

Βελτιστοποίηση προγραμματισμού έργων υπό περιορισμό πόρων με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων

Χαράλαμπος Σίνος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Τεχνολογίας
Υπολογιστών

Μεταπτυχιακός Φοιτητής ΔΧΤ, ΕΑΠ

sinosxaris@yahoo.gr , std081157@ac.eap.gr

Αθανάσιος Χασιακός

Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστημίου Πατρών

και Μέλος ΣΕΠ ΔΧΤ ΕΑΠ

a.chassiakos@upatras.gr

Περίληψη - Το πρόβλημα του προγραμματισμού έργων υπό περιορισμό πόρων (RCPSP) και πολλαπλούς τρόπους εκτέλεσης εργασιών αποτελεί πιθανότατα ένα από τα πιο πολύπλοκα συνδυαστικά προβλήματα βελτιστοποίησης στη διαχείριση τεχνικών έργων. Αυτό συμβαίνει διότι το πρόβλημα περιλαμβάνει πολλαπλούς και αντικρουόμενους αντικειμενικούς στόχους και περιορισμούς, όπως την εξομάλυνση της χρήσης πόρων διατηρώντας παράλληλα τη χρήση πόρων εντός ορίων διαθεσιμότητας και τη διάρκεια του έργου εντός επιθυμητών ορίων. Το πεδίο των λύσεων αυξάνει σε μέγεθος καθώς ο αριθμός των διακριτών εργασιών και οι τρόποι εκτέλεσής τους αυξάνουν ενώ ανελαστικοί περιορισμοί στη διαθεσιμότητα των πόρων μπορεί να οδηγούν σε επιμήκυνση της διάρκειας του έργου και, κατ' επέκταση, σε μεγάλο αριθμό εφικτών χρόνων έναρξης των εργασιών και χρονοδιαγραμμάτων συνολικά. Η υιοθέτηση εξελικτικών αλγορίθμων σε αυτό τον τύπο προβλημάτων γίνεται απαραίτητη για την προσέγγιση των βέλτιστων λύσεων. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται μια συγκριτική ανάλυση μεταξύ πέντε εξελικτικών αλγορίθμων για την επίλυση του προβλήματος χρονοπρογραμματισμού έργων υπό περιορισμό πόρων και πολλαπλούς τρόπους εκτέλεσης των εργασιών. Η ανάλυση έχει στόχο να δώσει πληροφορίες για τις δυνατότητες των αλγορίθμων σε σχέση με την ποιότητα των λύσεων και την αποτελεσματικότητα στο σχεδιασμό μοντέλων, στην υλοποίησή τους και στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων. Η υλοποίηση των αλγορίθμων πραγματοποιήθηκε σε προγραμματιστικό περιβάλλον του Matlab για διευκόλυνση της διαδικασίας ανάλυσης. Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων από αρκετές μελέτες περιπτώσεων παρουσιάζουν τον Γενετικό αλγόριθμο (GA) και τον αλγόριθμο Βελτιστοποίησης με Σμήνος Σωματιδίων (PSO) ως τους πλέον κατάλληλους να δώσουν αποτελέσματα που, στις περισσότερες των περιπτώσεων, συμπίπτουν με τις βέλτιστες λύσεις ή είναι πολύ κοντά σε αυτές. Ο αλγόριθμος Αναζήτησης Αρμονίας (HS) και ο αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης (SA) αποκρίνονται καλά σε προβλήματα μεσαίου μεγέθους ενώ χαμηλότερη απόδοση, σε σχέση με τους άλλους αλγορίθμους, παρουσιάζει ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (ACO).

Λέξεις-Κλειδιά: Κατανομή Πόρων, Εξομάλυνση Πόρων, Εξελκτικοί Αλγόριθμοι, Προγραμματισμός Τεχνικών Έργων, Βελτιστοποίηση Πολλαπλών Στόχων

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προγραμματισμός τεχνικών έργων υπό χρονικούς περιορισμούς ή περιορισμένους πόρους είναι δύσκολο να

επιλυθεί με αναλυτικές μεθόδους, όσο μάλιστα ο αριθμός των εργασιών ενός έργου μεγαλώνει. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνει σημαντικά εάν ληφθούν υπόψη πολλαπλοί τρόποι εκτέλεσης εργασιών σε σχέση με τις ημερήσιες μονάδες πόρων που κατανέμονται ανά δραστηριότητα. Η δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφορετικών τρόπων εκτέλεσης (αν είναι πρακτικά εφικτή) μπορεί να βελτιώσει τη διαδικασία κατανομής των πόρων και να παρουσιάσει λύσεις οι οποίες ικανοποιούν τους (ή προσαρμόζονται καλύτερα στους) δεδομένους περιορισμούς διαθεσιμότητας πόρων και διάρκειας έργου αλλά, συγχρόνως, οδηγεί σε μεγαλύτερο μέγεθος προβλήματος λόγω του αυξημένου αριθμού εναλλακτικών εφικτών λύσεων. Συνεπώς, το πρόβλημα του χρονοπρογραμματισμού έργων με απλούς ή πολλαπλούς τρόπους εκτέλεσης εργασιών παραμένει ένα ενδιαφέρον πρόβλημα με κύριο στόχο την ανάπτυξη αποτελεσματικών διαδικασιών αναζήτησης μιας βέλτιστης λύσης ή λύσεων κοντά στη βέλτιστη μέσα στο χαώδες πεδίο λύσεων.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση περιλαμβάνει ποικιλία μεθόδων βελτιστοποίησης που μπορούν να ταξινομηθούν σε ακριβείς (exact) μεθόδους, σε ευρετικούς (heuristics) ή μεταευρετικούς (metaheuristics) αλγορίθμους. Οι ακριβείς μέθοδοι όπως ο γραμμικός, ο ακέραιος, ο δυναμικός προγραμματισμός ή ο προγραμματισμός υπό περιορισμούς (Menesi and Hegazy, 2014) μπορούν να παράγουν βέλτιστες λύσεις αλλά σπάνια για προβλήματα με ευρύ πεδίο αναζήτησης λύσεων. Παράλληλα, οι ακριβείς μέθοδοι αποδίδουν καλύτερα σε συνεχή προβλήματα αλλά ο προγραμματισμός έργων αποτελεί κατά βάση διακριτό πρόβλημα με διεσπαρμένα αποτελέσματα που μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους στην τελική κατανομή των πόρων, ακόμα κι αν διαφέρουν ελάχιστα στους χρόνους έναρξης εργασιών.

Οι ευρετικές προσεγγίσεις όπως ο αλγόριθμος 'branch and bound' παράγουν αρχικά μια λίστα λύσεων και μετά επιλέγονται κάποιες λύσεις κοντά στις βέλτιστες ενώ αποκλείονται κάποιες οριακές λύσεις. Οι Moukrim et al. (2015) χρησιμοποίησαν τον αλγόριθμο 'branch and price' με αλληλουχία δραστηριοτήτων για να λύσουν το πρόβλημα προγραμματισμού έργων υπό περιορισμό πόρων με στόχο την ελαχιστοποίηση της διάρκειας του έργου. Ένα μειονέκτημα των ευρετικών μεθόδων είναι ότι

δεν υπάρχει καθολικός αλγόριθμος που να μπορεί να αντιμετωπίσει όλα τα προβλήματα. Σύμφωνα με τους Kolisch και Drexl (1997), οι προσεγγίσεις με ευρετικές λύσεις αποτυγχάνουν να παράγουν εφικτές λύσεις όταν οι περιορισμοί στους πόρους γίνονται «ασφυκτικοί».

Οι μεταευρετικές τεχνικές είναι κατάλληλες για να παράξουν προσεγγιστικές λύσεις (όταν αυτές μπορούν να γίνουν αποδεκτές) σε περιπτώσεις όπου το καθολικό βέλτιστο είναι είτε άγνωστο ή υπολογιστικά χρονοβόρο να βρεθεί (Warren Liao et al, 2011). Στην κατηγορία αυτή, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι στοχαστικές διεργασίες που μιμούνται τη φυσική - βιολογική συμπεριφορά και εξέλιξη των ειδών. Η συνήθης λειτουργία των εξελικτικών αλγορίθμων είναι μια διαδοχική αναζήτηση βελτιωμένων λύσεων καθώς η διαδικασία εξελίσσεται και προοδευτική σύγκλιση προς τη βέλτιστη λύση. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την αναζήτηση βέλτιστων λύσεων σε προβλήματα προγραμματισμού έργων με πολλαπλούς στόχους (Warren Liao et al, 2011, Kaiafa και Chassiakos, 2015). Οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει πολλαπλούς τύπους πόρων (Zhang, 2012, Menesi και Hegazy, 2014), ανανεώσιμους ή μη ανανεώσιμους πόρους (Peteghem και Vanhoucke, 2008, Pérez et al, 2014) με στόχο να διερευνήσουν πιο ρεαλιστικές συνθήκες έργων, σταθερό ή μεταβλητό επίπεδο διαθεσιμότητας πόρων ανάλογα με τις ανάγκες στα κατασκευαστικά επί μέρους στάδια (Kang et al, 2015). Άλλοι ερευνητές χρησιμοποιούν υβριδικά σχήματα επωφελοόμενοι των πλεονεκτημάτων δύο ή περισσότερων αλγορίθμων ή χρησιμοποιούν έναν εξελικτικό αλγόριθμο σε συνδυασμό με μια άλλη μέθοδο. Προς αυτή την κατεύθυνση οι Orouji et al. (2014) χρησιμοποίησαν έναν υβριδικό αλγόριθμο με PSO και 'shuffled frog leaping' για να επιλύσουν το πρόβλημα RCPSP. Συγκρινόμενοι με άλλες μεθόδους, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι θεωρούνται πιο ευέλικτοι στον προγραμματισμό τους για ανάλυση πολλαπλών τρόπων εκτέλεσης δραστηριοτήτων με στόχο την επίτευξη ενός σχετικά ομοιόμορφου διαγράμματος κατανομής πόρων στη διάρκεια του έργου.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια συγκριτική ανάλυση μεταξύ πέντε εξελικτικών αλγορίθμων για την επίλυση του προβλήματος RCPSP. Οι μελέτες περιπτώσεων στοχεύουν να εμβαθύνουν όχι μόνο στην αποδοτικότητα των αλγορίθμων ως προς την ποιότητα των λύσεων και τις υπολογιστικές απαιτήσεις αλλά και στην ευστάθεια των αλγορίθμων, στη φιλικότητα του περιβάλλοντος χρήστη για το σχεδιασμό των μοντέλων, την υλοποίησή τους και τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων. Η υλοποίηση των αλγορίθμων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Matlab για διευκόλυνση της διαδικασίας ανάλυσης. Η παρουσίαση ακολουθεί την παρακάτω δομή: Στη δεύτερη ενότητα δίνεται μια περιγραφή του μοντέλου βελτιστοποίησης. Στην τρίτη ενότητα παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης προς επίδειξη της εφαρμογής του αλγορίθμου. Στη τέταρτη ενότητα αναλύονται τα σημαντικότερα ευρήματα της συγκριτικής αξιολόγησης των αλγορίθμων.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η αντικειμενική συνάρτηση του προτεινόμενου μοντέλου αναπαριστά το συνολικό κόστος ενσωματώνοντας όλους

τους αντικειμενικούς στόχους βελτιστοποίησης. Οι (συχνά αντικρουόμενοι) αντικειμενικοί στόχοι είναι η κατά το δυνατό συντομότερη αποπεράτωση του έργου, η μη υπέρβαση της διαθεσιμότητας των πόρων και της πιθανής προθεσμίας παράδοσης του έργου (αν υπάρχει), και η κατά το δυνατόν εξομάλυνση του διαγράμματος κατανομής πόρων κατά τη διάρκεια του έργου. Το σχετικό βάρος κάθε αντικειμενικού στόχου και ο βαθμός ποινής για την υπέρβαση κάθε περιορισμού λογίζεται σε μονάδες κόστους ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου υπό εξέταση έργου. Ειδικότερα το συνολικό κόστος απαρτίζεται από τα ακόλουθα μέρη:

- Το άμεσο κόστος του έργου εκφράζει τις δαπάνες για τους απασχολούμενους στο έργο πόρους.
- Το έμμεσο κόστος αφορά στα γενικά έξοδα του έργου, λογίζεται δε κατά προσέγγιση ανάλογο της διάρκειας του έργου.
- Το κόστος υπέρβασης της προθεσμίας περάτωσης του έργου αντιπροσωπεύει τις συνέπειες για τον κύριο του έργου της καθυστέρησης παράδοσης πέραν της προγραμματισμένης ημερομηνίας παράδοσης.
- Το κόστος υπέρβασης της ημερήσιας διαθεσιμότητας των πόρων εκφράζει το πρόσθετο κόστος που απαιτείται για μίσθωση επιπρόσθετων πόρων στη θέση του έργου.
- Το κόστος που εκφράζει τις διακυμάνσεις στη χρήση των πόρων κατά την εξέλιξη του έργου αντιπροσωπεύει τις πρόσθετες δαπάνες του αναδόχου από την ανάγκη συνεχούς μεταφοράς πόρων (κυρίως μηχανημάτων) προς και από το εργοτάξιο (ανάλογα με τις ημερήσιες ανάγκες) ή το κόστος ανενεργούς διακράτησης παραγωγικών πόρων στη θέση του έργου.

Η ανάλυση περιλαμβάνει δύο θεωρήσεις ως προς τον τρόπο εκτέλεσης των εργασιών. Στη πρώτη θεωρείται ότι κάθε δραστηριότητα θα εκτελεσθεί με συγκεκριμένο τρόπο, δηλαδή με συγκεκριμένο αριθμό πόρων και διάρκεια. Η βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων του έργου πραγματοποιείται εξετάζοντας αποκλειστικά χρονικό αναπρογραμματισμό των εργασιών υπό τον περιορισμό πάντοτε των σχέσεων διαδοχής μεταξύ αυτών. Στη δεύτερη περίπτωση θεωρούνται πολλαπλοί τρόποι εκτέλεσης δραστηριοτήτων όπου η αθροιστική απαίτηση πόρων κάθε δραστηριότητας είναι δεδομένη και αμετάβλητη αλλά είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί συνδυασμοί ημερήσιων χρησιμοποιούμενων πόρων και διάρκειας εργασίας.

Στα πλαίσια της εργασίας υλοποιήθηκαν και μελετήθηκαν πέντε εξελικτικοί αλγόριθμοι ως προς την αποτελεσματικότητα επίλυσης του προβλήματος. Αυτοί είναι ο Γενετικός Αλγόριθμος (Genetic Algorithm-GA), ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης με Σμήνος Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization-PSO), ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization-ACO), ο αλγόριθμος Αναζήτησης Αρμονίας (Harmony Search-HS) και ο αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτησης (Simulated Annealing-SA). Όλοι οι αλγόριθμοι προγραμματίστηκαν σε Matlab για να διευκολυνθεί η ανάπτυξη και η παραμετροποίηση των αλγορίθμων, η διαχείριση των δεδομένων και των εφαρμογών των αλγορίθμων, καθώς και η ανάλυση ευαισθησίας των παραγόμενων λύσεων. Κοινό στοιχείο

των αλγορίθμων είναι μια επαναληπτική διαδικασία με ένα πλήθος φορέων (χρωμοσώματα, σωματίδια, μυρμήγκια, αρμονίες κτλ) που ξεκινούν από μια τυχαία αρχική λύση υπολογίζοντας την τιμή κόστους της αντικειμενικής συνάρτησης και προοδευτικά καταλήγουν σε λύσεις ελαχίστου κόστους της αντικειμενικής συνάρτησης. Η κάθε λύση αναπαριστά ένα πρόγραμμα εργασιών του έργου, όπου η κάθε εργασία προσδιορίζεται είτε από το χρόνο έναρξής της ή από το χρονικό περιθώριο σε σχέση με τις αμέσως προηγούμενές της. Στη θεώρηση εναλλακτικών τρόπων εκτέλεσης εργασιών, σε κάθε βήμα της διαδικασίας βελτιστοποίησης επιλέγεται για κάθε δραστηριότητα μια συγκεκριμένη διάρκεια εντός του εύρους των εφικτών διαρκειών και προσαρμόζονται (αντιστρόφως) ανάλογα οι ημερήσιοι πόροι ώστε να διατηρείται σταθερή η συνολική απαίτηση πόρων για την εν λόγω εργασία. Οι διάρκειες των εργασιών, σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους χρόνους έναρξης τους και τις σχέσεις διαδοχής, καθορίζουν το χρονοδιάγραμμα της λύσης ενώ οι πόροι των εργασιών, σε συνδυασμό με το χρονοδιάγραμμα εργασιών, καθορίζουν το διάγραμμα κατανομής πόρων του έργου.

περιορισμούς. Η 1^η περίπτωση αναφέρεται στο αρχικό πρόγραμμα έργου με την ενωρίτερη έναρξη κάθε εργασίας. Η 2^η περίπτωση αφορά στη βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων χωρίς να αυξηθεί η διάρκεια του έργου (δηλαδή οι εργασίες μπορούν να καθυστερήσουν μόνο εντός των περιθωρίων τους). Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάθεση ενός υψηλού κόστους για κάθε ημέρα υπέρβασης της διάρκειας του έργου πέραν της 15^{ης} ημέρας. Στη 3^η και 4^η περίπτωση εισάγεται περιορισμός διαθεσιμότητας των πόρων σε 4 μονάδες ανά ημέρα. Η μοντελοποίηση επιτυγχάνεται με υψηλό πρόσθετο κόστος (ποινή), σε σχέση με τους υπόλοιπους όρους κόστους, για κάθε υπέρβαση (σε αριθμό ημερών και αριθμό επιπλέον πόρων) της δοθείσας διαθεσιμότητας των πόρων. Στην 3^η περίπτωση κάθε εργασία εκτελείται με συγκεκριμένο τρόπο (προκαθορισμένη διάρκεια και ημερήσιοι πόροι), ενώ στην 4^η περίπτωση θεωρούνται εναλλακτικοί τρόποι εκτέλεσης για κάθε εργασία (μεταβαλλόμενη διάρκεια και πόροι αλλά σταθεροί αθροιστικά πόροι). Στην 3^η και στην 4^η περίπτωση, εμπειρική (αλλά και υπολογιστική) ανάλυση δείχνει ότι το διάγραμμα πόρων μπορεί να εξομαλυνθεί πλήρως με διάρκεια έργου 22 ημερών.

III. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

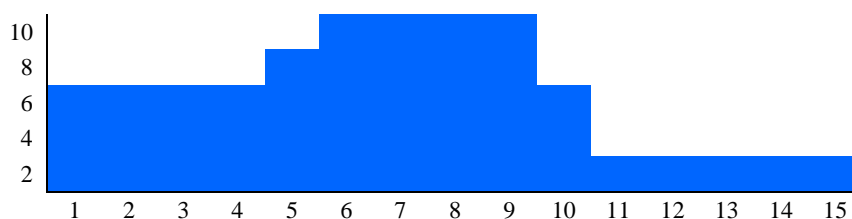
Ένα έργο με οκτώ εργασίες παρουσιάζεται στα πλαίσια της μελέτης περίπτωσης με τα δεδομένα του προβλήματος να παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Ο ίδιος τύπος πόρου χρησιμοποιείται σε όλες τις εργασίες. Στο Σχήμα 1 φαίνεται το διάγραμμα Gantt και το γράφημα κατανομής πόρων για τις ενωρίτερες ενάρξεις των εργασιών. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, η διάρκεια του έργου είναι 15 ημέρες και η μέγιστη ημερήσια χρήση πόρων είναι 10 μονάδες.

Στον Πίνακα 2 αξιολογείται ένας αριθμός σεναρίων με διαφορετικές προτεραιότητες βελτιστοποίησης και

Πίνακας 1: Δεδομένα έργου μελέτης περίπτωσης

Εργασία	Άμεσα	Διάρκεια	# Πόρων
	Προηγούμενη		
A	-	5	2
B	-	10	2
C	-	4	2
D	A	7	2
E	C	5	2
F	A	4	2
G	C	6	2
H	B, D, E	3	2

Εργασία	Χρόνος														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	2	2	2	2	2										
B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
C	2	2	2	2											
D						2	2	2	2	2	2	2			
E					2	2	2	2	2						
F						2	2	2	2						
G					2	2	2	2	2	2					
H													2	2	2
Σύνολο	6	6	6	6	8	10	10	10	10	6	2	2	2	2	2



Σχήμα 1. Διάγραμμα Gantt και γράφημα κατανομής πόρων για τις ενωρίτερες ενάρξεις των εργασιών

Το Σχήμα 2 ενδεικτικά αναπαριστά το διάγραμμα Gantt και το διάγραμμα κατανομής πόρων για την 4^η περίπτωση. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η εξέλιξη της σύγκλισης της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης για μια ενδεικτική περίπτωση. Σε αυτήν, ο Γενετικός Αλγόριθμος, εφαρμοζόμενος στην 3^η περίπτωση,

συγκλίνει στη βέλτιστη λύση μετά από 140 γενιές (επαναλήψεις) για όλα τα χρωμοσώματα που χρησιμοποιήθηκαν. Ο Πίνακας 3 συνοψίζει τα αποτελέσματα από τους πέντε αλγόριθμους για την κάθε περίπτωση που αναλύθηκε (η συζήτηση ακολουθεί στην επόμενη ενότητα).

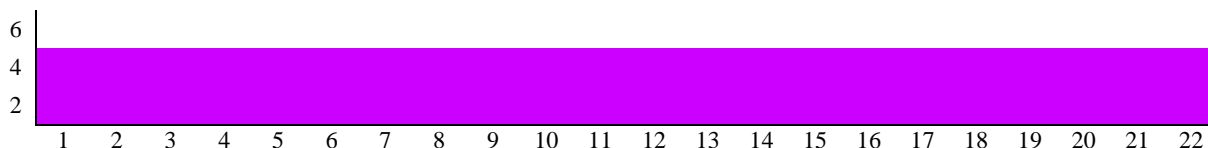
Πίνακας 2. Βέλτιστα αποτελέσματα κατανομής πόρων στα διαφορετικά σενάρια της μελέτης περίπτωσης

Αριθμός περίπτωσης	Περιγραφή περίπτωσης	Περιορισμός πόρων	Διάρκεια έργου	Μέγιστη απαίτηση πόρων	Τυπική απόκλιση ημερήσιων πόρων*	Αθροιστική μεταβολή πόρων**
1	Ενωρίτερες ενάρξεις εργασιών	-	15	10	3.25	12
2	Κατανομή πόρων εντός των διαθέσιμων περιθωρίων εργασιών	-	15	6	0.52	2
3	Κατανομή πόρων εντός των περιορισμών πόρων, χωρίς αλλαγή σε διάρκεια και πόρους δραστηριοτήτων	$R \leq 4$	22	4	0	0
4	Κατανομή πόρων εντός των περιορισμών πόρων, με χρήση εναλλακτικών τρόπων εκτέλεσης (αλλαγή διάρκειας και πόρων δραστηριοτήτων)	$R \leq 4$	22	4	0	0

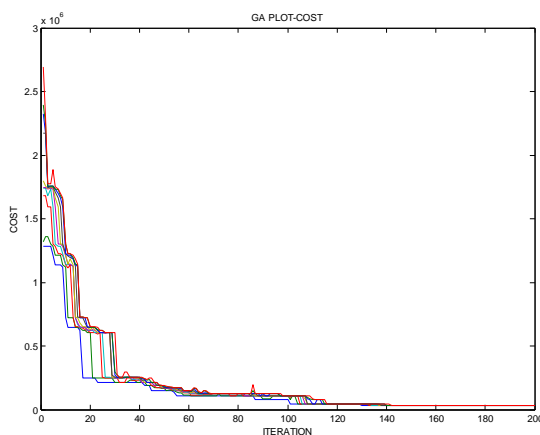
* Εκφράζει τη διαφοροποίηση στην ημερήσια απαίτηση πόρων

** Εκφράζει τον αθροιστικό αριθμό πόρων που εισέρχονται και εξέρχονται από το έργο μέρα με τη μέρα ανάλογα με τις ανάγκες

Εργασία	Χρόνος																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
A			2	2	2	2	2															
B			2	2	2	2	2	2	2	2	2											
C	4	4																				
D													2	2	2	2	2	2	2			
E								2	2	2	2	2										
F													2	2	2	2						
G																	2	2	2	2	2	2
H																				2	2	2
Σύνολο	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4



Σχήμα 2. Διάγραμμα Gantt και γράφημα κατανομής πόρων - 4^η περίπτωση μελέτης



Σχήμα 3. Σύγκλιση συνάρτησης κόστους με τον γενετικό αλγόριθμο για την 3^η περίπτωση

Πίνακας 3. Αποτελέσματα αξιολόγησης αλγορίθμων

Αλγόριθμος		Περίπτωση 2	Περίπτωση 3	Περίπτωση 4
Γενετικός αλγόριθμος	Κόστος Έργου – Διάρκεια	10900-15	32000-22	32000-22
	Υπολογιστικός Χρόνος	1 sec	8 sec	240 sec
Αποικία Μυρμηγκιών	Κόστος Έργου – Διάρκεια	12100-15	39100-23	62600-29
	Υπολογιστικός Χρόνος	1 sec	4 sec	10 sec
Σμήνος Σωματιδίων	Κόστος Έργου – Διάρκεια	10900-15	32000-22	32000-22
	Υπολογιστικός Χρόνος	1 sec	2 sec	145 sec
Προσομοιωμένη Ανόπτηση	Κόστος Έργου – Διάρκεια	10900-15	32000-22	45300-24
	Υπολογιστικός Χρόνος	1 sec	3 sec	29 sec
Αναζήτηση Αρμονίας	Κόστος Έργου – Διάρκεια	10900-15	32000-22	48200 -25
	Υπολογιστικός Χρόνος	1 sec	36 sec	50 sec

IV. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 3 (κι από άλλες αναλύσεις και μελέτες περιπτώσεων) καταγράφονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Σε σχέση με την αποτελεσματικότητα εύρεσης των βέλτιστων λύσεων, η σύγκριση των αλγορίθμων δείχνει ότι ο Γενετικός αλγόριθμος (GA) και ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (PSO) παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα από τους υπόλοιπους αλγορίθμους. Αντιθέτως, ο αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών (ACO) εμφανίζει τη μικρότερη αποτελεσματικότητα ανάμεσα στους πέντε αλγορίθμους.
- Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων κρίνεται απαραίτητη για την μεγιστοποίηση της απόδοσης των αλγορίθμων. Ο Γενετικός αλγόριθμος απαιτεί τη μικρότερη προσπάθεια επιτυχούς παραμετροποίησης ενώ οι PSO και ACO είναι οι πιο εξαρτημένοι αλγόριθμοι όσον αφορά τις κατάλληλες τιμές των παραμέτρων τους.
- Η θεώρηση εναλλακτικών τρόπων εκτέλεσης εργασιών (περίπτωση 4), παρόλο που προσφέρει τη δυνατότητα για καλύτερη προσέγγιση των αντικειμενικών στόχων και των περιορισμών του προβλήματος, εντούτοις αυξάνει το συνολικό πλήθος των λύσεων και συνεπώς μεγεθύνει τη δυσκολία για εύρεση της βέλτιστης λύσης.
- Η εύρεση της βέλτιστης λύσης δεν είναι εξασφαλισμένη σε κάθε εφαρμογή αλγορίθμου λόγω της τυχαιότητας στην εξελικτική διαδικασία των αλγορίθμων. Ο βαθμός επιτυχίας (δηλαδή το ποσοστό εύρεσης της βέλτιστης λύσης σε ένα αριθμό επαναλήψεων της εφαρμογής του αλγορίθμου) αποτελεί κριτήριο αποτελεσματικότητας και, σε σχέση με το κριτήριο αυτό, ο Γενετικός Αλγόριθμος παρουσιάζει το υψηλότερο ποσοστό επιτυχίας.
- Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια αποτελεσματικότητας των αλγορίθμων, ο Γενετικός Αλγόριθμος εμφανίζεται ως η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την επίλυση του προβλήματος προγραμματισμού έργων με περιορισμένους πόρους (RCPSP).

Το πρόβλημα της εξομάλυνσης των πόρων σε τεχνικά έργα είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και απαιτητικά στο χώρο της διαχείρισης έργων. Η βελτιστοποίηση περιλαμβάνει αντικρουόμενους αντικειμενικούς στόχους και περιορισμούς, όπως, για παράδειγμα, την εξομάλυνση της χρήσης πόρων με ταυτόχρονη διατήρηση της διάρκειας έργου εντός των επιθυμητών ορίων και της

χρήσης των πόρων εντός των περιορισμών διαθεσιμότητας των. Το πεδίο λύσεων διογκώνεται σημαντικά σε αριθμό καθώς το πλήθος των εργασιών και των τρόπων εκτέλεσής τους μεγαλώνει, ενώ παράλληλα ανελαστικοί περιορισμοί της διαθεσιμότητας των πόρων μπορεί να οδηγούν σε επιμήκυνση της διάρκειας έργου με παράλληλη αύξηση του αριθμού των εφικτών λύσεων προγραμματισμού του έργου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η υιοθέτηση εξελικτικών αλγορίθμων καθίσταται αναγκαία για την προσέγγιση των βέλτιστων λύσεων. Παρά τα πολύ υποσχόμενα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτών των αλγορίθμων, περαιτέρω μελέτη απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος αποτελεσματικά, ειδικά όσο αυξάνει το μέγεθος του έργου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Kaiafa, S. and Chassiakos, A.P. (2015). "A genetic algorithm for optimal resource-driven project scheduling". *Procedia Engineering* 123, 260 – 267
- Kang, L., Moon, H., Min, C., Kim, S., and Kim, H. (2015). "Developing an active resource allocation algorithm considering resource supply and demand in a construction site". *KSCCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 19, pp 17-27.
- Kolisch, R. and Drexel, A. (1997). "Local search for nonpreemptive multimode resource-constrained project scheduling". *IIE Transactions*, Vol. 29, pp 987-999.
- Menesi, W and Hegazy, T. (2015). "Multimode resource-constrained scheduling and leveling for practical-size projects". *Journal of Management in Engineering*, 31(6): 04014092
- Moukrim, A., Quilliot, A., and Toussaint, H. (2015). "An effective branch-and-price algorithm for the Preemptive Resource Constrained Project Scheduling Problem based on minimal Interval Order Enumeration". *European Journal of Operational Research*, Vol. 244, No 2, pp 360-368.
- Orouji, H., Bozorg Haddad O., Fallah-Mehdipour E, Marino M.A. (2014). "Extraction of decision alternatives in project management: Application of hybrid PSO-SFLA". *Journal of Management in Engineering*, Vol. 30, No 1, pp 50-59.
- Pérez, Á., Quintanilla, S., Lino, P. and Valls, V. (2014). "A multi-objective approach for a project scheduling problem with due dates and temporal constraints infeasibilities". *International Journal of Production Research*, Vol. 52, No 13, pp 3950-3965.
- Peteghem, V. and Vanhoucke, M. (2008). "A genetic algorithm for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem". Working paper, Gent University, Belgium.
- Warren Liao, T., Egbelu, P.J., Sarker, B.R., and Leu, S.S. (2011). "Metaheuristics for project and construction management – A state-of-the-art review". *Automation in Construction*, Vol. 20, pp. 491-505.
- Zhang, H. (2012). "Ant colony optimization for multimode resource-constrained project scheduling". *Journal of Management in Engineering*, Vol. 28, No 2, pp 150-159.