

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΜΕΓΑΛΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΡΓΟΥ

υπό

ΒΕΡΥΚΟΚΟΥ ΑΝΔΡΕΑ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού Βιομηχανίας

2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7776/1
Ημερ. Εισ.: 11-12-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2009
ΒΕΡ

© Βερύκοκος Ανδρέας 2009

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Ζηλιασκόπουλος Αθανάσιος
(Επιβλέπων) Καθηγητής Βελτιστοποίησης Συστημάτων
Παραγωγής / Μεταφορών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Κοζανίδης Γεώργιος
Καθηγητής Μέθοδοι Βελτιστοποίησης Συστημάτων
Παραγωγής/Υπηρεσιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Παντελής Δημήτριος
Καθηγητής, Στοχαστικά Πρότυπα Επιχειρησιακής Έρευνας
στη Βιομηχανική Διοίκηση, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αθανάσιο Ζηλιασκόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα θέμα το οποίο με ενδιαφέρει πολύ για την μετέπειτα πορεία μου και για τις οδηγίες που μου έδωσε σε κρίσιμα σημεία στα οποία δεν ήξερα πως να συνεχίσω. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον συνάδελφο μεταπτυχιακό φοιτητή Θωμά Δηλμά για τις πολύ χρήσιμες διορθώσεις και υποδείξεις που με βοήθησαν να κερδίσω πολύτιμο χρόνο καθώς και όλη την ομάδα του εργαστηρίου, την Κατερίνα, την Μαρία, τον Τριαντάφυλλο, τον Θανάση, τον Χρήστο και τον Βαγγέλη που με έκαναν να νιώθω όμορφα και φιλόξενα στο χώρο εργασίας. Εν συνεχεία θα ήθελα να πω ένα ευχαριστώ από την καρδιά μου στους φίλους μου Γιάννη Ε., Γιάννη Γ., Θένια, Κώστα γιατί έκαναν τα φοιτητικά μου χρόνια μια αξέχαστη εμπειρία και στην Άρτεμη που με στηρίζει πάντα και με ενθαρύνει να κάνω αυτά που θέλω να κάνω όταν διστάζω. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη ηθική και οικονομική και να αφιερώσω την εργασία αυτή στο νεότερο μέλος της οικογένειάς μου, τον μικρό μου αδερφό Μάριο.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ
ΕΚΚΕΝΩΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΡΓΟΥ

ΒΕΡΥΚΟΚΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών 2009

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Ζηλιασκόπουλος Αθανάσιος, Καθηγητής
Βελτιστοποίησης Συστημάτων Παραγωγής / Μεταφορών, Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Τα προβλήματα ανάθεσης ανθρώπινου δυναμικού και ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου εκτέλεσης ενός έργου παρουσιάζονται σε καθημερινή βάση σε διάφορες μορφές. Το εύρος των μορφών αυτών ξεκινάει από το προφανές που είναι η ολοκλήρωση ενός μεγάλου δημοσίου ή ιδιωτικού έργου με συγκεκριμένη προθεσμία παράδοσης και φτάνει έως και κάποιες όχι τόσο προφανείς όπως είναι η πολιτική προστασία και πιο συγκεκριμένα η εκκένωση ενός χώρου σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο. Το γεγονός ότι το κόστος της ανθρώπινης ζωής είναι ανυπολόγιστο κάνει πολλή σημαντική την λύση προβλημάτων που έχουν να κάνουν με πολιτική προστασία. Στα πλαίσια του προαναφερθέντος λόγου δημιουργήθηκε και η συγκεκριμένη εργασία με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για το πώς θα μπορούσε να γίνεται αποτελεσματικότερα η εκκένωση του νοσοκομείου διότι μέχρι τώρα δεν ακολουθείται κάποια συγκεκριμένη στρατηγική.

Η ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων για την βελτιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης ενός έργου έχει ξεκινήσει από την δεκαετία του 1950 και από τότε μέχρι σήμερα έχει δημοσιευθεί πληθώρα εργασιών και αλγορίθμων πάνω στο θέμα οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί είτε στα πλαίσια ακαδημαϊκής έρευνας είτε για να εξυπηρετηθούν συγκεκριμένες απαιτήσεις της αγοράς.

Η παρουσιαζόμενη μέθοδος είναι μια μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Fayez F. Boctor και είναι μια προσαρμογή και βελτίωση των αλγορίθμων SGS (scheduling generation scheme) οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά κόρον ειδικά για

μεγάλα προβλήματα διότι δίνουν ικανοποιητικές λύσεις σε μικρά χρονικά διαστήματα.

Στην εργασία αυτή λύνεται με τη μέθοδο του Boctor [23] ένα υποθετικό παράδειγμα χρησιμοποιώντας εκτιμήσεις του χρόνου εκτέλεσης των διαφόρων διαδικασιών και της απορροφητικότητας κάθε μιας σε διαθέσιμους πόρους και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από αυτά.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	11
1.1	Περιγραφή του προβλήματος	11
1.2	Στόχος εκπόνησης εργασίας	12
1.3	Οργάνωση εργασίας	13
Κεφάλαιο 2:	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	14
2.1	Ιστορική αναδρομή των RCPSP	14
2.2	Στοιχεία των PSP Εισαγωγή	15
2.2.1	Διαδικασίες	15
2.2.2	Σχέσεις αλληλουχίας	15
2.2.3	Διαθέσιμοι πόροι	16
2.3	Βασικότερες κατηγορίες RCPSP	16
2.3.1	Basic Multi-Mode RCPSP	18
2.4	Ακριβείς μέθοδοι επίλυσης	19
2.5	Ευρεστικές μέθοδοι επίλυσης	23
2.6	Συμπεράσματα	25
Κεφάλαιο 3:	Μεθοδολογία επίλυσης	26
3.1	Ορισμός MMRCPS	26
3.2	Μαθηματική μορφοποίηση του προβλήματος	27
3.3	Ευρεστικές μέθοδοι βασισμένες σε κανόνες προτεραιότητας (priority rule based scheduling)	29
3.3.1	Σχήματα SGS	29
3.3.1.1	Σειριακά σχήματα S-SGS	29

3.3.1.2	Παράλληλα σχήματα P-SGS.....	30
3.3.1.3	Κανόνες προτεραιότητας(priority rules).....	31
3.3.1.4	Κανόνες επιλογής modes	31
3.4	Boctor’s Heuristic	32
3.5	Αξιολόγηση των κανόνων προτεραιότητας και επιλογής modes με το κριτήριο του Boctor.....	35
3.6	Συμπεράσματα	35
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή εκκένωσης		36
4.1	Αναλυτική περιγραφή εκκένωσης	36
4.2	Γράφημα αλληλουχίας διαδικασιών	38
4.3	Συμπεράσματα	38
Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή μεθόδου		40
5.1	Τύποι δεδομένων και θεωρήσεις προβλήματος	40
5.2	Οργάνωση δεδομένων.....	41
5.3	Εφαρμογή μεθόδου	43
5.4	Συμπεράσματα	56
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και συμπεράσματα.....		57
6.1	Αποτελέσματα μεθόδου	57
6.2	Συμπεράσματα	58
Βιβλιογραφία		60

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1.....	10
Πίνακας 2.....	43
Πίνακας 3.....	43
Πίνακας 4.....	44

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 1.....	11
Σχήμα 2.....	40
Σχήμα 3.....	45

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Περιγραφή του προβλήματος

Σε μια χώρα ιδιαίτερα σεισμογενή όπως είναι η Ελλάδα η ανάγκη για ένα ενιαίο κρατικό σχέδιο δράσης σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης κρίνεται επιτακτική και ειδικά τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί μεγάλη βαρύτητα στο θέμα λόγω των αυξημένων πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν στη χώρα μας αλλά και του αυξημένου φόβου τρομοκρατικών ενεργειών που έχει δημιουργηθεί κυρίως από γεγονότα που έχουν συμβεί στο εξωτερικό . Για αυτούς τους λόγους το 1992 συντάχθηκε το πρώτο σχέδιο 'ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ' το οποίο ολοκληρώθηκε και εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 1999. Μέσα στο σχέδιο δίνεται η οδηγία ότι κάθε οργανισμός και ίδρυμα πρέπει να διαθέτει δικό του σχέδιο δράσης εκπονημένο σε συνεννόηση με τις αρμόδιες τοπικές αρχές. Επίσης μέσα στο σχέδιο περιγράφονται οι ενέργειες κάθε συμμετέχοντα στην εκκένωση του κτιρίου καθώς και η προεργασία η οποία πρέπει να έχει γίνει σε θέματα όπως η επιλογή κατάλληλου χώρου για την συγκέντρωση των ασθενών κ.τ.λ. Το πρόβλημα προς λύση είναι το πώς μπορούν να συντονιστούν οι ενέργειες των συμμετεχόντων στην εκκένωση έτσι ώστε να μπορέσει αυτή να γίνει στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Η διαδικασία αυτή εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της επιστήμης της Διαχείρισης Έργων (Project Management) με εφαρμογή στην κατηγορία των προβλημάτων Προγραμματισμού Έργων (PSP, Project Scheduling Problems). Ακόμα πιο εξειδικευμένα επειδή στις περισσότερες των περιπτώσεων εμφανίζονται περιορισμοί όσων αφορά το προσωπικό(resource constraints) για να γίνουν όλες οι διαδικασίες στο μέγιστο βαθμό απόδοσής τους, γίνεται μια προσπάθεια διαχείρισης του ανθρωπίνου δυναμικού με τρόπο τέτοιο έτσι ώστε να πετύχουμε το βέλτιστο δυνατόν αποτέλεσμα πάντα ωστόσο δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στους περιορισμούς που προκύπτουν από την λογική αλληλουχία των γεγονότων(precedence constraints) π.χ. πρώτα αποχωρούν οι περιπατητικοί ασθενείς και μετά οι βαριά άρρωστοι. Έτσι λόγω των προαναφερθέντων, το πρόβλημα που τελικά προκύπτει είναι το πρόβλημα του προγραμματισμού έργου με περιορισμένους πόρους και με διαδικασίες οι οποίες μπορούν να γίνουν με πολλούς τρόπους όσων αφορά τον αριθμό των συμμετεχόντων και την διάρκεια της εκάστοτε διαδικασίας (multimode* resource constraint project scheduling problem *MMRCPSP*). Το συγκεκριμένο νοσοκομείο το οποίο επιλέχθηκε ως παράδειγμα είναι το Γ. Νοσοκομείο Βόλου «ΑΧΙΛΟΠΟΥΛΕΙΟ».

1.2 Στόχος εκπόνησης εργασίας

Στόχος της εργασίας είναι η κατηγοριοποίηση του προβλήματος και η αποτύπωση των διαδικασιών που πρέπει να πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια εκκένωσης ενός νοσοκομείου με εφαρμογή στο Γενικό Νοσοκομείο Βόλου «ΑΧΙΛΛΟΠΟΥΛΕΙΟ», σε περίπτωση που κριθεί αναγκαία όπως π.χ. σε μια φυσική καταστροφή (σεισμό, πλημμύρα κτλ) ή σε κάποιο ατύχημα (εσωτερική φωτιά), και η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του έργου (minimizing makespan objective). Όλες οι διαδικασίες και η σειρά με την οποία πραγματοποιούνται δημιουργήθηκαν σε συμφωνία με το σχέδιο δράσης του νοσοκομείου το οποίο εκπονήθηκε με βάση τις αρχές του γενικού σχεδίου πολιτικής προστασίας με το κωδικό όνομα 'ΞΕΝΟΚΡΑΤΗΣ'

Στόχος της εργασίας όσο και βασική συνεισφορά της είναι να βρεθεί μια μέθοδος με την οποία να λυθεί το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης του έργου τηρώντας τους δοσμένους περιορισμούς και δίνοντας ως αποτέλεσμα ένα πλάνο εργασιών στο οποίο θα φαίνονται με ποια σειρά γίνονται οι διάφορες διαδικασίες, πότε ξεκινάει η κάθε μια, πόσοι συμμετέχουν σε κάθε μια και τέλος το συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης των εργασιών.

* mode : διατεταγμένο ζεύγος της μορφής (απορρόφηση πόρων, διάρκεια διαδικασίας)

1.3 Οργάνωση εργασίας

Το υπόλοιπο της εργασίας οργανώνεται ως εξής. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στην ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των κυριότερων *PSP* προβλημάτων καθώς και των μεθόδων που ακολουθήθηκαν για την επίλυσή τους μέσα από βιβλιογραφικές αναφορές. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται ανάπτυξη της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος. Στην συνέχεια στο κεφάλαιο 4 παραθέεται η αναλυτική περιγραφή της εκκένωσης μαζί με την μαθηματική μορφοποίηση του προβλήματος και τον ορισμό των παραμέτρων του προβλήματος. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται αρχικά τα δεδομένα σε πίνακες και αμέσως μετά παρουσιάζεται βήμα προς βήμα η εφαρμογή της μεθόδου. Τέλος στο κεφάλαιο 6 γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων και εξάγονται τα ανάλογα συμπεράσματα..

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη της κατηγορίας των προβλημάτων στην οποία θα ενταχθεί το εξεταζόμενο πρόβλημα καθώς και διάφοροι αλγόριθμοι ακριβείς και ευρεστικοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην βιβλιογραφία για τη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος καθώς και παρατίθενται βασικές πληροφορίες για την κατανόηση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται μαζί με ανάλυση κάποιων από τις βασικότερες παραμέτρους των RCPSP προβλημάτων.

2.1 Ιστορική αναδρομή των RCPSP.

Τα πρώτα βήματα στην διαμόρφωση της επιστήμης του Project Management ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του 1950 (Icmeli [1]) όταν για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές *PERT* και *CPM*. Με αυτές τις τεχνικές μπορεί να απεικονιστεί ένα έργο με το σχηματισμό ενός διαγράμματος δικτύου στο οποίο η απεικόνιση γίνεται κυρίως με δύο τρόπους (Kolisch and Padman [2]):

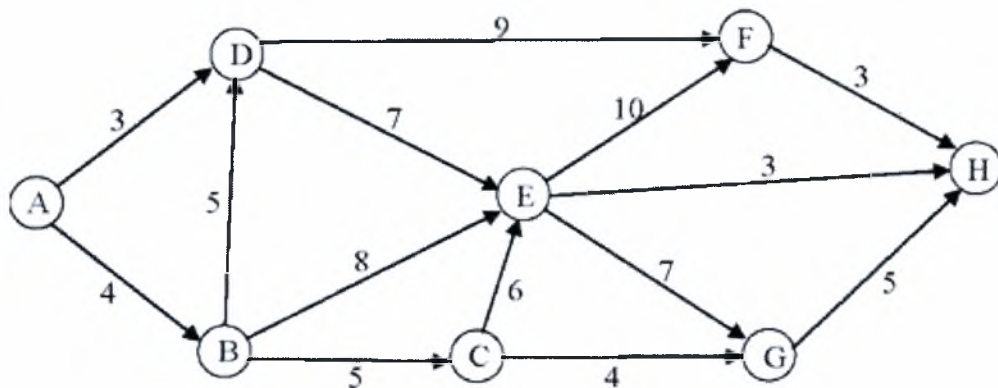
1. Οι δραστηριότητες απεικονίζονται από βέλη και τα διάφορα γεγονότα από κόμβους (AOA, activity on arc representation).

2. Οι δραστηριότητες και όποιες άλλες πληροφορίες τις συνοδεύουν απεικονίζονται στους κόμβους και οι σχέσεις αλληλουχίας απεικονίζονται από τα βέλη (AON, activity on node representation).

Στα *PSP* έχει επικρατήσει η AON απεικόνιση Σχ.1 (περισσότερες πληροφορίες για τις τεχνικές *PERT*, *CPM* βρίσκονται στην εργασία Kolisch R, Padman R. [2]).

Ωστόσο με τις τεχνικές αυτές μπορούν να απεικονιστούν και να επεξεργαστούν μόνο οι μεταβλητές του χρόνου που σχετίζονται με το πρόβλημα και δεν μπορούν να ληφθούν υπ' όψη οι περιορισμοί σε διαθέσιμους πόρους. Σαφώς το μοντέλο αυτό απέχει πολύ από την πραγματικότητα διότι οι διάρκειες των εργασιών επηρεάζονται από το γεγονός ότι τη στιγμή που λαμβάνουν χώρα μπορεί οι πόροι που απαιτούνται, για να περατωθεί η εργασία στον δεδομένο χρόνο, να μην είναι διαθέσιμοι και έτσι να υπάρχουν καθυστερήσεις στην ολοκλήρωση του έργου. Τα *RCPSP*(resource constraint project scheduling problems) διαμορφώθηκαν με σκοπό να καλύψουν αυτό το κενό. Υπάρχουν πολλές μορφές τροποποιημένων *PSP* όπου κάθε μια περιλαμβάνει

διαφορετικές θεωρήσεις με απώτερο σκοπό την όσο το δυνατόν καλύτερη προσομοίωση της πραγματικότητας (περισσότερα για τις θεωρήσεις και απλουστεύσεις του μοντέλου δίνονται στην περιγραφή της μεθοδολογίας κεφάλαιο 3).



Σχήμα 1. Ενδεικτικό διάγραμμα PERT

2.2 Στοιχεία των PSP Εισαγωγή

Στα υποκεφάλαια τα οποία ακολουθούν περιγράφονται οι παράμετροι που επηρεάζουν το πρόβλημα το οποίο θα λυθεί (Kolisch R, Padman R.[2]).

2.2.1 Διαδικασίες

Ένα έργο περιλαμβάνει έναν αριθμό διαδικασιών οι οποίες χαρακτηρίζονται από τη διάρκειά τους καθώς και την ανάγκη που έχουν σε πόρους για να ολοκληρωθούν στο συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα.

2.2.2 Σχέσεις αλληλουχίας

Συνήθως για να δηλωθούν οι σχέσεις αλληλουχίας στα *PSP* χρησιμοποιούνται διαγράμματα τύπου *PERT* για να φαίνεται με σαφήνεια ποιες διαδικασίες απαγορεύονται να γίνουν ταυτόχρονα και ποιες διαδικασίες πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί για να είναι σε θέση να ξεκινήσει μια επόμενη.

2.2.3 Διαθέσιμοι πόροι

Για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη προσομοίωση της πραγματικότητας από τα διάφορα μοντέλα οι διαθέσιμοι πόροι χωρίστηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με τη διαθεσιμότητά τους και έτσι προέκυψαν:

1. **Ανανεώσιμοι πόροι (renewable resources)** θεωρούνται οι πόροι οι οποίοι είναι απασχολημένοι για μια περίοδο μόνο και μετά είναι ελεύθεροι π.χ. ανθρώπινο δυναμικό .
2. **Μη ανανεώσιμοι πόροι (nonrenewable resources)** θεωρούνται οι πόροι οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε όλη τη διάρκεια του έργου χωρίς κάποιο συγκεκριμένο χρονικό περιορισμό π.χ. το αρχικό κεφάλαιο.
3. **Διπλά περιορισμένοι πόροι (doubly constrained resources)** είναι αυτοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε όλο το έργο αλλά είναι περιορισμένοι σε κάθε περίοδο π.χ. το κεφάλαιο που περιορίζεται ανά περίοδο από κάποιον ενδεχόμενο προϋπολογισμό.
4. **Μερικώς ανανεώσιμοι πόροι (partially renewable resources)** θεωρούνται αυτοί οι οποίοι έχουν περιορισμένη χρήση μέσα στο συνολικό χρονικό ορίζοντα του έργου αλλά δεν περιορίζονται σε μια χρονική περίοδο π.χ. εργαζόμενοι σε ένα έργο οι οποίοι δεν έχουν σύμβαση ημέρας αλλά εβδομάδας δηλαδή μπορούν να δουλεύουν σε μια χρονική περίοδο με τον τρόπο που θέλουν αυτοί αρκεί στο τέλος της εβδομάδας να έχουν ολοκληρώσει αυτό που πρέπει να κάνουν..

2.3 Βασικότερες κατηγορίες RCPSP

Η πρώτη και σημαντικότερη κατηγορία είναι το κλασσικό πρόβλημα *RCPSP* το οποίο προβλέπει περιορισμούς αλληλουχίας και περιορισμένους διαθέσιμους πόρους χωρίς δυνατότητα περαιτέρω μείωσης του χρόνου περάτωσης των διαδικασιών με αύξηση του κόστους και ως στόχο έχει την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου περάτωσης του έργου (minimizing makespan objective).

Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα ήρθαν να δώσουν τα "time/cost trade-off problems" στα οποία δίνεται η δυνατότητα έξτρα μείωσης του χρόνου των διαδικασιών αν διαθέσουμε παραπάνω κεφάλαια.

Μια ακόμη προέκταση των PSP είναι όταν υπάρχουν χρηματικές ροές κατά τη διάρκεια του έργου και στόχος του manager είναι να μεγιστοποιηθεί η καθαρή αξία των χρηματικών ροών (*maximize NPV*, net present value objective) όπου πλέον τα αντίστοιχα προβλήματα στη βιβλιογραφία αναφέρονται ως ‘payment scheduling problems’.

Επίσης τα τελευταία χρόνια έχουν διαμορφωθεί και προβλήματα στα οποία λαμβάνεται υπ’ όψη η ποιότητα του έργου (Quality maximization objective) καθώς επίσης και ελαχιστοποίηση του κόστους (cost minimization objective).

Μία πολύ σημαντική κατηγοριοποίηση είναι και αυτή που χωρίζει τα PSP ανάλογα με το αν οι διαδικασίες μπορούν να γίνουν με ένα μόνο συνδυασμό αριθμού εργαζομένων (single-mode) και διάρκειας περάτωσης ή σε κάθε περίοδο εξετάζεται ένα σετ τέτοιων συνδυασμών για κάθε διαδικασία (multi mode) (αυξάνοντας σημαντικά και την πολυπλοκότητα του ήδη δύσκολου RCPSP το οποίο ανήκει στην κατηγορία των NP-hard προβλημάτων). Σύμφωνα με αυτή τη διαφοροποίηση λαμβάνονται τα SMRCPS (single mode RCPSP) και MMRCPS (multi mode RCPSP).

Τέλος υπάρχει και η διαφοροποίηση όσων αφορά το αν οι διαδικασίες μπορούν, εφόσον έχουν ξεκινήσει, να διακοπούν και να ξαναρχίσουν αργότερα στο χρόνο. Αυτή η διαφοροποίηση μπορεί να γίνει σε οποιονδήποτε τύπο PSP και αναφέρεται εδώ διότι έχουν γίνει πολλές εργασίες σε PSP με κριτήριο αυτή τη διαφοροποίηση(βλέπε ενδεικτικά [26],[27]) Στη βιβλιογραφία οι κατηγορίες των RCPSP αναφέρονται ως εξής:

1. *Basic Single-Mode RCPSP*
2. *Basic Multi-Mode RCPSP*
3. *RCPSP problems with Non-regular objective functions*
4. *Stochastic RCPSP*
5. *Bin-packing-related RCPSP problems*
6. *Multi-resource-constrained project scheduling problems (MRCPS)*

2.3.1 Basic Multi-Mode RCPSP

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή που επιλέχθηκε είναι το multi-mode RCPSP (MM-RCPSP). Σε αυτό τον τύπο προβλημάτων, δεδομένης της εργασίας που απαιτείται να γίνει για την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας, μπορεί να προσδιοριστεί ένα σετ από πιθανά modes. Το προϊόν της διάρκειας της διαδικασίας και της ποσότητας των αναγκαίων πόρων ονομάζεται το εργασιακό περιεχόμενο της διαδικασίας (work content).

Υπάρχουν 4 υποκατηγορίες των multi-mode RCPSP. Για την σημειογραφία της κατηγοριοποίησης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι: Θέτοντας τις σχέσεις αλληλουχίας θεωρούνται 2 περιπτώσεις. Πρώτον η περίπτωση στην οποία η διαδικασία j μπορεί να ξεκινήσει οποιαδήποτε στιγμή μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας i και δεύτερον οι περιπτώσεις στις οποίες η διαδικασία j πρέπει να ξεκινήσει μέσα σε ένα χρονικό παράθυρο μετά την ολοκλήρωση της i διαδικασίας. Οι τελευταίες σχέσεις αλληλουχίας αναφέρονται στην βιβλιογραφία ως Γενικευμένες Σχέσεις Αλληλουχίας (GPR, General Precedence Relationships). Επίσης γίνεται χαρακτηρισμός των πόρων με βάση την ικανότητά τους να διεκπεραιώνουν διαδικασίες σε κάθε χρονική περίοδο. Η διαθεσιμότητα των πόρων μπορεί να είναι η ίδια για κάθε περίοδο ή μπορεί να μεταβάλλεται από περίοδο σε περίοδο. Συμπληρωματικά, αν μια διαδικασία ανατίθεται σε ένα πόρο σε πολλαπλές περιόδους, η διαδικασία αυτή μπορεί να απαιτεί την ίδια απορροφητικότητα του πόρου ή μπορεί να ποικίλει. Τέλος, μπορούν να θεωρηθούν περιπτώσεις στις οποίες η διαδικασία ολοκληρώνεται χωρίς διακοπή ή περιπτώσεις στις οποίες η διαδικασία ξεκινάει σε μια χρονική περίοδο, διακόπτεται και ξαναξεκινάει σε επόμενη χρονική περίοδο (preemption). Όσων αφορά το ζητούμενο του προγραμματισμού όπως έχει αναφερθεί τις περισσότερες φορές είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του έργου. Ωστόσο υπάρχουν και άλλα ζητούμενα στη βιβλιογραφία. Ως ομαλά ζητούμενα (regular objectives) ορίζονται τα ζητούμενα στα οποία η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης δεν γίνεται χειρότερη αν ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας διαδικασίας μειωθεί, χωρίς να αλλάξει το αντίστοιχο mode ή να αλλάξει ο χρόνος ολοκλήρωσης κάποιας άλλης διαδικασίας. Επίσης υπενθυμίζεται η κατηγοριοποίηση

των πόρων σε ανανεώσιμους και μη ανανεώσιμους. Λαμβάνοντας υπ' όψη την ανωτέρω σημειολογία προκύπτει η παρακάτω κατηγοριοποίηση (πίνακας 1).

	Nonrenewable Resource MM-RCPSP	Renewable Resource MM-RCPSP	General MM-RCPSP
Ζητούμενο	Ελαχιστοποίηση συνολικού χρόνου	Ελαχιστοποίηση συνολικού χρόνου	Ομαλό
Κατηγορία Πόρων	Μη ανανεώσιμοι	Ανανεώσιμοι	Μη ανανεώσιμοι ή Ανανεώσιμοι
Σχέσεις αλληλουχίας	Απλές	Απλές	Γενικευμένες
Διαθεσιμότητα πόρων ανά περίοδο	Σταθερή στο εκάστοτε mode	Σταθερή στο εκάστοτε mode	Σταθερή στο εκάστοτε mode
Απορρόφηση πόρων ανά περίοδο	Σταθερή στο εκάστοτε mode	Σταθερή στο εκάστοτε mode	Σταθερή στο εκάστοτε mode
Preemption	Όχι	Όχι	Όχι
Trade Offs	Χρόνος/Πόροι	Χρόνος/Πόροι	Χρόνος/Πόροι Χρόνος/Κόστος Πόροι/Πόροι

Πίνακας 1

2.4 Ακριβείς μέθοδοι επίλυσης

Ακριβείς μέθοδοι για το *MMRCPSP* έχουν παρουσιαστεί από τους: Talbot (1982 [3]), Patterson et al. (1989 [4]), Speranza and Vercellis (1993 [5]), Sprecher (1994 [6]), Ahn and Erengüç (1995 [7]), Sprecher et al. (1997 [8]), Nudtasomboon and Randhawa (1997 [9]) and Sprecher and Drexl (1998 [10]). Οι περισσότερες ακριβείς μέθοδοι είναι επεκτάσεις πάνω σε μεθόδους απαρίθμησης (enumeration techniques) καθώς και εφαρμογές μαθηματικού προγραμματισμού. Η εργασία του Talbot [3] ήταν

η πρώτη η οποία παρουσίασε μία μέθοδο απαρίθμησης για να λύσει το *MMRCPS* με επιτυχία. Η υπολογιστική μελέτη σε αυτήν την εργασία δείχνει ότι η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε παρέχει βέλτιστες λύσεις για μικρά προβλήματα και καλές ευρεστικές λύσεις για μεγαλύτερα προβλήματα. Στην εργασία του Patterson [4] προτείνεται ένα σχήμα απαρίθμησης του τύπου Κλάδου και Φραγής (Branch and Bound) βασισμένο στην παραγωγή ενός δέντρου αλληλουχίας το οποίο οδηγεί την αναζήτηση λύσης. Οι Sprecher et al (1997 [8]) επέκτειναν την ιδέα των *delaying alternatives* η οποία παρουσιάστηκε από τους Demeulemeester και Herroelen [11] για την περίπτωση του *SMRCPS* και όρισαν την θεωρία των *delay and mode alternatives*. Οι Sprecher et al (1998 [10]) παρουσίασαν μία ακριβή μέθοδο τύπου branch and bound στην οποία το σχήμα απαρίθμησης ενδυναμώνεται από τεχνικές μείωσης του δέντρου αναζήτησης. Οι Demeulemeester et al παρουσίασαν μια διαδικασία branch and bound για τα προβλήματα *discrete time/resource trade-off*. Σε αυτή την εργασία γίνεται η θεώρηση ότι στα πραγματικά έργα συχνά συμβαίνει ένας ανανεώσιμος πόρος να είναι διαθέσιμος για περιορισμένο χρόνο κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου. Παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα που ελήφθησαν από όλες τις προαναφερθείσες εργασίες έχει αποδειχθεί από τους Sprecher και Drexl [12] ότι ακόμα και οι πιο ισχυρές υπολογιστικά μέθοδοι δεν μπορούν να βρουν τη βέλτιστη λύση, για *MMRCPS* με παραπάνω από 20 διαδικασίες και 3 modes ανά διαδικασία, σε λογικά χρονικά πλαίσια.

2.4.1 Κριτήρια περιορισμού των μεθόδων

Τα ακόλουθα κριτήρια βοηθούν στην επιτάχυνση των σχημάτων απαρίθμησης (Hartmann and Drexl [13]):

1. Κριτήριο βασισμένο σε χρονικά παράθυρα (time window based)

Κανόνας 1: Αν υπάρχει μια προγραμματισμένη διαδικασία της οποίας ο χρόνος ολοκλήρωσης ξεπερνά τον αργότερο χρόνο ολοκλήρωσης που έχει υπολογιστεί, τότε το αντίστοιχο μερικό πρόγραμμα δεν μπορεί να ολοκληρωθεί σε χρόνο μικρότερο από τον τρέχοντα γνωστό ελάχιστο.

Ο Sprecher [6] χρησιμοποιώντας τον ορισμό των χρονικών παραθύρων και θεωρώντας πολλαπλά modes ανέπτυξε τον εξής κανόνα για τον αλγόριθμο του δέντρου αναζήτησης:

Κανόνας 2: Αν μια πιθανή διαδικασία δεν μπορεί να προγραμματιστεί σε κάποιο mode στο τρέχον μερικό πρόγραμμα χωρίς να ξεπερνά τον αργότερο χρόνο της, τότε καμιά άλλη διαδικασία δεν χρειάζεται να εξεταστεί σε αυτό το επίπεδο.

2. Προεπεξεργασία (Preprocessing)

Ένα mode καλείται μη εκτελέσιμο αν η εκτέλεσή του θα παραβίαζε τους κανόνες των διαθέσιμων πόρων. Ένα mode καλείται αναποτελεσματικό αν η διάρκειά του δεν είναι μικρότερη και η ανάγκη του για πόρους δεν είναι μικρότερη από κάποιου άλλου mode της ίδιας διαδικασίας. Ένας μη ανανεώσιμος πόρος καλείται περιττός αν το άθροισμα των μέγιστων απαιτήσεων όλων των διαδικασιών για αυτόν τον πόρο δεν ξεπερνάει την διαθεσιμότητά του. Είναι φανερό ότι οι τρεις αυτές κατηγορίες μπορούν να αποκλειστούν από το πρόβλημα χωρίς να επηρεάζεται η βελτιστότητά του. Ωστόσο επειδή η αφαίρεση συντελεστών από το πρόβλημα μπορεί να προκαλέσει ανεπάρκεια στα modes προτάθηκε από τους Sprecher et al [8] η εξής κατάλληλη προετοιμασία των δεδομένων:

Κανόνας 3: Τα δεδομένα μπορούν να προσαρμοστούν ως ακολούθως:

- Βήμα 1: Αφαίρεσε όλα τα μη εκτελέσιμα modes από τα δεδομένα.
- Βήμα 2: Διάγραψε όλους τους περιττούς μη ανανεώσιμους πόρους.
- Βήμα 3: Αφαίρεσε όλα τα αναποτελεσματικά modes.
- Βήμα 4: Αν κάποιο κανονικό mode σβηστεί καθώς εκτελείται το βήμα 3, πήγαινε στο βήμα 2.

3. The Cutset Rule

Η επόμενη μέθοδος αποθηκεύει δεδομένα από τα ήδη αξιολογημένα μερικά προγράμματα και τα συγκρίνει με τα αντίστοιχα του τρέχοντος μερικού προγράμματος. Αν μπορεί να αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει καμιά λύση του τρέχοντος μερικού προγράμματος που να είναι καλύτερη από κάποια λύση του ήδη αξιολογημένου μερικού προγράμματος τότε δεν χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία το τρέχον μερικό πρόγραμμα.

4. Immediate selection(Άμεση Επιλογή)

Ο επόμενος κανόνας δημιουργήθηκε από τους Demeulemeester and Herroelen [11] για το *SMRCPSP* και γενικεύτηκε από τους Sprecher et al [8] για το *MMRCPSP*.

Κανόνας 4: Θεωρείται μια πιθανή διαδικασία j της οποίας κανένα mode δεν εκτελείται ταυτόχρονα με καμιά απρογραμματίστη, τη δεδομένη στιγμή, διαδικασία σε οποιοδήποτε mode. Αν ο νωρίτερος εφικτός χρόνος κάθε άλλης πιθανής διαδικασίας σε οποιοδήποτε mode είναι ίσος με το μέγιστο χρόνο ολοκλήρωσης των προγραμματισμένων διαδικασιών, τότε j είναι η μόνη πιθανή διαδικασία η οποία μπορεί να επιλεγεί για προγραμματισμό στο συγκεκριμένο επίπεδο του δέντρου αναζήτησης.

Όπως περιγράφηκε από τους Sprecher et al [8] μια παρόμοια μορφή της άμεσης επιλογής μπορεί να εφαρμοστεί και για τον προγραμματισμό 2 διαδικασιών καθυστερώντας όλες τις άλλες πιθανές διαδικασίες αλλά με την εφαρμογή αυτή δεν επιταχύνεται το σχήμα όταν εφαρμόζονται άλλοι κανόνες.

5. A Precedence Tree Specific Rule

Ο τελευταίος κανόνας παρουσιάστηκε από τους Hartmann and Drexl [13] και η λογική του είναι πολύ απλή. Θεωρούνται δυο διαδικασίες i και j . Η πρώτη προγραμματιζόμενη στο επίπεδο $g-1$ του δέντρου με τη δεύτερη προγραμματισμένη στο επίπεδο g έχουν ακριβώς τους ίδιους χρόνους εκκίνησης.

Κανόνας 5: Θεωρούνται 2 διαδικασίες i και j προγραμματισμένες στο προηγούμενο και στο τρέχον επίπεδο του δέντρου αντίστοιχα. Αν ισχύει $s_i = s_j$, και $i > j$, τότε το τρέχον μερικό πρόγραμμα δεν χρειάζεται να ολοκληρωθεί.

2.5 Ευρεστικές μέθοδοι επίλυσης

Εξ' αιτίας του προαναφερθέντος προβλήματος έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός από ευρεστικές μεθόδους οι οποίες δίνουν ικανοποιητικές λύσεις σε πολύ μεγάλα προβλήματα σε σύντομα χρονικά διαστήματα και σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από αυτές. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις μεθόδους είναι:

1. single- and multi-pass priority-rule-based scheduling
2. simulated annealing
3. genetic algorithms
4. tabu search
5. Bender's decomposition

1. Priority-rule-based scheduling:

Ο Boctor [14] εφαρμόζει ένα τροποποιημένο parallel scheduling scheme, στο οποίο μια διαδικασία μπαίνει στο σετ των πιθανών εκλεγόμενων αν υπάρχει τουλάχιστον 1 mode για το οποίο η διαδικασία αυτή να είναι εφικτή σε ό,τι αφορά την διαθεσιμότητα πόρων. Οι διαδικασίες επιλέγονται με τον MSLK(minimum total slack,ελάχιστο συνολικό χρόνο), και τα modes διαλέγονται με κριτήριο ποιο δίνει τη μικρότερη διάρκεια περάτωσης. Μια multi-pass μεταβλητή χρησιμοποιεί 5 διατεταγμένα ζεύγη από activity- and mode-priority νόμους.

Οι Drexl και Grünewald [15] προτείνουν μια προσέγγιση η οποία λέγεται regret-based biased random sampling approach και η οποία ενσωματώνει ένα σχήμα σειριακού προγραμματισμού (serial scheduling scheme) και έναν SPT(shortest processing time, ελάχιστος χρόνος επεξεργασίας) νόμο προτεραιότητας. Słowiński et al. [16] λύνουν το πρόβλημα με πολλαπλούς στόχους. Πρώτον, μια λίστα με τις διαδικασίες κατά προτεραιότητα εξάγεται από έναν από 12 νόμους προτεραιότητας. Οι διαδικασίες αυτές μπαίνουν στη λίστα με το mode το οποίο δίνει την ελάχιστη εφικτή διάρκεια, με σεβασμό στους διαθέσιμους πόρους, στη νωρίτερα δυνατή χρονική περίοδο. Η μέθοδος επεκτείνεται σε multi-pass προσέγγιση διαλέγοντας

διαδικασίες από τη λίστα με τρόπο τυχαίο και όχι διαλέγοντας πάντα την πρώτη διαδικασία στη λίστα.

Οι Özdamar και Ulusoy [17] επέκτειναν την βασισμένη σε τοπικούς περιορισμούς (local constraint-based analysis) ανάλυσή τους για να λύσουν το MRCPSP.

Οι Kolisch και Drexl [18] πρότειναν μια μέθοδο τοπικής έρευνας η οποία λαμβάνει υπ' όψη της περιορισμένους μη διαθέσιμους πόρους. Η μέθοδος εφαρμόζει μια look ahead στρατηγική για να λάβει μία αρχική εφικτή ανάθεση των modes στις διαδικασίες και μετά χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο των Kolisch και Drexl [18] για να αξιολογήσει την βελτιστότητα της ανάθεσης αυτής.

2. Simulated annealing:

Οι Słowiński et al. [16] ήταν οι πρώτοι οι οποίοι δοκίμασαν να λύσουν το MRCPSP με τη μέθοδο του simulated annealing. Βασισμένοι στην λίστα των διαδικασιών, προτείνουν μια νέα λίστα η οποία παράγεται ανταλλάζοντας τις θέσεις 2 τυχαία διαλεγμένων διαδικασιών οι οποίες δεν αλληλοεξαρτώνται από περιορισμούς αλληλουχίας. Η λίστα αυτή μπορεί μετά να μετατραπεί σε ένα πρόγραμμα εργασιών χρησιμοποιώντας ένα σύστημα σειριακού προγραμματισμού.

Ο Boctor [19] επίσης προτείνει μια simulated annealing προσέγγιση η οποία επιχειρεί πάνω στη λίστα των διαδικασιών αλλά σε αντίθεση με τον Słowiński [16] προτιμάει να διαλέγει μια τυχαία διαδικασία από τη λίστα και να τη μεταφέρει σε μια καινούργια θέση στη λίστα η οποία να ικανοποιεί τους περιορισμούς αλληλουχίας που υφίστανται.

3. Genetic algorithms:

Ο Özdamar [20] προτείνει έναν αλγόριθμο ο οποίος συνεχίζει πάνω στις ιδέες των Storer et al [21]. Μια λύση αναπαρίσταται από 2 λίστες κάθε μια με χωρητικότητα J όπου J είναι ο αριθμός των διαδικασιών. Η πρώτη λίστα προσδιορίζει ένα mode εκτέλεσης για κάθε διαδικασία ενώ η δεύτερη προσδιορίζει για κάθε μια από τις J επαναλήψεις του σχήματος παράλληλου προγραμματισμού (parallel scheduling scheme), τον νόμο προτεραιότητας σύμφωνα με τον οποίο διαλέγεται μια διαδικασία από το σετ με τις πιθανές. Στη συνέχεια η δραστηριότητα αυτή προγραμματίζεται. Νέα στοιχεία(individuals) δημιουργούνται με μια διασταύρωση

διπλού σημείου (2-point crossover) όπου τα πρώτα n_1 στοιχεία λαμβάνονται από τη μητέρα λίστα (mother list) και τα επόμενα n_2-n_1 στοιχεία λαμβάνονται από τη λίστα πατέρα (father list) και τα τελικά $J-n_2$ στοιχεία λαμβάνονται ξανά από τη λίστα μητέρα.

Ο Hartmann [22] αναφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα με ένα γενετικό αλγόριθμο. Ένα στοιχείο (individual) αναπαρίσταται από 2 λίστες: μια λίστα εφικτής αλληλουχίας και μια ανάθεσης modes. Χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα της ανάθεσης modes η πρώτη λίστα μπορεί να μετατραπεί σε ένα πρόγραμμα με τη χρήση ενός σχήματος σειριακού προγραμματισμού. Για τη διασταύρωση, ένα νέο στοιχείο δημιουργείται παίρνοντας το πρώτο μέρος της λίστας διαδικασιών από ένα στοιχείο πατέρα (father individual) καθώς ταξινομούνται οι υπόλοιπες διαδικασίες με τον τρόπο που δίνεται από το στοιχείο μητέρα (mother individual). Επίσης το πρώτο μέρος από την ανάθεση modes λαμβάνεται από το στοιχείο πατέρα και η ανάθεση modes στις επόμενες διαδικασίες λαμβάνεται από το στοιχείο μητέρα.

4. Tabu search:

Η μέθοδος της αναζήτησης Tabu είναι μια μεταευρεστική (metaheuristic) μέθοδος βασισμένη σε γειτονική αναζήτηση και αναζήτηση τοπικού μέγιστου. Δημιουργήθηκε από τον Glover [44] και η εξέλιξη της μεθόδου παρουσιάζεται στην εργασία των Glover and Laguna [45].

2.6 Συμπεράσματα

Γίνεται σαφές από τη βιβλιογραφία ότι έχουν ασχοληθεί πολλοί ακαδημαϊκοί με το πρόβλημα τύπου MMRCPSP ωστόσο οι αλγόριθμοι με την μεγαλύτερη εφαρμογή σε πραγματικά δεδομένα είναι αυτοί που βασίζονται σε κανόνες προτεραιότητας και γι αυτό επιλέχθηκε και μια μέθοδος η οποία βασίζεται σε μια παρόμοια τεχνική με την θέσπιση ενός κριτηρίου αντί για διάφορους κανόνες.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία επίλυσης

Εισαγωγή

Αρχικά γίνεται ένας πιο ακριβής ορισμός των προβλημάτων MMRCPSP, στη συνέχεια παρατίθεται η μαθηματική μορφοποίηση του προβλήματος με ανάλυση των μεταβλητών. Τέλος αναπτύσσεται το γενικό πλαίσιο της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί και αμέσως μετά η συγκεκριμένη μορφή που θα οδηγήσει στη λύση.

3.1 Ορισμός MMRCPSP

Γίνεται αναφορά στη μορφοποίηση των MMRCPSP διότι τα προβλήματα αυτά αντιπροσωπεύουν με μεγαλύτερη πληρότητα τις πραγματικές συνθήκες με την έννοια ότι προβλέπουν πολλαπλούς συνδυασμούς διάρκειας-πόρων για κάθε προγραμματιζόμενη εργασία (multiple modes). Μπαίνοντας σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην κατηγορία των MMRCPSP και για να γίνει παράθεση του μαθηματικού μοντέλου πρέπει πρώτα να γίνει μια εκτενέστερη αναφορά στον ορισμό του προβλήματος.

Ο όρος MMRCPSP χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Elmaghraby το 1977. Το πρόβλημα αναφέρεται στην περίπτωση όπου εξετάζεται ο σχεδιασμός ενός έργου το οποίο αποτελείται από έναν αριθμό από διαδικασίες οι οποίες πρέπει να υλοποιηθούν με έναν από πολλαπλούς συνδυασμούς διαθέσιμων πόρων και διάρκειας υλοποίησης. Στόχος είναι να παραχθεί το βέλτιστο πρόγραμμα εργασιών το οποίο ελαχιστοποιεί το συνολικό χρόνο εκτέλεσης του έργου με σεβασμό στους περιορισμούς πόρων αλλά και αλληλουχίας των εργασιών. Η λύση η οποία παράγεται δίνει ως αποτέλεσμα τη σειρά με την οποία πρέπει να γίνουν οι διάφορες εργασίες, το συγκεκριμένο χρόνο εκκίνησης, τη διάρκεια και την απορροφητικότητα σε πόρους κάθε μιας από αυτές.

Πιο συγκεκριμένα θεωρείται το πρόβλημα προγραμματισμού έργου στο οποίο το έργο αντιπροσωπεύεται από ένα ακυκλικό (acyclic) AON διάγραμμα και σε κάθε διαδικασία που πρέπει να γίνει αντιστοιχεί ένα σετ από πιθανές διάρκειες περάτωσης μαζί με τις ανάγκες σε πόρους που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη διάρκεια. Δύο τύποι περιορισμών θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη. Πρώτον οι διαδικασίες υπόκεινται σε περιορισμούς αλληλουχίας. Πιο συγκεκριμένα μια διαδικασία μπορεί να ξεκινήσει μόνο αν έχουν ολοκληρωθεί όλες οι προαπαιτούμενες της. Δεύτερον, οι πόροι είναι

περιορισμένοι σε ποσότητα αλλά είναι ανανεώσιμοι από χρονική περίοδο σε χρονική περίοδο. Θεωρείται επίσης ότι εφόσον έχει ξεκινήσει μια διαδικασία δεν μπορεί να διακοπεί και να συνεχιστεί αργότερα (non preemptive tasks). Εν συνεχεία πρέπει να ληφθούν δύο τύποι αποφάσεων. Η πρώτη αναφέρεται στο ποιο mode από τα πιθανά θα πρέπει να επιλεγεί για κάθε διαδικασία και η δεύτερη στο να δοθεί η χρονική στιγμή της εκκίνησης κάθε διαδικασίας. Στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί η συνολική διάρκεια του έργου.

3.2 Μαθηματική μορφοποίηση του προβλήματος

Το πρόβλημα μπορεί να μορφοποιηθεί σαν ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού χρησιμοποιώντας την παρακάτω σημειολογία (Boctor [23]):

i : διάνυσμα δραστηριοτήτων $i=1, \dots, N$ (N είναι ο αριθμός των διαδικασιών)

j : διάνυσμα των modes $j=1, \dots, m_i$ (m_i είναι ο αριθμός των πιθανών modes για την διαδικασία i)

k : διάνυσμα τύπων διαθέσιμων πόρων $k=1, \dots, K$ (K είναι ο αριθμός των διαφόρων τύπων)

t : διάνυσμα χρόνου $t=1, \dots, H$ (H είναι ένας ευρεστικά καθορισμένος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου)

d_{ij} : διάρκεια της i διαδικασίας για την οποία έχει επιλεγθεί το j mode.

E_i : πρώιμος χρόνος λήξης της i διαδικασίας (Early finish)

L_i : καθυστερημένος χρόνος λήξης της διαδικασίας i (τα E_i και L_i υπολογίζονται από την μέθοδο CPM χρησιμοποιώντας τις μικρότερες πιθανές διάρκειες και το H σαν τελική προθεσμία για το χρόνο ολοκλήρωσης του έργου)

P_i : σετ των άμεσα προηγούμενων διαδικασιών της i διαδικασίας (immediate predecessors).

r_{ijk} : ποσότητα των πηγών k οι οποίες χρειάζονται για να εκτελεστεί η i δραστηριότητα όταν χρησιμοποιείται το j mode.

R_{kt} : ποσότητα των διαθέσιμων πηγών k τη χρονική περίοδο t .

x_{ijt} : δυαδική μεταβλητή η οποία λαμβάνει την τιμή 1 αν και μόνο αν διαλέξουμε το mode j για να εκτελεστεί η i δραστηριότητα και την προγραμματίσουμε έτσι ώστε να τελειώσει στην περίοδο t .

Υποθέτοντας ότι η N διαδικασία είναι η μόνη η οποία δεν έχει επόμενες διαδικασίες το πρόβλημά μας γίνεται:

Καθόρισε τα $x_{ijt} \in \{0, 1\}$, $i=1, \dots, N$, $j=1, \dots, m_i$, $t=1, \dots, H$ έτσι ώστε:

Minimize:

$$\sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} t x_{Njt}$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} x_{ijt} = 1 \quad i = 1, \dots, N,$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} (t - d_{ij}) x_{ijt} - \sum_{j=1}^{m_e} \sum_{t=E_e}^{L_e} t x_{ejt} \geq 0 \quad i = 1, \dots, N, e \in P_i$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=E_i}^{L_i} \sum_{s=t}^{t+d_{ij}-1} r_{ijk} x_{ijs} \leq R_{kt} \quad k = 1, \dots, K, t = 1, \dots, H.$$

Σε αυτή τη μορφοποίηση, στόχος είναι να μειωθεί ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης του έργου καθώς ελαχιστοποιούμε το χρόνο της τερματικής διαδικασίας N . Ο περιορισμός (1) εξασφαλίζει ότι κάθε διαδικασία εκτελείται μόνο μια φορά, ο (2) εξασφαλίζει ότι τηρούνται οι περιορισμοί αλληλουχίας και ο (3) ότι η χρήση των διαθέσιμων πόρων δεν ξεπερνά τη διαθεσιμότητα των πόρων σε κάθε χρονική περίοδο.

3.3 Ευρεστικές μέθοδοι βασισμένες σε κανόνες προτεραιότητας (*priority rule based scheduling*)

Οι μέθοδοι βασισμένες σε νόμους προτεραιότητας συνδυάζουν σχήματα παραγωγής προγραμμάτων (*SGS, scheduling generation schemes*), κανόνες επιλογής modes και κανόνες προτεραιότητας (*priority rules*) για να κατασκευάσουν ένα συγκεκριμένο αλγόριθμο. Δύο διαφορετικά σχήματα υπάρχουν στη βιβλιογραφία, το σειριακό σχήμα (*S-SGS serial SGS*) και το παράλληλο σχήμα (*P-SGS parallel SGS*). Και οι δύο μέθοδοι κατασκευάζουν ένα εφικτό πρόγραμμα επεκτείνοντας βήμα βήμα ένα μερικό πρόγραμμα (δηλαδή ένα πρόγραμμα στο οποίο μόνο ένα υποσύνολο των δραστηριοτήτων έχει προγραμματιστεί). Οι διαδικασίες οι οποίες σε κάθε στάδιο ανταγωνίζονται για τους διαθέσιμους πόρους ταξινομούνται με βάση ένα κανόνα προτεραιότητας και επίσης ένας κανόνας επιλογής mode εφαρμόζεται με σκοπό να γίνει ανάθεση των modes σε κάθε διαδικασία και έτσι να καθοριστεί η διάρκειά της και η απορροφητικότητα της σε πόρους.

3.3.1 Σχήματα *SGS*

Στη συνέχεια περιγράφονται τα σχήματα *SGS* τα οποία και αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος.

3.3.1.1 Σειριακά σχήματα *S-SGS*

Η *S-SGS* μέθοδος παρουσιάστηκε από τον Kelley [24] για το *RCPSP* πρόβλημα και γενικεύτηκε για το *MMRCPSP* με ανανεώσιμες πηγές. Είναι ένα προσανατολισμένο στις διαδικασίες σχήμα και αποτελείται από J στάδια σε κάθε ένα από τα οποία μια διαδικασία με το αντίστοιχο mode διαλέγεται και προγραμματίζεται όσο το δυνατόν νωρίτερα με βάση τους περιορισμούς πόρων και αλληλουχίας. Κάθε στάδιο σχετίζεται με 2 σετ διαδικασιών: το σετ των προγραμματισμένων διαδικασιών (S_n) το οποίο περιέχει τις διαδικασίες οι οποίες έχουν ήδη προγραμματιστεί και το

σετ απόφασης (D_n) το οποίο περιέχει τις πιθανές ικανές προς προγραμματισμό διαδικασίες (δηλαδή τις διαδικασίες των οποίων όλοι οι προκάτοχοι βρίσκονται στο S_n). Σε κάθε στάδιο, μια διαδικασία επιλέγεται από το σύνολο D_n ανάλογα με την σειρά η οποία έχει καθοριστεί από τον κανόνα προτεραιότητας και ένα mode διαλέγεται για αυτήν σύμφωνα με τον κανόνα επιλογής modes. Η διαδικασία αυτή προγραμματίζεται όσο το δυνατόν νωρίτερα με σεβασμό στους περιορισμούς αλληλουχίας και διαθέσιμων πόρων και ταυτόχρονα αφαιρείται από το σύνολο D_n και μπαίνει στο σύνολο S_n . Συμπληρωματικά, το σύνολο D_n ανανεώνεται με τις αμέσως επόμενες διαδικασίες αυτής που προγραμματίστηκε και η διαδικασία τελειώνει όταν όλες οι διαδικασίες έχουν μπει στο σύνολο S_n .

3.3.1.2 Παράλληλα σχήματα P-SGS

Η P-SGS μέθοδος αποτελεί και αυτή μια γενίκευση της αντίστοιχης μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στα RCPSP προβλήματα και γενικεύτηκε από τον Kelley [24] για τα MMRCPSP προβλήματα με ανανεώσιμες πηγές. Είναι ένα προσανατολισμένο στο χρόνο σχήμα και αποτελείται από το μέγιστο J στάδια. Σε κάθε στάδιο ένα σετ διαδικασιών προγραμματίζεται. Κάθε στάδιο σχετίζεται με ένα χρόνο προγράμματος t_j και 3 σετ διαδικασιών: το σετ απόφασης (D_j), το σετ των ολοκληρωμένων στο χρόνο t_j (C_j) και το σετ αυτών που έχουν προγραμματιστεί αλλά δεν έχουν ολοκληρωθεί ακόμα στο χρόνο t_j (P_j). Το σετ D_j , σε αντίθεση με το σειριακό σχήμα, περιέχει όλες τις διαδικασίες οι οποίες μπορούν να προγραμματιστούν (πάντα τηρώντας τους περιορισμούς) και όχι μόνο αυτές που έπονται της διαδικασίας που προγραμματίστηκε στο προηγούμενο στάδιο.

Ο χρόνος t_j σε κάθε στάδιο είναι ο χρόνος ο οποίος αντιπροσωπεύει το νωρίτερο χρόνο περάτωσης (earliest finish time) των διαδικασιών που προγραμματίστηκαν στα προηγούμενα στάδια. Κάθε στάδιο αποτελείται από 2 βήματα:

Βήμα 1: Προσδιορίζεται το νέο t_j και οι διαδικασίες οι οποίες έχουν χρόνο περάτωσης ίσο με το νέο t_j αφαιρούνται από το P_j και εισάγονται στο C_j .

Βήμα 2: Μια διαδικασία επιλέγεται από το D_j σύμφωνα με τον προκαθορισμένο κανόνα προτεραιότητας και ένα mode επιλέγεται με τον αντίστοιχο κανόνα. Η επιλεγμένη διαδικασία προγραμματίζεται να ξεκινήσει στον χρόνο t_j λαμβάνοντας υπ' όψη τους περιορισμούς διαθέσιμων πόρων.

Αμέσως μετά, η διαδικασία αυτή αφαιρείται από το D_j και εισάγεται στο P_j . Το βήμα 2 επαναλαμβάνεται έως ότου όλες οι διαδικασίες του D_j μπουν στο P_j .

Το παράλληλο σχήμα τελειώνει όταν όλες οι διαδικασίες βρίσκονται είτε στο C_j είτε στο P_j .

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σύμφωνα με την εργασία του Kolisch [25], τα S-SGS δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από τα P-SGS σχήματα ειδικά σε μεγάλο μεγέθους προβλήματα και σε προβλήματα που είναι μετρίως περιορισμένα σε ό,τι αφορά τους διαθέσιμους πόρους.

3.3.1.3 Κανόνες προτεραιότητας(priority rules)

Οι διαδικασίες στο D σετ ταξινομούνται με βάση την τιμή της μεταβλητής του κανόνα προτεραιότητας (priority rule value). Αν εμφανιστούν ισότητες στις μεταβλητές προτεραιότητας τότε επιλέγεται η διαδικασία με τον μικρότερο αριθμό στη σειρά(activity number). Εφτά νόμοι προτεραιότητας εξετάζονται από τον Boctor [14].

1. Minimum Latest Finish Time (*LFT*) ελάχιστος χρόνος περάτωσης
2. Minimum Total Slack (*SLK*) ελάχιστος χρόνος αδράνειας
3. Maximum Remaining Work (*RWK*) μέγιστη υπολειπόμενη εργασία νοείται το άθροισμα της μικρότερης δυνατής διάρκειας της διαδικασίας και των επόμενων της.
4. Maximum Number of Subsequent Candidates (*CAN*) μέγιστος αριθμός επόμενων υποψήφιων θεωρώντας ως υποψήφια(candidate) μιας x διαδικασίας, την διαδικασία αυτήν η οποία γίνεται ή παραμένει προγραμματίσιμη αν η x προγραμματίζεται να ξεκινήσει στον εξεταζόμενο χρόνο.
5. Maximum Number of Immediate Successors (*NIS*) μέγιστος αριθμός αμέσως επόμενων διαδικασιών
6. Longest Processing Time (*LPT*) μεγαλύτερη χρονική διάρκεια
7. Shortest Processing Time (*SPT*) μικρότερη χρονική διάρκεια.

3.3.1.4 Κανόνες επιλογής modes

Στον Boctor [14] εξετάζονται 3 κανόνες επιλογής mode:

1. Shortest Feasible Mode (*SFM*) σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα διαλέγεται για κάθε διαδικασία το mode το οποίο δίνει τον ελάχιστο εφικτό χρόνο.
2. Least Critical Resource (*LCR*) με τον κανόνα αυτό επιλέγεται το mode το οποίο απαιτεί τη μικρότερη ποσότητα από τον πιο κρίσιμο πόρο. Ο πιο κρίσιμος πόρος βρίσκεται καθορίζοντας τον βέλτιστο χρόνο ολοκλήρωσης για κάθε περίοδο χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψη περιορισμοί πόρων και φτάνοντας στο τέλος του έργου ελέγχουμε ποιος πόρος έχει τη μεγαλύτερη αναλογία χρήσης.
3. Least Resource Proportion (*LRP*) με τον κανόνα αυτό επιλέγεται το mode το οποίο δίνει την ελάχιστη τιμή του κριτηρίου:

$$\text{Max}_r \{R_{m,r} / L_r\}$$

Όπου το $R_{m,r}$ υποδηλώνει το ποσό των πόρων τύπου r που απαιτείται για την εκτέλεση του m mode και το L_r υποδηλώνει το ποσό των διαθέσιμων πόρων τύπου r .

3.4 Boctor's Heuristic

Η μέθοδος *SGS* είναι μια από τις πιο χρησιμοποιημένες μεθόδους στη βιβλιογραφία λόγω της απλότητάς της στην εφαρμογή και των ικανοποιητικών λύσεων που δίνει. Παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια οι νόμοι προτεραιότητας με τους οποίους επιλέγονται οι διαδικασίες και τα modes ωστόσο στις μεθόδους που περιγράφηκαν ως τώρα επεξεργαζόμαστε τις διαδικασίες μία μία και αποφασίζουμε για το πρόγραμμα. Ωστόσο υπάρχει και η επιλογή της απαρίθμησης κάποιων προγραμματίσεων συνδυασμών διαδικασιών διαλέγοντας από αυτά αυτό το οποίο έχει την καλύτερη τιμή σε μια μεταβλητή η οποία αποτελεί το κριτήριο επιλογής. Σε αυτή τη λογική βασίστηκε και ο Boctor στην εργασία του «A new and efficient heuristic for scheduling projects with resource restrictions and multiple execution modes (μια νέα και αποτελεσματική ευρεστική μέθοδος για προγραμματισμό έργων με περιορισμούς διαθέσιμων πόρων και πολλαπλούς τρόπους εκτέλεσης των διαδικασιών)» και η συγκεκριμένη μέθοδος είναι και αυτή η οποία προτείνεται για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος της εκκένωσης του νοσοκομείου.

Για να γίνει η περιγραφή της μεθόδου πρέπει αρχικά να εισαχθεί και να ορισθεί ο όρος των ‘συνδυασμών διαδικασίας-mode’ (activity –mode combination). Οι συνδυασμοί αυτοί είναι προγραμματίσιμα υποσύνολα διαδικασιών μαζί με τα αντίστοιχα modes. Επίσης οι συνδυασμοί αυτοί λέγονται προγραμματίσιμοι σε μια περίοδο αν οι διαθέσιμοι πόροι σε αυτήν την περίοδο και στις επόμενες περιόδους επιτρέπουν την εκτέλεση του αντίστοιχου υποσυνόλου διαδικασιών σύμφωνα με τα επιλεγμένα modes. Προχωρώντας περαιτέρω στην προτεινόμενη μεθοδολογία ένας ‘συνδυασμός διαδικασίας-mode’ λέγεται ότι κυριαρχείται από ένα δεύτερο αν ισχύει ένας από τους δύο παρακάτω λόγους:

- I. Αν ο δεύτερος συνδυασμός περιλαμβάνει όλα τα ζεύγη του πρώτου και τουλάχιστον ένα παραπάνω.
- II. Αν ο δεύτερος συνδυασμός είναι ίδιος με τον πρώτο αλλά τουλάχιστον ένας συνδυασμός περιέχει ένα μικρότερο σε διάρκεια mode από τον πρώτο.

Προφανώς η σχέση αυτή είναι μεταβατική με την έννοια ότι αν ένας συνδυασμός A κυριαρχείται από έναν συνδυασμό B ο οποίος με την σειρά του κυριαρχείται από έναν Γ τότε A κυριαρχείται και αυτός από τον Γ.

Η συγκεκριμένη μέθοδος απαριθμεί μόνο τους συνδυασμούς που δεν κυριαρχούνται από κανέναν άλλο.

Το βασικό πλαίσιο της προτεινόμενης μεθόδου μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

Όσο υπάρχουν ακόμα μη προγραμματισμένες διαδικασίες:

- 1) Γίνεται μετάβαση στην επόμενη χρονική περίοδο όπου υπάρχουν μη προγραμματισμένες διαδικασίες. Η περίοδος αυτή καλείται t .
- 2) Εν συνεχεία καταρτίζεται ο πίνακας των πιθανών προς προγραμματισμό διαδικασιών. Αν ο πίνακας αυτός είναι άδειος γίνεται μετάβαση στο Βήμα 1.
- 3) Τέλος απαριθμούνται όλοι οι συνδυασμοί διαδικασιών-mode οι οποίοι δεν κυριαρχούνται από κανέναν άλλο και προγραμματίζεται να ξεκινήσει στην αρχή της περιόδου t ο συνδυασμός ο οποίος έχει την καλύτερη τιμή από ένα επιλεγμένο κριτήριο.

Για την ολοκλήρωση της περιγραφής της μεθόδου με την παρουσίαση του κριτηρίου διαλογής των συνδυασμών διαδικασίας-mode απαιτείται η παρακάτω σημειολογία:

t : η τρέχουσα χρονική περίοδος;

M_i : σετ των πιθανών mode της διαδικασίας i ;

- A : σετ των πιθανών προς προγραμματισμό στο χρόνο t διαδικασιών;
- S : ένα υποσύνολο του A ;
- $j(i)$: mode με το οποίο έχει επιλεγθεί να εκτελεστεί η διαδικασία i (μόνο για διαδικασίες i οι οποίες ανήκουν στο S);
- $d_{i,j(i)}$: διάρκεια της διαδικασίας i όταν χρησιμοποιείται το $j(i)$ mode;
- $d_{i,1}$: διάρκεια της διαδικασίας i όταν χρησιμοποιείται το mode 1 (το μικρότερο σε διάρκεια mode);
- F_i : συνολικός χρόνος που μπορεί να καθυστερήσει η διαδικασία i χωρίς να καθυστερήσει ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (slack time);
- C : συνδυασμός διαδικασίας-mode που αποτελείται από το υποσύνολο S και τα αντίστοιχα modes $j(i)$; Δηλαδή $C = \{(i, j(i)) \mid \forall i \in S\}$;
- t_{ij} : (μόνο για τις διαδικασίες που δεν βρίσκονται στο S) ο κοντινότερος χρόνος στον οποίο θα υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι πόροι (αφού έχουν ανατεθεί οι αναγκαίοι πόροι για τον συνδυασμό C) για να μπορεί να εκτελεστεί η διαδικασία i αν έχει επιλεγεί το mode j ;

Από την παραπάνω σημειολογία μπορεί με ευκολία να εξαχθεί η μεταβλητή $a_{i,j(i)}$ η οποία δείχνει την αύξηση στον συνολικό χρόνο εκτέλεσης του έργου που προκαλείται από την χρήση του mode $j(i)$ στην διαδικασία i η οποία ξεκινάει τη χρονική στιγμή t :

$$a_{i,j(i)} = \max\{0, d_{i,j(i)} - d_{i,1} - F_i\}$$

Επίσης καθώς οι διαδικασίες που δεν βρίσκονται στο S θα προγραμματιστούν αργότερα, τότε στην καλύτερη περίπτωση μια διαδικασία i θα αύξανε την συνολική διάρκεια του έργου κατά:

$$b_i = \max\{0, \min_{j \in M_i} (t_{i,j} + d_{i,j} - d_{i,1} - F_i)\}$$

Ως αποτέλεσμα, η απόφαση της επιλογής του συνδυασμού C θα αύξανε την συνολική διάρκεια του έργου κατά τουλάχιστον:

$$I_S = \max\{0, \max_{i \in S} (a_{i,j(i)}), \max_{i \in A-S} (b_i)\}.$$

Η προτεινόμενη μέθοδος χρησιμοποιεί το I_S για την αξιολόγηση των κυρίαρχων συνδυασμών διαδικασίας-mode και διαλέγεται αυτός που έχει την μικρότερη τιμή I_S .

3.5 Αξιολόγηση των κανόνων προτεραιότητας και επιλογής modes με το κριτήριο του Boctor

Στην εργασία του Boctor [14] γίνεται αξιολόγηση όλων των συνδυασμών κανόνων προτεραιοτήτων-νόμων επιλογής modes οι οποίοι είναι 21 στο σύνολό τους. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν και λύθηκαν με όλους τους συνδυασμούς 240 προβλήματα και το κριτήριο αξιολόγησης ήταν το ποσοστό αύξησης του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης του έργου σε σχέση με τη διάρκεια που δίνει η μέθοδος κρίσιμου μονοπατιού(critical path). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 4 συνδυασμοί έδειξαν την καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά το προαναφερθέν κριτήριο: *SLK-SFM, RWK-SFM, CAN-SFM, LFT-SFM* και συγκεκριμένα ο συνδυασμός *SLK-SFM* παρήγαγε τη μικρότερη διάρκεια τις περισσότερες φορές. Είναι σαφές ότι από τους κανόνες επιλογής mode ο καλύτερος και αυτός που χρησιμοποιείται κατά κόρον για αυτό το λόγο είναι ο *SFM*. Ωστόσο τα αριθμητικά αποτελέσματα στην ίδια εργασία δείχνουν ότι εν τέλει η μέθοδος με το κριτήριο *I* δίνει καλύτερα αποτελέσματα ακόμα και από τον καλύτερο συνδυασμό νόμου προτεραιότητας- νόμου επιλογής mode.

3.6 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση αυτού του κεφαλαίου φαίνεται ότι μέσα από μια πληθώρα κανόνων ο Boctor τροποποιώντας λίγο την λογική αυτών των τύπων αλγορίθμων και θεσπίζοντας ένα δικό του κριτήριο κατάφερε να εξάγει καλύτερα αποτελέσματα και για αυτό το λόγο επιλέχθηκε η μέθοδός του.

Κεφάλαιο 4: Περιγραφή εκκένωσης

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια περιγραφική παρουσίαση της εκκένωσης σύμφωνα με το σχέδιο δράσης του Νοσοκομείου.

4.1 Αναλυτική περιγραφή εκκένωσης

Το πρώτο και σημαντικότερο πράγμα το οποίο πρέπει να γίνει αμέσως μετά από κάποια καταστροφή είναι η αξιολόγηση της κατάστασης από τον διοικητή και το κέντρο επιχειρήσεων του νοσοκομείου και η κωδικοποίησή της σε επίπεδο:

- | | |
|------------|---|
| 1. ΛΕΥΚΟ | Συνήθης λειτουργία |
| 2. ΠΡΑΣΙΝΟ | Κλήση των on-call εφημερευόντων στις θέσεις τους. |
| 3. ΚΙΤΡΙΝΟ | Κλήση των on-call εφημερευόντων στις θέσεις τους. Σύγκληση της ολομέλειας της Επιτροπής Εκτάκτων Αναγκών. |
| 4. ΚΟΚΚΙΝΟ | Πλήρης κάλυψη των διευθύνσεων και των τμημάτων για πλήρη ετοιμότητα |

1. ΛΕΥΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

- Κανονική λειτουργία όλων των διευθύνσεων και των τμημάτων (ωράριο λειτουργίας)
- Επιχειρησιακό Κέντρο-Λειτουργία ομάδας Ιατροϋγειονομικής εκτίμησης: εκπρόσωποι ιατροί και νοσηλευτές από τα τμήματα (24 ωρη λειτουργία)
- Γραμματειακή υποστήριξη κέντρου επιχειρήσεων νοσοκομείου (24ωρη λειτουργία)
- Κάλυψη με αυτοκίνητο υπηρεσίας (24ωρη λειτουργία).

2. ΠΡΑΣΙΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ



- Ενημέρωση τηλεφωνικά για πιθανή προσέλευση στην υπηρεσία τους κατόπιν εκτίμησης του κέντρου επιχειρήσεων οι διευθυντές και προϊστάμενοι των τμημάτων on call 1 ώρας.
- Σύγκληση των on call του λευκού επιπέδου στην θέση τους.
- Σύγκληση της ομάδας άμεσης ανταπόκρισης του νοσοκομείου.
- Συνεχή ενημέρωση από ΕΚΕΠΥ/ΥΥΚΑ.

3. ΚΙΤΡΙΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

- Σύγκληση ολομέλειας κατόπιν απόφασης του κέντρου επιχειρήσεων του νοσοκομείου.
- Κλήση on call επιπλέον διευθύνσεων ανάλογα με την κατάσταση εκτίμησης του κέντρου επιχειρήσεων και του ΕΚΕΠΥ
- Εκτίμηση της κατάστασης από κέντρο επιχειρήσεων και ομάδα άμεσης ανταπόκρισης και εισήγηση στο ΕΚΕΠΥ/ΥΥΚΑ.

4. ΚΟΚΚΙΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

- Σύγκληση ολομέλειας της επιτροπής εκτάκτων αναγκών.
- Εκτίμηση κατάστασης από το κέντρο επιχειρήσεων του νοσοκομείου.
- Κλήση λοιπών διευθυντών του νοσοκομείου κατόπιν εκτίμησης του κέντρου επιχειρήσεων.
- Συντονισμός με φορείς ΥΥΚΑ.

Αφού γίνει κωδικοποίηση της κατάστασης ανακοινώνεται στα μέλη του προσωπικού τα οποία ενεργούν αναλόγως. Στην περίπτωση της εκκένωσης τα μέλη του νοσοκομείου αρχικά φορούν όλοι τα αναγνωριστικά τους γιλέκα και διαβάζουν το φύλλο εργασιών τους. Στη συνέχεια μεταβαίνουν στο πόστο τους. Οι ομάδες οι οποίες πρέπει να ενεργήσουν μέσα στα πρώτα 15 λεπτά μετά το συμβάν είναι οι εξής:

- Ομάδα διάσωσης σε περίπτωση που υπάρχουν εγκλωβισμένοι
- Ομάδα ασφάλειας η οποία πρέπει να ελέγξει άμεσα τις παροχές φυσικού αερίου, νερού, τυχόν διαφυγές επικίνδυνων αερίων ή χημικών, να κλείσει την παροχή ρεύματος αν χρειάζεται και δεν παρακωλύει την εκκένωση, να ελέγξει για κάποια ενδεχόμενη φωτιά κτλ.
- Ομάδα περιφρούρησης η οποία πρέπει να ελέγχει για τυχόν βανδαλισμούς κλοπές κτλ.

- d) Ομάδα καταγραφής παρευρισκομένων (εργαζόμενων και ασθενών). Έμφυχο υλικό προς αξιοποίηση.
- e) Ομάδα συντονισμού μετακίνησης.

Η εκκένωση του νοσοκομείου ξεκινά αφού έχουν μαζευτεί και συντονιστεί οι ανωτέρω ομάδες και ακολουθείται η εξής σειρά προτεραιότητας:

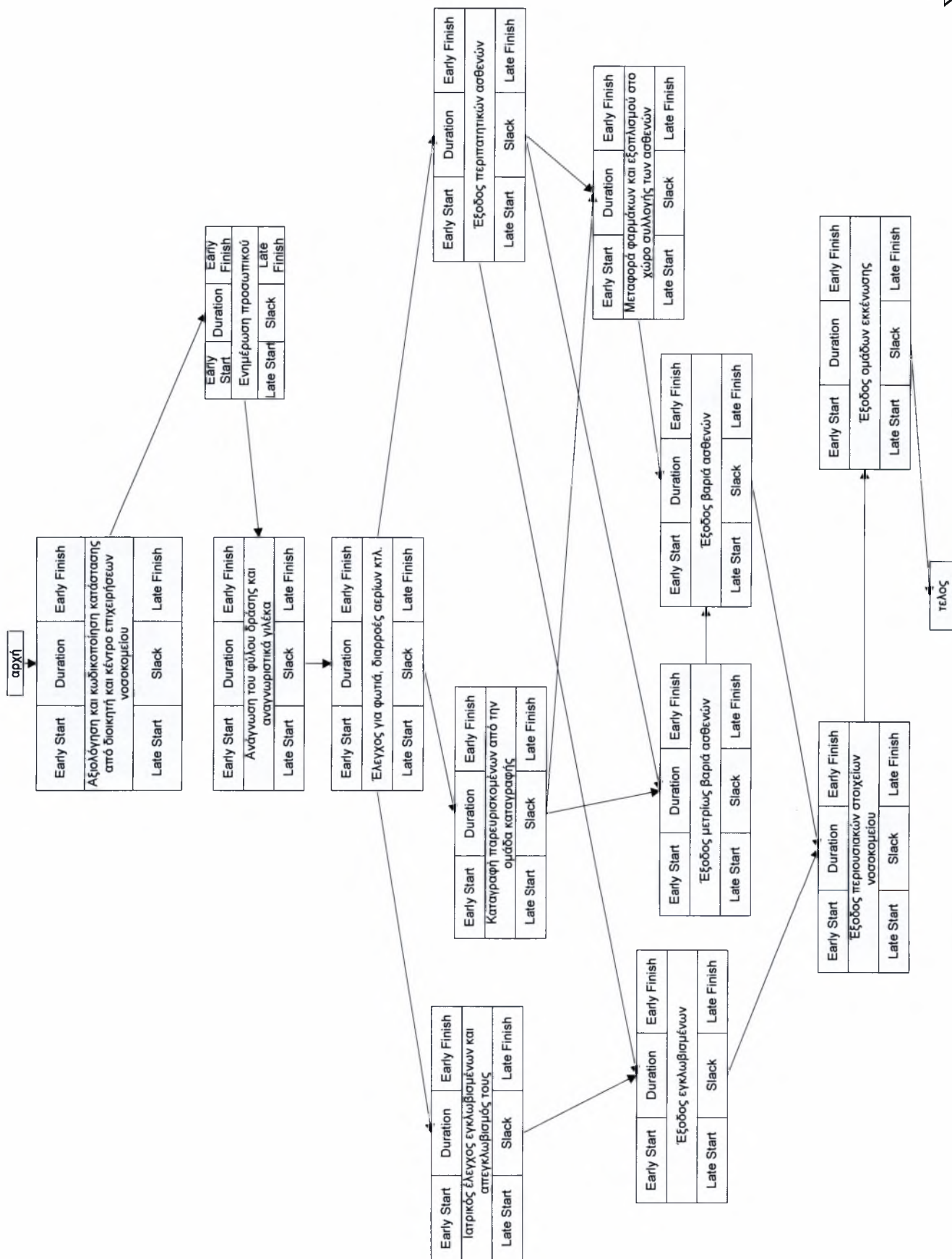
1. Προτεραιότητα μετακίνησης κλινικών.
 - a) Περιπατητικοί ασθενείς (δηλαδή οι ασθενείς οι οποίοι δεν έχουν ανάγκη βοήθειας για να μετακινηθούν)
 - b) Μετρίως βαριά ασθενείς
 - c) ΜΕΘ,ΜΑΦ κτλ κλινικές οι οποίες δεν μπορούν να μετακινηθούν χωρίς υποστήριξη.
2. Διασφάλιση αναγκών σε υγειονομικό υλικό και μεταφερόμενο ιατρικό εξοπλισμό (φορητά ακτινολογικά, ανάνηψης, αποστείρωσης).
3. Τεχνική υποστήριξη των χώρων συγκέντρωσης των ασθενών (ηλεκτρογεννήτριες, παροχή νερού, αερίων κτλ.) και επικοινωνίες. Δημιουργία αποθηκευτικών χώρων ασφαλείας (προστασία περιουσιακών στοιχείων νοσοκομείου κτλ.).
4. Μεταφορά των περιουσιακών στοιχείων του νοσοκομείου.
5. Έξοδος των στελεχών και των ομάδων που ενήργησαν κατά την εκκένωση.

4.2 Γράφημα αλληλουχίας διαδικασιών

Το γράφημα (Σχήμα 2) απεικονίζει την αλληλουχία των διαδικασιών εκκένωσης του νοσοκομείου σύμφωνα με το σχέδιο δράσης και για την πραγματοποίησή του χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Office Visio.

4.3 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο 4 αποτελεί τη βάση από την οποία εξήχθησαν οι διαδικασίες και οι περιορισμοί αλληλουχίας μεταξύ τους που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.



Σχήμα 2

Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή μεθόδου

Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στην παρουσίαση των συγκεκριμένων δεδομένων του προβλήματος που αντιμετωπίζεται και στην βήμα προς βήμα καθοδήγηση στη μέθοδο που ακολουθείται για την επίλυσή του.

5.1 Τύποι δεδομένων και θεωρήσεις προβλήματος

Σε όλα τα προβλήματα τύπου *PSP* χρειάζονται συνήθως ίδιου τύπου δεδομένα ανεξαρτήτως της μεθόδου που ακολουθείται για την επίλυσή τους. Τα δεδομένα αυτά είναι:

- Ορισμός των διαδικασιών ή κάποιο πλάνο του έργου από το οποίο μπορούν να εξαχθούν οι διαδικασίες.
- Λογικές και τεχνολογικές σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ των διαδικασιών.
- Μια εκτίμηση για τις ανάγκες κάθε μιας διαδικασίας σε διαθέσιμους πόρους (είδος και ποσότητα) και τον αντίστοιχο χρόνο ολοκλήρωσης της διαδικασίας για τα *SMRCPSP* (Αν πρόκειται για *MMRCPSP* όπως στην περίπτωση μας χρειαζόμαστε παραπάνω από μια εκτιμήσεις για να είναι πιο αληθοφανές το μοντέλο αλλά και για να έχουμε περισσότερες εναλλακτικές λύσεις έτσι ώστε να φτάσουμε όσο πιο κοντά μπορούμε στην βέλτιστη λύση).

Κάποιες από τις πιο σημαντικές θεωρήσεις που γίνονται για την λύση του προβλήματος χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του Boctor [23] είναι οι εξής:

- Οι διαδικασίες δεν μπορούν να διακοπούν, αφού ξεκινήσουν, και να συνεχιστούν αργότερα.
- Επίσης δεν επιτρέπεται πόροι να προστεθούν σε ή να αφαιρεθούν από μια εν εξελίξει διαδικασία.
- Δεν επιτρέπεται να ξεκινήσει μια διαδικασία με αριθμό πόρων μικρότερο από αυτόν που υπαγορεύεται από τα δεδομένα.
- Ο χρόνος μετάβασης, των συμμετεχόντων στην εκκένωση, από μια διαδικασία σε μια άλλη θεωρείται μηδενικός.

5.2 Οργάνωση δεδομένων

Έστω ότι μια τυπική μέρα βρίσκονται στο νοσοκομείο 32 άτομα προσωπικού εκ των οποίων οι 16 είναι γιατροί, οι 11 νοσοκόμοι και οι υπόλοιποι 5 είναι τεχνικό προσωπικό και αυτός είναι και ο περιορισμός των ατόμων που μπορούν να επεξεργαστούν τις διάφορες διαδικασίες(Πίνακας 3)., οι οποίες φαίνονται στο δίκτυο αλληλουχίας, και να τις φέρουν σε πέρας. Επίσης μέσα στο νοσοκομείο βρίσκονται 100 άτομα εκ των οποίων τα 30 είναι περιπατητικοί ασθενείς, τα 25 είναι μετρίως βαριά ασθενείς, τα 20 είναι βαριά ασθενείς και τα υπόλοιπα 25 επισκέπτες(Πίνακας 4). Τα δεδομένα και οι εκτιμήσεις που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Διευκρινίσεις:

- Η σειρά με την οποία παρατίθενται οι αναγκαίοι πόροι είναι η εξής: (τεχνικό προσωπικό, γιατροί, νοσοκόμοι) = (3,5,7)
- Η πρώτη διαδικασία (Αξιολόγηση και κωδικοποίηση κατάστασης) γίνεται μόνο από τον διευθυντή και το κέντρο επιχειρήσεων όπως αναφέρεται και στην αναλυτική περιγραφή.
- Η δεύτερη διαδικασία (Ενημέρωση προσωπικού) γίνεται μόνο από τον διευθυντή.
- Η Τρίτη (Ανάγνωση του φύλλου δράσης και αναγνωριστικά γιλέκα) γίνεται από όλους τους εμπλεκόμενους.
- Η τέταρτη (Έλεγχος για φωτιά, διαρροές αερίων κτλ.) μπορεί να γίνει μόνο από το τεχνικό προσωπικό (γι' αυτό (5,0,0)).
- Η μέθοδος ξεκινάει από την 5^η διαδικασία και μετά.

Διαδικασία	Προαπαιτούμενες διαδικασίες	Model		Mode 2		Mode 3	
		Αναγκαίοι πόροι	Διάρκεια (min)	πόροι	Διάρκεια (min)	Αναγκαίοι πόροι	Διάρκεια (min)
1	-	Διευθυντής, κέντρο επιχειρήσεων	2	-	-	-	-
2	1	Διευθυντής	1	-	-	-	-
3	2	(5,16,11)	2	-	-	-	-
4	3	(5,0,0)	5	-	-	-	-
5	4	(3,2,3)	20	(4,1,5)	25	(2,2,4)	28
6	4	(0,8,4)	10	(0,5,4)	13	(0,4,2)	14
7	4	(4,9,6)	15	(1,6,4)	17	(0,9,2)	18
8	6,7	(2,5,4)	10	(1,3,4)	14	(0,5,2)	16
9	6,7	(1,6,2)	17	(2,4,5)	19	(4,1,5)	20
10	5,7	(2,7,4)	10	(4,6,3)	14	(1,3,3)	16
11	8,9	(5,8,7)	20	(5,4,8)	25	(3,5,2)	30
12	10,11	(1,9,6)	8	(2,7,4)	11	(3,8,2)	14
13	12	(4,2,4)	5	(3,3,1)	7	(5,1,2)	8

Πίνακας 2.

Ειδικότητα	Ποσότητα
Τεχνικό προσωπικό	5
Γιατροί	16
Νοσοκόμοι	11

Πίνακας 3. Σύνθεση Προσωπικού

Κατηγοριοποίηση ανθρώπων εκτός προσωπικού	Ποσότητα
Περιπατητικοί ασθενείς	30
Μετρίως βαριά ασθενείς	25
Βαριά ασθενείς	20
Επισκέπτες	25

Πίνακας 4. Σύνθεση ανθρώπων εκτός προσωπικού

5.3 Εφαρμογή μεθόδου

Η μέθοδος ξεκινάει από την χρονική στιγμή $t=10$, που τελειώνει η διαδικασία 4 αλλά εμείς χάριν του συγκεκριμένου μοντέλου θεωρούμε τη χρονική στιγμή $t=10$ ίση με 0 και θα προσθέσουμε τις 10 μονάδες στο τελικό αποτέλεσμα. Συνοπτικά η μεθοδολογία θα ακολουθήσει τα εξής βήματα:

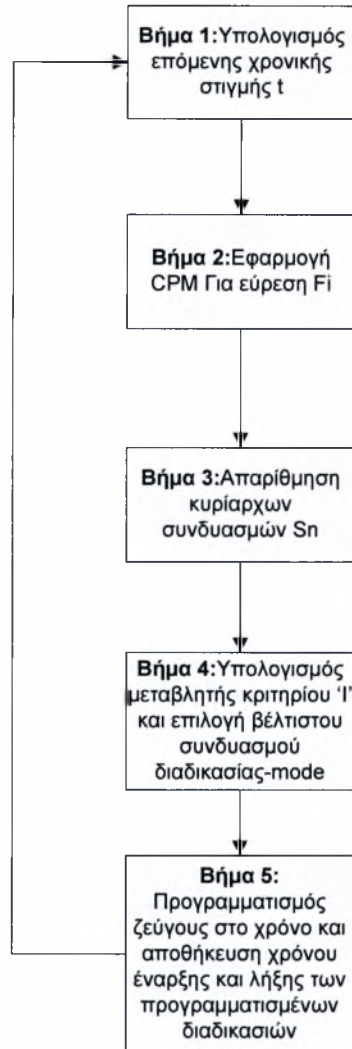
Βήμα 1 : Υπολογίζουμε την επόμενη χρονική στιγμή t με βάση το ποια διαδικασία τελειώνει πρώτη, πόσοι είναι οι διαθέσιμοι πόροι (A.R.) εκείνη τη στιγμή, ποιες διαδικασίες έχουν ολοκληρωθεί και ποιες βρίσκονται σε εξέλιξη.

Βήμα 2 : Εφαρμόζουμε μέθοδο *CPM* για να βρούμε το χρόνο που μπορεί να καθυστερήσει κάθε μονοπάτι F_i .

Βήμα 3 : Απαριθμούμε τους κυρίαρχους συνδυασμούς S_n με βάση το ποιες διαδικασίες είναι πιθανές προς προγραμματισμό, πόσοι πόροι υπάρχουν διαθέσιμοι και ποια είναι τα καλύτερα δυνατά modes που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αυτούς τους περιορισμούς.

Βήμα 4 : Υπολογίζουμε την μεταβλητή I που αποτελεί το κριτήριο επιλογής και επιλέγουμε συνδυασμό διαδικασίας-mode.

Βήμα 5 : Προγραμματίζουμε στον τρέχοντα χρόνο τον συνδυασμό που επιλέχθηκε και αποθηκεύουμε τον χρόνο έναρξης και λήξης των διαδικασιών που προγραμματίστηκαν. Επιστρέφουμε στο Βήμα 1.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ροής αλγορίθμου

Εφαρμογή:

Βήμα 1.1 :

t	<i>A.R.</i> (τεχνικό προσωπικό, γιατροί, νοσοκόμοι)	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
0	(5,16,11)	-	-

Βήμα 2.1 :

Εφαρμογή CPM:

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F_i (slack time)
5-10-12-13	20-10-8-5	43	24
6-9-11-12-13	10-17-20-8-5	60	7
6-8-11-12-13	10-10-20-8-5	53	14
7-8-11-12-13	15-10-20-8-5	58	7
7-9-11-12-13	15-17-20-8-5	65	0
7-10-12-13	15-10-8-5	38	27

Βήμα 3.1 :

A (πιθανές διαδικασίες)
5,6,7

Σειριακό ς αριθμός	S (activity -mode)	A -S	$a_{ij(i)}$ { $\forall i \in S$ }	$b_i \{ \forall i \in A - S \}$	$I_S = \text{Max}\{0, \max_{i \in S}(a_{ij(i)}), \max_{i \in A - S}(b_i)\}$
1	(5,1) (6,1) (7,2)	-	0 0 2	-	2
2	(7,1) (6,2)	5	0 0	0	0
3	(7,1) (5,3)	6	0 0	8	8

Βήμα 4.1 : Ο συνδυασμός ο οποίος επιλέγεται είναι ο συνδυασμός **S₂** ο οποίος δίνει I=0.

Βήμα 5.1 :

Προγραμματισμένες διαδικασίες	Χρόνος έναρξης	Χρόνος λήξης
7	0	15
6	0	13

Αδρανείς Πόροι	(1,2,1)
----------------	---------

Βήμα 1.2 :

t	<i>A.R.</i> (διαθέσιμοι πόροι)	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
13	(1,7,5)	6	7

Βήμα 2.2 :**Εφαρμογή CPM:**

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F
5-10-12-13	(13+20)-10-8-5	56	9
6-9-11-12-13	13-17-20-8-5	63	2
6-8-11-12-13	13-10-20-8-5	56	9
7-8-11-12-13	15-10-20-8-5	58	7
7-9-11-12-13	15-17-20-8-5	65	0
7-10-12-13	15-10-8-5	38	27

Βήμα 3.2 :

A
5

Σειριακός αριθμός	S	$A-S$	$a_{ij(i)} \{\forall i \in S\}$	$b_i \{\forall i \in A-S\}$	I_S
-	-	-	-	-	-

Βήμα 4.2 : Δεν υπάρχουν συνδυασμοί προς επιλογή λόγω της κατάστασης που περιγράφεται στο επόμενο βήμα.

Βήμα 5.2 : Δεν προγραμματίζεται η 5 διότι υπάρχουν πόροι μόνο για το 3^ο mode το οποίο διαρκεί 8 χρονικές μονάδες παραπάνω σε σχέση με το αν προγραμματιστεί

στο 1^ο mode κάτι το οποίο μπορεί να γίνει στην επόμενη χρονική στιγμή που είναι μόνο 2 χρονικές μονάδες μετά

Βήμα 1.3 :

t	$A.R.$	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
15	(5,16,11)	6,7	-

Βήμα 2.3 :

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F
5-10-12-13	(15+20)-10-8-5	58	7
6-9-11-12-13	13-(2+17)-20-8-5	65	0
6-8-11-12-13	13-(2+10)-20-8-5	58	7
7-8-11-12-13	15-10-20-8-5	58	7
7-9-11-12-13	15-17-20-8-5	65	0
7-10-12-13	15-10-8-5	38	27

Βήμα 3.3 :

A
5,8,9

Σειριακός αριθμός	S	$A-S$	$a_{ij}(\theta) \{\forall i \in S\}$	$b_i \{\forall i \in A-S\}$	I_S
1	(5,1)	-	0	-	0
	(9,1)		0		
	(8,2)		0		
2	(8,1)	-	0	-	1
	(9,1)		0		
	(5,3)		1		
3	(5,1)	9	0	10	10
	(8,1)		0		

Βήμα 4.3 : Ο συνδυασμός ο οποίος επιλέγεται είναι ο συνδυασμός \underline{S}_I ο οποίος δίνει $I=0$.

Βήμα 5.3 :

Προγραμματισμένες διαδικασίες	Χρόνος έναρξης	Χρόνος λήξης
5	15	35
9	15	32
8	15	29

Αδρανείς Πόροι	(0,5,2)
----------------	---------

Βήμα 1.4 :

t	A.R.	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
29	(1,8,6)	6,7,8	5,9

Βήμα 2.4 :

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F
5-10-12-13	(15+20)-10-8-5	58	7
6-9-11-12-13	13-17-20-8-5	65	0
6-8-11-12-13	13-(2+14)-20-8-5	62	3
7-8-11-12-13	15-14-20-8-5	62	3
7-9-11-12-13	15-17-20-8-5	65	0
7-10-12-13	15-(14+10)-8-5	52	13

Βήμα 3.4 :

A
-

Σειριακός αριθμός	S	$A-S$	$a_{ij(i)} \{\forall i \in S\}$	$b_i \{\forall i \in A-S\}$	I_S
-	-	-	-	-	-

Βήμα 4.4 : Δεν υπάρχουν συνδυασμοί προς επιλογή διότι δεν υπάρχει διαδικασία η οποία να μπορεί να προγραμματιστεί σε αυτήν την χρονική περίοδο.

Βήμα 5.4 : Δεν μπορεί να προγραμματιστεί καμιά διαδικασία διότι δεν το επιτρέπουν οι περιορισμοί αλληλουχίας των διαδικασιών.

Βήμα 1.5 :

t	$A.R.$	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
32	(2,14,8)	6,7,8,9	5

Βήμα 2.5 :

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F
5-10-12-13	(15+20)-10-8-5	58	7
6-9-11-12-13	13-17-20-8-5	63	0
6-8-11-12-13	13-(2+14)-(3+20)-8-5	65	0
7-8-11-12-13	15-14-(3+20)-8-5	65	0
7-9-11-12-13	15-17-20-8-5	65	0
7-10-12-13	15-(17+10)-8-5	55	10

Βήμα 3.5 :

A
11

Σειριακός αριθμός	S	$A-S$	$a_{ij(i)} \{\forall i \in S\}$	$b_i \{\forall i \in A-S\}$	I_S
-	-	-	-	-	-

Βήμα 4.5 : Δεν υπάρχουν συνδυασμοί προς επιλογή λόγω της κατάστασης που περιγράφεται στο επόμενο βήμα.

Βήμα 5.5 : Δεν μπορεί να προγραμματιστεί η 11 ακόμα διότι δεν επαρκούν οι διαθέσιμοι πόροι.

Βήμα 1.6 :

t	$A.R.$	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
35	(5,16,11)	6,7,8,9,5	-

Βήμα 2.6 :

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F
5-10-12-13	(15+20)-10-8-5	58	10
6-9-11-12-13	13-(3+17)-20-8-5	66	2
6-8-11-12-13	13-(2+14)-(6+20)-8-5	68	0
7-8-11-12-13	15-14-(6+20)-8-5	68	0
7-9-11-12-13	15-(3+17)-20-8-5	68	0
7-10-12-13	15-(20+10)-8-5	58	10

Βήμα 3.6 :

A
$11,10$

Σειριακός αριθμός	S	$A-S$	$a_{ij(i)} \{\forall i \in S\}$	$b_i \{\forall i \in A - S\}$	I_S
1	$(11,1)$	10	0	13	13
2	$(10,1)$ $(11,3)$	-	0 10	-	10

Βήμα 4.6 : Ο συνδυασμός ο οποίος επιλέγεται είναι ο συνδυασμός \underline{S}_2 ο οποίος δίνει $I=10$.

Βήμα 5.6 :

Προγραμματισμένες διαδικασίες	Χρόνος έναρξης	Χρόνος λήξης
10	35	45
11	35	65

Αδρανείς Πόροι	$(0,4,5)$
----------------	-----------

Βήμα 1.7 :

t	$A.R.$	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
45	$(2,11,9)$	6,7,8,9,5,10	11

Βήμα 2.7 :

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	<i>F</i>
5-10-12-13	(15+20)-10-8-5	58	20
6-9-11-12-13	13-(3+17)-20-8-5	76	2
6-8-11-12-13	13-(2+14)-(6+30)-8-5	78	0
7-8-11-12-13	15-14-(6+30)-8-5	78	0
7-9-11-12-13	15-(3+17)-20-8-5	78	0
7-10-12-13	15-(20+10)-8-5	58	20

Βήμα 3.7 :

<i>A</i>
-

Βήμα 4.7 : Δεν υπάρχουν συνδυασμοί προς επιλογή λόγω της κατάστασης που περιγράφεται στο επόμενο βήμα.

Βήμα 5.7 : Δεν μπορεί να προγραμματιστεί η 12 ακόμα λόγω των περιορισμών αλληλουχίας που επιβάλουν για να ξεκινήσει η 12 να έχουν τελειώσει και η 10 και η 11.

Βήμα 1.8 :

<i>t</i>	<i>A.R.</i>	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
65	(5,16,11)	6,7,8,9,5,10,11	-

Βήμα 2.8 :

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F
5-10-12-13	$(15+20)-(20+10)-8-5$	68	10
6-9-11-12-13	$13-(3+17)-20-8-5$	76	2
6-8-11-12-13	$13-(2+14)-(6+30)-8-5$	78	0
7-8-11-12-13	$15-14-(6+30)-8-5$	78	0
7-9-11-12-13	$15-(3+17)-20-8-5$	78	0
7-10-12-13	$15-(20+10)-8-5$	58	20

Βήμα 3.8 :

A
12

Σειριακός αριθμός	S	$A-S$	$a_{ij}(0)$ $\{\forall i \in S\}$	$b_i\{\forall i \in A-S\}$	I_S
1	$(12,1)$	-	0	-	0

Βήμα 4.8 : Ο συνδυασμός ο οποίος επιλέγεται είναι ο συνδυασμός S_I ο οποίος δίνει $I=0$.

Βήμα 5.8 :

Προγραμματισμένες διαδικασίες	Χρόνος έναρξης	Χρόνος λήξης
12	65	73

Αδρανείς Πόροι	$(4,7,5)$
----------------	-----------

Βήμα 1.9 :

t	$A.R.$	Ολοκληρωμένες Διαδικασίες	Διαδικασίες σε εξέλιξη
73	(5,16,11)	6,7,8,9,5,10,11,12	-

Βήμα 2.9 :

Μονοπάτι	Διάρκειες διαδικασιών	Διάρκεια μονοπατιού	F
5-10-12-13	(15+20)-(20+10)-8-5	68	10
6-9-11-12-13	13-(3+17)-20-8-5	76	2
6-8-11-12-13	13-(2+14)-(6+30)-8-5	78	0
7-8-11-12-13	15-14-(6+30)-8-5	78	0
7-9-11-12-13	15-(3+17)-20-8-5	78	0
7-10-12-13	15-(20+10)-8-5	58	20

Βήμα 3.9 :

A
13

Σειριακός αριθμός	S	$A-S$	$a_{ij(0)} \{\forall i \in S\}$	$b_i \{\forall i \in A-S\}$	I_S
1	(13,1)	-	0	-	0

Βήμα 4.9 : Ο συνδυασμός ο οποίος επιλέγεται είναι ο συνδυασμός S_1 ο οποίος δίνει $I=0$.

Βήμα 5.9 :

Προγραμματισμένες διαδικασίες	Χρόνος έναρξης	Χρόνος λήξης
<i>13</i>	<i>73</i>	<i>78</i>

Αδρανείς Πόροι	<i>(1,14,7)</i>
-----------------------	-----------------

5.4 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της μεθόδου φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι δουλεύει σύμφωνα με τον τρόπο που παρουσιάζει ο Boctor [23] δίνοντας αποτελέσματα μέσα στο αναμενόμενο εύρος χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα όπως έκρηξη των συνδυασμών κατά την διάρκεια της απαρίθμησης ή μεγάλοι χρόνοι αδράνειας του προσωπικού. Περαιτέρω ανάλυση πάνω στα αποτελέσματα γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και συμπεράσματα

6.1 Αποτελέσματα μεθόδου

Τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα καθώς και στο γράφημα αλληλουχίας διαδικασιών που ακολουθεί πίνακας :

Διαδικασία	Νωρίτερος χρόνος εκκίνησης	Πραγματικός χρόνος εκκίνησης	Νωρίτερος χρόνος περάτωσης	Πραγματικός χρόνος περάτωσης	Απορρόφηση πόρων
1	-	0	-	2	Διευθυντής, κέντρο επιχειρήσεων
2	-	2	-	3	Διευθυντής
3	-	3	-	5	(5,16,11)
4	-	5	-	10	(5,0,0)
5	0	15	20	35	(3,2,3)
6	0	0	10	13	(0,5,4)
7	0	0	15	15	(4,9,6)
8	15	15	25	29	(1,3,4)
9	15	15	32	32	(1,6,2)
10	20	35	30	45	(2,7,4)
11	32	35	52	65	(3,5,2)
12	52	65	60	73	(1,9,6)
13	60	73	65	78	(4,2,4)

Πίνακας 5. Αποτελέσματα μεθόδου

6.2 Συμπεράσματα

Η αύξηση που παρατηρείται στον πραγματικό χρόνο ολοκλήρωσης του έργου σε σχέση με το χρόνο που θα προέκυπτε αν δεν υπήρχαν περιορισμοί διαθέσιμων πόρων είναι της τάξεως του $78/65=1,2$. Δηλαδή η μέθοδος του Boctor δίνει μια αύξηση του συνολικού χρόνου 20% σε σχέση με την μέθοδο κρίσιμης διαδρομής. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία η ευρεστική μέθοδος του Boctor αποδίδει κατά μέσο όρο μια αύξηση 34% του συνολικού χρόνου με μέγιστη αύξηση 60%. Ο λόγος που η αύξηση αυτή μεταβάλλεται σημαντικά από πρόβλημα σε πρόβλημα είναι ότι τα προβλήματα τύπου PSP είναι ευαίσθητα ως προς τον βαθμό στον οποίο περιορίζονται από την διαθεσιμότητα πόρων ανά περίοδο αλλά και από τους περιορισμούς αλληλουχίας. Δηλαδή από τη φύση τους τα προβλήματα NP-HARD είναι ευαίσθητα σε μεταβολές στους περιορισμούς και υπάρχει η πιθανότητα ενώ ένα πρόβλημα λύνεται σε μια μορφή του από έναν αλγόριθμο, αν γίνει πιο αυστηρός ένας περιορισμός έστω και λίγο ο ίδιος αλγόριθμος να μην μπορεί να δώσει λύση ή να αυξάνεται δραματικά ο χρόνος ολοκλήρωσης του αλγορίθμου.

Στο παράδειγμα που παρατέθηκε μια πιθανή εξήγηση για το μικρό ποσοστό αύξησης ίσως είναι ότι το πρόβλημα είναι μέτρια έως και λίγο περιορισμένο. Μπορεί εύκολα να παρατηρήσει κάποιος ότι η μέγιστη ανάγκη σε διαθέσιμους πόρους που παρατηρείται κατά την εκτέλεση του προγράμματος (αν εκτελεστεί με βάση την μέθοδο CPM) είναι 7 άτομα τεχνικό προσωπικό, 19 γιατροί, 13 νοσοκόμοι το χρονικό διάστημα που συμπίπτει η λειτουργία των διαδικασιών: 5,6,7. Άρα ο περιορισμός που έχει τεθεί ανά περίοδο [5,16,11] δεν είναι ένας πολύ αυστηρός περιορισμός, είναι ένας περιορισμός ο οποίος δίνει μια ευελιξία στο πρόγραμμα έτσι ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερη λύση.

Επίσης είναι εμφανές από τα αποτελέσματα ότι μπορεί κάποιες διαδικασίες να μην ξεκινούν στην ώρα τους ωστόσο αυτό συμβαίνει όχι μόνο λόγω έλλειψης πόρων αλλά και λόγω του γεγονότος ότι μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι προς το συμφέρον της ελαχιστοποίησης κάποιες διαδικασίες να ξεκινούν αργότερα για να τους ανατεθεί καλύτερο mode (αυτό το γεγονός ενισχύεται όταν τα modes μιας διαδικασίας έχουν μεγάλες διαφορές όσων αφορά τη διάρκεια που αποδίδουν σε μια διαδικασία).

Αλγόριθμοι σαν αυτόν του Boctor [23] είναι πολύ σημαντικοί διότι παρέχουν γρήγορα ικανοποιητικές λύσεις για μεγάλα προβλήματα μέτρια περιορισμένα ωστόσο

υπάρχουν ακόμα πολλές βελτιώσεις οι οποίες θα μπορούσαν να γίνουν στους αλγόριθμους επίλυσης των MMRCPSP. Πρώτον θα μπορούσε να ληφθεί υπ' όψη το γεγονός της δυναμικής διάρκειας των διαδικασιών δηλαδή να υφίσταται μια σχέση η οποία να δίνει την μείωση στο χρόνο περάτωσης διαδικασίας ανάλογα με το πόσοι δουλεύουν σε αυτή έτσι ώστε όταν υπάρχει χρόνος αδράνειας για κάποιους να μεταβαίνουν σε μια διαδικασία η οποία ήδη εκτελείται. Επίσης θα μπορούσε να προβλεφθεί κάποια μεταβλητή βάρους για την μετάβαση από τη μια διαδικασία στην άλλη αν είναι πολύς ο χρόνος που απαιτείται. Τέτοιες προσπάθειες υπάρχουν στην βιβλιογραφία για να προσεγγισθεί όσο το δυνατόν αρτιότερα η πραγματικότητα αλλά συνήθως συνοδεύονται από άλλες απλοποιήσεις διότι τα προβλήματα που προκύπτουν αυξάνουν την πολυπλοκότητα ενός ήδη πολύ δύσκολου στην επίλυση προβλήματος.

Βιβλιογραφία

- [1] Oya Icmeli, S. Selcuk Erenguc, Christopher J. Zappe. Project Scheduling Problems: A Survey. International Journal Of Operations & Productions Management, 1993
- [2] Kolisch R, Padman R. An integrated survey of deterministic project scheduling. Omega (UK). 2000
- [3] Talbot, F.B. Resource-constrained project scheduling problem with time-resource trade-offs: The non-preemptive case. Management Science. 1982
- [4] Patterson, J.H., Slowinski, R., Talbot, F.B., Weglarz, J..An algorithm for a general class of precedence and resource constrained scheduling problems. Advances In Project Scheduling. 1982
- [5] Speranza, M.G., Vercellis, C. Hierarchical models for multi-project planning and scheduling. European Journal of Operational Research. 1993
- [6] Sprecher, A. Resource-Constrained Project Scheduling Exact Methods for the Multi-Mode Case, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. 1994
- [7] Ahn, T., Erenguc, S.S. Resource-constrained project scheduling with multiple crashable modes: An exact solution method, INFORMS New Orleans Fall Meeting. 1995
- [8] Sprecher, A., Hartman, S., Drexl, A. An exact algorithm for project scheduling with multiple modes. OR Spektrum. 1997
- [9] Nudtasomboon, N., Randhawa, S.U. Resource-constrained project scheduling with renewable and non-renewable resources and time/resource trade-offs. Computers and Industrial Engineering. 1997
- [10] Sprecher, A., Drexl, A. Solving multi-mode resource constrained project scheduling problems by a simple, general and powerful sequencing algorithm. European Journal of Operational Research. 1998.
- [11] Demeulemeester E, Herroelen W. A branch-and bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem. Management Science.1992
- [12] A. Sprecher and A. Drexl, Multi-mode resource-constrained project scheduling by a simple, general and powerful sequencing algorithm, European Journal of Operational Research. 1998

- [13] Hartmann S, Drexl A. Project scheduling with multiple modes: A comparison of exact algorithms. *Networks*. 1998
- [14] Boctor F.F., Heuristics for scheduling projects with resource restrictions and several resource-duration modes. *Management Science*. 1993
- [15] Drexl A, Grünewald J. Nonpreemptive multi-mode resource-constrained project scheduling. *IIE Transactions*. 1993
- [16] Slowinski R, Soniewicki B, Weglarz J. DSS for multiobjective project scheduling. *European Journal of Operational Research*. 1994
- [17] Ozdamar L, Ulusoy G. A local constraint based analysis approach to project scheduling under general resource constraints. *European Journal Of Operational Research*. 1994
- [18] R. Kolisch, A. Drexl. Local search for nonpreemptive multi-mode resource-constrained project scheduling. *IIE Transactions*. 1997
- [19] Boctor FF. Resource-constrained project scheduling simulated annealing. *International Journal of Production Research*. 1996
- [20] Ozdamar L. A genetic algorithm approach to a general category project scheduling problem. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; Part C: Applications and Reviews*. 1999
- [21] Storer RH, Wu SD, Vaccari R. New search spaces for sequencing problems with application to job shop scheduling. *Management Science* 1992;
- [22] Hartmann S. Project scheduling with multiple modes: a genetic algorithm. Technical Report 435, *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, 1997.
- [23] Boctor F.F. A new and efficient heuristic for scheduling projects with resource restrictions and multiple execution modes. *European Journal of Operational Research*. 1996
- [24] Kelley, J.E. The critical-path method: Resources planning and scheduling, in: *Industrial Scheduling*, Prentice Hall, New Jersey. 1963
- [25] R. Kolisch. Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. *European Journal of Operational Research*. 1996
- [26] K. Jansen, L. Porkolab. Preemptive scheduling with dedicated processors: Applications of fractional graph coloring. *Journal of Scheduling*. 2004

- [27] P. Baptiste, M. Chrobak, C. Durr, W. Jawor, N. Vakhania. Preemptive scheduling of equal-length jobs to maximize weighted throughput. *Operations Research Letters*, 2004
- [28] Ahn, T., Erenguc, S.S. The resource-constrained project scheduling problem with multiple crashable modes: A heuristic procedure. *Proceedings of the Fifth International Workshop on Project Management and Scheduling*. 1996
- [29] R. Kolisch , S. Hartmann. Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update. *European Journal of Operational Research*. 2006
- [30] R. Kolisch , S. Hartmann. Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling. *European Journal of Operational Research*. 2000
- [31] R. Kolisch , S. Hartmann. Heuristic algorithms for solving the resource-constrained project scheduling problem.
- [32] P. Esquirol, M. Huguet, P. Lopez. Modelling and managing disjunctions in scheduling problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 1995
- [33] P. Brucker, A. Drexl, R. Mohring, K. Neumann, E. Pesch. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*. 1998
- [34] W.S. Herroelen, E.L. Demeulemeester. Resource-Constrained Project Scheduling A View on Recent Developments. *Tijdschrift voor Economic en Management*. 1994
- [35] F.J Radermacher. Scheduling of project networks. *Annals of Operations Research*. 1985
- [36] B. De Reyck, W. Herroelen. Multi-mode resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations. *European Journal of Operational Research*. 1999
- [37] M. Zouba, P.Baptiste, D.Rebaine. Scheduling identical parallel machines and operators within a period based changing mode. *Computers and Operations Research*. 2009
- [38] B. Yang, W. J. O'Brien. Resource-Constrained Project Scheduling: Past Work and New Directions. 2001
- [39] D. Kruger, A. Scholl. Managing and modelling general resource transfers in (multi-)project scheduling. 2008

- [40] S. Gwynne, E.R. Galea, J. Parke, and J. Hickson, The Collection and Analysis of Pre-evacuation Times Derived from Evacuation Trials and Their Application to Evacuation Modelling. Kluwer Academic Publishers. 2003
- [41] Kolisch, Rainer. Resource Allocation in Project Management. GOR publications. 2003
- [42] L. Bianco, P. D. Olmo, S. Giordani, G Speranza. Minimizing makespan in a multimode multiprocessor shop scheduling problem. Naval Research Logistics. 1999
- [43] A. Lova, P. Tormos, F. Barber, Multi-Mode Resource Constrained Project Scheduling: Scheduling Schemes, Priority Rules and Mode Selection Rules. Inteligencia Artificial, 2006
- [44] Glover, F. Future path for integer programming and links to artificial intelligence. Computers & Operations Research. 1986
- [45] Glover, F., Laguna, M. Tabu Search. Kluwer Academic Publishers. 1997

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000102454



