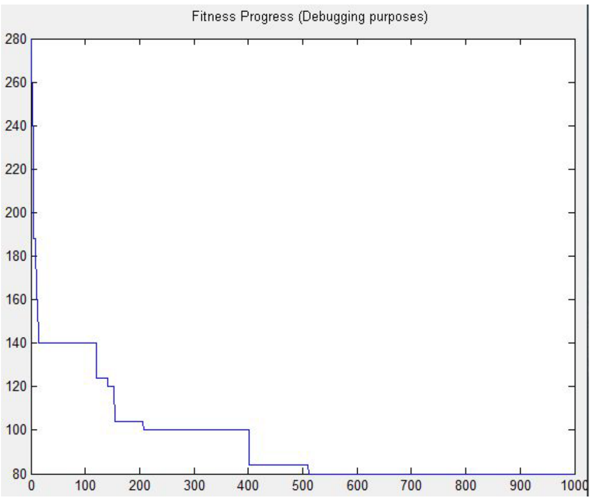


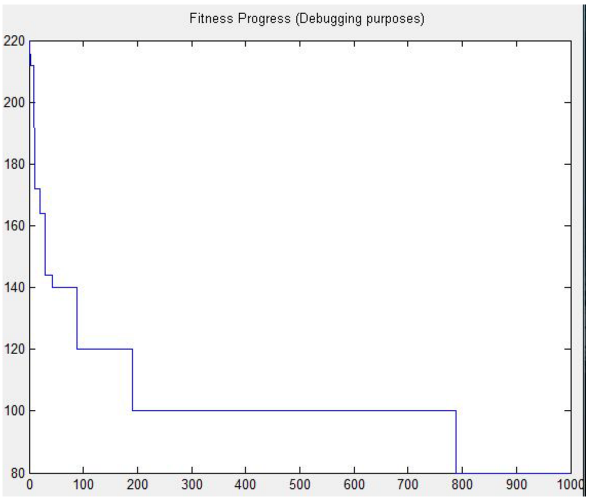
Αριθμός γενεών G=500 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	1ο τρέξιμο	2ο τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	5	4
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	5	4
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	100	80
Συνολικός χρόνος	15m 43,34sec	16m 46,34sec



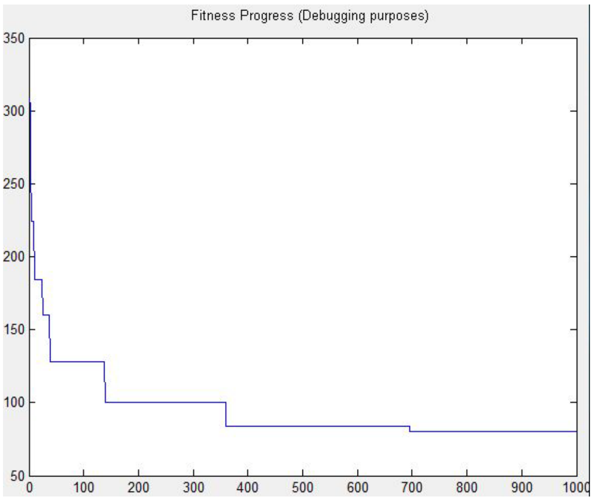


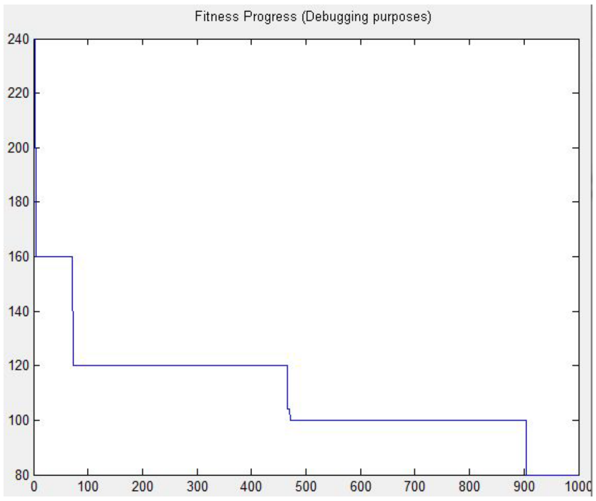
Αριθμός γενεών G=1000 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	1ο τρέξιμο	2ο τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	4	4
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	4	4
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	80	80
Συνολικός χρόνος	15m 36,07sec	16m 17,08sec





Αριθμός γενεών G=1000 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	1ο τρέξιμο	2ο τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	4	4
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	4	4
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	80	80
Συνολικός χρόνος	30m 27,46sec	32m 54,61sec

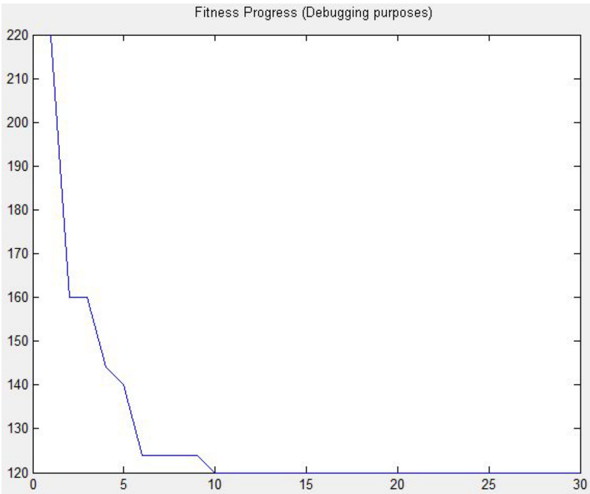


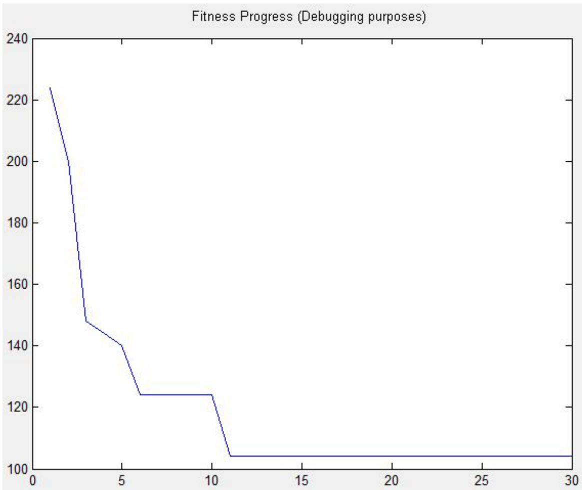


4.3 Αποτελέσματα μεθόδου GA

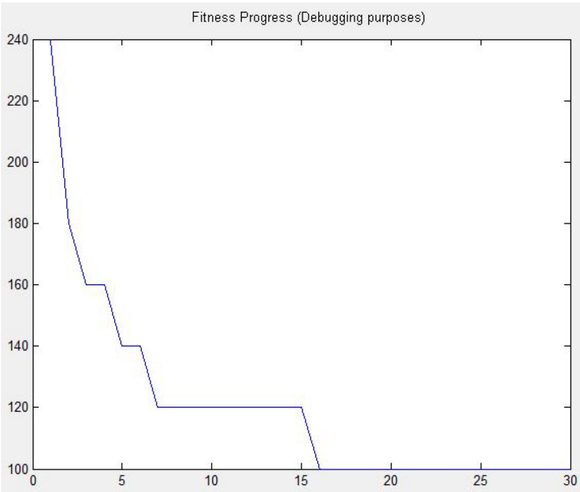
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος με την μέθοδο του γενετικού αλγόριθμου. Τα ποσοστά του πληθυσμού που έχουν επιλεχθεί να συμμετέχουν στις διαδικασίες διασταύρωσης και μετάλλαξης είναι 60% και 40% αντίστοιχα. Τα τρεξίματα έγιναν για διαφορετικούς συνδυασμούς πλήθους γενεών και μεγέθους πληθυσμού των λύσεων.

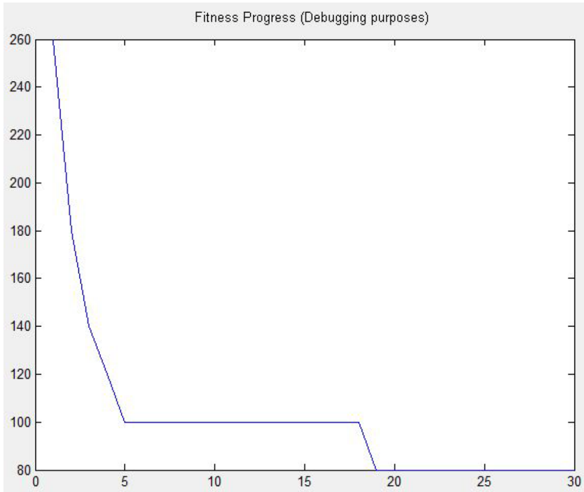
Αριθμός γενεών G=30 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	1^{o} τρέξιμο	2^{o} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	6	5
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	1
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	6	6
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	120	104
Συνολικός χρόνος	1m 10,10sec	1m 12,28sec



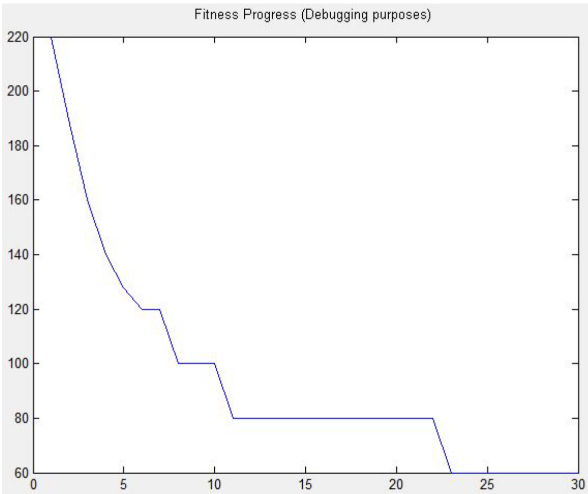


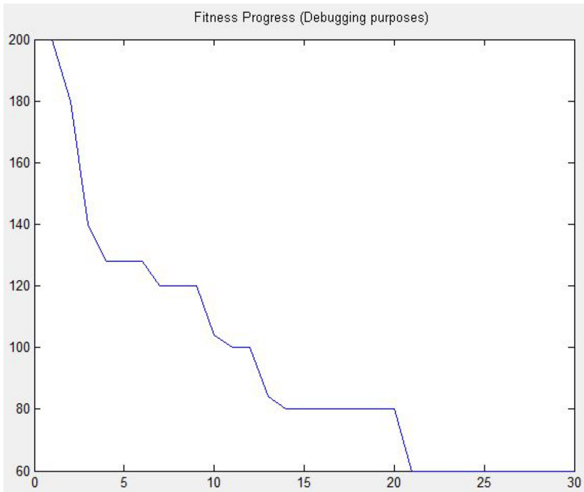
Αριθμός γενεών G=30 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	1^{o} τρέξιμο	2^{o} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	5	4
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	5	4
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	100	80
Συνολικός χρόνος	2m 27,57sec	2m 24,96sec



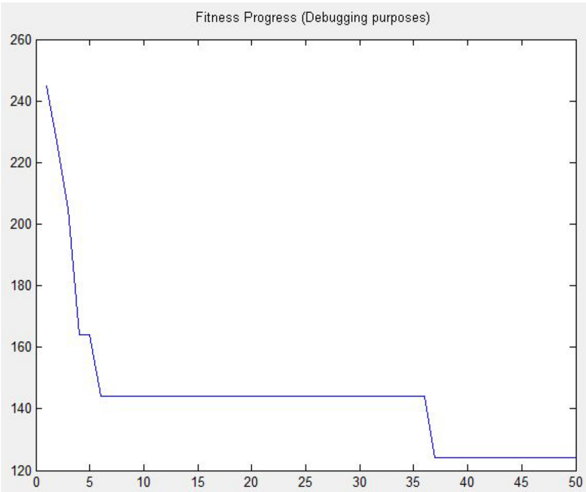


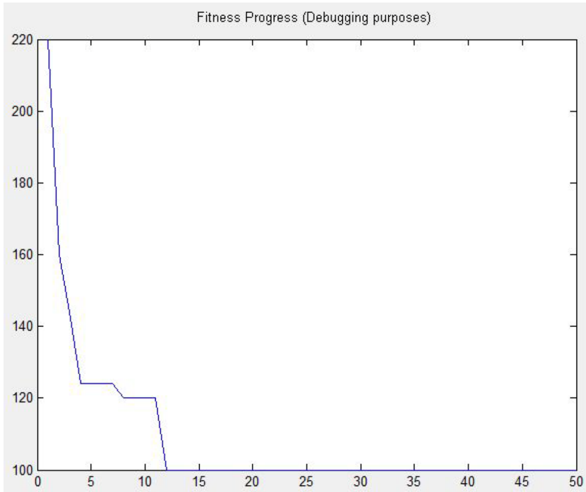
Αριθμός γενεών G=30 - Μέγεθος πληθυσμού NP=20		
	1^{o} τρέξιμο	2^{o} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	3	3
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	3	3
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	60	60
Συνολικός χρόνος	4m 57,43sec	4m 57,62sec



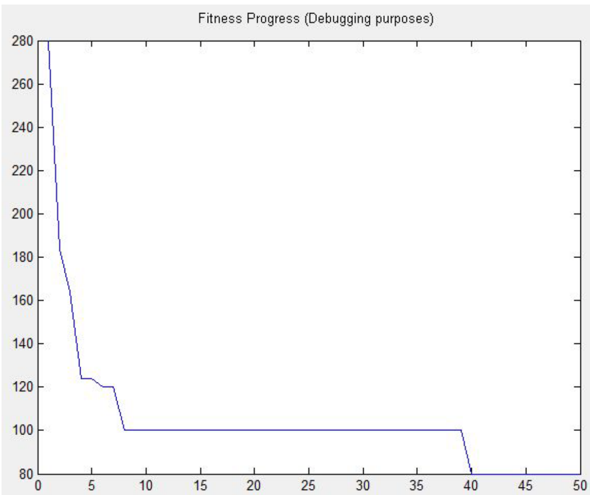


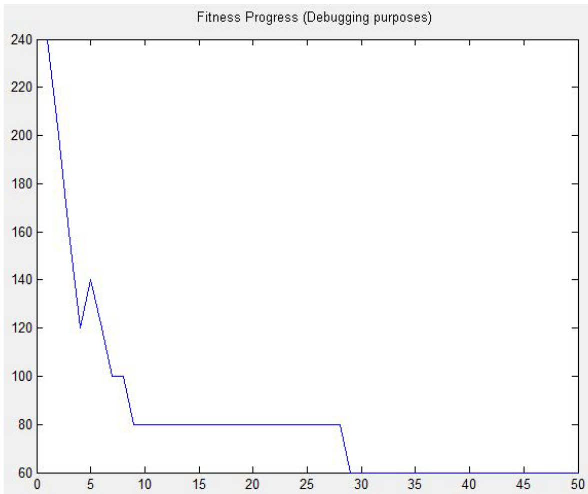
Αριθμός γενεών G=50 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	$1^{ο}$ τρέξιμο	$2^{ο}$ τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	6	5
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	1	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	7	5
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	124	100
Συνολικός χρόνος	1m 50,99sec	1m 51,59sec



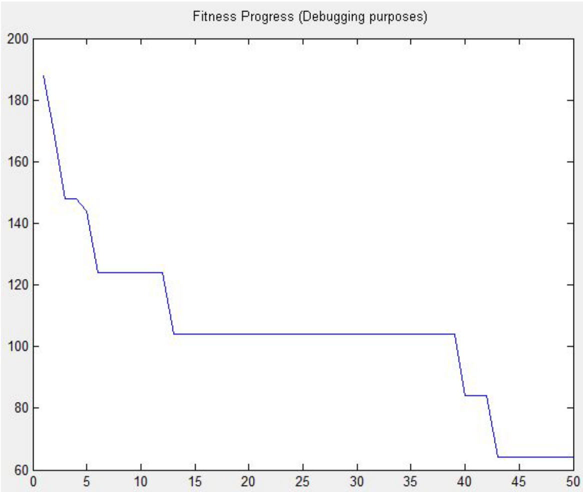


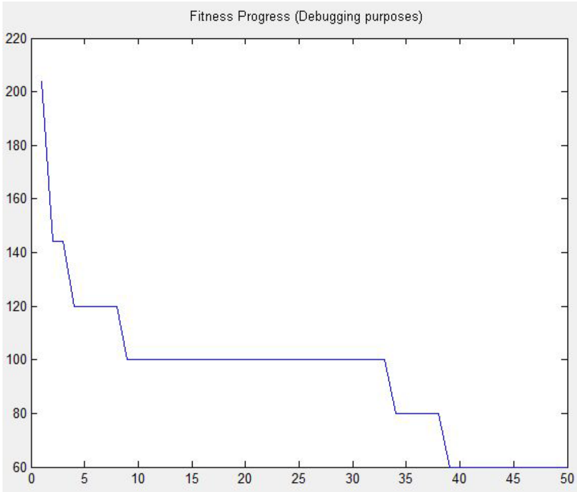
Αριθμός γενεών G=50 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	$1^{ο}$ τρέξιμο	$2^{ο}$ τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	4	3
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	4	3
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	80	60
Συνολικός χρόνος	3m 54,90sec	3m 55,93sec





Αριθμός γενεών G=50 - Μέγεθος πληθυσμού NP=20		
	1ο τρέξιμο	2ο τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	3	3
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	1	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	4	3
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	64	60
Συνολικός χρόνος	8m 26,18sec	8m 3,56sec

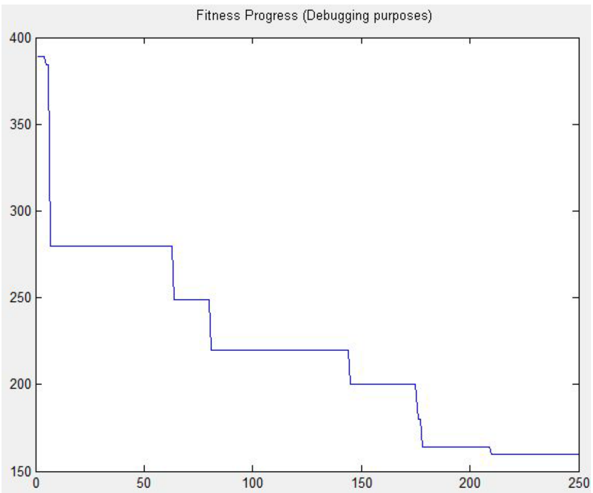


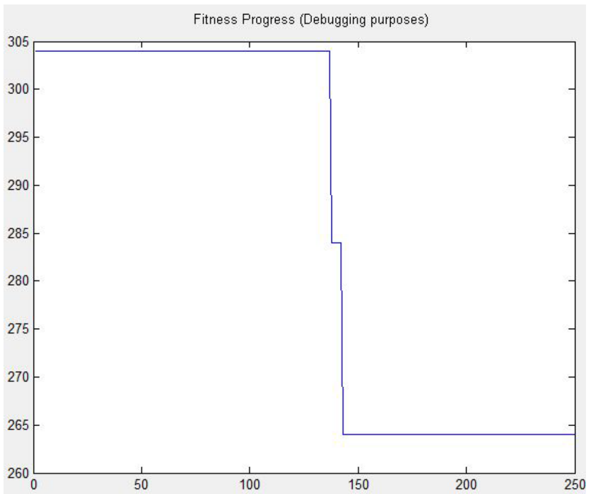


4.4 Αποτελέσματα μεθόδου PSO

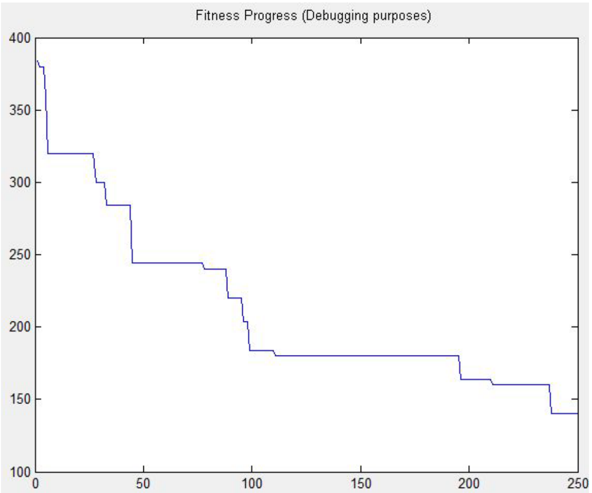
Τα αποτελέσματα από την βελτιστοποίηση με την μέθοδο σμήνους σωματιδίων PSO παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Κάθε πίνακας έχει όπως και στις προηγούμενες μεθόδους διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς το πλήθος των επαναλήψεων και το μέγεθος του πληθυσμού των λύσεων. Η τιμή που επιλέχθηκε για τις δύο σταθερές επιτάχυνσης είναι 2 και η τιμή του κάτω και άνω ορίου των αρχικών τυχαία παραγόμενων λύσεων -1 και 1 αντίστοιχα.

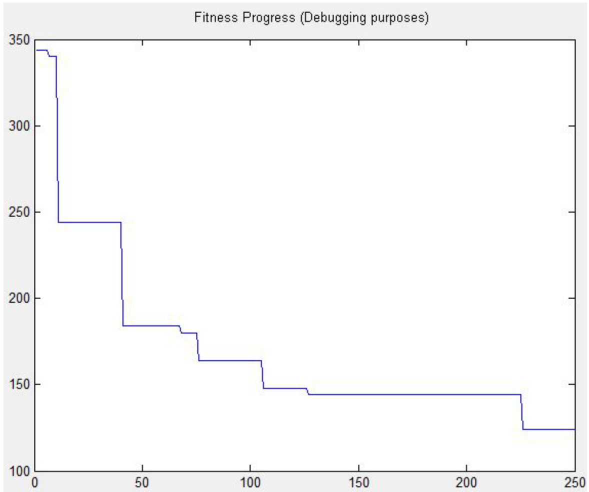
Αριθμός γενεών G=250 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	1^{o} τρέξιμο	2^{o} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	8	13
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	1
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	8	14
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	160	264
Συνολικός χρόνος	5m 39,09sec	5m 51,22sec



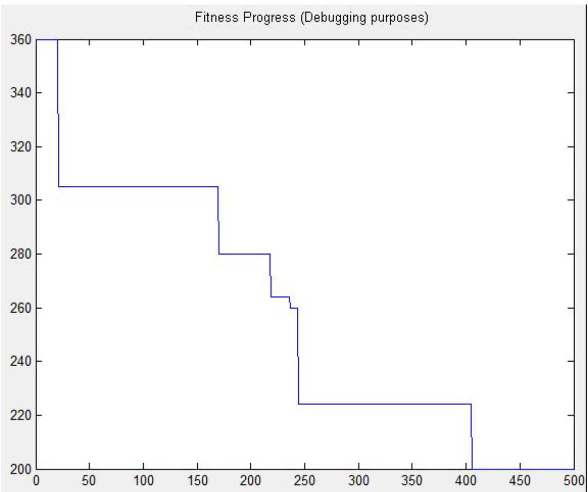


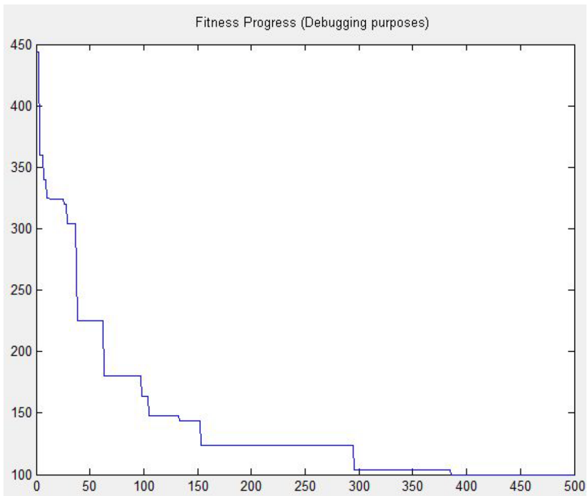
Αριθμός γενεών G=250 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	1° τρέξιμο	2° τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	7	6
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	1
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	7	7
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	140	124
Συνολικός χρόνος	10m 35,74sec	10m 4,97sec



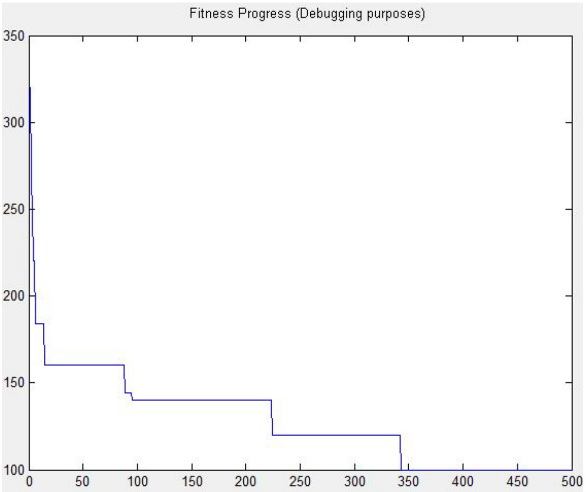


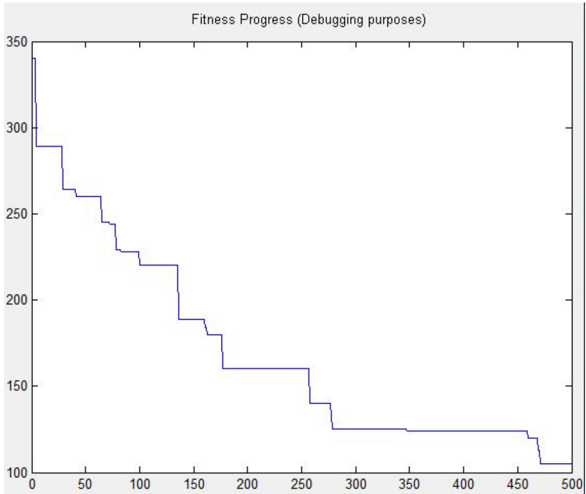
Αριθμός γενεών G=500 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	1° τρέξιμο	2° τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	10	5
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	10	5
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	200	100
Συνολικός χρόνος	11m 42,96sec	11m 35,05sec



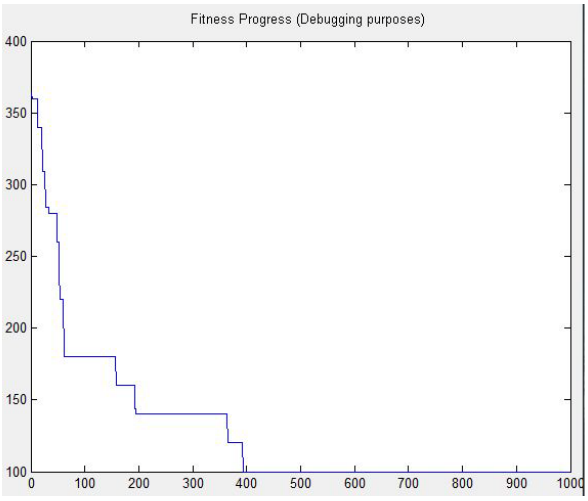


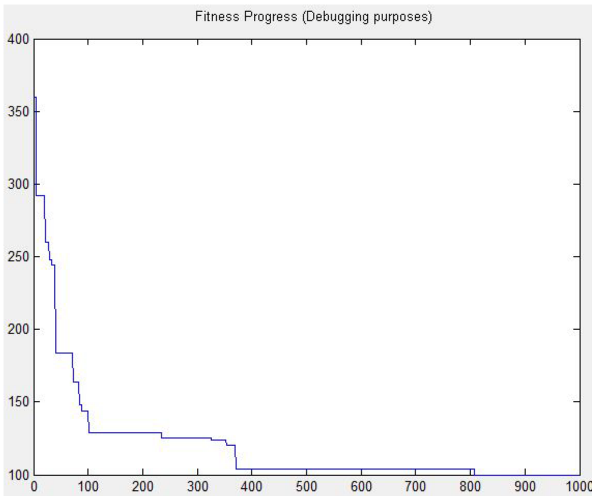
Αριθμός γενεών G=500 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	1^{ο} τρέξιμο	2^{ο} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	5	5
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	1
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	5	6
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	100	104
Συνολικός χρόνος	23m 45,42sec	19m 33,83sec



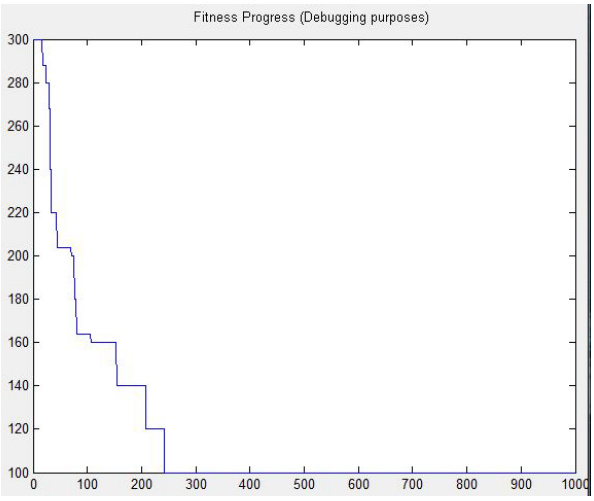


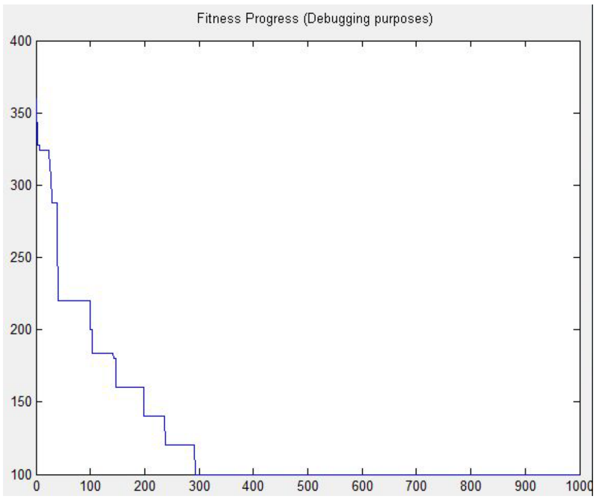
Αριθμός γενεών G=1000 - Μέγεθος πληθυσμού NP=5		
	1^{ο} τρέξιμο	2^{ο} τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	5	5
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	5	5
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	100	100
Συνολικός χρόνος	18m 35,79sec	18m 12,13sec





Αριθμός γενεών G=1000 - Μέγεθος πληθυσμού NP=10		
	$1^{ο}$ τρέξιμο	$2^{ο}$ τρέξιμο
Παραβιάσεις περιορισμού 1	5	5
Παραβιάσεις περιορισμού 2	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 3	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 4	0	0
Παραβιάσεις περιορισμού 5	0	0
Σύνολο παραβιάσεων	5	5
Τιμή συνάρτησης τιμωρίας	100	100
Συνολικός χρόνος	34m 7,89sec	38m 48,31sec





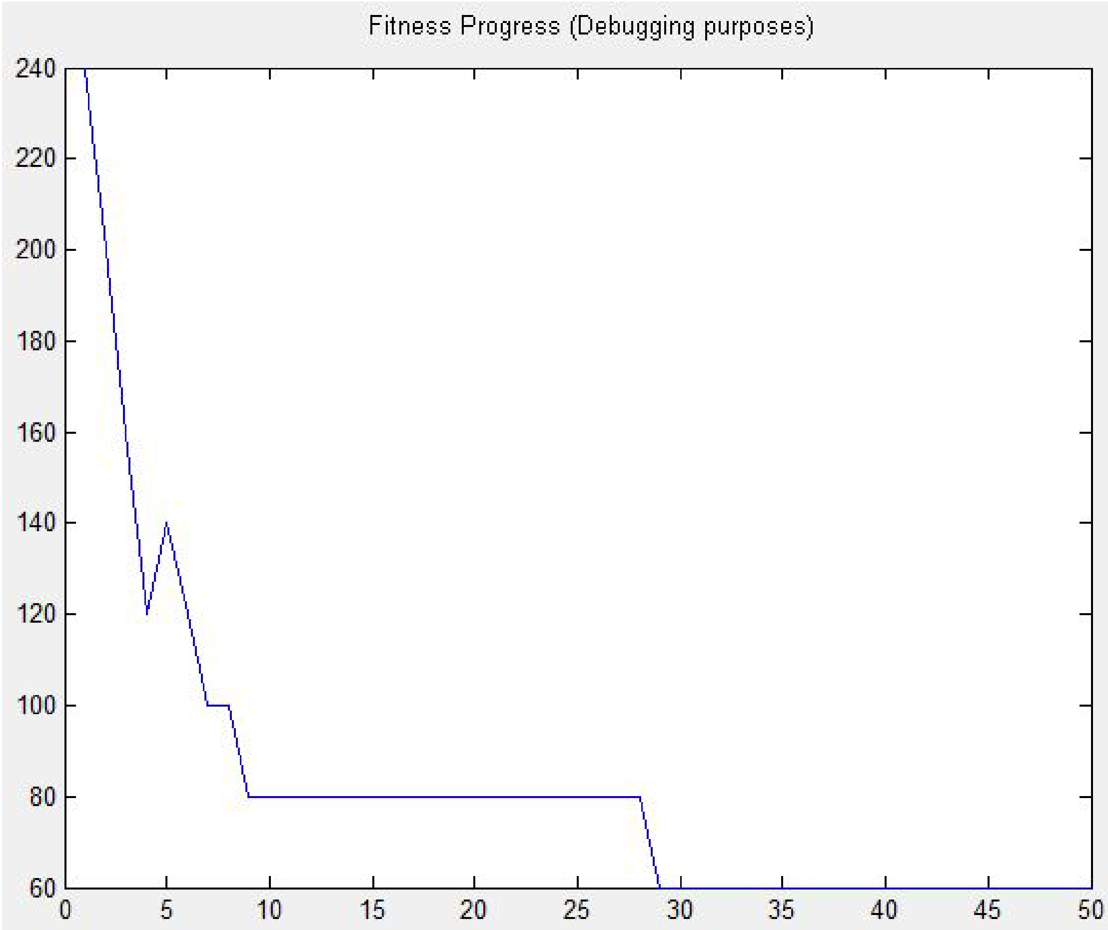
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται και συγκρίνονται τα πειραματικά αποτελέσματα κάθε μεθόδου τα οποία παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πλήθος βέλτιστων λύσεων είναι μεγάλο αφού οι συνδυασμοί που μπορεί να επιτευχθούν ανάμεσα στους επιτηρητές και τα μαθήματα, για τα οποία δεν υφίσταται συνεργασία επιτηρητή – καθηγητή, είναι πρακτικά πάρα πολλοί.

Αρχικά παρατηρούμε από τα διαγράμματα της συνάρτησης ποινών ότι κάθε τρέξιμο ξεκινά από διαφορετική τιμή συνάρτησης το οποίο αποτελεί ένδειξη ότι οι αρχικοί πληθυσμοί λύσεων και για τις τρεις μεθόδους παράγονται τυχαία. Ειδικότερα για τις μεθόδους συνεχούς βελτιστοποίησης PSO και DE, οι αρχικές τυχαία παραγόμενες λύσεις ήταν συνεχείς τιμές στο διάστημα [-1,1]. Το διάστημα αυτό επιλέχθηκε με σκοπό την ομοιόμορφη και ισοπίθανη κατανομή των άσσων και μηδενικών στο διάνυσμα των λύσεων μέσω της σιγμοειδούς συνάρτησης που περιγράφθηκε στο §2.3.4.

Για κάθε μέθοδο επίλυσης που χρησιμοποιήθηκε δοκιμάσθηκαν διάφοροι συνδυασμοί πλήθους επαναλήψεων (γενεών) και μεγέθους πληθυσμού. Η εκτέλεση βελτιστοποιήσεων για διάφορα σετ ρυθμίσεων υπέδειξε ότι για τις μεθόδους DE και PSO είναι σημαντικότερο το πλήθος των επαναλήψεων αφού όσο αυξάνονταν οι επαναλήψεις τόσο βελτιωνόντουσαν οι παραγόμενες λύσεις. Αντιθέτως για την μέθοδο GA, σημαντικότερο ρόλο διαδραματίζει το μέγεθος του πληθυσμού των λύσεων, αφού ακόμα και για μικρό πλήθος επαναλήψεων η μέθοδος καταλήγει σε βέλτιστες λύσεις αν το μέγεθος του πληθυσμού των λύσεων είναι επαρκές.

Ένα γεγονός το οποίο αξίζει να σημειωθεί είναι η κύλιση της μεθόδου GA σε χειρότερη λύση, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 5.1*. Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρήθηκε στις μεθόδους PSO και DE και οφείλεται αποκλειστικά στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο αλγόριθμος της μεθόδου GA. Στις μεθόδους PSO και DE, σε κάθε επανάληψη και για κάθε μέλος του πληθυσμού, δημιουργείται ένα δοκιμαστικό διάνυσμα (trial vector) το οποίο στέλνεται προς αποτίμηση και αποθηκεύεται στην θέση του παρόντος μέλους μόνο στην περίπτωση όπου είναι καλύτερο. Αντιθέτως η μέθοδος GA σε κάθε επανάληψη δημιουργεί ένα επαυξημένο πληθυσμό λύσεων ό οποίος περιλαμβάνει τον τρέχον πληθυσμό και τα μέλη που προέρχονται από τον τελεστή διασταύρωσης και μετάλλαξης. Στη συνέχεια ο πληθυσμός αυτός στέλνεται προς αποτίμηση και κρατούνται τα np πρώτα καλύτερα μέλη, όπου np το μέγεθος του πληθυσμού. Η κύλιση λοιπόν σε χειρότερη λύση μπορεί να παρουσιαστεί κατά την περίπτωση στην οποία κανένα μέλος από τα διασταυρωμένα ή μεταλλαγμένα δεν είναι καλύτερο από το παρόν βέλτιστο μέλος και το βέλτιστο μέλος μεταβληθεί από την συνάρτηση επιδιόρθωσης της λύσης τυχαία έτσι ώστε να αντιστοιχεί σε χειρότερη αποτίμηση της συνάρτησης τιμωρίας.



Εικόνα 5.1 – Κύλιση σε χειρότερη λύση κατά την 5η επανάληψη της μεθόδου GA

Ανάμεσα στις τρεις μεθόδους, καταλληλότερη για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης επιτηρητών φαίνεται να είναι η μέθοδος GA αφού αφενός εξήγαγε τις καλύτερες λύσεις και αφετέρου ήταν η γρηγορότερη εκ των τριών. Μετά την GA καλύτερη φαίνεται να είναι η μέθοδος DE που εξήγαγε καλές λύσεις σε λογικό χρονικό διάστημα και τελευταία η μέθοδος PSO η οποία δεν κατάφερε να πέσει κάτω από τους 100 πόντους ποινής για κανένα συνδυασμό παραμέτρων. Η καθαρή υπεροχή της GA οφείλεται στο ότι είναι από την φύση της σχεδιασμένη για την επίλυση προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού όπως της περίπτωσης μας. Αντιθέτως οι μέθοδοι PSO και DE βασίζονται στην παραγωγή συνεχών λύσεων γεγονός το οποίο δυσκόλεψε την διαδικασία αναζήτησης βέλτιστων λύσεων.

Σύμφωνα με τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα, βέλτιστη λύση φαίνεται να είναι η $f(x^*) = 60$, η οποία δόθηκε από την μέθοδο GA και παρουσιάζεται αναλυτικά στο παράρτημα. Οι 60 πόντοι ποινής αντιστοιχούν σε τρεις παραβιάσεις του περιορισμού συνεργασίας (περιορισμός 1). Οι παραβιάσεις αυτές προκύπτουν για ένα συγκεκριμένο επιτηρητή ο οποίος ενώ υπόκειται σε συνεργασία με δύο καθηγητές των οποίων τα μαθήματα είναι συνολικά έξι, για τον ίδιο έχει υπολογισθεί μόνο μια υποχρεωτική επιτήρηση. Οι παραβιάσεις αυτές δεν μπορούν να αποφευχθούν αφού η ανάθεση επιπλέον επιτηρήσεων ώστε να ικανοποιείται ο περιορισμός αυτός, οδηγεί στην παραβίαση του σκληρού περιορισμού 5 που αφορά το πλήθος επιτηρήσεων ανά επιτηρητή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Albert Jones, Luis C. Rabelo, "Survey of Job Shop Scheduling Techniques", NISTIR, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1998.

[2] Keshav P. Dahal, Kay Chen Tan, Peter I. Cowling (Eds.), "Evolutionary Scheduling", Studies in Computational Intelligence Vol. 49, Springer, 2007.

[3] Xhafa Fatos, Abraham Ajith (Eds.), "Metaheuristics for Scheduling in Industrial and Manufacturing Applications", Studies in Computational Intelligence Vol. 128, Springer, 2008.

[4] Blum C., Roli A., "Meta-heuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison", ACM Comput Survey 35, 268–308, 2003.

[5] John Holland, "Adaption in natural and artificial systems", The University of Michigan Press, Ann Harbor, MI, 1975.

[6] Rechenberg I., "Evolutionstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien den biologischen Evolution", Frommann-Holzboog, 1973.

[7] Fogel J., "Toward inductive inference automata", In Proceedings of the International Federation for Information Processing Congress, Munich, 395-399, 1962.

[8] Kenneth V. Price, Raine M. Storm, "Differential Evolution: A practical approach to global optimization", Natural Computer Series, Springer, 2005.

[9] James Kennedy, Russel C. Eberhart, "Swarm Intelligence", The Morgan Kaufmann Series in Evolutionary Computation, Morgan Kaufmann Publishers, 2001.

[10] Dorigo M., "Optimization, Learning and Natural Algorithms" (In Italian), PhD thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milan Italy, 1992.

[11] Glover F., Laguna M., Marti R., "Fundamentals of scatter search and path relinking", Control 29, 653-684, 2000.

[12] Foo S., Takefuji Y., "Stochastic neural networks for solving job-shop scheduling: Part 1. Problem representation", In: Kosko B (Ed.), IEEE International Conference on Neural Networks, San Diego USA, 275-282, 1988a.

[13] Foo S., Takefuji Y., “Stochastic neural networks for solving job-shop scheduling: Part 2. Architecture and Simulations”, In: Kosko B (Ed.), IEEE International Conference on Neural Networks, San Diego USA, 283-290, 1988b.

[14] Feo T., Resende M., “Greedy randomized adaptive search procedures”, J Global Optim 6, 109-133, 1995.

[15] Hansen P., Mladenovic N., “Variable neighbourhood search: Principles and Applications”, Eur J Oper Res 130, 449-467, 2001.

[16] Stutzle T., “Iterated local search for the quadratic assignment problem”, aida-99-03, FG Intellektik, TU Darmstadt, 1999.

[17] Kirkpatrick S., Gelatt C., Vecchi M., “Optimization by simulated annealing”, Sci 220, 671-680, 1983.

[18] Glover F., Greenberg H., “New approaches for heuristic search: A bilateral linkage with artificial intelligence”, Eur J Oper Res 39, 119-130, 1989.

[19] Dueck G., Scheuer T., “Threshold accepting. A general purpose optimization algorithm appearing superior to simulated annealing”, Journal of Computational Physics 90, 161-175, 1990.

[20] El-Ghazali Talbi, “Metaheuristics: From Design to Implemenation”, Wiley, 2009.

[21] Fred Glover, Gary A. Kochenberger, “Handbook of Metaheuristics”, International Series in Operational Research & Management Science, Kluwer Academic Publishers, 2003.

[22] The MathWorks - http://www.mathworks.com/

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Βέλτιστη λύση $f(x^*) = 60$. 3 παραβιάσεις περιορισμού 1

Υπολογισμένες και ανατεθειμένες επιτηρήσεις ανά επιτηρητή		
Επιτηρητής	**Υπολογισμένες**	**Ανατεθειμένες**
Επιτηρητής 1	2	1
Επιτηρητής 2	4	4
Επιτηρητής 3	4	4
Επιτηρητής 4	2	2
Επιτηρητής 5	6	5
Επιτηρητής 6	6	5
Επιτηρητής 7	6	5
Επιτηρητής 8	1	1
Επιτηρητής 9	4	4
Επιτηρητής 10	6	5
Επιτηρητής 11	4	4
Επιτηρητής 12	4	4
Επιτηρητής 13	4	4
Επιτηρητής 14	2	2
Επιτηρητής 15	2	1
Επιτηρητής 16	2	2
Επιτηρητής 17	2	2
Επιτηρητής 18	2	2
Επιτηρητής 19	6	6
Επιτηρητής 20	2	2
Επιτηρητής 21	7	6
Επιτηρητής 22	6	6
Επιτηρητής 23	2	2
Επιτηρητής 24	6	5
Επιτηρητής 25	9	9
Επιτηρητής 26	6	5
Επιτηρητής 27	6	6
Επιτηρητής 28	4	4
Επιτηρητής 29	6	5
Επιτηρητής 30	2	2
Επιτηρητής 31	5	5
Επιτηρητής 32	7	7
Επιτηρητής 33	2	2
Επιτηρητής 34	7	6
Επιτηρητής 35	2	2
Επιτηρητής 36	9	9
Επιτηρητής 37	4	4
Επιτηρητής 38	4	4
Επιτηρητής 39	4	4
Επιτηρητής 40	6	4
Επιτηρητής 41	9	5
Επιτηρητής 42	2	2

Επιτηρητής 43	4	4
Επιτηρητής 44	2	2
Επιτηρητής 45	2	2
Επιτηρητής 46	7	6
Επιτηρητής 47	6	6
Επιτηρητής 48	2	2
Επιτηρητής 49	2	2
Επιτηρητής 50	8	6
Επιτηρητής 51	6	6
Επιτηρητής 52	4	4
Επιτηρητής 53	2	2
Επιτηρητής 54	8	8
Επιτηρητής 55	8	8
Επιτηρητής 56	2	2
Επιτηρητής 57	7	6
Επιτηρητής 58	6	6
Επιτηρητής 59	7	7
Επιτηρητής 60	4	4
Επιτηρητής 61	2	2
Επιτηρητής 62	6	6
Επιτηρητής 63	2	2
Επιτηρητής 64	2	2
Επιτηρητής 65	6	6

Πρόγραμμα επιτηρήσεων ανά επιτηρητή				
Επιτηρητής	Επιτηρητής 1			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 30	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 1
Επιτηρητής	Επιτηρητής 2			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 13
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Μάθημα 52	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	14-17	A2,B1002,B1005	Καθηγητής 22
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Επιτηρητής	Επιτηρητής 3			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 8	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	17-20	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 4
Μάθημα 15	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	17-20	B1002	Καθηγητής 11
Μάθημα 22	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 14
Μάθημα 45	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	14-17	B1002,B1004	Καθηγητής 19
Επιτηρητής	Επιτηρητής 4			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 19	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	8-11	B1001	Καθηγητής 1
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 10
Επιτηρητής	Επιτηρητής 5			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 18	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	11-14	B1102,B1001	Καθηγητής 12
Μάθημα 22	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 14
Μάθημα 39	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	17-20	B1002,B1004	Καθηγητής 14
Μάθημα 44	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	11-14	A2	Καθηγητής 23
Μάθημα 51	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	17-20	A2,B1002,B1003	Καθηγητής 26
Επιτηρητής	Επιτηρητής 6			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής

Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Μάθημα 51	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	17-20	A2,B1002,B1003	Καθηγητής 26
Μάθημα 63	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	8-11	A2,B1001	Καθηγητής 23
Μάθημα 65	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 30
Επιτηρητής	Επιτηρητής 7			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 13
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 52	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	14-17	A2,B1002,B1005	Καθηγητής 22
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Επιτηρητής	Επιτηρητής 8			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 38	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Επιτηρητής	Επιτηρητής 9			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 34	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	11-14	B1001	Καθηγητής 20
Μάθημα 42	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	11-14	B1002,B1005	Καθηγητής 20
Μάθημα 44	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	11-14	A2	Καθηγητής 23
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Επιτηρητής	Επιτηρητής 10			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 13
Μάθημα 50	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	8-11	B1008	Καθηγητής 25
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Μάθημα 63	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	8-11	A2,B1001	Καθηγητής 23

Μάθημα 64	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	17-20	Α2,Β1002	Καθηγητής 25
Επιτηρητής	Επιτηρητής 11			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 47	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	8-11	Β1001	Καθηγητής 24
Μάθημα 50	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	8-11	Β1008	Καθηγητής 25
Μάθημα 60	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	17-20	Α2,Β1001	Καθηγητής 24
Μάθημα 64	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	17-20	Α2,Β1002	Καθηγητής 25
Επιτηρητής	Επιτηρητής 12			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 11	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	17-20	Α2,Β1001	Καθηγητής 7
Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	Α2,Β1001,Β1002	Καθηγητής 9
Μάθημα 23	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	11-14	Β1001,Β1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	Α2,Β1001,Β1008	Καθηγητής 9
Επιτηρητής	Επιτηρητής 13			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 10	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	14-17	Β1001,Β1003,Β1004,Β1008	Καθηγητής 6
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	Α2,Β1001,Β1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 26	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	17-20	Α2	Καθηγητής 1
Μάθημα 28	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	11-14	Α2,Β1001	Καθηγητής 6
Επιτηρητής	Επιτηρητής 14			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 53	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	11-14	Β1004,Β1007	Καθηγητής 27
Μάθημα 57	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	8-11	Β1005,Β1008	Καθηγητής 27
Επιτηρητής	Επιτηρητής 15			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	Α2,Β1001,Β1008	Καθηγητής 3
Επιτηρητής	Επιτηρητής 16			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής

Μάθημα 11	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 7
Μάθημα 38	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Επιτηρητής	Επιτηρητής 17			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 61	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	11-14	B1001,B1005	Καθηγητής 26
Μάθημα 65	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 30
Επιτηρητής	Επιτηρητής 18			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 27	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	17-20	E3002	Καθηγητής 1
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Επιτηρητής	Επιτηρητής 19			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 10	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	14-17	B1001,B1003,B1004,B1008	Καθηγητής 6
Μάθημα 18	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	11-14	B1102,B1001	Καθηγητής 12
Μάθημα 28	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	11-14	A2,B1001	Καθηγητής 6
Μάθημα 29	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	14-17	A2	Καθηγητής 16
Μάθημα 55	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	11-14	B1002,B1004,B1008	Καθηγητής 16
Μάθημα 59	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	17-20	B1008,B1002,B1003	Καθηγητής 16
Επιτηρητής	Επιτηρητής 20			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 53	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	11-14	B1004,B1007	Καθηγητής 27
Μάθημα 57	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	8-11	B1005,B1008	Καθηγητής 27
Επιτηρητής	Επιτηρητής 21			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 14	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	11-14	B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 17	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	8-11	B1008,B1003	Καθηγητής 4
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	A2,B1001,B1005,B1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 58	ΤΕΤΑΡΤΗ	11-14	A2	Καθηγητής 28

	16-09-2009			
Μάθημα 62	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	14-17	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 28
Μάθημα 63	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	8-11	A2,B1001	Καθηγητής 23
Επιτηρητής	Επιτηρητής 22			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 8	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	17-20	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 4
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 35	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	14-17	B1001,B1002	Καθηγητής 17
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 2
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	A2,B1001,B1005,B1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 64	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	17-20	A2,B1002	Καθηγητής 25
Επιτηρητής	Επιτηρητής 23			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 60	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 24
Επιτηρητής	Επιτηρητής 24			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 24	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	11-14	B1002,B1003	Καθηγητής 15
Μάθημα 26	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	17-20	A2	Καθηγητής 1
Μάθημα 40	ΤΡΙΤΗ 8-09-2009	11-14	B1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	A2,B1001,B1005,B1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 60	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 24
Επιτηρητής	Επιτηρητής 25			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 4	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	8-11	B1004,B1006	Καθηγητής 3
Μάθημα 5	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	17-20	B1004,B1006	Καθηγητής 3
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Μάθημα 7	ΤΡΙΤΗ	11-14	B1004,B1005	Καθηγητής 3

	25-08-2009			
Μάθημα 26	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	17-20	A2	Καθηγητής 1
Μάθημα 32	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	17-20	B1001,B1002	Καθηγητής 18
Μάθημα 46	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	17-20	E3002	Καθηγητής 1
Μάθημα 51	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	17-20	A2,B1002,B1003	Καθηγητής 26
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15
Επιτηρητής	Επιτηρητής 26			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 14	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	11-14	B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 45	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	14-17	B1002,B1004	Καθηγητής 19
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15
Μάθημα 64	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	17-20	A2,B1002	Καθηγητής 25
Επιτηρητής	Επιτηρητής 27			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 13
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Μάθημα 52	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	14-17	A2,B1002,B1005	Καθηγητής 22
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Μάθημα 61	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	11-14	B1001,B1005	Καθηγητής 26
Επιτηρητής	Επιτηρητής 28			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Μάθημα 20	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	8-11	E3002	Καθηγητής 1
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 2

Επιτηρητής	Επιτηρητής 29			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 40	ΤΡΙΤΗ 8-09-2009	11-14	B1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	A2,B1001,B1005,B1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15
Μάθημα 63	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	8-11	A2,B1001	Καθηγητής 23
Επιτηρητής	Επιτηρητής 30			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 17	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	8-11	B1008,B1003	Καθηγητής 4
Μάθημα 57	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	8-11	B1005,B1008	Καθηγητής 27
Επιτηρητής	Επιτηρητής 31			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 47	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	8-11	B1001	Καθηγητής 24
Μάθημα 58	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	11-14	A2	Καθηγητής 28
Μάθημα 60	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 24
Μάθημα 62	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	14-17	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 28
Μάθημα 64	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	17-20	A2,B1002	Καθηγητής 25
Επιτηρητής	Επιτηρητής 32			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 16	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	14-17	B1001,B1002	Καθηγητής 4
Μάθημα 23	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	11-14	B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 44	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	11-14	A2	Καθηγητής 23
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15

Επιτηρητής	Επιτηρητής 33			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 18	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	11-14	B1102,B1001	Καθηγητής 12
Μάθημα 63	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	8-11	A2,B1001	Καθηγητής 23
Επιτηρητής	Επιτηρητής 34			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 2	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	14-17	E3002	Καθηγητής 1
Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Μάθημα 34	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	11-14	B1001	Καθηγητής 20
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 2
Μάθημα 42	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	11-14	B1002,B1005	Καθηγητής 20
Μάθημα 59	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	17-20	B1008,B1002,B1003	Καθηγητής 16
Επιτηρητής	Επιτηρητής 35			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 51	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	17-20	A2,B1002,B1003	Καθηγητής 26
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15
Επιτηρητής	Επιτηρητής 36			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 7	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	11-14	B1004,B1005	Καθηγητής 3
Μάθημα 11	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 7
Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 9
Μάθημα 23	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	11-14	B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 30	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 1
Μάθημα 36	ΣΑΒΒΑΤΟ 5-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Μάθημα 38	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 55	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	11-14	B1002,B1004,B1008	Καθηγητής 16

Επιτηρητής	Επιτηρητής 37			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 8	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	17-20	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 4
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 16	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	14-17	B1001,B1002	Καθηγητής 4
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Επιτηρητής	Επιτηρητής 38			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 22	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 14
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	A2,B1001,B1005,B1008	Καθηγητής 21
Επιτηρητής	Επιτηρητής 39			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 1	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	14-17	B1008	Καθηγητής 1
Μάθημα 12	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	8-11	B1002,B1003	Καθηγητής 8
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Μάθημα 52	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	14-17	A2,B1002,B1005	Καθηγητής 22
Επιτηρητής	Επιτηρητής 40			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 22	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 14
Μάθημα 39	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	17-20	B1002,B1004	Καθηγητής 14
Επιτηρητής	Επιτηρητής 41			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 9
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 13

	31-08-2009			
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 2
Μάθημα 51	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	17-20	A2,B1002,B1003	Καθηγητής 26
Μάθημα 65	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 30
Επιτηρητής	Επιτηρητής 42			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 61	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	11-14	B1001,B1005	Καθηγητής 26
Μάθημα 65	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 30
Επιτηρητής	Επιτηρητής 43			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 31	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	14-17	A2	Καθηγητής 17
Μάθημα 32	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	17-20	B1001,B1002	Καθηγητής 18
Μάθημα 35	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	14-17	B1001,B1002	Καθηγητής 17
Επιτηρητής	Επιτηρητής 44			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 11	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 7
Μάθημα 36	ΣΑΒΒΑΤΟ 5-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Επιτηρητής	Επιτηρητής 45			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 2
Επιτηρητής	Επιτηρητής 46			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Μάθημα 8	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	17-20	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 4
Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 9

Μάθημα 31	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	14-17	Α2	Καθηγητής 17
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	Α2,Β1001,Β1002	Καθηγητής 2
Επιτηρητής	Επιτηρητής 47			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	Α2,Β1001,Β1002	Καθηγητής 9
Μάθημα 31	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	14-17	Α2	Καθηγητής 17
Μάθημα 35	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	14-17	Β1001,Β1002	Καθηγητής 17
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	Α2,Β1001,Β1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 44	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	11-14	Α2	Καθηγητής 23
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	Α2,Β1001,Β1005,Β1008	Καθηγητής 21
Επιτηρητής	Επιτηρητής 48			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	Α2,Β1001,Β1005,Β1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 52	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	14-17	Α2,Β1002,Β1005	Καθηγητής 22
Επιτηρητής	Επιτηρητής 49			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	Α2,Β1001,Β1002,Β1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 63	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	8-11	Α2,Β1001	Καθηγητής 23
Επιτηρητής	Επιτηρητής 50			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 10	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	14-17	Β1001,Β1003,Β1004,Β1008	Καθηγητής 6
Μάθημα 19	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	8-11	Β1001	Καθηγητής 1
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	Α2,Β1001,Β1008	Καθηγητής 13
Μάθημα 28	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	11-14	Α2,Β1001	Καθηγητής 6
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	Α2,Β1001,Β1005,Β1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 60	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	17-20	Α2,Β1001	Καθηγητής 24
Επιτηρητής	Επιτηρητής 51			

Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Μάθημα 58	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	11-14	A2	Καθηγητής 28
Μάθημα 62	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	14-17	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 28
Επιτηρητής	Επιτηρητής 52			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 24	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	11-14	B1002,B1003	Καθηγητής 15
Μάθημα 26	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	17-20	A2	Καθηγητής 1
Μάθημα 33	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	17-20	B1001	Καθηγητής 19
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15
Επιτηρητής	Επιτηρητής 53			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 10	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	14-17	B1001,B1003,B1004,B1008	Καθηγητής 6
Μάθημα 28	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	11-14	A2,B1001	Καθηγητής 6
Επιτηρητής	Επιτηρητής 54			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 4	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	8-11	B1004,B1006	Καθηγητής 3
Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 9
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 29	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	14-17	A2	Καθηγητής 16
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 55	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	11-14	B1002,B1004,B1008	Καθηγητής 16
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Μάθημα 59	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	17-20	B1008,B1002,B1003	Καθηγητής 16

Επιτηρητής	Επιτηρητής 55			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 10	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	14-17	B1001,B1003,B1004,B1008	Καθηγητής 6
Μάθημα 14	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	11-14	B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 13
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 28	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	11-14	A2,B1001	Καθηγητής 6
Μάθημα 29	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	14-17	A2	Καθηγητής 16
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Επιτηρητής	Επιτηρητής 56			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 11	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 7
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Επιτηρητής	Επιτηρητής 57			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 9
Μάθημα 14	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	11-14	B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	A2,B1001,B1005,B1008	Καθηγητής 21
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Επιτηρητής	Επιτηρητής 58			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 1	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	14-17	B1008	Καθηγητής 1
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 10

Μάθημα 29	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	14-17	A2	Καθηγητής 16
Μάθημα 55	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	11-14	B1002,B1004,B1008	Καθηγητής 16
Μάθημα 59	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	17-20	B1008,B1002,B1003	Καθηγητής 16
Επιτηρητής	Επιτηρητής 59			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Μάθημα 5	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	17-20	B1004,B1006	Καθηγητής 3
Μάθημα 12	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	8-11	B1002,B1003	Καθηγητής 8
Μάθημα 17	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	8-11	B1008,B1003	Καθηγητής 4
Μάθημα 23	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	11-14	B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15
Μάθημα 60	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 24
Επιτηρητής	Επιτηρητής 60			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 13
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Μάθημα 52	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	14-17	A2,B1002,B1005	Καθηγητής 22
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Επιτηρητής	Επιτηρητής 61			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 32	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	17-20	B1001,B1002	Καθηγητής 18
Μάθημα 58	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	11-14	A2	Καθηγητής 28
Επιτηρητής	Επιτηρητής 62			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Μάθημα 33	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	17-20	B1001	Καθηγητής 19
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 2

Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 9
Μάθημα 51	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	17-20	A2,B1002,B1003	Καθηγητής 26
Μάθημα 62	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	14-17	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 28
Επιτηρητής	Επιτηρητής 63			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 14	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	11-14	B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 10
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Επιτηρητής	Επιτηρητής 64			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 11	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 7
Μάθημα 36	ΣΑΒΒΑΤΟ 5-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Επιτηρητής	Επιτηρητής 65			
Μάθημα	Ημέρα	Ώρα	Αίθουσες	Καθηγητής
Μάθημα 10	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	14-17	B1001,B1003,B1004,B1008	Καθηγητής 6
Μάθημα 16	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	14-17	B1001,B1002	Καθηγητής 4
Μάθημα 28	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	11-14	A2,B1001	Καθηγητής 6
Μάθημα 30	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 1
Μάθημα 31	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	14-17	A2	Καθηγητής 17
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15

Πρόγραμμα επιτηρήσεων ανά μάθημα				
Μάθημα 1	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	14-17	B1008	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 39				
Επιτηρητής 58				
Μάθημα 2	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	14-17	E3002	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 34				
Μάθημα 3	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	11-14	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 2
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 6				
Επιτηρητής 28				
Επιτηρητής 34				
Επιτηρητής 38				
Επιτηρητής 45				
Επιτηρητής 46				
Επιτηρητής 59				
Μάθημα 4	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	8-11	B1004,B1006	Καθηγητής 3
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 54				
Μάθημα 5	ΔΕΥΤΕΡΑ 24-08-2009	17-20	B1004,B1006	Καθηγητής 3
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 59				
Μάθημα 6	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 3
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 6				
Επιτηρητής 15				
Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 28				
Επιτηρητής 40				
Επιτηρητής 46				
Επιτηρητής 58				
Επιτηρητής 62				
Μάθημα 7	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	11-14	B1004,B1005	Καθηγητής 3
Επιτηρητές				

Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 36				
Μάθημα 8	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	17-20	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 4
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 3				
Επιτηρητής 22				
Επιτηρητής 37				
Επιτηρητής 46				
Μάθημα 9	ΤΡΙΤΗ 25-08-2009	8-11	A2,B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 5
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 22				
Επιτηρητής 26				
Επιτηρητής 32				
Επιτηρητής 37				
Επιτηρητής 38				
Επιτηρητής 40				
Επιτηρητής 43				
Επιτηρητής 49				
Επιτηρητής 51				
Μάθημα 10	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	14-17	B1001,B1003,B1004,B1008	Καθηγητής 6
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 13				
Επιτηρητής 19				
Επιτηρητής 50				
Επιτηρητής 53				
Επιτηρητής 55				
Επιτηρητής 65				
Μάθημα 11	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 7
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 12				
Επιτηρητής 16				
Επιτηρητής 36				
Επιτηρητής 44				
Επιτηρητής 56				
Επιτηρητής 64				
Μάθημα 12	ΤΕΤΑΡΤΗ 26-08-2009	8-11	B1002,B1003	Καθηγητής 8
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 39				
Επιτηρητής 59				

Μάθημα 13	ΠΕΜΠΤΗ 27-08-2009	17-20	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 9
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 12				
Επιτηρητής 36				
Επιτηρητής 41				
Επιτηρητής 46				
Επιτηρητής 47				
Επιτηρητής 54				
Επιτηρητής 57				
Μάθημα 14	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	11-14	B1001,B1002,B1008	Καθηγητής 10
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 21				
Επιτηρητής 26				
Επιτηρητής 55				
Επιτηρητής 57				
Επιτηρητής 63				
Μάθημα 15	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	17-20	B1002	Καθηγητής 11
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 3				
Μάθημα 16	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	14-17	B1001,B1002	Καθηγητής 4
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 32				
Επιτηρητής 37				
Επιτηρητής 65				
Μάθημα 17	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 28-08-2009	8-11	B1008,B1003	Καθηγητής 4
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 21				
Επιτηρητής 30				
Επιτηρητής 59				
Μάθημα 18	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	11-14	B1102,B1001	Καθηγητής 12
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 5				
Επιτηρητής 19				
Επιτηρητής 33				
Μάθημα 19	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	8-11	B1001	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 4				

Επιτηρητής 50				
Μάθημα 20	ΣΑΒΒΑΤΟ 29-08-2009	8-11	Ε3002	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 28				
Μάθημα 21	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	8-11	Α2,Β1001,Β1008	Καθηγητής 13
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 2				
Επιτηρητής 7				
Επιτηρητής 10				
Επιτηρητής 27				
Επιτηρητής 41				
Επιτηρητής 50				
Επιτηρητής 55				
Επιτηρητής 60				
Μάθημα 22	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	14-17	Β1001,Β1008	Καθηγητής 14
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 3				
Επιτηρητής 5				
Επιτηρητής 38				
Επιτηρητής 40				
Μάθημα 23	Δ ΕΥΤΕΡΑ 31-08-2009	11-14	Β1001,Β1008	Καθηγητής 9
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 12				
Επιτηρητής 32				
Επιτηρητής 36				
Επιτηρητής 59				
Μάθημα 24	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	11-14	Β1002,Β1003	Καθηγητής 15
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 24				
Επιτηρητής 52				
Μάθημα 25	ΤΡΙΤΗ 1-09-2009	14-17	Α2,Β1001,Β1008	Καθηγητής 10
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 4				
Επιτηρητής 13				
Επιτηρητής 27				
Επιτηρητής 51				
Επιτηρητής 54				
Επιτηρητής 55				

Επιτηρητής 57				
Επιτηρητής 58				
Μάθημα 26	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	17-20	Α2	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 13				
Επιτηρητής 24				
Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 52				
Μάθημα 27	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	17-20	Ε3002	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 18				
Μάθημα 28	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	11-14	Α2,Β1001	Καθηγητής 6
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 13				
Επιτηρητής 19				
Επιτηρητής 50				
Επιτηρητής 53				
Επιτηρητής 55				
Επιτηρητής 65				
Μάθημα 29	ΤΕΤΑΡΤΗ 02-09-2009	14-17	Α2	Καθηγητής 16
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 19				
Επιτηρητής 54				
Επιτηρητής 55				
Επιτηρητής 58				
Μάθημα 30	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	11-14	Β1001,Β1002	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 1				
Επιτηρητής 36				
Επιτηρητής 65				
Μάθημα 31	ΠΕΜΠΤΗ 03-09-2009	14-17	Α2	Καθηγητής 17
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 43				
Επιτηρητής 46				
Επιτηρητής 47				
Επιτηρητής 65				
Μάθημα 32	ΠΕΜΠΤΗ	17-20	Β1001,Β1002	Καθηγητής 18

	03-09-2009			
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 43				
Επιτηρητής 61				
Μάθημα 33	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	17-20	B1001	Καθηγητής 19
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 52				
Επιτηρητής 62				
Μάθημα 34	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	11-14	B1001	Καθηγητής 20
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 9				
Επιτηρητής 34				
Μάθημα 35	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 04-09-2009	14-17	B1001,B1002	Καθηγητής 17
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 22				
Επιτηρητής 43				
Επιτηρητής 47				
Μάθημα 36	ΣΑΒΒΑΤΟ 5-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 36				
Επιτηρητής 44				
Επιτηρητής 64				
Μάθημα 37	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	8-11	A2,B1001,B1002	Καθηγητής 2
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 22				
Επιτηρητής 28				
Επιτηρητής 34				
Επιτηρητής 41				
Επιτηρητής 45				
Επιτηρητής 46				
Επιτηρητής 62				
Μάθημα 38	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	11-14	B1001,B1002	Καθηγητής 7
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 8				
Επιτηρητής 16				
Επιτηρητής 36				

Μάθημα 39	ΔΕΥΤΕΡΑ 7-09-2009	17-20	B1002,B1004	Καθηγητής 14
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 5				
Επιτηρητής 40				
Μάθημα 40	ΤΡΙΤΗ 8-09-2009	11-14	B1008	Καθηγητής 21
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 24				
Επιτηρητής 29				
Μάθημα 41	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	8-11	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 9
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 12				
Επιτηρητής 32				
Επιτηρητής 36				
Επιτηρητής 47				
Επιτηρητής 54				
Επιτηρητής 55				
Επιτηρητής 57				
Επιτηρητής 62				
Μάθημα 42	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	11-14	B1002,B1005	Καθηγητής 20
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 9				
Επιτηρητής 34				
Μάθημα 43	ΤΕΤΑΡΤΗ 9- 09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 22
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 2				
Επιτηρητής 7				
Επιτηρητής 27				
Επιτηρητής 37				
Επιτηρητής 39				
Επιτηρητής 51				
Επιτηρητής 60				
Επιτηρητής 63				
Μάθημα 44	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	11-14	A2	Καθηγητής 23
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 5				
Επιτηρητής 9				
Επιτηρητής 32				
Επιτηρητής 47				

Μάθημα 45	ΠΕΜΠΤΗ 10-09--2009	14-17	B1002,B1004	Καθηγητής 19
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 3				
Επιτηρητής 26				
Μάθημα 46	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	17-20	E3002	Καθηγητής 1
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 25				
Μάθημα 47	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	8-11	B1001	Καθηγητής 24
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 11				
Επιτηρητής 31				
Μάθημα 48	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 11-09-2009	14-17	A2,B1001,B1005,B1008	Καθηγητής 21
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 21				
Επιτηρητής 22				
Επιτηρητής 24				
Επιτηρητής 29				
Επιτηρητής 38				
Επιτηρητής 47				
Επιτηρητής 48				
Επιτηρητής 50				
Επιτηρητής 57				
Μάθημα 49	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	11-14	A2,B1001,B1006,B1008	Καθηγητής 5
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 7				
Επιτηρητής 9				
Επιτηρητής 18				
Επιτηρητής 23				
Επιτηρητής 29				
Επιτηρητής 32				
Επιτηρητής 51				
Επιτηρητής 56				
Επιτηρητής 57				
Μάθημα 50	ΣΑΒΒΑΤΟ 12-09-2009	8-11	B1008	Καθηγητής 25
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 10				
Επιτηρητής 11				
Μάθημα 51	ΔΕΥΤΕΡΑ	17-20	A2,B1002,B1003	Καθηγητής 26

	14-09-2009			
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 5				
Επιτηρητής 6				
Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 35				
Επιτηρητής 41				
Επιτηρητής 62				
Μάθημα 52	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	14-17	A2,B1002,B1005	Καθηγητής 22
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 2				
Επιτηρητής 7				
Επιτηρητής 27				
Επιτηρητής 39				
Επιτηρητής 48				
Επιτηρητής 60				
Μάθημα 53	ΔΕΥΤΕΡΑ 14-09-2009	11-14	B1004,B1007	Καθηγητής 27
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 14				
Επιτηρητής 20				
Μάθημα 54	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	14-17	A2,B1001,B1008	Καθηγητής 15
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 25				
Επιτηρητής 26				
Επιτηρητής 29				
Επιτηρητής 32				
Επιτηρητής 35				
Επιτηρητής 52				
Επιτηρητής 59				
Επιτηρητής 65				
Μάθημα 55	ΤΡΙΤΗ 15-09-2009	11-14	B1002,B1004,B1008	Καθηγητής 16
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 19				
Επιτηρητής 36				
Επιτηρητής 54				
Επιτηρητής 58				
Μάθημα 56	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	14-17	A2,B1001,B1003	Καθηγητής 13
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 2				
Επιτηρητής 7				

Επιτηρητής 10				
Επιτηρητής 27				
Επιτηρητής 54				
Επιτηρητής 55				
Επιτηρητής 60				
Μάθημα 57	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	8-11	B1005,B1008	Καθηγητής 27
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 14				
Επιτηρητής 20				
Επιτηρητής 30				
Μάθημα 58	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	11-14	A2	Καθηγητής 28
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 21				
Επιτηρητής 31				
Επιτηρητής 51				
Επιτηρητής 61				
Μάθημα 59	ΤΕΤΑΡΤΗ 16-09-2009	17-20	B1008,B1002,B1003	Καθηγητής 16
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 19				
Επιτηρητής 34				
Επιτηρητής 54				
Επιτηρητής 58				
Μάθημα 60	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	17-20	A2,B1001	Καθηγητής 24
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 11				
Επιτηρητής 23				
Επιτηρητής 24				
Επιτηρητής 31				
Επιτηρητής 50				
Επιτηρητής 59				
Μάθημα 61	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	11-14	B1001,B1005	Καθηγητής 26
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 17				
Επιτηρητής 27				
Επιτηρητής 42				
Μάθημα 62	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	14-17	B1002,B1003,B1008	Καθηγητής 28
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 21				

Επιτηρητής 31				
Επιτηρητής 51				
Επιτηρητής 62				
Μάθημα 63	ΠΕΜΠΤΗ 17-09-2009	8-11	A2,B1001	Καθηγητής 23
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 6				
Επιτηρητής 10				
Επιτηρητής 21				
Επιτηρητής 29				
Επιτηρητής 33				
Επιτηρητής 49				
Μάθημα 64	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	17-20	A2,B1002	Καθηγητής 25
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 10				
Επιτηρητής 11				
Επιτηρητής 22				
Επιτηρητής 26				
Επιτηρητής 31				
Μάθημα 65	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 18-09-2009	14-17	B1001,B1008	Καθηγητής 30
Επιτηρητές				
Επιτηρητής 6				
Επιτηρητής 17				
Επιτηρητής 41				
Επιτηρητής 42				