



## **Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**

Σχολή Μηχανικών - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

*Πτυχιακή Εργασία*

---

# Προγραμματισμός και Διαχείριση Έργων με Πολλαπλά Κριτήρια Βελτιστοποίησης

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

της φοιτήτριας

**ΕΙΡΗΝΗ – ΔΑΝΑΗ ΜΠΛΑΤΣΙΩΤΗ**

A.M. 47893

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΡΥΖΙΔΗΣ ΙΣΑΑΚ**

**ΑΘΗΝΑ**

(ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2021)

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

ΒΡΥΖΙΔΗΣ ΙΣΑΑΚ ΜΟΥΣΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

### ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΕΙΡΗΝΗ – ΔΑΝΑΗ ΜΠΛΑΤΣΙΩΤΗ του ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 47893 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα  


Δανάη Μπλατσιώτη

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο χρονικός προγραμματισμός των έργων λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλούς στόχους, οι οποίοι λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Αρχικά, γίνεται μια αναφορά στους βασικούς ορισμούς της Διαχείρισης των Έργων καθώς και στις γνωστικές περιοχές που δίνεται μεγαλύτερη έμφαση. Έπειτα, μετά από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αναφέρονται τα διαφορετικά κριτήρια βελτιστοποίησης μέσα από μικρά παραδείγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του χρονοδιαγράμματος ενός έργου. Στην συνέχεια, μελετήθηκε η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων για την διαχείριση της ανταγωνιστικότητας μεταξύ των κριτηρίων δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στην οικογένεια μεθοδολογιών του Πολυστοχικού Γραμμικού Προγραμματισμού. Τέλος, εφαρμόστηκαν τα βήματα του Πολυστοχικού Γραμμικού Προγραμματισμού για την κατασκευή του χρονοδιαγράμματος ενός έργου λαμβάνοντας υπόψη την μεγιστοποίηση των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων και την μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας. Το τελικό χρονοδιάγραμμα καθορίστηκε σύμφωνα με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα έπειτα από διάλογο μαζί του χρησιμοποιώντας τις μεθόδους των Ικανοποιητικών και Επιθυμητών Στόχων. Οι δύο μεθοδολογίες μελετήθηκαν αναλυτικά και συγκρίθηκαν μεταξύ τους.

## ABSTRACT

This dissertation presents the construction of a project schedule by taking into account multiple objectives. Following a basic definition of Project Management, which emphasizes the relevant areas of knowledge, the literature review provides an overview of the different scheduling objectives through a selection of illustrative examples. Furthermore, the foundations of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) have been analyzed by placing more emphasis to the Multi-Objective Linear Programming (MOLP) methods. A methodological framework has been developed for the construction of a project schedule under multiple objectives based on MOLP methods. This methodology has been implemented to a project by considering two optimization criteria: 1) the maximization of free floats, and 2) the maximization of Net Present Value. The final schedule was determined by taking into account the preferences of the decision maker.

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	4
1 Εισαγωγή.....	7
2 Γενικά Στοιχεία Διαχείρισης Έργων.....	9
2.1 Βασικοί Ορισμοί.....	9
2.1.1 Τι είναι έργο?.....	9
2.1.2 Project Management.....	11
2.2 Γνωστικές Περιοχές.....	12
2.3 Χρονικός Προγραμματισμός (Project Schedule Management).....	14
2.3.1 Ορισμός και σημασία του Χρονικού Προγραμματισμού.....	14
2.3.2 Τεχνικές Προβολής Δραστηριοτήτων.....	17
2.3.3 Χρήση Πόρων.....	20
3 Προγραμματισμός έργων με πολλαπλούς στόχους.....	25
3.1 Ελαχιστοποίηση Κόστους.....	27
3.2 Ελαχιστοποίηση Συνολικής Διάρκειας.....	28
3.3 Μεγιστοποίηση Καθαρά Παρούσας Αξίας.....	30
3.4 Ελαχιστοποίηση Χρήσης Πόρων.....	33
4 Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων.....	35
4.1 Η έννοια της Προτίμησης.....	35
4.2 Η έννοια της Πολυκριτήριας Ανάλυσης.....	36
4.3 Ορισμός Πολυστοχικού Προγραμματισμού.....	37
4.4 Κατηγορίες Βελτιστοποίησης Πολλαπλών Στόχων.....	38
4.5 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης Πολλαπλών Κριτηρίων.....	39
5 Εφαρμογή.....	43
5.1 Μεθοδολογία Πολυστοχικού Προγραμματισμού.....	43

5.2	Σύντομη Περιγραφή του προβλήματος.....	46
5.3	Επίλυση .....	47
5.3.1	Κατασκευή δικτύου του έργου - Επίλυση με την μέθοδο CPM.....	47
5.3.2	Μοντελοποίηση του προβλήματος - Μαθηματικό μοντέλο .....	48
5.3.3	Κατασκευή Πίνακα Πληρωμών.....	49
5.3.4	Καθορισμός Στόχων.....	52
5.3.5	Μέθοδος των Ικανοποιητικών Στόχων .....	53
5.3.6	Μέθοδος Επιθυμητών Στόχων .....	55
6	Συμπεράσματα .....	56
7	Βιβλιογραφία .....	58

### 1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες το γνωστικό πεδίο της Διαχείρισης των Έργων έχει γνωρίσει σημαντική ανάπτυξη συγκεντρώνοντας το ενδιαφέρον τόσο του ακαδημαϊκού χώρου όσο και του ιδιωτικού-δημόσιου τομέα. Έχει βρει ευρεία χρήση σε διάφορους τομείς όπως είναι οι κατασκευές, οι βιομηχανίες και η πληροφορική, καθιστώντας τις διαθέσιμες μεθοδολογίες αρκετά διαδεδομένες. Για πολλούς πατέρας της Διαχείρισης Έργων θεωρείται ο Henry Gantt (1861-1919), ο οποίος εισήγαγε τις βασικές αρχές του προγραμματισμού στη διαχείριση των έργων. Δημιούργησε το γνωστό διάγραμμα GANTT, το οποίο αποτελεί μέχρι και σήμερα βασικό εργαλείο για την παρακολούθηση της εκτέλεσης ενός έργου.

Το αντικείμενο της Διαχείρισης των Έργων παρότι έχει γνωρίσει ιδιαίτερη άνθιση, οι προκλήσεις παραμένουν ακόμα πολλές και η ανάγκη για νέες μεθοδολογίες κρίνεται επιτακτική. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία ασχολείται με κατασκευή του χρονοδιαγράμματος ενός έργου λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικούς, πολλές φορές αλληλοσυγκρουόμενους στόχους. Ορισμένοι από αυτούς τους στόχους είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου ολοκλήρωσης και του κόστους κατασκευής, η μεγιστοποίηση της Καθαρή Παρούσα Αξίας και η βελτιστοποίηση της χρήσης πόρων. Οι στόχοι αυτοί συνήθως λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους και η βελτιστοποίηση ενός κριτήριου οδηγεί στην μη ικανοποίηση ενός άλλου. Για αυτό το λόγο, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εργαλεία και μεθοδολογίες που υποστηρίζουν την σύνθεση των κριτηρίων και την εύρεση μία λύσης ικανοποιητική σύμφωνα με τις προτιμήσεις του εκάστοτε αποφασίζοντα. Μια από τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι αυτή του Πολυστοχικού Γραμμικού Προγραμματισμού.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία σύντομη αναφορά στις βασικές αρχές της Διαχείρισης των έργων, ενώ στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται αναλυτικά ορισμένοι στόχοι χρονοπρογραμματισμού με την μαθηματική διατύπωση του αντίστοιχου προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού (Γ.Π.).

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της Πολυκριτηριακής ανάλυσης δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στον Πολυστοχικό Γραμμικό Προγραμματισμό (Π.Γ.Π.).



Στο κεφάλαιο 5 δίνεται ένα έργο, το οποίο μελετήθηκε με δύο κριτήρια βελτιστοποίησης, την ελαχιστοποίηση του χρόνου ολοκλήρωσης και την μεγιστοποίηση της Κ.Π.Α, εφαρμόζοντας την μεθοδολογία του Π.Γ.Π. Παρατηρήθηκε διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων ανά κριτήριο βελτιστοποίησης και απαιτήθηκε αποφασίζων να θέσει τους στόχους. Με αυτό τον τρόπο, αναζητάτε μια λύση, στην συγκεκριμένη περίπτωση ένα χρονοδιάγραμμα, κοντά στις προτιμήσεις του αποφασίζοντος. Αξίζει να σημειώσουμε, πως στην διαδικασία επίλυσης του παρακάτω παραδείγματος, για την ευκολότερη επίλυση των Γραμμικών Προβλημάτων δεν λάβαμε υπόψη κάποιον περιορισμό ως προς την χρήση των πόρων. Ωστόσο, ο τρόπος επίλυσης παραμένει ο ίδιος με αυτόν που θα παρουσιαστεί. Στην περίπτωση που ληφθούν υπόψη περιορισμοί στην χρήση πόρων, θα χρειαστεί να προστεθεί ένα ακόμα περιορισμός στα Γ.Π. οδηγώντας σε αύξηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης του έργου.

## 2 Γενικά Στοιχεία Διαχείρισης Έργων

### 2.1 Βασικοί Ορισμοί

#### 2.1.1 Τι είναι έργο?

Έργο είναι ένα εγχείρημα κατά το οποίο οι ανθρώπινοι πόροι, οι μηχανές, οι οικονομικοί πόροι και οι πρώτες ύλες οργανώνονται κατά καινοφανή τρόπο, με στόχο την ανάληψη συγκεκριμένου αντικειμένου εργασιών οι οποίες έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές και υπόκεινται σε δεδομένους κοστολογικούς και χρονικούς περιορισμούς με σκοπό να παραχθεί μια επωφελής μεταβολή η οποία ορίζεται μέσω ποσοτικών και ποιοτικών στόχων. Ακόμη έργο ορίζεται μια προσωρινή προσπάθεια που αναλαμβάνεται για την δημιουργία ενός προϊόντος (PMI, 2017).

Ένα έργο έχει κάποιους περιορισμούς οι οποίοι είναι ικανοί να μεταβάλλουν την πορεία του έργου. Οι περιορισμοί αυτοί είναι οι εξής:

- Το αντικείμενο του έργου
- Ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση του
- Το κόστος εκτέλεσης του έργου

Αν υπάρξει αλλαγή ενός περιορισμού αυτό μεταφράζεται σε αλλαγή στους υπόλοιπους περιορισμούς που σχετίζονται με τους άλλους παράγοντες. Για παράδειγμα, αν υπάρξει αύξηση της διάρκειας του έργου για οποιοδήποτε λόγο τότε ο προϋπολογισμός θα αυξηθεί με βάση την καθυστέρηση του έργου.

Σε ορισμένα έργα ενδέχεται να υπάρχουν επαναλαμβανόμενα στοιχεία. Αυτή η επανάληψη δεν μεταβάλλει τα θεμελιώδη και μοναδικά χαρακτηριστικά του. Για παράδειγμα, η κατασκευή ενός κτηρίου μπορεί να γίνει με τα ίδια ή παρόμοια υλικά, και συνεργεία εργασιών. Όμως κάθε οικοδομικό έργο παραμένει μοναδικό σε βασικά χαρακτηριστικά όπως η τοποθεσία, ο σχεδιασμός, το περιβάλλον, η κατάσταση και τα άτομα που εμπλέκονται.

Ένας άλλος ορισμός που συναντάμε είναι ο κύκλος ζωής ενός έργου αυτό σημαίνει πως είναι μια σειρά φάσεων οι οποίες περνούν από το έργο από την αρχή ως το τέλος. Οι φάσεις μπορεί να είναι διαδοχικές, επαναληπτικές ή αλληλεπικαλυπτόμενες. Ο χρόνος και το κόστος καθορίζονται στις πρώτες φάσεις. Όμως αυτοί οι δυο

παράμετροι τροποποιούνται καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις του έργου (Sprecher, 2012).

Ένα έργο ξεκινάει σαν ιδέα και καταλήγει να γίνει πραγματικότητα εκτελώντας κάποιες φάσεις. Οι φάσεις αυτές είναι οι παρακάτω (PMI, 2017):

1. Έναρξη
2. Σχεδιασμό
3. Υλοποίηση
4. Τέλος

Το έργο έχει καθορισμένη αρχή και τέλος. Όμως αρκετές φορές συναντάμε τον ορισμό προσωρινό. Όλα τα έργα είναι προσωρινά. Προσωρινό δεν σημαίνει ότι ένα έργο έχει σύντομη διάρκεια, αλλά ότι πληρεί τις παραπάνω φάσεις. Το τέλος ενός έργου επιτυγχάνεται όταν ισχύει ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα στοιχεία (PMI, 2017):

- Όταν τα κριτήρια του έργου έχουν επιτευχθεί
- Όταν τα κριτήρια δεν έχουν επιτευχθεί ή δεν θα επιτευχθούν
- Όταν η χρηματοδότηση έχει εξαντληθεί ή δεν είναι διαθέσιμη για την κατανομή στο έργο
- Όταν η ανάγκη για το έργο δεν υπάρχει πλέον
- Όταν οι ανθρωπίνοι και οι φυσικοί πόροι δεν είναι πλέον διαθέσιμοι
- Όταν το έργο τερματίζεται για φυσική αιτία ή δυσκολία

Η ολοκλήρωση ενός έργου συνεπάγεται με την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου.

Ένα έργο ορίζεται ως παραδοτέο όταν γίνεται μέσω μιας σειράς επαναλήψεων που προσθέτουν την λειτουργικότητα εντός προκαθορισμένου χρονικού πλαισίου. Το παραδοτέο έργο περιέχει τα απαραίτητα και επαρκή στοιχεία και για να θεωρείται πλήρες θα πρέπει να είναι μετά το πέρας της τελικής επανάληψης.

Ένας άλλος ορισμός που συναντάμε είναι ο κύκλος ζωής ενός έργου, αυτό σημαίνει πως είναι μια σειρά φάσεων οι οποίες περνούν από το έργο από την αρχή ως το τέλος. Οι φάσεις μπορεί να είναι διαδοχικές, επαναληπτικές ή αλληλεπικαλυπτόμενες.

### 2.1.2 Project Management

Μια βασική έννοια η οποία είναι κυρίαρχη σε όλες τις εκπονήσεις των έργων είναι η “Διαχείριση έργων ή αλλιώς Project Management”. Αυτή η έννοια ορίζεται ως η οργάνωση και η διοίκηση των πόρων που έχει το στέλεχος στη διάθεση του για ένα δεδομένο έργο, έτσι ώστε, να ολοκληρωθεί μετά σε συγκεκριμένους περιορισμούς, όπως εκείνου του σκοπού, του χρόνου, της ποιότητας και του κόστους. Η εφαρμογή των γνώσεων, των δεξιοτήτων, των εργαλείων, και των τεχνικών στις δραστηριότητες του έργου είναι σημαντικές για την επίτευξη των στόχων (PMI, 2017).

Ακόμη ορίζεται ως η εφαρμογή των γνώσεων, δεξιοτήτων και αρχών σε ένα πρόγραμμα που πρέπει να επιτευχθούν οι στόχοι του προγράμματος και η απόκτηση πλεονεκτημάτων και ελέγχου. Εναρμονίζει τα δεδομένα με τα στοιχεία του ελέγχου του προγράμματος προκειμένου να πραγματοποιηθούν τα συγκεκριμένα οφέλη.

Η Διαχείριση Έργων επικεντρώνεται στις αλληλεξαρτήσεις εντός ενός έργου για τον προσδιορισμό της βέλτιστης προσέγγισης.

Η διαχείριση των δραστηριοτήτων ασχολείται με την συνεχιζόμενη παραγωγή αγαθών. Διασφαλίζει ότι, οι επιχειρηματικές δραστηριότητες συνεχίζονται αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας τους βέλτιστους πόρους που απαιτούνται για την κάλυψη των απαιτήσεων των πελατών (Charvat, 2003; Sprecher, 2012).

Η διαχείριση ενός έργου περιλαμβάνει (PMI, 2017):

- Τον προσδιορισμό των απαιτήσεων
- Τον καθορισμό των σαφών και επιτεύξιμων στόχων
- Την εξισορρόπηση των ανταγωνιστικών αιτημάτων για ποιότητα, φυσικό αντικείμενο, χρόνο και κόστος
- Την προσαρμογή των προδιαγραφών, σχεδίων και προσεγγίσεων στις διαφορετικές ανάγκες και προσδοκίες των διάφορων συμμετοχών.

Με λίγα λόγια, η διαχείριση έργων είναι η διαδικασία χρήσης της υπάρχουσας γνώσης και δημιουργίας νέων γνώσεων με σκοπό την επίτευξη των στόχων.

Μέσω ενός προγράμματος μπορεί κάποιος να διαπιστώσει πως με την διαχείριση έργων η επίτευξη των στόχων είναι πιο εύκολη και οι πιθανότητες για λάθη είναι λιγότερες. Αυτό συμβαίνει επειδή το πρόγραμμα μπορεί (PMI, 2017):

- να διασφαλίσει ότι ο φορέας έχει αναλάβει σωστά τις φάσεις ολοκλήρωσης του έργου,
- να διαθέτει κρίσιμους πόρους ή κριτήρια τα οποία κρίνουν και μελετούν την πορεία του έργου,
- να βοηθήσει στην διασφάλιση πως όλες οι φάσεις θα εκπονηθούν με βάση το πλάνο που έχει επιλεγθεί.

Για να είναι σωστά τεκμηριωμένο το έργο θα πρέπει να υπάρχει μια σύνοψη η οποία θα διαθέτει πληροφορίες που αφορούν στον τρόπο διαχείρισης του. Οι πληροφορίες οι οποίες περιέχει αυτή η τελική έκθεση είναι οι εξής (PMI, 2017):

- την αναλυτική περιγραφή των φάσεων του έργου,
- τους στόχους εφαρμογής, δηλαδή τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του πεδίου εφαρμογής και τα αποδεικτικά στοιχεία ότι πληρούνται τα κριτήρια ολοκλήρωσης,
- τους στόχους ποιότητας, δηλαδή τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του έργου και της ποιότητας,
- τους στόχους κόστους,
- τους στόχους προγράμματος, δηλαδή δείχνει κατά πόσο πέτυχαν τα κριτήρια τα οποία εφαρμόστηκαν στο έργο.

### 2.2 Γνωστικές Περιοχές

Η διαχείριση των έργων έχει κατηγορίες οι οποίες καθορίζουν και αναλύουν ένα συγκεκριμένο κριτήριο. Οι κατηγορίες αυτές είναι (PMI, 2017):

1. η Διαχείριση Αντικειμένου έργου ή Project Scope Management, είναι μια διαδικασία που βοηθά στον καθορισμό και στην τεκμηρίωση της λίστας όλων των στόχων του έργου, των εργασιών, των παραδοτέων, των προθεσμιών και του προϋπολογισμού ως μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού. Επομένως είναι η διαδικασία που διασφαλίζει ότι ένα έργο περιλαμβάνει όλη τη σχετική και κατάλληλη εργασία για την επίτευξη των στόχων (Burke, 2010).

2. η Διαχείριση Ενοποίησης Έργου ή Project Integration Management, περιλαμβάνει τις διαδικασίες και τις δραστηριότητες για τον εντοπισμό, τον ορισμό, την ενοποίηση και τον συντονισμό των διάφορων δραστηριοτήτων διαχείρισης έργων εντός της διαχείρισης έργων. Με λίγα λόγια, είναι η ενοποίηση των πολλών αλληλένδετων στοιχείων που απαιτούνται για την επίτευξη της επιτυχίας ενός έργου (PMI, 2017).
3. η Διαχείριση του Χρόνου ή Project Schedule Management, αυτό το κριτήριο παρέχει ένα λεπτομερές σχέδιο που αντιπροσωπεύει πως και πότε το έργο θα παραδώσει τα προϊόντα, τις υπηρεσίες και τα αποτελέσματα που ορίζονται στο πεδίο εφαρμογής του έργου. Επίσης χρησιμεύει ως εργαλείο επικοινωνίας διαχείρισης των προσδοκιών των ενδιαφερόμενων και ως βάση αναφοράς της απόδοσης (Vanhoucke, 2013).
4. η Διαχείριση του Κόστους ή Project Cost Management, αυτό το κριτήριο δείχνει την διαδικασία εκτίμησης, προϋπολογισμού και ελέγχου του κόστους καθόλα τη διάρκεια του έργου, με στόχο τη διατήρηση των δαπανών εντός του εγκεκριμένου προϋπολογισμού. Η διαχείριση έργου είναι ένας από τους βασικούς πυλώνες της διαχείρισης έργων και έχει μεγάλη σημασία ανεξάρτητα από τον τομέα. Βοηθά στη δημιουργία μιας οικονομικής βάσης, βάσει της οποίας οι διαχειριστές έργων μπορούν να συγκρίνουν την τρέχουσα κατάσταση του κόστους του έργου τους και να επαναπροσδιορίσουν την κατεύθυνση εάν χρειάζεται (Burke, 2010).
5. η Διαχείριση της Ποιότητας ή Project Quality Management, αυτό το κριτήριο δείχνει την διαδικασία μέσω της οποίας η ποιότητα διαχειρίζεται και διατηρείται σε ένα έργο. Σε ένα έργο η ποιότητα συνήθως σημαίνει τελειότητα δηλαδή ο ενδιαφερόμενος ζητάει την διασφάλιση ποιότητας του έργου. Η ποιότητα συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις, περιλαμβάνει το έργο και τις απαιτήσεις του πελάτη. Με άλλα λόγια για να διασφαλιστεί η ποιότητα, πρέπει να ικανοποιούνται οι ανάγκες του ενδιαφερόμενου (Burke, 2010).
6. η Διαχείριση Πόρων ή Project Resource Management, είναι η διαδικασία διαχείρισης έργου που σχεδιάζει, οργανώνει, διαχειρίζεται και μέτρα τις διάφορες εργασίες. Ο σκοπός είναι να σχεδιάζει, να κατανέμει και να προγραμματίζει τους πόρους του έργου όσο πιο δυνατόν πιο αποτελεσματικά. Αυτό γίνεται με την μεγιστοποίηση της χρήσης του κάθε πόρου. Η διαχείριση

πόρων αφορά στη σωστή χρήση των πόρων που χρησιμοποιούνται σε κάθε έργο (Vanhoucke, 2016).

7. η Διαχείριση Κινδύνου ή Project Risk Management, είναι η διαδικασία εντοπισμού, ανάλυσης και έπειτα απόκρισης σε κάθε κίνδυνο που προκύπτει κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι τους οποίους έχει ζητήσει ο ενδιαφερόμενος. Η διαχείριση κινδύνου δεν είναι μόνο αντιδραστική, είναι μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού για να εντοπιστεί ο κίνδυνος που μπορεί να συμβεί στο έργο και πώς θα αντιμετωπιστεί σε περίπτωση που εμφανιστεί. Ένας κίνδυνος μπορεί να επηρεάσει το χρονοδιάγραμμα, την απόδοση ή τον προϋπολογισμό του έργου. Επομένως, η διαχείριση κινδύνων, είναι η διαδικασία εντοπισμού, κατηγοριοποίησης, ιεράρχησης και σχεδιασμού κινδύνων προτού γίνουν ζητήματα (Lavanya and Malarvizhi, 2008).

Σε ένα έργο οι στόχοι οι οποίοι επιλέγονται είναι παραπάνω από έναν. Αυτό συμβαίνει επειδή το έργο δεν εξαρτάται από έναν μόνο παράγοντα αλλά από κριτήρια τα οποία καθορίζουν την πορεία του και την μεταβάλλουν αν αλλάξουν τα δεδομένα. Για αυτό όταν αναλύονται οι στόχοι του, τα κριτήρια εξετάζονται ταυτόχρονα ώστε η βέλτιστη λύση η οποία θα βρεθεί θα είναι με βάση τις προτιμήσεις και τους στόχους του ενδιαφερόμενου.

### 2.3 Χρονικός Προγραμματισμός (Project Schedule Management)

#### 2.3.1 Ορισμός και σημασία του Χρονικού Προγραμματισμού

Το πιο γνωστό κριτήριο σε εφαρμογή για την διαχείριση των έργων είναι ο Χρονικός Προγραμματισμός. Ο Χρονικός Προγραμματισμός είναι ένα μοντέλο προγραμματισμού που παρουσιάζει τις δραστηριότητες με προγραμματισμένες ημερομηνίες, διάρκεια, ορόσημα και πόρους. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει μια προγραμματισμένη ημερομηνία έναρξης και μια προγραμματισμένη ημερομηνία λήξης για κάθε μια δραστηριότητα. Ο χρονικός προγραμματισμός ασχολείται με την κατανομή των πόρων σε ένα σύνολο αλληλένδετων δραστηριοτήτων που απαιτούν σημαντική χρονική περίοδο για την εκτέλεση του. Αυτή η διαδικασία έχει βρει μεγάλη εφαρμογή στην υλοποίηση διάφορων τεχνικών έργων και σε βιομηχανίες για το σχεδιασμό νέων διαδικασιών παραγωγής, την ανάπτυξη νέων προϊόντων, την

δημιουργία νέων εγκαταστάσεων και την εφαρμογή νέων συστημάτων πληροφοριών (PMI, 2017).

Η διαχείριση του χρονικού προγραμματισμού είναι η διαδικασία καθορισμού για την τεκμηρίωση, για την εκτέλεση και τον έλεγχο του έργου. Για αυτό αποτελεί στοιχείο του σχεδίου διαχείρισης του έργου που καθορίζει τα κριτήρια και τις δραστηριότητες παρακολούθησης και ελέγχου. Το λεπτομερές αυτό πρόγραμμα θα πρέπει να παραμείνει ευέλικτο σε όλο το έργο για την προσαρμογή γνώσεων που αποκαταστάθηκαν, για την αυξημένη κατανόηση του κινδύνου και τις δραστηριότητες προστιθέμενης αξίας.

Το μοντέλο που σχεδιάζεται λαμβάνει υπόψη κάποιους αντικρουόμενους παράγοντες, για παράδειγμα το χρόνο ολοκλήρωσης και το χρόνο των διαλλειμάτων που απαιτούνται στον κύκλο ζωής του έργου. Μέσα από τις κύριες μεταβλητές αποφάσεων επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση η οποία περιλαμβάνει την ώρα έναρξης κάθε δραστηριότητας και το χρόνο διάθεσης που κατανέμεται σε κάθε δραστηριότητα.

Ο Χρονικός Προγραμματισμός περιλαμβάνει διαδικασίες που απαιτούνται για την έγκαιρη διαχείριση του έργου. Οι διαδικασίες ολοκλήρωσης χρονοδιαγράμματος του έργου είναι οι ακόλουθες (Vanhoucke, 2013):

- Διαχείριση Προγράμματος Σχεδίου: είναι η διαδικασία καθορισμού των δραστηριοτήτων και τεκμηρίωση για σχεδιασμό, ανάπτυξη, διαχείριση, εκτέλεση και προγραμματισμό του έργου.
- Καθορισμός των Δραστηριοτήτων: είναι η διαδικασία αναγνώρισης και τεκμηρίωσης των συγκεκριμένων ενεργειών που πρέπει να γίνεται για την παραγωγή των παραδοτέων έργων.
- Δραστηριότητα Ακολουθίας: είναι η διαδικασία εντοπισμού και τεκμηρίωση των σχέσεων και των δραστηριοτήτων του έργου.
- Εκτίμηση Διάρκειας κάθε Δραστηριότητας: είναι η διαδικασία εκτίμησης του αριθμού των περιόδων εργασίας που απαιτείται για την ολοκλήρωση μεμονωμένων δραστηριοτήτων με τους ανάλογους πόρους.
- Πρόγραμμα Ανάπτυξης: είναι η διαδικασία ανάλυσης κάθε δραστηριότητας, διάρκειας, απαιτήσεων και περιορισμών χρονοδιαγράμματος για τη



δημιουργία ενός μοντέλου με σκοπό να εξετάσει την πορεία και την παρακολούθηση του έργου.

- Πρόγραμμα Ελέγχου: είναι η διαδικασία παρακολούθησης της κατάστασης του έργου για την ενημέρωση του μοντέλου προγραμματισμού για τις πιθανές αλλαγές κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.

Ο Χρονικός Προγραμματισμός χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλους τους τομείς διότι έχει αρκετά οφέλη τα οποία τα χρειαζόμαστε για την εξέλιξη του έργου. Τα οφέλη του προγραμματισμού είναι τα εξής (Καστρινάκης, 2002):

- Βοηθά στην παρακολούθηση, στην αναφορά και στην επικοινωνία της προόδου,
- Διασφαλίζει ότι όλοι βρίσκονται στην ίδια ροή, όσον αφορά τις εργασίες και τις προθεσμίες,
- Βοηθά στην επισήμανση ζητημάτων και προβληματισμών όπως είναι η έλλειψη πόρων,
- Βοηθά τον προσδιορισμό σχέσεων εργασίας,
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της προόδου και τον εντοπισμό των προβλημάτων

Ένας άλλος ορισμός που αξίζει να αναλυθεί είναι αυτός της διάρκειας. Για την υλοποίηση ενός έργου θα πρέπει ο διαχειριστής να δημιουργήσει μια λίστα με όλες τις δραστηριότητες και να εκτιμήσει τη διάρκεια για κάθε δραστηριότητα. Η διάρκεια περιλαμβάνει το πραγματικό χρονικό διάστημα για κάθε μια δραστηριότητα. Οι πληροφορίες αυτές είναι σημαντικές για τον προσδιορισμό του συνολικού χρόνου του έργου και των διαθέσιμων πόρων. Η τυπική μονάδα μέτρησης διάρκειας μιας δραστηριότητας είναι οι μέρες ή οι εβδομάδες (Davis *et al.*, 1992).

Σε κάθε δραστηριότητα υπάρχει μια ακολουθία η οποία σχετίζεται με τη διάρκεια και το χρόνο έναρξης και λήξης της επόμενης δραστηριότητας. Αυτή η ακολουθία χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες (Vanhoucke, 2016):

- Finish to Start: η δραστηριότητα της επόμενης δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν την ολοκλήρωση της προηγούμενης.
- Start to Start: σε αυτή η σχέση εξαρτάται η επόμενη δραστηριότητα με την έναρξη της προηγούμενης, δηλαδή υπάρχει παράλληλη εκκίνηση

δραστηριοτήτων. Όμως η καθυστέρηση της πρώτης δραστηριότητας καθυστερεί την διάδοχη της.

- **Finish to Finish:** σε αυτή τη σχέση το τέλος της επόμενης δραστηριότητας εξαρτάται από το τέλος της προηγούμενης.
- **Start to Finish:** σε αυτή τη σχέση το τέλος της επόμενης εξαρτάται από την έναρξη της προηγούμενης δραστηριότητας. Αύτη η σχέση χρησιμοποιείται σπάνια διότι είναι δύσκολη η χρήση της.

Ένα μοντέλο χρονικού προγραμματισμού πρέπει να υποδεικνύει τις ημερομηνίες λήξης για την ολοκλήρωση του έργου. Δηλαδή πρέπει να απεικονίζει τα εξής:

- Τις εκτιμήσεις χρόνου για όλες τις εργασίες
- Τις ημερομηνίες έναρξης και ολοκλήρωσης των εργασιών
- Τα ονόματα των πόρων
- Την ακολουθία των εργασιών

Συνοψίζοντας, ένας διαχειριστής έργου θα πρέπει να δημιουργήσει ένα πρόγραμμα διαχείρισης χρονοδιαγράμματος (Vanhoucke, 2016). Δηλαδή, θα πρέπει να περιλαμβάνει την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του προγράμματος, δηλαδή πρέπει να μετρήσει την πρόοδο της διαδικασίας σε ώρες, μέρες ή εβδομάδες. Το μοντέλο του χρονικού προγραμματισμού θα πρέπει ακόμη να περιλαμβάνει τη διάρκεια κάθε δραστηριότητας και τις προσπάθειες που απαιτούνται για αυτές. Όλα αυτά θα πρέπει να καθορίσουν τη γραμμή βάσης του έργου. Αυτή η βασική γραμμή είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του έργου σε διάφορες φάσεις.

### 2.3.2 Τεχνικές Προβολής Δραστηριοτήτων

Σε ένα μοντέλου χρονικού προγραμματισμού οι ημερομηνίες έναρξης και ολοκλήρωσης ενός έργου μπορούν να παρουσιαστούν σε μορφή πίνακα, συχνά παρουσιάζονται σε γραφήματα, χρησιμοποιώντας μια ή περισσότερες από τις παρακάτω τεχνικές (PMI, 2017).

- Διάγραμμα GANNT
- Τεχνική CPM

- Τεχνική PERT

### 2.3.2.1 Διάγραμμα GANNT

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως στη διαχείριση έργων, είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς και χρήσιμους τρόπους για την προβολή των δραστηριοτήτων που εμφανίζονται ενάντια στο χρόνο. Ένα διάγραμμα GANNT εμφανίζει ένα χρονοδιάγραμμα για κάθε δραστηριότητα του έργου. Κάθε δραστηριότητα εμφανίζεται ως μπλοκ ή ως γραμμή και σχεδιάζεται μια κλιμάκωση στο χρόνο. Το χρονοδιάγραμμα σχεδιάζεται συνήθως οριζόντια ενώ, οι διαφορετικές δραστηριότητες εμφανίζονται στον κάθετο άξονα. Οι ημερομηνίες τρέχουν κατά μήκος της κορυφής σε βήματα ημερών, εβδομάδων, ή μηνών. Οι σειρές των ράβδων στο γράφημα GANNT δείχνουν τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης του έργου. Αυτό το διάγραμμα χρησιμοποιείται για προγραμματισμό και συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το δίκτυο έργου για να δείξει τις τεχνολογικές εξαρτήσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων (Vanhoucke, 2013).

Σε ένα διάγραμμα GANNT μπορεί κάποιος να δει τα εξής:

- Την ημερομηνία έναρξης του έργου
- Τις εργασίες του έργου
- Ποιος εργάζεται σε κάθε εργασία
- Τον χρόνο έναρξης και ολοκλήρωσης κάθε εργασίας
- Την διάρκεια κάθε δραστηριότητας
- Πως ομαδοποιούνται οι εργασίες, αλληλεπικαλύπτονται και συνδέονται μεταξύ τους
- Την ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου

### 2.3.2.2 Τεχνική CPM

Μέσα από αυτή τη τεχνική μπορεί κάποιος να εκτιμήσει τον χρόνο ολοκλήρωσης του έργου. Όλες οι δραστηριότητες του έργου συνοψίζονται σε ένα γράφημα μαζί με την διάρκεια κάθε δραστηριότητας. Μέσα από αυτό το γράφημα υπολογίζεται η κρίσιμη διαδρομή, δηλαδή η μεγαλύτερη συνολική διάρκεια του έργου. Οι δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής δεν μπορούν να καθυστερήσουν εκτός εάν η απώλεια του χρόνου μπορεί να αντισταθμιστεί κάπου αργότερα στην κρίσιμη διαδρομή. Για να

## Κεφάλαιο 2: Γενικά Στοιχεία Διαχείρισης Έργων

βρεθεί, θα πρέπει να προστεθούν οι διάρκειες των δραστηριοτήτων για κάθε μια πιθανή διαδρομή, η διαδρομή με την μεγαλύτερη διάρκεια είναι η κρίσιμη (Kelley, 1961).

### **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:**

ΔΙΑΔΡΟΜΗ Α: δραστηριότητες 1-2-4-7, χρονική διάρκεια: 90 μέρες

ΔΙΑΔΡΟΜΗ Β: δραστηριότητες 1-2-5-7, χρονική διάρκεια: 80 μέρες

ΔΙΑΔΡΟΜΗ Γ: δραστηριότητες 1-3-6-8, χρονική διάρκεια: 70 μέρες

Άρα η κρίσιμη διαδρομή είναι η Α διότι έχει την μεγαλύτερη χρονική διάρκεια.

Μέσα από αυτό το γράφημα, αν διασχίσουμε το δίκτυο δραστηριοτήτων προς τα εμπρός θα υπολογίσουμε για κάθε δραστηριότητα τον νεότερο χρόνο έναρξης και ολοκλήρωσης, ενώ αν το διασχίσουμε ανάποδα θα υπολογίσουμε τον αργότερο χρόνο έναρξης και ολοκλήρωσης του έργου.

Ένας άλλος χρόνος που υπολογίζεται είναι ο χρόνος ανοχής, δηλαδή το χρονικό περιθώριο κατά το οποίο η έναρξη κάθε δραστηριότητας μπορεί να καθυστερήσει χωρίς να μεταβάλλει τον τελικό χρόνο ολοκλήρωσης του έργου. Σε ένα έργο υπάρχουν και κρίσιμες δραστηριότητες, οι οποίες έχουν μηδενικό χρόνο ανοχής και η καθυστέρηση έναρξης του έχει επιπτώσεις στο χρόνο ολοκλήρωσης του έργου.

### **2.3.2.3 Τεχνική PERT**

Η τεχνική PERT είναι παρόμοια με την τεχνική CPM, δηλαδή είναι η τεχνική μοντελοποίησης δικτύων των δραστηριοτήτων οι οποίες εμφανίζουν πιθανούς χρόνους ολοκλήρωσης. Στην πρωτότυπη μορφή των διαγραμμάτων PERT (Fazar, 1959) οι ακμές αντιστοιχούν σε δραστηριότητες και οι κορυφές σε ορόσημα, δηλαδή περιστατικά που δηλώνουν την ολοκλήρωση κάποιων δραστηριοτήτων. Στην τεχνική PERT καμία δραστηριότητα δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν ολοκληρωθούν όλες οι προηγούμενες και τα αντίστοιχα ορόσημα παραχθούν. Η μέθοδος PERT προϋποθέτει ότι έχουν ολοκληρωθεί οι εκτιμήσεις διάρκειας κάθε δραστηριότητας.

Ακόμη απαιτεί τρεις εκτιμήσεις διάρκειας για κάθε μεμονωμένη δραστηριότητα:

- Αισιόδοξη εκτίμηση χρόνου: δηλαδή τον συντομότερο χρόνο κατά τον οποίο η δραστηριότητα μπορεί να ολοκληρωθεί αν όλες ολοκληρωθούν βάσει το αρχικό διάγραμμα,
- Ρεαλιστική εκτίμηση χρόνου: δηλαδή τον πιθανό δυνατό χρόνο κατά τον οποίο η δραστηριότητα μπορεί να ολοκληρωθεί υπό κανονικές συνθήκες,
- Απαισιόδοξη εκτίμηση χρόνου: δηλαδή τον μέγιστο δυνατό χρόνο κατά τον οποίο η δραστηριότητα μπορεί να ολοκληρωθεί βάσει το χειρότερο σενάριο

Όμως η τεχνική PERT και η τεχνική CPM έχουν ένα βασικό μειονέκτημα (Vanhoucke, 2013). Αυτό είναι ότι δεν αντιμετωπίζουν επαρκώς τα ζητήματα της χρήσης πόρων και της διαθεσιμότητας. Το επίκεντρο και των δύο είναι η χρονική ολοκλήρωση του έργου αγνοώντας πιθανούς σχετικούς παράγοντες όπως οι φυσικοί, οικονομικοί και ανθρώπινοι πόροι. Η υποκείμενη υπόθεση της PERT και του CPM είναι ότι οι πόροι που απαιτούνται για την ολοκλήρωση διάφορων δραστηριοτήτων είναι διαθέσιμοι σε επαρκείς ποσότητες ή ότι οι περιορισμοί των πόρων περιλαμβάνονται έμμεσα στην διάρκεια της κάθε δραστηριότητας του έργου.

### 2.3.3 Χρήση Πόρων

Ο πόρος για κάποια δραστηριότητα μπορεί να είναι οποιοδήποτε άτομο ή μηχάνημα το οποίο θα εκτελέσει τη συγκεκριμένη δραστηριότητα. Ως εκ τούτου, ο προγραμματισμός των πόρων είναι η διαδικασία πρόβλεψης των πόρων που απαιτείται για να εκτελεστεί το αντικείμενο του έργου εντός ενός προκαθορισμένου χρονικού πλαισίου. Σε αυτό βοηθούν, το διάγραμμα του δικτύου και το γραμμικό χρονοδιάγραμμα που έχουν προηγηθεί κατά το χρονικό προγραμματισμό.

Στις τεχνικές PERT/CPM οι δραστηριότητες του έργου χαρακτηρίζονται από την εκτιμώμενη διάρκεια και τα δίκτυα των έργων που κατασκευάζονται με την προσθήκη σχέσεων προτεραιότητας μεταξύ αυτών των δραστηριοτήτων. Επομένως, υποτίθεται ότι οι δραστηριότητες δεν απαιτούν πόρους για την εκτέλεση τους ή ότι οι πόροι είναι απεριόριστοι σε διαθεσιμότητα. Στην πράξη όμως, οι δραστηριότητες χρειάζονται πόρους κατά την εκτέλεση τους οι οποίοι συχνά είναι περιορισμένοι σε διαθεσιμότητα. Η επίλυση ενός προβλήματος στον χρονικό προγραμματισμό δίνει σαν αποτέλεσμα την βέλτιστη λύση σε κάθε απαίτηση στο έργο. Δηλαδή, ικανοποιεί

τους περιορισμούς της προτεραιότητας αλλά και παρέχει μια εφικτή κατανομή των απαιτούμενων πόρων. Αυτοί οι πόροι έχουν ταξινομηθεί σε δυο βασικές κατηγορίες:

- **Ανανεώσιμους πόρους:** οι πόροι αυτοί είναι διαθέσιμοι, ανά περίοδο, δηλαδή το διαθέσιμο ποσό ανανεώνεται από περίοδο σε περίοδο. Περιορίζεται μόνο η συνολική χρήση των πόρων κάθε στιγμή. Παράδειγμα ανανεώσιμων πόρων είναι οι μηχανές και το εργατικό δυναμικό.
- **Αναλώσιμους πόρους:** οι πόροι αυτοί δεν περιορίζονται σε περιοδική βάση, αλλά έχουν περιορισμένη διαθεσιμότητα κατανάλωσης για ολόκληρο το έργο. Παράδειγμα αναλώσιμων πόρων είναι ο προϋπολογισμός κεφαλαίου.

Η κατανομή των πόρων επηρεάζει καταλυτικά τον χρονικό προγραμματισμό του έργου, άρα και το κόστος υλοποίησης και τον χρόνο ολοκλήρωσης. Πιο ειδικά, οι διαφορετικές επιλογές διάθεσης των πόρων στις δραστηριότητες του έργου, ενδέχεται να οδηγήσουν σε σημαντική αύξηση ή μείωση του κόστους υλοποίησης, στην καθυστέρηση ή γενικά στη χρονική μετακίνηση δραστηριοτήτων, στην επιλογή εναλλακτικών μέσων παραγωγής ή τρόπων εκτέλεσης, στην διάσπαση/ κατάτμηση των δραστηριοτήτων ή ακόμα και στο συνολικό αναπρογραμματισμό του έργου (Davis *et al.*, 1992).

Για να γίνει η κατανομή των πόρων θα πρέπει πρώτα να προσδιοριστούν οι δραστηριότητες του έργου και να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις σε πόρους για την υλοποίηση του σε χρόνο και σε κόστος.

- Επισκόπηση του αντικειμένου και του καταλόγου δραστηριοτήτων και εργασιών, ώστε να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις του έργου σε ανθρώπινους πόρους
- Συλλογή πληροφοριών από βάσεις δεδομένων

Στην περίπτωση που λαμβάνεται ως υπόθεση εργασίας η διαθεσιμότητα απεριόριστων πόρων, τίθεται ως περιορισμός η διατήρηση της διάρκειας του έργου στην αρχικά καθορισμένη από το χρονικό προγραμματισμό τιμή της. Ο κεντρικός στόχος είναι η βέλτιστη κατανομή των πόρων σε όλη τη διάρκεια του έργου. Το βέλτιστο της κατανομής αφορά σε επιμέρους στόχους που γενικά ικανοποιούνται ταυτόχρονα, δηλαδή την μείωση των αιχμών στην απασχόληση των παραγωγικών

μέσων και στην ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου πόρου. Όμως, στην πραγματικότητα στην πλειοψηφία των έργων υπάρχουν περιορισμοί σε έναν ή περισσότερους πόρους χωρίς να προσφέρονται εναλλακτικές. Ενδεικτικές κατηγορίες προβλημάτων είναι οι ενδεχόμενες καθυστερήσεις σε μια δραστηριότητα οι οποίες θέτουν το έργο εκτός χρονοδιαγράμματος, περιορισμοί στην διαθεσιμότητα των πόρων οι οποίοι αλλάζουν την συνολική διάρκεια του έργου. Κατά αυτόν τον τρόπο και ενώ έχει προηγηθεί ανάλυση της κρίσιμης διαδρομής, τέτοιου τύπου περιορισμοί ενδέχεται να μεταβάλλουν σημαντικά τα δεδομένα του χρονικού προγραμματισμού του έργου και να επιβάλλουν την αύξηση της διάρκειας του έργου από την αρχικά προγραμματισμένη. Αυτό συμβαίνει όταν οι απαιτούμενοι πόροι υπερβαίνουν τους διαθέσιμους πόρους σε μια ή περισσότερες χρονικές περιόδους και το χρονικό περιθώριο των μη κρίσιμων δραστηριοτήτων δεν επαρκεί για την επίλυση του προβλήματος (Al-Fawzan and Haouari, 2005).

### **2.3.3.1 Κρίσιμη Αλυσίδα ( Critical Chain Management )**

Μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την διαχείριση των πόρων είναι αυτή της Κρίσιμης Αλυσίδας. Αυτή η μέθοδος είναι μια κρίσιμη τεχνική που αποσκοπεί στην επιτάχυνση της διαδικασίας βελτιώνοντας τον ρυθμό των ημερομηνιών λήξης κάθε δραστηριότητας. Επικεντρώνεται στο σχεδιασμό και στην διαχείριση των πόρων, των κινδύνων και της αβεβαιότητας. Δηλαδή, είναι μια ακολουθία η οποία εξετάζει τους πόρους που εξαρτώνται από τους πόρους που εμποδίζουν την ολοκλήρωση του έργου σε μικρότερο χρονικό διάστημα, δεδομένου των πεπερασμένων πόρων. Η μέθοδος της κρίσιμης αλυσίδας δεν βασίζεται σε εκτιμήσεις. Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει στους διαχειριστές να εξαλείψουν τις αβεβαιότητες και να χρησιμοποιήσουν το ρυθμιστικό ασφαλείας για διασφαλίσουν τη σταθερότητα του έργο ως προς το χρόνο ολοκλήρωσης. Αυτή η τεχνική έρχεται σε δράση μετά την προετοιμασία του αρχικού χρονοδιαγράμματος του έργου που περιλαμβάνει τη δημιουργία εξαρτημένων δραστηριοτήτων. Η μέθοδος της Κρίσιμης Αλυσίδας αναδιαμορφώνεται με βάση τη μέθοδο της Κρίσιμης Διαδρομής (Leach, 2014).

Η Κρίσιμη Αλυσίδα και η Κρίσιμη Διαδρομή είναι και οι δυο μέθοδοι προγραμματισμού έργου και συχνά συγχέονται. Ωστόσο, υπάρχουν βασικές διαφορές μεταξύ των δυο μεθόδων. Το μοντέλο της κρίσιμης αλυσίδας έχει εστίαση στους πόρους, ενώ η κρίσιμη διαδρομή επικεντρώνεται σε μια σειρά εργασιών. Η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής υπολογίζει τις ημερομηνίες της πρώιμης έναρξης και λήξης

και της καθυστερημένης έναρξης και λήξης για όλες τις προγραμματισμένες δραστηριότητες. Είναι μια ακολουθία των δραστηριοτήτων από την αρχή μέχρι το τέλος. Ενώ, η μέθοδος της κρίσιμης αλυσίδας επικεντρώνεται στον καθορισμό των σημείων συμφόρησης για την βέλτιστη απόδοση του έργου. Στόχος της είναι η μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου χωρίς να μεταβληθούν οι απαιτήσεις (Kobyłański and Kuchta, 2007).

Χρησιμοποιώντας την μέθοδο της Κρίσιμης Αλυσίδας, τα έργα μπορούν να ολοκληρωθούν πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ασφάλεια προγραμματισμού. Τροποποιεί το χρονοδιάγραμμα του έργου για να υπολογίσει περιορισμένους πόρους για ένα χρόνο ασφαλείας σε κάθε δραστηριότητα. Η μέθοδος αυτή ολοκληρώνεται μετά τη διόρθωση της κρίσιμης διαδρομής εισάγοντας τη διαθεσιμότητα των πόρων, τη διαχείριση των χρόνων ασφαλείας σε σχέση με την συνολική διάρκεια του έργου.

Η μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής έχει τρεις ρυθμιστικούς παράγοντες (Leach, 2014; Vanhoucke, 2013):

1. Πρόγραμμα αποθήκευσης του έργου: ο ρυθμιστής αυτός τοποθετείται μεταξύ της τελευταίας εργασίας και του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου ως χρόνος ασφαλείας ώστε αν υπάρξει καθυστέρηση σε κάποια δραστηριότητα, να μην μεταβληθεί ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου.
2. Τροφοδοτικά ρυθμιστικά: ο ρυθμιστής αυτός τοποθετείται στην μη κρίσιμη αλυσίδα ώστε αν υπάρξει καθυστέρηση να μην επηρεαστεί η κρίσιμη αλυσίδα.
3. Αποθήκευση πόρων: ο ρυθμιστής αυτός εξετάζει την διαθεσιμότητα των πόρων σε κάθε δραστηριότητα ώστε να μην υπάρξει έλλειψη με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε καθυστέρηση του χρόνου ολοκλήρωσης.

Η μέθοδος αυτή έχει ένα βασικό μειονέκτημα. Αυτό είναι ότι η μέθοδος της Κρίσιμης Αλυσίδας βασίζεται στην ισοπέδωση των πόρων. Αυτό το κριτήριο σημαίνει ότι όλοι οι πόροι είναι σε αφθονία, πράγμα που δεν είναι εφικτό σε έργα. Τα περισσότερα έργα, εκτελούνται με περιορισμένους πόρους. Για αυτό, η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη για μεγάλα έργα που απαιτούν μεγάλο όγκο πόρων, έτσι ώστε να μην υπάρξει έλλειψη στην διαθεσιμότητα.



## Κεφάλαιο 2: Γενικά Στοιχεία Διαχείρισης Έργων

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, η μέθοδος της κρίσιμης αλυσίδας είναι μια πιο πρακτική προσέγγιση για την ανάπτυξη του προγράμματος. Σε αυτή, η διαθεσιμότητα των πόρων λαμβάνεται υπόψη κατά την κατάρτιση του διαγράμματος του δικτύου, η μέθοδος αυτή είναι μια από τις πιο σημαντικές εξελίξεις στη διαχείριση των έργων, αντιμετωπίζει πολλές αδυναμίες της μεθόδου της Κρίσιμης Διαδρομής, παρέχει ένα ρεαλιστικό πρόγραμμα, μειώνει το χρόνο ολοκλήρωσης και βελτιώνει την παραγωγικότητα του έργου (Odu, 2013).

### 3 Προγραμματισμός έργων με πολλαπλούς στόχους

Το κεφάλαιο αυτό, έχει ως στόχο να αναπτύξει και να αναλύσει τα επιμέρους πολλαπλά κριτήρια βελτιστοποίησης που υπεισέρχονται στον σχεδιασμό του πλάνου ενός έργου. Η βελτιστοποίηση των πολλαπλών στόχων αφορά δύο ή παραπάνω κριτήρια, όπως για παράδειγμα την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης και την μείωση του συνολικού κόστους του έργου με την ταυτόχρονη αύξηση της καθαρής παρούσας αξίας. Για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων, ο αποφασίζων θα ακολουθήσει μία μεθοδολογία στην οποία θα λαμβάνονται υπόψη όλα τα δεδομένα των κριτηρίων και θα δώσει τις επιθυμητές λύσεις οι οποίες θα είναι κοντά στις προτιμήσεις του. Σκοπός, δηλαδή, της μεθόδου είναι η εύρεση μία λύσης που ικανοποιεί τον αποφασίζοντα σε όλα τα κριτήρια χωρίς να υπάρξει υπερτίμηση ή υποβάθμιση κάποιου. Σε αυτό το κεφάλαιο η ανάλυση περιορίζεται στην παρουσίαση των επιμέρους κριτηρίων με την αντίστοιχη μαθηματική διατύπωση των προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού (Γ.Π.), ενώ στο κεφάλαιο 4 αναλύεται η μεθοδολογία του Πολυστοχικού Γραμμικού Προγραμματισμού (Π.Γ.Π.).

Ο τρόπος επίλυσης των προβλημάτων Γ.Π. γίνεται με βάση διάφορων λογισμικών, όπως είναι το solver του Excel. Οι στόχοι (κριτήρια) που εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία για τον χρονοπρογραμματισμό ενός έργου και χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ενός έργου είναι τα εξής:

- Ελαχιστοποίηση του κόστους
- Ελαχιστοποίηση της διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου
- Μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας (NPV)
- Ελαχιστοποίηση της χρήσης πόρων για κάθε δραστηριότητα

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός, στο χώρο των μαθηματικών, θεωρείται ένα μαθηματικό μοντέλο στο οποίο επιδιώκεται η βελτιστοποίηση σε άγνωστες μεταβλητές ως προς ένα ή περισσότερα κριτήρια (αντικειμενικές συναρτήσεις), όπου οι τιμές τους οριοθετούνται από γραμμικούς περιορισμούς που θέτει ο αποφασίζων (Davis *et al.*, 1992).

Γενικότερα, η θεωρία του Γραμμικού Προγραμματισμού ξεκίνησε ως επίλυση ενός μόνο κριτηρίου. Όμως με την πρόοδο των έργων και των αποφάσεων δημιουργήθηκε

## Κεφάλαιο 3: Προγραμματισμός με πολλαπλούς στόχους

η ανάγκη για περισσότερα κριτήρια, η οποία οδήγησε στην ανάπτυξη της θεωρίας του Γραμμικού Προγραμματισμού με πολλαπλά κριτήρια και των αντίστοιχων μεθοδολογιών (Zeleny, 2010).

Αναλυτικά, ένα μονοκριτήριο πρόβλημα ορίζεται ως εξής:

Για να προσδιοριστούν οι τιμές των μεταβλητών ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) που βελτιστοποιούν (μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν) τη γραμμική αντικειμενική συνάρτηση (κριτήριο βελτιστοποίησης), έχουμε:

$$g(x) = z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

υπό τους γραμμικούς περιορισμούς:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq, =, \geq b_1$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq, =, \geq b_1$$

$$\dots + \dots + \dots + \dots + \dots \leq, =, \geq \dots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq, =, \geq b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

Τα στάδια που ακολουθούνται για την επίλυση ενός προβλήματος Γ.Π. είναι τα εξής:

- *Στάδιο 1<sup>ο</sup>: Αντικείμενο της απόφασης*

Πρώτο στάδιο της μοντελοποίησης είναι ο καθορισμός των μεταβλητών απόφασης. Σε αυτό το στάδιο όλα τα δεδομένα του προβλήματος λαμβάνονται υπόψη ώστε να διαμορφωθούν οι μεταβλητές απόφασης και να καθοριστεί το σύνολο των εφικτών λύσεων. Οι περιορισμοί του προβλήματος είναι αυτοί που καθορίζουν το σύνολο τιμών στις μεταβλητές απόφασης καθορίζοντας το εύρος μέσα στο οποίο αναζητάτε η βέλτιστη λύση.

- *Στάδιο 2<sup>ο</sup>: Κριτήρια απόφασης*

Στο δεύτερο στάδιο, ο αποφασίζων μελετά τους περιορισμούς του παραπάνω βήματος και τα κριτήρια που έχει θέσει. Με αυτό τον τρόπο δημιουργεί διάφορες αντικειμενικές συναρτήσεις ώστε να πετύχει τους στόχους του. Οι στόχοι αυτοί μπορεί να είναι ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου του έργου, μείωση του

συνολικού κόστους, αύξηση της παραγωγικότητας και μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους. Τα κριτήρια αυτά έχουν τη μορφή:

$$\max = g_1 = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

$$\min = g_1 = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n.$$

- **Στάδιο 3<sup>ο</sup>: Μοντέλα απόφασης**

Το τρίτο στάδιο της διαδικασίας αυτής ασχολείται με την επίλυση του προβλήματος. Με βάση διάφορων αλγορίθμων επιλύεται το πρόβλημα ώστε να δώσει την βέλτιστη λύση ως προς ένα κριτήριο και σύμφωνα με τους περιορισμούς. Όμως στα προβλήματα όπου υπάρχουν πολλά κριτήρια δεν υπάρχει βέλτιστη λύση. Ο μελετητής αναζητά μία λύση που του ταιριάζει με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα (Ipsilandis, 2007).

### 3.1 Ελαχιστοποίηση Κόστους

Ένα από τα βασικά κριτήρια στα προβλήματα του χρονικού προγραμματισμού είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Η επίλυση του προβλήματος αυτού έχει στόχο να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος του έργου αλλά και για κάθε δραστηριότητα χωρίς όμως να επηρεαστεί η πορεία του έργου. Το κριτήριο αυτό χρησιμοποιείται σε έργα για την μείωση κόστους σε δαπάνες και σε πληρωμές οι οποίες σχετίζονται με την μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης.

$$\min \sum cost$$

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα μοντελοποίησης για αυτά τα προβλήματα. Τα στοιχεία του έργου παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

**Πίνακας 1: Στοιχεία έργου 7 δραστηριοτήτων για παράδειγμα ελαχιστοποίησης κόστους**

Δραστηριότητες	Προαπαιτούμενες	Διάρκεια	Κόστος
1	-	6	150
2	1	8	125
3	1	9	210
4	3	7	260
5	4	11	195
6	2	9	235
7	6	13	150

Στόχος για το έργο αυτό είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του έργου το οποίο σχετίζεται με το κόστος και τη διάρκεια της κάθε δραστηριότητας. Το μαθηματικό μοντέλο έχει ως εξής:

Αντικειμενική Συνάρτηση

$$\min \sum \text{συνολικού κόστους}$$

Υπό τους περιορισμούς

$$\text{ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1: } c_1 \geq c_1^{\min}$$

$$\text{ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2: } c_2 \geq c_1^{\min}$$

$$\text{ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3: } c_3 \geq c_1^{\min}$$

$$\text{ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4: } c_4 \geq c_3^{\min}$$

$$\text{ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 5: } c_5 \geq c_4^{\min}$$

$$\text{ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 6: } c_6 \geq c_2^{\min}$$

$$\text{ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 7: } c_7 \geq c_6^{\min}$$

όπου  $c_i$  = κόστος κάθε δραστηριότητας και  $c_i^{\min}$  = ελάχιστο κόστος δραστηριότητα.

Η επίλυση του παραπάνω Γ.Π. δίνει ελάχιστο κόστος στα 854,36 ευρώ.

### 3.2 Ελαχιστοποίηση Συνολικής Διάρκειας

Ένα άλλο βασικό κριτήριο του Γραμμικού Χρονικού Προγραμματισμού είναι η ελαχιστοποίηση της διάρκειας του έργου. Με βάση τους χρόνους των κάθε δραστηριοτήτων και τις παραδοχές που έχουν διατυπωθεί για το αντίστοιχο πρόβλημα εκτιμάται ο ελάχιστος χρόνος για την συνολική διάρκεια του έργου.

$$\min \sum \text{time}$$

Υπάρχουν και άλλες κατηγορίες σχετικά με το χρόνο:

- Ελαχιστοποίηση των χρόνων λήξης των δραστηριοτήτων

$$\min \sum \text{completion time act.}$$

- Ελαχιστοποίηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων

$$\min \sum \text{time activity}$$

- Μεγιστοποίηση των περιθωρίων των δραστηριοτήτων

$$\max \sum \text{slack time}$$

## Κεφάλαιο 3: Προγραμματισμός με πολλαπλούς στόχους

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα μοντελοποίησης για αυτά τα προβλήματα. Τα στοιχεία του έργου παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Στοιχεία έργου 14 δραστηριοτήτων για παράδειγμα ελαχιστοποίησης συνολικής διάρκειας

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ( $d_i$ )	ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ
1	0	-
2	6	1
3	5	1
4	3	1
5	1	3
6	3	3
7	2	3
8	1	4
9	4	2
10	3	5
11	1	7
12	3	6,10,11
13	5	8,12
14	0	9,13

Σκοπός του παραδείγματος αυτού είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής διάρκειας του έργου με βάση την διάρκεια κάθε δραστηριότητας. Οι περιορισμοί διαμορφώνονται σύμφωνα με τις προαπαιτούμενες δραστηριότητες και τη χρονική διάρκεια τους (Vanhoucke, 2013). Το μαθηματικό μοντέλο έχει ως εξής:

Αντικειμενική Συνάρτηση:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^{14} ES_i$$

Υπό τους περιορισμούς

$$\text{Για δραστηριότητα 1: } ES_1 = 0$$

$$\text{Για δραστηριότητα 2: } ES_1 + d_1 \leq ES_2$$

$$\text{Για δραστηριότητα 3: } ES_1 + d_1 \leq ES_3$$

$$\text{Για δραστηριότητα 4: } ES_1 + d_1 \leq ES_4$$

$$\text{Για δραστηριότητα 5: } ES_3 + d_3 \leq ES_5$$

$$\text{Για δραστηριότητα 6: } ES_3 + d_3 \leq ES_6$$

Για δραστηριότητα 7:  $ES_3 + d_3 \leq ES_7$

Για δραστηριότητα 8:  $ES_4 + d_4 \leq ES_8$

Για δραστηριότητα 9:  $ES_2 + d_2 \leq ES_9$

Για δραστηριότητα 10:  $ES_5 + d_5 \leq ES_{10}$

Για δραστηριότητα 11:  $ES_7 + d_7 \leq ES_{11}$

Για δραστηριότητα 12:  $ES_6 + d_6 \leq ES_{12}$

$$ES_{10} + d_{10} \leq ES_{12}$$

$$ES_{11} + d_{11} \leq ES_{12}$$

Για δραστηριότητα 13:  $ES_8 + d_8 \leq ES_{13}$

$$ES_{12} + d_{12} \leq ES_{13}$$

Για δραστηριότητα 14:  $ES_9 + d_9 \leq ES_{14}$

$$ES_{13} + d_{13} \leq ES_{14}$$

$ES_i \in \text{int}^+$  με  $i = 1 \dots, 14$ , δηλαδή θετικοί ακέραιοι

όπου  $d_i$ : διάρκεια κάθε δραστηριότητας και

$ES_i$ : συντομότερος χρόνος έναρξης

Η επίλυση του παραπάνω Γ.Π. δίνει την ελάχιστη συνολική διάρκεια, η οποία είναι 17 ημέρες, αλλά ταυτόχρονα υπολογίζει την συντομότερη έναρξη για κάθε δραστηριότητα. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η μεγιστοποίηση των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων, των οποίων το άθροισμα έχει προταθεί ως δείκτης ευστάθειας του χρονοδιαγράμματος ενός έργου (Al-Fawzan and Haouari, 2005). Το ελεύθερο χρονικό περιθώριο εκφράζει το πόσο μπορεί να καθυστερήσει μία δραστηριότητα χωρίς να προκαλέσει καθυστέρηση στην συντομότερη έναρξη κάθε επόμενης. Επομένως, ένα χρονοδιάγραμμα ενός έργου με μεγάλο άθροισμα ελεύθερων χρονικών περιθωρίων, παρέχει αρκετές επιλογές στον διαχειριστή ενός έργου να αναδιατάξει τους πόρους για την επαναφορά του χρονοδιαγράμματος σε περίπτωση απρόοπτων συνθηκών.

### 3.3 Μεγιστοποίηση Καθαρά Παρούσας Αξίας

Σε αυτό το κριτήριο μελετάται η μεγιστοποίηση του κέρδους ενός έργου. Σκοπός είναι να βρεθεί η βέλτιστη λύση με βάση των περιορισμών και των παραδοχών που

### Κεφάλαιο 3: Προγραμματισμός με πολλαπλούς στόχους

έχουν οριστεί. Το κριτήριο αυτό σχετίζεται με την οικονομική πτυχή του έργου και στόχος είναι η αύξηση της αποδοτικότητας του.

$$\max \sum \text{Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ)}$$

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα μοντελοποίησης για αυτά τα προβλήματα. Τα στοιχεία του έργου παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Στοιχεία έργου 14 δραστηριοτήτων για παράδειγμα μεγιστοποίησης ΚΠΑ

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ	ΧΡΗΣΗ ΠΟΡΩΝ	ΑΞΙΑ (c <sub>i</sub> )
1	-	0	0
2	1	7	-50
3	1	1	50
4	1	5	-50
5	3	6	-100
6	3	1	10
7	3	2	-10
8	4	2	20
9	2	8	100
10	5	6	0
11	7	2	-50
12	6,10,11	6	50
13	8,12	8	100
14	9,13	0	1000

Σκοπός του παραδείγματος αυτού είναι η μεγιστοποίηση της ΚΠΑ. Το παράδειγμα αυτό είναι επέκταση του παραδείγματος στο κεφάλαιο 3.2, από το οποίο διαφοροποιείται στην αντικειμενική συνάρτηση και στην προσθήκη μίας οικογένειας περιορισμών που αφορούν την διαθεσιμότητα των πόρων (Vanhoucke, 2013). Γενικότερα, οι διαχειριστές έργων έχουν μία σημαντική προτίμηση στην χρήση του κριτηρίου αυτού, ιδιαίτερα σε έργα με μεγάλη διάρκεια. Ο λόγος βασίζεται στην πολύ απλή αρχή ότι ένα έργο γίνεται αποδεκτό όταν η ΚΠΑ είναι θετική και απορρίπτεται ότι είναι αρνητική. Για το παράδειγμα αυτό θεωρείται ότι προεξοφλητικό επιτόκιο



### Κεφάλαιο 3: Προγραμματισμός με πολλαπλούς στόχους

ισούται με  $a=10\%$ , η προθεσμία παράδοσης ισούται με  $\delta_n = 25$  χρονικές μονάδες και η διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πόρων περιορίζεται στους 10. Επομένως, το μαθηματικό μοντέλο έχει ως εξής:

Αντικειμενική Συνάρτηση:

$$\text{Maximize } KPA = \sum_{i=1}^{14} c_i \cdot e^{-a(s_i+d_i)}$$

Υπό τους περιορισμούς

Για δραστηριότητα 1:  $s_1 = 0$

Για δραστηριότητα 2:  $s_1 + d_1 \leq s_2$

Για δραστηριότητα 3:  $s_1 + d_1 \leq s_3$

Για δραστηριότητα 4:  $s_1 + d_1 \leq s_4$

Για δραστηριότητα 5:  $s_3 + d_3 \leq s_5$

Για δραστηριότητα 6:  $s_3 + d_3 \leq s_6$

Για δραστηριότητα 7:  $s_3 + d_3 \leq s_7$

Για δραστηριότητα 8:  $s_4 + d_4 \leq s_8$

Για δραστηριότητα 9:  $s_2 + d_2 \leq s_9$

Για δραστηριότητα 10:  $s_5 + d_5 \leq s_{10}$

Για δραστηριότητα 11:  $s_7 + d_7 \leq s_{11}$

Για δραστηριότητα 12:  $s_6 + d_6 \leq s_{12}$

$$s_{10} + d_{10} \leq s_{12}$$

$$s_{11} + d_{11} \leq s_{12}$$

Για δραστηριότητα 13:  $s_8 + d_8 \leq s_{13}$

$$s_{12} + d_{12} \leq s_{13}$$

Για δραστηριότητα 14:  $s_9 + d_9 \leq s_{14}$

$$s_{13} + d_{13} \leq s_{14}$$

$s_i \in \text{int}^+ \text{ με } i = 1 \dots, 14$ , δηλαδή θετικοί ακέραιοι

$s_{14} \leq \delta_n \rightarrow s_{14} \leq 25$ , για την προθεσμία του έργου.

$$\sum_{i \in S(t)} r_{ik} \leq 10, \text{ για } k = 1, \dots, K \text{ και } t = 1, \dots, T = 25 \text{ (περιορισμός πόρων)}$$

όπου  $d_i$ : διάρκεια κάθε δραστηριότητας και

$s_i$ : χρόνος έναρξης

$r_{ik}$ : απαίτηση δραστηριότητα  $i$  για τον πόρο  $k$ .

Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος ακέραιου Γ.Π. δίνει αποτέλεσμα ΚΠΑ = 833,65€.

### 3.4 Ελαχιστοποίηση Χρήσης Πόρων

Ένα άλλο κριτήριο είναι η ελαχιστοποίηση της χρήσης πόρων για κάθε δραστηριότητα μέχρι την ολοκλήρωση του έργου. Αυτό το κριτήριο έχει ως στόχο να ελαχιστοποιηθούν οι πόροι που απαιτούνται για την εκτέλεση του έργου χωρίς όμως να επηρεαστεί η αποδοτικότητα του.

$$\min \sum \text{χρήση πόρων}$$

Άλλοι στόχοι που σχετίζονται με την ελαχιστοποίηση των πόρων είναι οι εξής:

- Ελαχιστοποίηση του κόστους απόκτησης των ανανεώσιμων πόρων

$$\min \sum \text{κόστους}$$

- Ελαχιστοποίηση των μεταβολών χρήσης πόρων

$$\min \sum \text{μεταβολών}$$

- Ελαχιστοποίηση του πλήθους των πόρων

$$\min \sum \text{πόρων}$$

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ένα παράδειγμα μοντελοποίησης για αυτά τα προβλήματα. Τα στοιχεία του έργου παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Στοιχεία έργου 11 δραστηριοτήτων για παράδειγμα ελαχιστοποίησης χρήσης πόρων

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΠΟΡΟΥΣ
A	-	4	1
B	A	2	1
Γ	B	4	1
Δ	Γ	6	1

E	B	1	1
Z	E	2	1
H	E	3	0
Θ	Γ	2	0
I	Γ, Z	4	1
K	Z, I	8	0
Λ	Δ, Θ, K	0	0

Σκοπός του παραδείγματος αυτού είναι να μειωθούν οι πόροι οι οποίοι σχετίζονται με την χρονική διάρκεια της κάθε δραστηριότητας και των προαπαιτούμενων τους. Με την μείωση των πόρων έχουμε σαν αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης και την μείωση του κόστους (Vanhoucke, 2013). Επομένως, το μαθηματικό μοντέλο έχει ως εξής:

Αντικειμενική Συνάρτηση:

$$\min \sum \text{πόρων } 1,2,3$$

Υπό τους περιορισμούς

Δραστηριότητα A:  $r_A = 0$

Δραστηριότητα B:  $r_B \leq p_A$

Δραστηριότητα Γ:  $r_\Gamma \leq p_B$

Δραστηριότητα Δ:  $r_\Delta \leq p_\Gamma$

Δραστηριότητα E:  $r_E \leq p_B$

Δραστηριότητα Z:  $r_Z \leq p_E$

Δραστηριότητα H:  $r_H \leq p_E$

Δραστηριότητα Θ:  $r_\Theta \leq p_\Gamma$

Δραστηριότητα I:  $r_I \leq p_{\Gamma,Z}$

Δραστηριότητα K:  $r_K \leq p_{H,I}$

Δραστηριότητα Λ:  $r_\Lambda \leq p_{\Delta,\Theta,K}$

Όπου:  $r_i$ = πόροι και

$p_i$ = προαπαιτούμενη

## 4 Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων

Η κλασική διαμόρφωση ενός μοντέλου επιχειρησιακής έρευνας βασίζεται στη μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης που υπόκειται σε ορισμένους περιορισμούς. Γενικότερα έχει αναπτυχθεί ένα πλούσιο και ισχυρό οπλοστάσιο μεθοδολογιών και τεχνικών με στόχο την βελτιστοποίηση. Ωστόσο, είναι πολύ δύσκολο να συνοψίσουμε όλες τις απόψεις που σχετίζονται με τα επιθυμητά αποτελέσματα της σχετικής απόφασης σε μία μόνο αντικειμενική συνάρτηση (Zorounidis and Pardalos, 2010). Για αυτό το λόγο, γίνεται μια διατύπωση του προβλήματος, όπου υφίστανται παραπάνω από μία αντικειμενική συνάρτηση αντικατοπτρίζοντας τα επιμέρους κριτήρια του προβλήματος απόφασης. Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων δεν είναι αρκετή μόνο η γενίκευση της μεθοδολογίας για την βελτιστοποίηση των κριτηρίων αλλά χρειάζεται και η χρήση νέων εξελιγμένων τεχνικών οι οποίες επιτρέπουν τη σύγκριση διαφορετικών στόχων σύμφωνα με τις προτιμήσεις του εκάστοτε αποφασίζοντα, όπως είναι ο Πολυστοχικός Γραμμικός Προγραμματισμός. Για την καλύτερη κατανόηση αυτών των προβλημάτων θα χρειαστεί να αναπτυχθούν παρακάτω δυο βασικές έννοιες οι οποίες αποτελούν την βάση στην αναζήτηση μίας λύσης στο πρόβλημα απόφασης. Αυτές είναι η έννοια της προτίμησης και η πολυκριτηριακή ανάλυση.

### 4.1 Η έννοια της Προτίμησης

Προτίμηση ορίζεται η διαδικασία απόδοσης μεγαλύτερης αξίας ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα δεδομένα. Το αποτέλεσμα της προτίμησης είναι η επιθυμία του αποφασίζοντος να δώσει μεγαλύτερη βαρύτητα (εύνοια) σε μία παράμετρο του προβλήματος (Wang *et al.*, 2017). Συμπερασματικά, η προτίμηση αποδίδεται στον ανθρώπινο παράγοντα, με βασικό χαρακτηριστικό της, την υποκειμενικότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό τη διαφοροποιεί σαφώς από την μέτρηση που έχει αντικειμενικό χαρακτήρα. Η προτίμηση διαφοροποιείται με βάση τα κριτήρια του εκάστοτε αποφασίζοντα και για αυτόν τον λόγο υφίστανται ξεχωριστές προτιμήσεις για κάθε πρόβλημα απόφασης με βάση των αποτελεσμάτων που επιζητά ο μελετητής. Με βάση τον χρόνο και τον τόπο οι προτιμήσεις διαφοροποιούνται ώστε το αποτέλεσμα που θα προκύψει να είναι το επιθυμητό (Hirsch *et al.*, 2011). Η μοντελοποίηση προτιμήσεων μπορεί να θεωρηθεί είτε ως αποτέλεσμα της άμεσης σύγκρισης (ζητώντας από έναν υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να συγκρίνει δύο αντικείμενα και

να καθορίσει τη σχέση μεταξύ τους) από την οποία θα μπορούσε να συναχθεί μια αριθμητική αναπαράσταση, ή ως αποτέλεσμα της επαγωγής μιας σχέσης προτίμησης από τη γνώση ορισμένων «μέτρων» που σχετίζονται με τα συγκριτικά αντικείμενα.

Η λήψη αποφάσεων παρουσία πολλαπλών και αντικρουόμενων στόχων απαιτεί προτίμηση από τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων. Οι προτιμήσεις του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων δημιουργούν μια δομή κυριαρχίας. Τα προβλήματα του Πολυστοχικού Προγραμματισμού έχουν διαφορετικές προτιμήσεις σε διαφορετικούς στόχους. Έτσι, ορισμένοι στόχοι μπορεί να μην είναι εξίσου σημαντικοί κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Με μια σχέση προτιμήσεων, η αναζήτηση μπορεί να μειωθεί μετατρέποντας τους στόχους σε βάρη. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι η σχέση προτίμησης δεν μπορεί να χειριστεί τη μη μεταβατικότητα. Κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, τα προβλήματα αυτά μαθαίνουν σταδιακά τις προτιμήσεις τους. Οι προτιμήσεις μπορούν να χαρακτηριστούν από λειτουργίες χρησιμότητας, όπου οι πληροφορίες προτιμήσεων εμπλέκονται έμμεσα στη λειτουργία καταλληλότητας για την κατάταξη λύσεων.

Οι προτιμήσεις σε ένα πρόβλημα Πολυστοχικού Προγραμματισμού αποδίδονται από τον αποφασίζοντα. Ο τρόπος με τον οποίο ο αποφασίζων επιλέγει τις προτιμήσεις έχει να κάνει με τις μεταβλητές απόφασης δηλαδή τους στόχους, τις προτεραιότητες και τις επιθυμίες που έχουν οριστεί στο πρώτο στάδιο του προβλήματος (Reddy *et al.*, 2019).

### 4.2 Η έννοια της Πολυκριτήριας Ανάλυσης

Ο δεύτερος ορισμός ο οποίος είναι εξίσου σημαντικό είναι αυτός της Πολυκριτηριας Ανάλυσης. Η Πολυκριτήρια Ανάλυση αποτελεί εξειδικευμένο κλάδο της Επιχειρησιακής Έρευνας και επιχειρεί να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια. Η μέθοδος της Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων έχει ως στόχο την εύρεση μιας απόφασης η οποία θα λαμβάνει υπόψη όλα τα κριτήρια. Όμως, δεν είναι απαραίτητα ότι συνυπολογίζει εξίσου όλα τα κριτήρια, καθώς ο αποφασίζων μπορεί να δώσει μεγαλύτερη βαρύτητα στο ένα κριτήριο έναντι κάποιου άλλου. Στόχος της μεθοδολογίας είναι συνοψίζοντας τα δεδομένα και τα κριτήρια του προβλήματος, να προκύψει μία λύση κοντά στις προτιμήσεις του αποφασίζοντα και για να καταλήξουμε στην επιθυμητή λύση θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι δεν υπάρχει βέλτιστη. Η διαφορά της Πολυκριτήριας Ανάλυσης με άλλες διάφορες

μεθόδους είναι ότι δεν λύνει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης αλλά αναζητά μία καλή λύση λαμβάνοντας υπόψη διάφορα κριτήρια (Dean, 2020).

Μία σημαντική έννοια για την Πολυκριτηριακή Ανάλυση είναι η έννοια της Λήψη Απόφασης. Η μέθοδος της λήψης των αποφάσεων έχει ως στόχο την μελέτη και την διάγνωση των επιπτώσεων όλων των αποφάσεων. Για την εύρεση της βέλτιστης λύσης θα πρέπει όλα τα δεδομένα και τα κριτήρια του προβλήματος να ταυτίζονται, ώστε να παρθεί η σωστή απόφαση. Σαν απόφαση ορίζεται κάθε ενέργεια (σκέψη, κρίση), από έναν ή πολλούς ανθρώπους, με στόχο την επιλογή τρόπου δράσης μέσα από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών δράσης. Είναι βασικό στοιχείο η απόφαση η οποία θα παρθεί σε ένα πρόβλημα να είναι σωστή έτσι ώστε το αποτέλεσμα που θα προκύψει να είναι βέλτιστο και να ταυτίζεται με τους στόχους (Roy, 1985).

### 4.3 Ορισμός Πολυστοχικού Προγραμματισμού

Ο Πολυστοχικός Γραμμικός Προγραμματισμός είναι ο τομέας ο οποίος ασχολείται με προβλήματα μαθηματικής βελτιστοποίησης τα οποία περιλαμβάνουν περισσότερες από μια αντικειμενικές συναρτήσεις με στόχο την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση των κριτηρίων τα όποια έχει θέσει ο αποφασίζων. Αυτός ο τρόπος επίλυσης προβλημάτων έχει βρει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της επιστήμης, συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής και της οικονομίας, ώστε να ληφθούν βέλτιστες αποφάσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων αντικρουόμενων στόχων (Wang *et al.*, 2017).

Σε ένα πρόβλημα του πολυστοχικού γραμμικού προγραμματισμού οι αντικειμενικές συναρτήσεις λειτουργούν ανταγωνιστικά δηλαδή η αυξομείωση ενός κριτηρίου επηρεάζει το άλλο. Για παράδειγμα, η αύξηση του κόστους σε ένα έργο συνεπάγεται με την μείωση του κέρδους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε ένα τέτοιο πρόβλημα να μην υπάρχει μια λύση η οποία να βελτιστοποιεί όλες τις αντικειμενικές συναρτήσεις όπου έχουμε θέσει (Hirsch *et al.*, 2011). Για να προκύψει μια καλή λύση θα πρέπει να υπάρξει διάλογος με τον αποφασίζοντα ώστε να εναρμονιστεί με τις συνθήκες του προβλήματος ή τις προτιμήσεις του αποφασίζοντος. Με λίγα λόγια, η διαδικασία του Πολυστοχικού Προγραμματισμού υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων κάτω από πολλαπλά και αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια. Μπορεί επίσης να περιγραφεί ως μια τεχνική ανάλυσης η οποία παρέχει μια συστηματική διαδικασία για να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης να επιλέξουν την πιο επιθυμητή και ικανοποιητική εναλλακτική λύση σε αβέβαιες καταστάσεις.

Οι εναλλακτικές λύσεις αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές επιλογές δράσης που διαθέτει ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων. Συνήθως, το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων θεωρείται πεπερασμένο, κυμαινόμενο από αρκετές έως εκατοντάδες λύσεις. Υποτίθεται ότι θα ελεγχθούν, με προτεραιότητα ώστε να γίνει η σωστή ταξινόμηση. Κάθε πρόβλημα Βελτιστοποίησης Πολλαπλών Στόχων σχετίζεται με πολλά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται επίσης ως "στόχοι" ή "κριτήρια απόφασης".

Ένα πρόβλημα πολλαπλών κριτηρίων ξεκινά όταν ένας υπεύθυνος λήψης αποφάσεων έχει μια κατάσταση που απαιτεί απόφαση. Υπάρχουν ορισμένα κριτήρια τα οποία έχουν παραπάνω από μία λύση, έτσι, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων πρέπει να συγκρίνει τα αποτελέσματα ώστε να βρει μια λύση η οποία θα ικανοποιεί τα κριτήρια του. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων είναι ότι πρέπει να καθορίσει ποια είναι η πορεία δράσης ή εναλλακτική λύση που θα ικανοποιούσε καλύτερα τα κριτήρια και θα ικανοποιούσε πλήρως τους περιορισμούς (Torabi Yeganeh and Zegordi, 2020).

### 4.4 Κατηγορίες Βελτιστοποίησης Πολλαπλών Στόχων

Η Βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες την Βελτιστοποίηση στόχου με πολλαπλά αντικείμενα και την Βελτιστοποίηση στόχου με πολλαπλά χαρακτηριστικά. Η πρώτη κατηγορία μελετά προβλήματα αποφάσεων στα οποία ο χώρος αποφάσεων είναι συνεχής. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι προβλήματα μαθηματικού προγραμματισμού με πολλαπλές αντικειμενικές συναρτήσεις. Ενώ η δεύτερη κατηγορία επικεντρώνεται σε προβλήματα με διακριτούς χώρους αποφάσεων. Σε αυτά τα προβλήματα το σύνολο εναλλακτικών αποφάσεων έχει προκαθοριστεί (Ehrgott, 2005; Zeleny, 2010).

Σχεδόν όλες οι μεθοδολογίες στο πλαίσιο της ανάλυσης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων μοιράζονται παρόμοια βήματα όπως η οργάνωση και η κατασκευή πινάκων αποφάσεων (Zorounidis and Pardalos, 2010). Κάθε μεθοδολογία συνθέτει πληροφορίες με διαφορετικούς μεθόδους που απαιτούν διαφορετικούς τύπους πληροφοριών ή αξίας και ακολουθούν διάφορες αντικειμενικές συναρτήσεις βελτιστοποίησης. Υπάρχουν τεχνικές οι οποίες προσδιορίζουν τις βέλτιστες λύσεις με βάση των επιλογών και των δεδομένων του κάθε προβλήματος. Τα αποτελέσματα

των βέλτιστων λύσεων ταξινομούνται βάση των αποτελεσμάτων δηλαδή αποδεκτών και μη αποδεκτών λύσεων.

Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων και οι προσεγγίσεις βελτιστοποίησης εφαρμόζονται με διαφορετικούς τρόπους. Η δυσκολία με αυτές τις μεθόδους είναι το πρόβλημα επιλογής όπου ο αποφασίζοντας προσπαθεί να επιλέξει την καλύτερη ή βέλτιστη εναλλακτική λύση από ένα προκαθορισμένο αλλά πεπερασμένο σύνολο εναλλακτικών. Η επιλογή της βέλτιστης λύσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενός προβλήματος και βασίζεται στην απόφαση της προτίμηση του αποφασίζοντος. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών με ομοιογενή τύπο δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο προσεγγίσεις:

- Επεξεργασία δεδομένων ώστε να σχηματισθεί ένα σύνολο ομοιόμορφων παραμέτρων
- Τροποποίηση των μεθόδων ώστε να γίνουν αποδεκτές όλες οι μεικτές λύσεις

### 4.5 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης Πολλαπλών Κριτηρίων

Για την επίλυση των προβλημάτων Βελτιστοποίησης Πολλαπλών Κριτηρίων υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι οι οποίοι ταξινομούνται με βάση την άρθρωση των προτιμήσεων για την επίλυση αυτών. Οι μέθοδοι αυτοί ταξινομούνται ως εξής (Greco *et al.*, 2005; Odu, 2013):

- Μέθοδοι με a priori άρθρωση των προτιμήσεων: αυτή η μέθοδος επιτρέπει στον αποφασίζοντα να καθορίσει τις προτιμήσεις εκ των προτέρων, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να υλοποιηθούν με διάφορους στόχους. Οι τεχνικές επίλυσης που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μέθοδο είναι η Γραμμική Συνάρτηση, Σταθμισμένη Μέθοδος Αθροίσματος, Σταθμισμένη μέθοδος Ελαχιστοποίησης και Μεγιστοποίησης και Προγραμματισμός Στόχων.
- Μέθοδοι για μια εκ των υστέρων άρθρωση προτιμήσεων: αυτή η μέθοδος βοηθάει τον αποφασίζοντα να επιλέξει το αποτέλεσμα από μια σειρά λύσεων, αυτό συμβαίνει επειδή μερικές φορές είναι δύσκολο να εκφράσει μια σαφή συνάρτηση λύσης. Οι προτιμήσεις αυτές είναι συνήθως ενσωματωμένες στο σύνολο των παραμέτρων. Οι βελτιστοποιήσεις πολλαπλών κριτηρίων που ανήκουν σε αυτή την μέθοδο είναι οι φυσικές μέθοδοι προγραμματισμού, μέθοδος κανονικής διατομής ορίου και μέθοδος περιορισμού.



- Μέθοδο χωρίς άρθρωση προτιμήσεων: τις περισσότερες φορές, ο αποφασίζων δεν μπορεί στην πραγματικότητα να ορίσει τι προτιμά. Αυτή η μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων δεν απαιτεί διατύπωση προτιμήσεων. Οι περισσότερες μέθοδοι είναι απλοποιήσεις των μεθόδων με μια εκ των προτέρων άρθρωση των προτιμήσεων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι Καθολική Μέθοδος Κριτηρίου, Στόχος Αθροίσματος, Μέθοδος μεγιστοποίησης και ελαχιστοποίησης και αντικειμενικό προϊόν.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως σε αυτές τις μεθόδους χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές οι οποίες δίνουν ένα αποτέλεσμα κοντά στις προτιμήσεις που έχει θέσει ο αποφασίζοντας (Greco *et al.*, 2005).

- Τεχνική του Σταθμισμένου Αθροίσματος: το μοντέλο του σταθμισμένου αθροίσματος είναι ίσως η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση στα προβλήματα του πολυστοχικού προγραμματισμού. Με τη χρήση της μεθόδου αυτής για την επίλυση του προβλήματος συνεπάγεται η επιλογή βαθμιαίων βαρών και η βελτιστοποίηση της ακόλουθης αντικειμενικής συνάρτησης.

$$\text{Max/min} = \sum w_i * f_i$$

Η μέθοδος αυτή έχει ένα μειονέκτημα διότι είναι δύσκολο να καθοριστούν τα κριτήρια για την κάθε αντικειμενική συνάρτηση, διότι η τεχνική αυτή περιλαμβάνει ένα μόνο αποτέλεσμα για κάθε κριτήριο. Για να υπάρξει ένα σύνολο με πολλαπλές εναλλακτικές λύσεις πρέπει να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία πολλές φορές. Αυτό όμως είναι χρονοβόρο και δεν είναι σίγουρο ότι έχουν διατυπωθεί όλες οι λύσεις.

- Τεχνική του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού: η τεχνική του Συμβιβαστικού Προγραμματισμού είναι μια τεχνική λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων η οποία χρησιμοποιείται συνήθως για τον σχεδιασμό ενός προϊόντος. Η τεχνική αυτή προσδιορίζει ως καλύτερη λύση αυτή η οποία είναι κοντά στα όρια του γραφήματος, ελαχιστοποιεί δηλαδή τη διαφορά μεταξύ του πιθανού βέλτιστου σημείου και ενός ιδανικού σημείου. Το ιδανικό σημείο δεν είναι συνήθως εφικτό αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς. Έτσι η επόμενη καλύτερη επιλογή είναι μια λύση η οποία είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο ιδανικό σημείο.

- **Τεχνική του Σταθμισμένου Προϊόντος:** η τεχνική αυτή είναι παρόμοια με την 1<sup>η</sup> τεχνική που αναφέραμε προηγουμένως. Η κύρια διαφορά είναι ότι αντί της προσθήκης στο μοντέλο, υπάρχει πολλαπλασιασμός. Δηλαδή, κάθε εναλλακτική λύση συγκρίνεται με τις άλλες πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των παραδοχών για κάθε κριτήριο. Τα βάρη του προβλήματος γίνονται εκθέτες οι οποίοι σχετίζονται με την κάθε τιμή του κριτηρίου. Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνική δεν έχει μεγάλη εφαρμογή όσο αυτή της τεχνικής του Σταθμισμένου Άθροισματος.
- **Τεχνική προσέγγισης της επιθυμητής επιλογής:** η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για να βρεθεί η βέλτιστη λύση σύμφωνα με την επιλογή των κριτηρίων. Γενικά, ο σκοπός αυτής της τεχνικής είναι η μεγιστοποίηση των επιθυμητών στόχων και η ελαχιστοποίηση των ανεπιθύμητων στόχων οι οποίοι θα μεταβάλλουν αρνητικά την λύση του προβλήματος.
- **Τεχνική του προγραμματισμού στόχων:** η τεχνική αυτή είναι η πιο γνωστή σε εφαρμογή για την αντιμετώπιση των προβλημάτων με πολλαπλά κριτήρια. Η τεχνική αυτή αναζητά ένα αποτέλεσμα όσο πιο κοντά στην επίτευξη των στόχων του προβλήματος. Σκοπός αυτής της τεχνικής είναι να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα των αποκλίσεων όλων των στόχων. Η τεχνική αυτή έχει εφαρμογή σε πολλές τεχνικές όπως στην επιλογή προμηθευτή ή υλικών, στον σχεδιασμό παραγωγής και για την εύρεση μιας αποτελεσματικής λύσης για διάφορα τεχνικά προβλήματα. Υπάρχουν δυο περιπτώσεις σε αυτή τη τεχνική:
  1. **Ο μη Προληπτικός Προγραμματισμός Στόχων:** σε αυτή την περίπτωση δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν όλοι οι στόχοι, λόγω του γεγονός ότι όλοι οι στόχοι είναι περίπου ίδιοι, και θα υπάρξουν αποκλίσεις στα αποτελέσματα.
  2. **Ο Προληπτικός Προγραμματισμός Στόχων:** σε αυτή την περίπτωση οι στόχοι που έχει το πρόβλημα ικανοποιούνται όσο το δυνατόν καλύτερα ώστε το αποτέλεσμα να είναι πιο κοντά στις προτιμήσεις, χωρίς να υπάρχουν αποκλίσεις.

Όλες οι παραπάνω τεχνικές είναι εξίσου σημαντικές και δίνουν ένα σωστό αποτέλεσμα σύμφωνα με τα κριτήρια τα οποία έχει θέσει ο αποφασίζων. Όμως για κάθε αντικειμενική συνάρτηση που έχει το πρόβλημα χρησιμοποιείται συγκεκριμένη τεχνική με σκοπό να αποφευχθούν τυχόν αποκλίσεις. Για παράδειγμα, η μέθοδος σταθμισμένου ποσού χρησιμοποιείται όταν ο αποφασίζων επιθυμεί να ελαχιστοποιήσει κριτήρια τα οποία δεν τον ενδιαφέρουν, ενώ ταυτόχρονα θέλει να

μεγιστοποιήσει δεδομένα που είναι χρήσιμα ως προς την επίλυση. Η τεχνική του προγραμματισμού συμβιβασμού είναι χρήσιμη όταν ο αποφασίζων επιθυμεί να προσδιορίσει μια λύση η οποία ικανοποιεί όλους τους στόχους. Ενώ, η μέθοδος του σταθμευμένου προϊόντος εφαρμόζεται όταν ο υπεύθυνος λήψης απόφασης δεν θέλει να τροποποιηθεί η αντικειμενική συνάρτηση, όμως αυτή η μέθοδος έχει ένα βασικό μειονέκτημα το οποίο είναι η υπολογιστική δυσκολία που έχει ως προς την επίλυση. Η σταθμισμένη μέθοδος min-max είναι εξίσου κατάλληλη προσέγγιση που μπορεί να παρέχει το πλήρες βέλτιστο σετ με διακύμανση στα βάρη. Παρέχει επίσης μια απαραίτητη προϋπόθεση για τη βελτιστοποίηση της λύσης. Ο προγραμματισμός στόχων είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την παροχή βέλτιστων σημείων με ακρίβεια όπου αντιπροσωπεύουν το πλήρες βέλτιστο σετ. Παρέχει ένα μέσο ενσωμάτωσης της προτίμησης χωρίς να χρειάζεται να δημιουργηθούν σχετικά βάρη. Αυτό σημαίνει ότι ο προγραμματισμός στόχων λειτουργεί βάσει επιβαλλόμενων προτιμήσεων. Παρέχει ένα μέσο το οποίο είναι ικανό για την παράκαμψη της χρήσης βαρών, κάτι που μπορεί να είναι περίεργο. Εδώ, οι περιορισμοί και οι στόχοι μπορεί να αντιμετωπίζονται ισοδύναμα ως μετρήσεις σχεδιασμού. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα προγραμματισμού είναι υψηλή (Ehrgott, 2005).

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω θα διαπιστώσει κάποιος πως η βελτιστοποίηση πολλαπλών κριτηρίων απαιτεί περισσότερη υπολογιστική προσπάθεια από ότι τα προβλήματα με μεμονωμένα κριτήρια βελτιστοποίησης. Η μέθοδος με a priori άρθρωση προτιμήσεων απαιτεί από τον χρήστη να καθορίσει τους στόχους του μόνο στο όριο της αντικειμενικής συνάρτησης. Αντιθέτως, η μέθοδος για μια εκ των υστέρων άρθρωση προτίμησης επιτρέπει στον χρήστη να δει τις πιθανές λύσεις στον χώρο των κριτηρίων. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης πολλαπλών κριτηρίων εξαρτώνται από την αποτελεσματικότητα του μοναδικού στόχου αλγόριθμοι βελτιστοποίησης. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να επιλέξουμε έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης ενός αντικειμένου και ένα σχετικό λογισμικό το οποίο θα μας βοηθήσει για την επίλυση του προβλήματος. Ανάμεσα σε αυτές τις δύο μεθόδους υπάρχει μια σημαντική διαφορά, η μέθοδος για μια εκ των υστέρων άρθρωση προτίμησης είναι λιγότερο αποτελεσματική από την μέθοδο με a priori άρθρωση προτιμήσεων από την άποψη του χρόνου μονάδας επεξεργασίας υπολογιστή, διότι η δεύτερη μέθοδος δίνει πιο γρήγορο αποτέλεσμα και πιο βέλτιστο ανάλογα τις προτιμήσεις.

## 5 Εφαρμογή

### 5.1 Μεθοδολογία Πολυστοχικού Προγραμματισμού

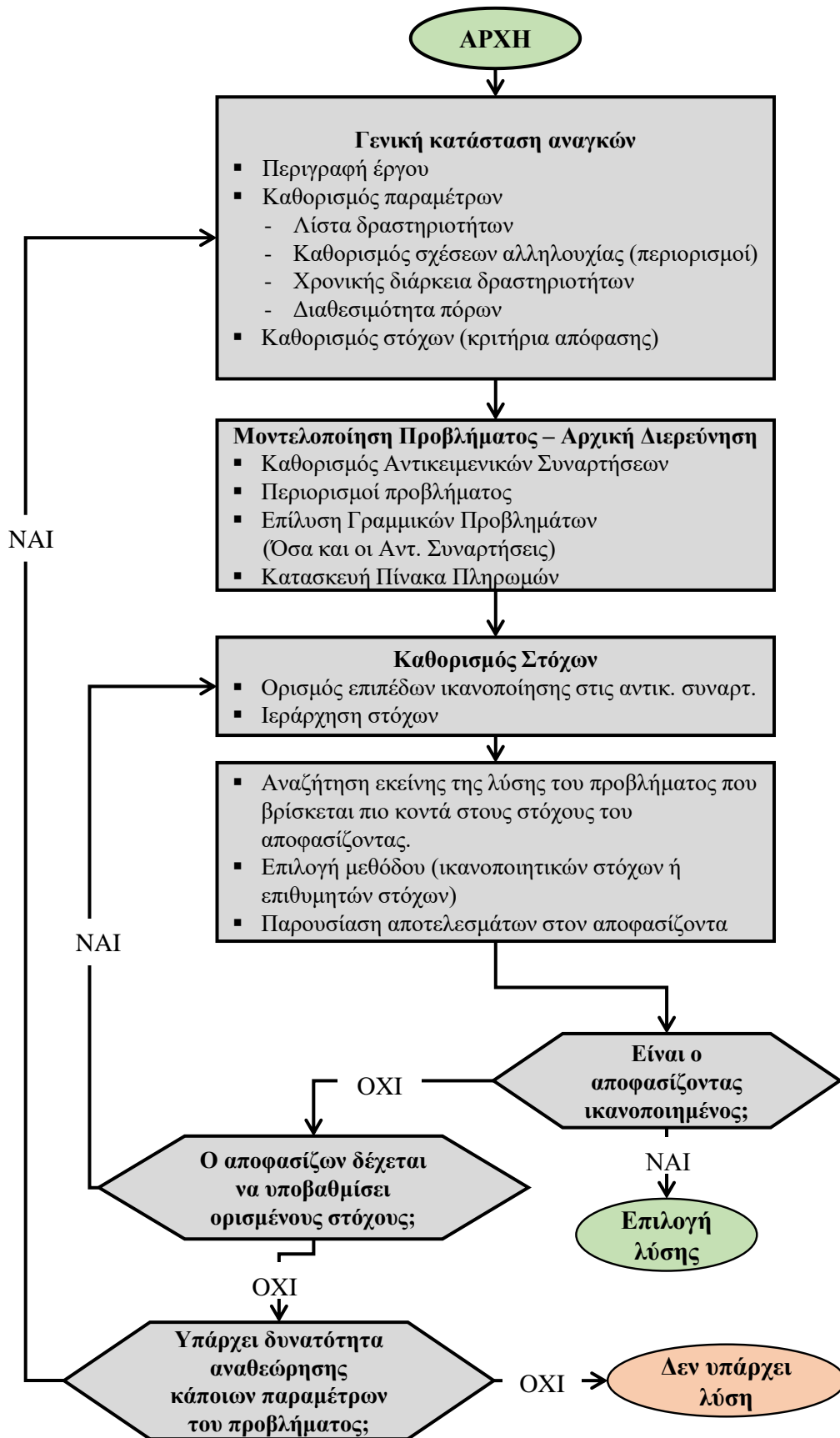
Τα περισσότερα προβλήματα διοίκησης εμφανίζουν αντικρουόμενους στόχους. Δηλαδή, στόχους όπου η βελτιστοποίηση κάποιου κριτηρίου έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των επιπέδων ικανοποίησης σε κάποιο άλλο, δηλαδή υπάρχει μια παραχώρηση μεταξύ των κριτηρίων. Τα προβλήματα αυτά όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια επιλύονται με μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων και χαρακτηρίζονται από πολλά κριτήρια, πολλούς στόχους και συχνά από διαφορετικούς εμπλεκόμενους φορείς. Οι έννοιες "στόχος" και "κριτήριο" φαινομενικά μοιάζουν αλλά είναι δυο διαφορετικές έννοιες αλλά εξίσου σημαντικές για την λήψη μίας απόφασης. Στόχος είναι η επιδίωξη η οποία τίθεται από κάποιον με σκοπό να επιτευχθεί μια απόφαση που θα λάβει. Κριτήριο είναι το μέγεθος με το οποίο μετράμε το βαθμό επίτευξης ενός στόχου ή γίνεται η ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα.

Ο Πολυστοχικός Γραμμικός Προγραμματισμός (Π.Γ.Π.) είναι ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την εύρεση μίας ικανοποιητικής λύσης σύμφωνα με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα σε προβλήματα με συνεχείς μεταβλητές. Η εφαρμογή της μεθόδου έχει ως στόχο την διαχείριση της πολυπλοκότητας του προβλήματος μέσα από φάσεις υπολογιστικές αξιολογώντας τις επιπτώσεις μίας λύσης πάνω στα κριτήρια και φάσεις διαλόγου μεταξύ επιχειρησιακού ερευνητή και αποφασίζοντα. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, ο σκοπός της μεθόδου είναι η αξιολόγηση των διαφορετικών εναλλακτικών στα κριτήρια και η ανάλυση των επιπτώσεων, δίνοντας στον αποφασίζοντα την τελική λήψη της απόφασης.

Τα βήματα για την επίλυση ενός προβλήματος με Πολυστοχικό Προγραμματισμό είναι ίδια ανεξάρτητα με το μέγεθος και το βαθμό δυσκολίας του εκάστοτε προβλήματος. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα για ένα πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού ενός έργου με πολλαπλά κριτήρια (εικόνα 1).

1. Το πρώτο βήμα είναι η περιγραφή του προβλήματος και η καταγραφή των αναγκών και απαιτήσεων:
  - Περιγραφή προβλήματος: σε αυτό το στάδιο το έργο το οποίο έχει δοθεί αναλύεται και διαμορφώνεται η λίστα δραστηριοτήτων.

- Καθορισμός βασικών παραμέτρων: προσδιορίζονται οι σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ των δραστηριοτήτων, εκτιμάται η χρονική διάρκεια κάθε μίας αλλά και οι ανάγκες σε πόρους ελέγχοντας την προσφερόμενη διαθεσιμότητα.
  - Καθορισμός στόχων: προσδιορίζεται το αντικείμενο της απόφασης και θέτονται τα ερωτήματα με βάση τις απαιτήσεις του αποφασίζοντος.
2. Το δεύτερο βήμα είναι η μοντελοποίηση του προβλήματος και μία αρχική διερεύνηση αυτού. Συγκεκριμένα:
- Δημιουργία αντικειμενικών συναρτήσεων: σύμφωνα με τις βασικές παραμέτρους προκύπτουν οι αντικειμενικές συναρτήσεις με βάση τις οποίες καθορίζεται το κριτήριο η βελτιστοποίηση του κάθε ερωτήματος.
  - Προσδιορισμός περιορισμών: οι περιορισμοί προκύπτουν από τα δεδομένα της περιγραφής του προβλήματος και των παραμέτρων και χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Η μία κατηγορία περιορισμών σχετίζεται με τις σχέσεις αλληλουχίας και η δεύτερη με την διαθεσιμότητα των πόρων. Δεν είναι απαραίτητο σε ένα πρόβλημα να περιλαμβάνονται και οι δύο κατηγορίες. Αυτό εξαρτάται από την φύση του έργου. Γενικότερα, στα προβλήματα με περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων, ο επιπλέον περιορισμός μπορεί να προκύψει μέσα από την εφαρμογή της μεθόδου της Κρίσιμης Αλυσίδας (Critical Change). Επί της ουσίας αυξάνεται η χρονική διάρκεια του έργου περιορίζοντας τις ημερήσιες ανάγκες σε πόρους εντός των διαθέσιμων ορίων.
  - Κατασκευή Πίνακα Πληρωμών: σε αυτό το στάδιο επιλύονται ένας αριθμός Γ.Π. όσες και οι αντικειμενικές συναρτήσεις του, λαμβάνοντας το κάθε κριτήριο βελτιστοποίησης ξεχωριστά με τους περιορισμούς του προβλήματος. Ο πίνακας πληρωμών συγκεντρώνει τα αποτελέσματα των παραπάνω Γ.Π.
3. Στο επόμενο βήμα ορίζονται τα επίπεδα ικανοποίησης των αντικειμενικών συναρτήσεων και ιεραρχούνται τα κριτήρια μέσα από διάλογο με τον αποφασίζοντα. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνονται οι προτιμήσεις του.
4. Αναζήτηση εκείνης της λύσης του προβλήματος που βρίσκεται πιο κοντά σε αυτούς τους στόχους. Σε αυτό το στάδιο επιλέγεται μέθοδος επίλυσης, όπως είναι η μέθοδος των ικανοποιητικών στόχων και η μέθοδος των επιθυμητών στόχων.
5. Ανάλυση παραχωρήσεων: στο τελευταίο βήμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον αποφασίζοντα και εφόσον είναι ικανοποιημένος αποδέχεται την λύση. Διαφορετικά προχωράει σε αναθεώρηση των στόχων μέσα από μία ανάλυση παραχωρήσεων επαναλαμβάνοντας τα προηγούμενα βήματα.



Εικόνα 1: Γενική μεθοδολογία Π.Γ.Π. για προβλήματα χρονοπρογραμματισμού έργων

## 5.2 Σύντομη Περιγραφή του προβλήματος

Το πρόβλημα που θα μελετηθεί αφορά τον χρονικό προγραμματισμό ενός έργου με 14 δραστηριότητες. Ο αποφασίζων θέτει δύο στόχους: 1) την μεγιστοποίηση της ευστάθειας του χρονοδιαγράμματος, δηλαδή την μεγιστοποίηση του αθροίσματος των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων, (βλέπε §3.2) και 2) την μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας (βλέπε §3.3).

Το πρώτο κριτήριο που αφορά την μεγιστοποίηση της ευστάθειας του χρονοδιαγράμματος έχει ως στόχο όλοι οι δραστηριότητες να ξεκινήσουν το συντομότερο δυνατό. Το δεύτερο κριτήριο που αφορά την μεγιστοποίηση της καθαρά παρούσα αξίας έχει στόχο να μεγιστοποιηθεί το κέρδος του έργου λαμβάνοντας υπόψη τις χρηματικές ροές και τα επιτόκια. Τα δύο αυτά κριτήρια λειτουργούν ανταγωνιστικά, δηλαδή η βελτιστοποίηση του ενός επηρεάζει την βελτιστοποίηση του άλλου. Για αυτό το λόγο, ο αποφασίζων θέτει επιθυμητούς στόχους ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να είναι κοντά στα επιθυμητά επίπεδα.

Τα δεδομένα του υπό μελέτη προβλήματος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος περιλαμβάνει την διάρκεια, την χρηματική ροή και τις προαπαιτούμενες κάθε δραστηριότητας. Οι σχέσεις αλληλουχίας που χρησιμοποιήθηκαν, είναι της μορφής Finish-to-Start (FS) με μηδενική χρονική υστέρηση για την απλοποίηση των υπολογισμών.

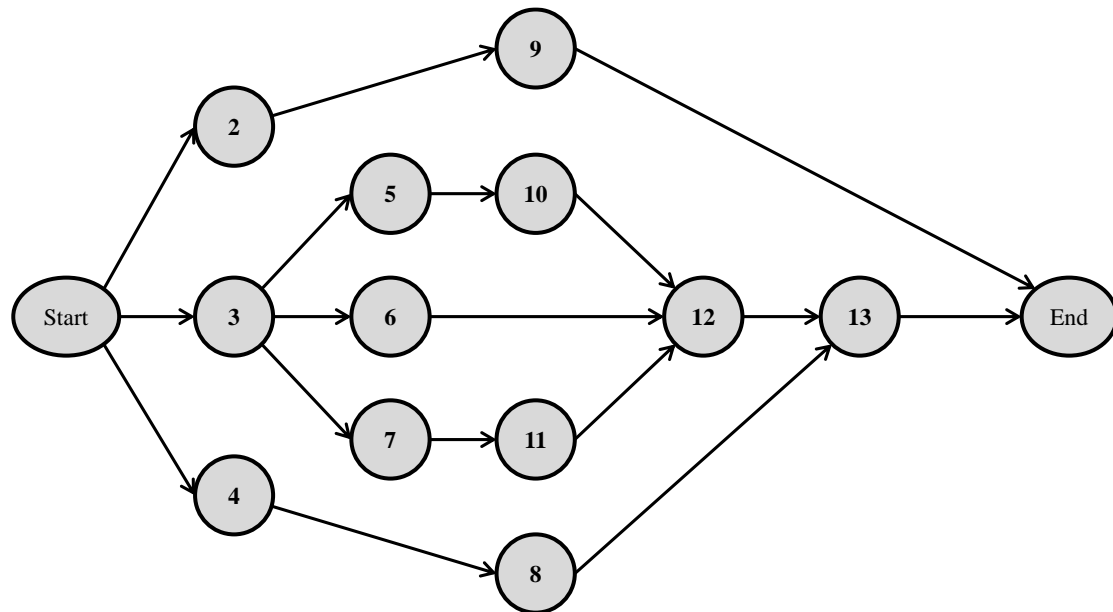
Πίνακας 5: Λίστα δραστηριοτήτων υπό μελέτη έργου

Δραστηριότητα	Διάρκεια $d_i$	Σχέσεις Αλληλουχίας (FS)	Μεταβλητή Έναρξης	Cash Flow $c_i$
1	0		$S_1$	0
2	6	1	$S_2$	-500
3	5	1	$S_3$	500
4	3	1	$S_4$	-500
5	1	3	$S_5$	-1000
6	3	3	$S_6$	100
7	2	3	$S_7$	-1000
8	1	4	$S_8$	200
9	4	2	$S_9$	1000
10	3	5	$S_{10}$	0
11	1	7	$S_{11}$	-1500
12	3	6,10,11	$S_{12}$	500
13	5	8,12	$S_{13}$	1000
14	0	9,13	$S_{14}$	10000

### 5.3 Επίλυση

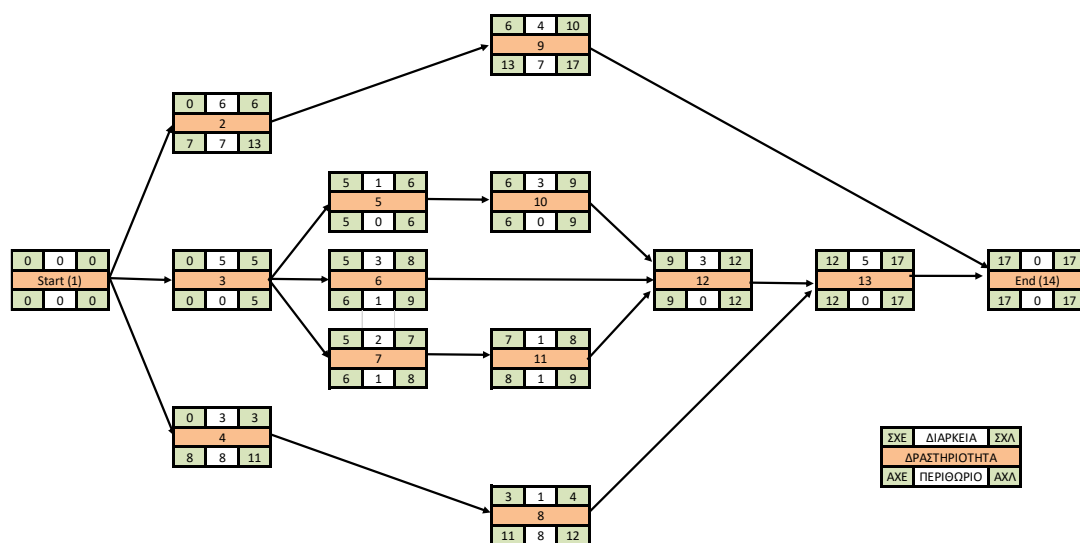
#### 5.3.1 Κατασκευή δικτύου του έργου - Επίλυση με την μέθοδο CPM

Το πρώτο βήμα για την επίλυση του παραδείγματος είναι να σχεδιαστεί το δίκτυο του έργου. Επιλέχθηκε η απεικόνιση των δραστηριοτήτων στους κόμβους.



Εικόνα 2: Δικτυακή απεικόνιση του έργου

Για την καλύτερη κατανόηση της ανάλυσης του Π.Γ.Π., που θα ακολουθήσει, παρουσιάζεται παρακάτω η επίλυση του παραπάνω δικτύου με την μέθοδο CPM.



Εικόνα 3: Επίλυση του δικτύου του έργου με την μέθοδο CPM



Με την εφαρμογή της μεθόδου CPM υπολογίζεται το περιθώριο που έχει η κάθε δραστηριότητα και αν είναι κρίσιμη ή μη κρίσιμη. Για να υπολογιστεί το περιθώριο της κάθε δραστηριότητας θα πρέπει να είναι γνωστοί οι συντομότεροι (ΣΧΕ) ή οι αργότεροι χρόνοι έναρξης (ΑΧΕ), οι οποίοι υπολογίζονται από τον ομόρροπο και αντίρροπο υπολογισμό της μεθόδου.

### 5.3.2 Μοντελοποίηση του προβλήματος - Μαθηματικό μοντέλο

Η κατασκευή του μαθηματικού μοντέλου είναι το αμέσως επόμενο βήμα το οποίο είναι απαραίτητο να την εφαρμογή του Π.Γ.Π. Πιο συγκεκριμένα, βάση των δεδομένων προκύπτουν οι περιορισμοί και οι αντικειμενικές συναρτήσεις. Το μαθηματικό μοντέλο που προκύπτει είναι το εξής:

- **Μεταβλητές Απόφασης**

$S_i$ : χρονική στιγμή έναρξης της δραστηριότητας  $i$ , όπου  $i=1, 2, \dots, 14$ . Επομένως έχουμε το διάνυσμα των μεταβλητών απόφασης είναι  $\vec{S} (S_1, \dots, S_{14})$

- **Αντικειμενικές συναρτήσεις:**

$$1) \text{ minimize } Z_1(\text{χρόνος}) = \sum_{i=1}^{14} S_i$$

$$2) \text{ maximize } Z_2 (NPV) = \sum_{i=1}^{14} c_i \cdot e^{-a(s_i+d_i)}$$

όπου

$c_i$ : ταμειακή ροή στην λήξη της δραστηριότητας  $i$  (βλέπε πίνακα 5).

$d_i$ : χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας  $i$  (βλέπε πίνακα 5).

$a$ : επιτόκιο, το οποίο θεωρείται 10%.

- **Περιορισμοί**

$$S_i + d_i \leq S_j \quad \forall (i, j) \in A(\text{αφορά κάθε σχέση αλληλουχίας})$$

$$S_1 = 0$$

$$S_i \in \text{int}^+ \text{ με } i = 1 \dots, 14, \text{ δηλαδή θετικοί ακέραιοι}$$

$$S_{14} \leq \delta_n \rightarrow S_{14} \leq 25, \text{ για την προθεσμία του έργου.}$$

$$\left. \begin{array}{l} S_i + d_i \leq S_j \quad \forall (i, j) \in A(\text{αφορά κάθε σχέση αλληλουχίας}) \\ S_1 = 0 \\ S_i \in \text{int}^+ \text{ με } i = 1 \dots, 14, \text{ δηλαδή θετικοί ακέραιοι} \\ S_{14} \leq \delta_n \rightarrow S_{14} \leq 25, \text{ για την προθεσμία του έργου.} \end{array} \right\} \vec{S} \in A$$

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι περιορισμοί που αφορούν τις σχέσεις αλληλουχίας, δηλαδή τον πρώτο περιορισμό του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου.

Πίνακας 6: Αναλυτική καταγραφή των περιορισμών που αφορούν τις σχέσεις αλληλουχίας

Για την δραστηριότητα 1	$S_1+d_1$	=	0
Για την δραστηριότητα 2	$S_1+d_1$	<=	$S_2$
Για την δραστηριότητα 3	$S_1+d_1$	<=	$S_3$
Για την δραστηριότητα 4	$S_1+d_1$	<=	$S_4$
Για την δραστηριότητα 5	$S_3+d_3$	<=	$S_5$
Για την δραστηριότητα 6	$S_3+d_3$	<=	$S_6$
Για την δραστηριότητα 7	$S_3+d_3$	<=	$S_7$
Για την δραστηριότητα 8	$S_4+d_4$	<=	$S_8$
Για την δραστηριότητα 9	$S_2+d_2$	<=	$S_9$
Για την δραστηριότητα 10	$S_5+d_5$	<=	$S_{10}$
Για την δραστηριότητα 11	$S_7+d_7$	<=	$S_{11}$
Για την δραστηριότητα 12	$S_6+d_6$	<=	$S_{12}$
Για την δραστηριότητα 12	$S_{10}+d_{10}$	<=	$S_{12}$
Για την δραστηριότητα 12	$S_{11}+d_{11}$	<=	$S_{12}$
Για την δραστηριότητα 13	$S_8+d_8$	<=	$S_{13}$
Για την δραστηριότητα 13	$S_{12}+d_{12}$	<=	$S_{13}$
Για την δραστηριότητα 14	$S_9+d_9$	<=	$S_{14}$
Για την δραστηριότητα 14	$S_{13}+d_{13}$	<=	$S_{14}$

Η επίλυση του παραδείγματος γίνεται με την βοήθεια του Solver του EXCEL όπου μέσα από μια υπολογιστική διαδικασία υπολογίζεται η κάθε μια αντικειμενική συνάρτηση ξεχωριστά σε διαφορετικό φύλλο εργασίας.

### 5.3.3 Κατασκευή Πίνακα Πληρωμών

Αρχικά θα χρειαστεί να επιλυθούν δύο γραμμικά προβλήματα, όσες δηλαδή και οι αντικειμενικές συναρτήσεις. Σε κάθε ένα γραμμικό πρόβλημα έχουμε και μία από τις αντικειμενικές συναρτήσεις υπό τους περιορισμούς του προβλήματος. Συγκεκριμένα:

Γραμμικό Πρόβλημα 1

Min  $Z_1$

Υπό

$\vec{S} \in A$

Γραμμικό Πρόβλημα 2

Max  $Z_2$

Υπό

$\vec{S} \in A$

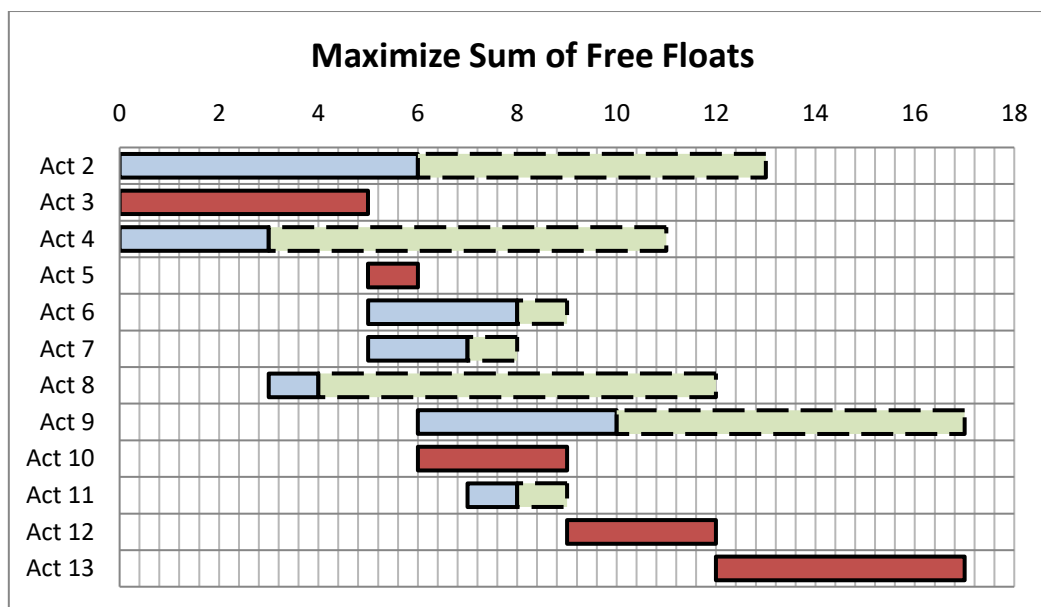
## Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία - Εφαρμογή

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση των δύο παραπάνω Γ.Π. παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα πληρωμών. Ο πίνακας αυτός δείχνει τις τιμές των μεταβλητών απόφασης, δηλαδή τον χρόνο έναρξης κάθε δραστηριότητας, και τις τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων αντιμετωπίζοντας το κάθε κριτήριο ανεξάρτητα από το άλλο.

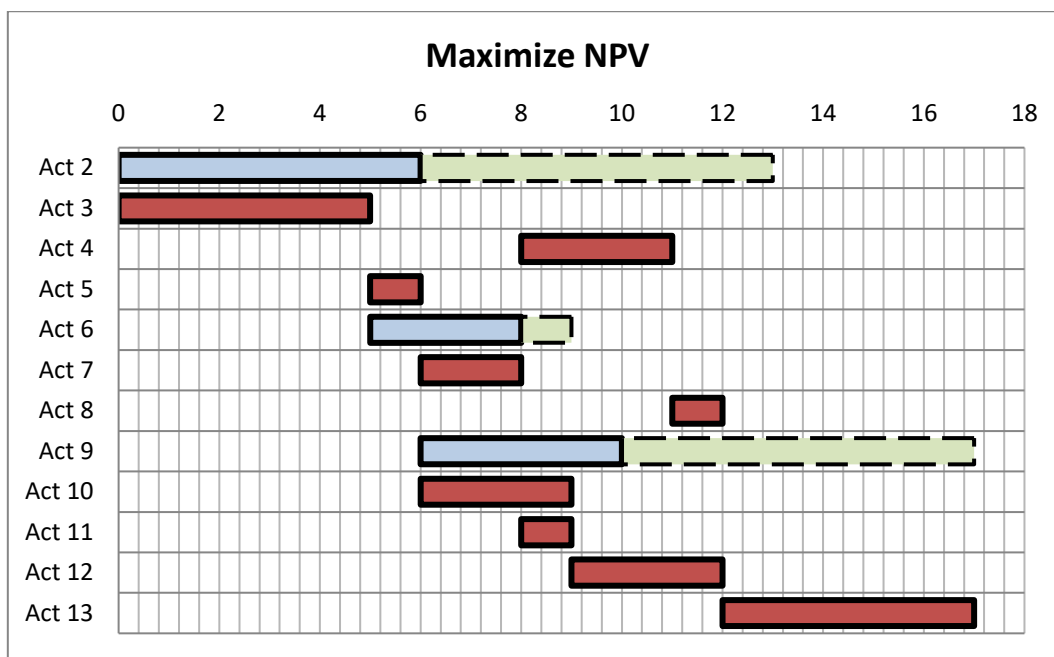
Πίνακας 7: Πίνακας Πληρωμών για την μελέτη περίπτωσης

Γ.Π.	Z1	Z2	Sum TF	Sum FF	Μεταβλητές Απόφασης - Χρόνος Έναρξης													
					S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>
Min (sum of S)	75	646,05 €	33	17	0	0	0	0	5	5	5	3	6	6	7	9	12	17
Max (NPV)	93	887,60 €	15	8	0	0	0	8	5	5	6	11	6	6	8	9	12	17

Στον πίνακα αυτό υπολογίζονται το άθροισμα των ολικών χρονικών περιθωρίων (Total Float - TF) και των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων (Free Float – FF). Όπως θα παρατηρήσουμε από το πρώτο Γ.Π., οι μεταβλητές απόφασης (χρόνοι έναρξης) λαμβάνουν τις τιμές των συντομότερων χρόνων έναρξης όπως προκύπτουν από την ανάλυση CPM. Προγραμματίζονται, δηλαδή, οι δραστηριότητες το συντομότερο δυνατό μεγιστοποιώντας τον άθροισμα των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων και άρα την ευστάθεια του χρονοδιαγράμματος (Al-Fawzan and Haouari, 2005). Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται τα δύο διαγράμματα GANTT όπως προκύπτουν από τις επιλύσεις των δύο Γ.Π.



Γράφημα 1: Διάγραμμα GANTT για το 1<sup>ο</sup> Γ.Π.



Γράφημα 2: Διάγραμμα GANTT για το 2<sup>ο</sup> Γ.Π.

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διάγραμμα στο 1<sup>ο</sup> Γ.Π. υπάρχουν περισσότερες δραστηριότητες με περιθώριο ενώ στο 2<sup>ο</sup> Γ.Π. ο αριθμός των κρίσιμων δραστηριοτήτων αυξάνεται στην προσπάθεια μεγιστοποίησης της ΚΠΑ (NPV). Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα δυο κριτήρια λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους.

Το 1<sup>ο</sup> κριτήριο έχει στόχο να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα των συντομότερων χρόνων έναρξης ώστε να μεγιστοποιηθεί το άθροισμα των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων των μη κρίσιμων δραστηριοτήτων. Σε αυτήν την περίπτωση η καθαρά παρούσα αξία μειώνεται.

Το 2<sup>ο</sup> κριτήριο έχει στόχο να μεγιστοποιήσει την Καθαρή Παρούσα Αξία. Οι ταμειακές ροές θεωρούνται ότι συμβαίνουν στην λήξη της εκάστοτε δραστηριότητας. Επί της ουσίας η εφαρμογή αυτού του κριτηρίου οδηγεί τις δραστηριότητες με θετική ταμειακή ροή να ξεκινήσουν το συντομότερο δυνατόν ενώ αυτές που έχουν αρνητική τιμή να καθυστερήσουν όσο το δυνατόν περισσότερο.

Το ζητούμενο για τον αποφασίζοντα είναι ο προγραμματισμός των μη κρίσιμων δραστηριοτήτων λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα δύο κριτήρια. Οι μη κρίσιμες δραστηριότητες μπορούν να καθοριστούν από την εφαρμογή της μεθόδου CPM και

είναι αυτές που έχουν χρονικό περιθώριο. Στο παράδειγμα μας οι μη κρίσιμες δραστηριότητες είναι οι: 2, 9, 6, 7, 11, 4, 8 όπως φαίνεται στην εικόνα 3.

Όμως οι δραστηριότητες αυτές έχουν διαφορετικές ταμειακές ροές ως προς το αν είναι εισροές ή εκροές. Για αυτό και οι δραστηριότητες που έχουν θετική ταμειακή ροή για την μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας είναι προτιμότερο να ξεκινούν το ΣΧΕ, ενώ αυτές με τις αρνητικές ταμειακές ροές μετατοπίζονται προς το τέλος. Συγκριμένα, η δραστηριότητα 6 ξεκινάει το ΣΧΕ, ενώ οι δραστηριότητες 7, 11 το ΑΧΕ. Τέλος, ο προγραμματισμός των δραστηριοτήτων 2, 4, 8 και 9 είναι πιο σύνθετος, καθώς οι δραστηριότητες 2 και 4 που έχουν αρνητική ταμειακή ροή αν καθυστερήσουν θα οδηγήσουν σε καθυστέρηση της έναρξης των δραστηριοτήτων 8 και 9 που έχουν θετική ταμειακή ροή. Επομένως, σε αυτή τη περίπτωση για την κατανόηση του αποτελέσματος επίλυσης των Γ.Π., χρειάστηκε να μελετηθούν οι εξής δυο κλάδοι:

1. Start , 2 , 9 , End
2. Start , 4 , 8 , 13

Συγκεκριμένα, εξετάζεται το άθροισμα των ταμειακών ροών σε κάθε ένα από αυτούς τους κλάδους ώστε να διαπιστωθεί αν θα προγραμματιστούν τον νωρίτερο ή το αργότερο δυνατό χρόνο τα ζεύγη των δραστηριοτήτων. Στην περίπτωση της δραστηριότητας 9 η ταμειακή ροή είναι 100, ενώ της δραστηριότητας 2 είναι -50. Επομένως, ο 1<sup>ος</sup> κλάδος έχει θετική ροή, για αυτό και η επίλυση του Γ.Π. οδηγεί στον προγραμματισμό των δραστηριοτήτων το συντομότερο δυνατόν. Στην άλλη περίπτωση, η δραστηριότητα 4 έχει τιμή -50, ενώ η δραστηριότητα 8 έχει τιμή +20, άρα το άθροισμα που προκύπτει έχει αρνητικό πρόσημο. Άρα και ο αλγόριθμος θα τις προγραμματίσει να ξεκινήσουν το αργότερο δυνατόν.

### 5.3.4 Καθορισμός Στόχων

Με δεδομένο ότι για κάθε αντικειμενική συνάρτηση έχουν προσδιοριστεί τα μέγιστα και τα ελάχιστα, σε αυτό το βήμα του Πολυστοχικού Γραμμικού Προγραμματισμού ζητείται από τον αποφασίζοντα να θέσει στόχους σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Αρχικά, παρουσιάζεται ο πίνακας πληρωμών στον αποφασίζοντα (Διαχειριστή του έργου), όπου προσδιορίζονται οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές για κάθε κριτήριο:

$$(Z_{1-min}, Z_{1-max}) = (75, 93) \text{ και } (Z_{2-min}, Z_{2-max}) = (646.05, 887.60)$$

Στην συνέχεια ο αποφασίζων προσδιορίζει επιθυμητά επίπεδα για τα δύο κριτήρια, ενώ ταυτόχρονα τα ιεραρχεί ως προς την σημαντικότητα τους. Ο αποφασίζων έδωσε μεγαλύτερη προτίμηση στο κριτήριο της ευστάθειας του χρονοδιαγράμματος, δηλαδή στην ελαχιστοποίηση τους αθροίσματος των νωρίτερων χρόνων έναρξης, καθώς μια πιθανή καθυστέρηση του έργου θα οδηγήσει σε χρηματικές ποινές. Ακόμη, όρισε τους παρακάτω στόχους:

$$(Z_{1-target}, Z_{2-target}) = (80, 820)$$

Στην συνέχεια αναζητάμε εκείνη τη λύση του προβλήματος που βρίσκεται πιο κοντά στους στόχους του αποφασίζοντα. Για αυτόν τον σκοπό θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των Ικανοποιητικών Στόχων (βλέπε §5.3.5). Στην συνέχεια, για την καλύτερη διεύρυνση των διαθέσιμων μεθόδων χρησιμοποιείται η μέθοδος των Επιθυμητών Στόχων ως εναλλακτικός τρόπος διαχείρισης των προτιμήσεων. Οι δύο μεθοδολογίες έχουν διαφορές και ποια από τις δύο θα χρησιμοποιείτε εξαρτάται από το είδος του προβλήματος και από την εμπειρία του Αναλυτή.

### 5.3.5 Μέθοδος των Ικανοποιητικών Στόχων

Στην μέθοδο αυτή λαμβάνονται υπόψη όλα τα κριτήρια, τα οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους, και οι στόχοι που έχει θέσει ο αποφασίζων, δηλαδή οι προτιμήσεις του. Αρχικά, διαμορφώνεται ένα Γραμμικό Πρόβλημα που βελτιστοποιεί το κριτήριο με την μεγαλύτερη σημαντικότητα για τον αποφασίζοντα θέτοντας στο σύνολο των περιορισμών και αυτούς που εκφράζουν την επίτευξη των τιμών στόχων στα άλλα κριτήρια (αντικειμενικές συναρτήσεις). Στην συνέχεια τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον αποφασίζοντα και αν είναι ικανοποιημένος τότε γίνεται αποδεκτή η λύση. Διαφορετικά θα χρειαστεί να προχωρήσει σε μία ανάλυση παραχωρήσεων αναθεωρώντας τους στόχους του.

Λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους και ότι το σημαντικότερο κριτήριο είναι ο χρόνος, διαμορφώνεται το παρακάτω γραμμικό πρόβλημα:

$$\text{minimize } Z_1(\text{χρόνος}) = \sum_{i=1}^{14} S_i$$

υπό τους περιορισμούς:

$$Z_2(NPV) = \sum_{i=1}^{14} c_i \cdot e^{-a(s_i+d_i)} \geq 820$$

$$\vec{S} \in A$$

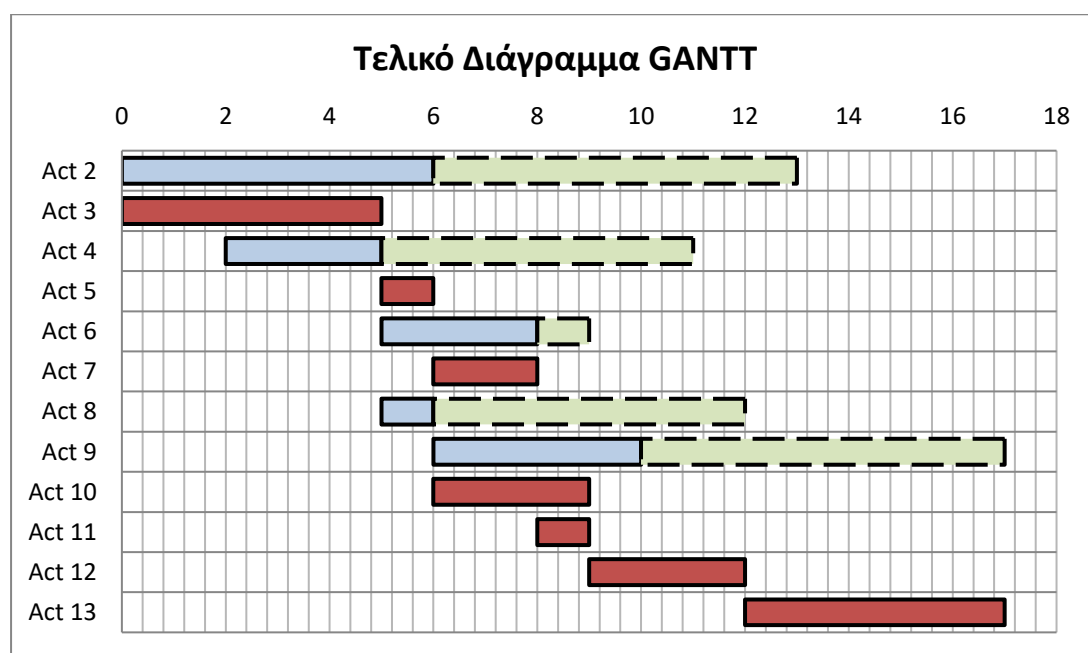
## Κεφάλαιο 5: Μεθοδολογία - Εφαρμογή

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση του παραπάνω Γ.Π. παρουσιάζονται στον πίνακα 8 (ανάδραση 1). Αυτό που παρατηρείται είναι ότι το άθροισμα των συντομότερων χρόνων ανέρχεται στις 85 μέρες, αποτέλεσμα μεγαλύτερο από τον στόχο. Ο αποφασίζων προχωράει σε αναθεώρηση του στόχου της καθαρής παρούσας αξίας, ώστε να επιτευχθεί ένα καλύτερο αποτέλεσμα ως προς το πρώτο κριτήριο. Συγκεκριμένα έθεσε ως στόχο  $NPV \geq 800$  και αναδιαμορφώθηκε το Γ.Π., του οποίου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 8 (ανάδραση 2).

Πίνακας 8: Αποτελέσματα Αναδράσεων Μεθόδου Ικανοποιητικών Στόχων

Μέθοδος Ικανοποιητικών Στόχων																		
	Z1	Z2	Sum TF	Sum FF	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>
Ανάδραση 1	85	835,37 €	23	12	0	0	0	4	5	5	6	7	6	6	8	9	12	17
Ανάδραση 2	81	800,29 €	27	14	0	0	0	2	5	5	6	5	6	6	8	9	12	17

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι κοντά τους επιθυμητούς στόχους, τους οποίους αποδέχεται ο αποφασίζων. Το διάγραμμα Gantt που προκύπτει παρουσιάζεται στο γράφημα 3. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα δύο κριτήρια προκύπτει ότι οι δραστηριότητες 7 και 11 θα προγραμματιστούν το αργότερο δυνατό, ενώ οι δραστηριότητες 2 και 8 δύο μέρες μετά από τον ΣΧΕ. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ένα χρονοδιάγραμμα, που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα κέρδη διατηρώντας την ευελιξία αλλαγών ως προς τον χρόνο σε πιθανές απρόβλεπτες καταστάσεις.



Γράφημα 3: Τελικό διάγραμμα GANTT εφαρμόζοντας την μέθοδο των Ικανοποιητικών Στόχων

### 5.3.6 Μέθοδος Επιθυμητών Στόχων

Εκτός από τη μέθοδο των ικανοποιητικών στόχων, υπάρχει και η μέθοδος των επιθυμητών στόχων ως εναλλακτική. Στην μέθοδο αυτή, μετατρέπουμε το πολυκριτήριο πρόβλημα σε μονοκριτήριο εισάγοντας επιπρόσθετα τις μεταβλητές  $d_1^+$ ,  $d_1^-$ ,  $d_2^+$ ,  $d_2^-$ , οι οποίες εκφράζουν την απόκλιση των τιμών των αντικειμενικών συναρτήσεων από τις επιθυμητές τιμές. Στο παράδειγμα αυτό το Γ.Π. διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{minimize Σφάλματα} = r_1(d_1^+ + d_1^-) + r_2(d_2^+ + d_2^-) = 80$$

υπό τους περιορισμούς:

$$Z_1 - d_1^+ + d_1^- = 80$$

$$Z_2 - d_2^+ + d_2^- = 820$$

$$\vec{S} \in A$$

όπου

$$r_1 = \frac{\text{Max}(Z_1 - \text{target}, Z_2 - \text{target})}{Z_1 - \text{target}} = 10,25 \text{ και } r_2 = \frac{\text{Max}(Z_1 - \text{target}, Z_2 - \text{target})}{Z_2 - \text{target}} = 1$$

Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται πως διαμορφώθηκε το πρόβλημα στο Excel,

Αντικειμενικές Συναρτήσεις		Άγνωστοι d+	Άγνωστοι d-	Νέα Συνθήκη		Επιθυμητά Επίπεδα	Συντελεστής Κανονικοποίησης
min αθροισματος ES	81	1,00	0,00	80	=	80	10,25
max NPV	800,29 €	0,00	19,71	820	=	820	1
Ελαχιστοποίηση των Σφαλμάτων		29,96037					

Εικόνα 4: Διαμόρφωση προβλήματος στο Excel

Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης, τα οποία παρατηρούμε ότι συμπίπτουν με αυτά της ανάδρασης 2 της μεθόδου των ικανοποιητικών στόχων.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα Μεθόδου Επιθυμητών Στόχων

Μέθοδος Επιθυμητών Στόχων																		
	Z1	Z2	Sum TF	Sum FF	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>
Ανάδραση 1	81	800,29 €	27	14	0	0	0	2	5	5	6	5	6	6	8	9	12	17



## 6 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την κατασκευή του χρονοδιαγράμματος ενός έργου. Από την βιβλιογραφική έρευνα διαπιστώθηκε πως τα κριτήρια που το επηρεάζουν είναι παραπάνω από ένα, ενώ από την βελτιστοποίηση τους διαπιστώθηκε ότι δρουν ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό διερευνήθηκε η χρήση του Πολυστοχικού Γραμμικού Προγραμματισμού για την διαχείριση της ανταγωνιστικότητας αυτής αναπτύσσοντας ένα πλαίσιο υποστήριξης της διαδικασίας εξεύρεσης μίας λύσης που να ικανοποιεί όσο το δυνατόν όλα τα κριτήρια. Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκε η διαδικασία του Π.Γ.Π. στο πρόβλημα της κατασκευής του χρονοδιαγράμματος (εικόνα 1) ενός έργου λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλούς στόχους. Στην συνέχεια τα βήματα όπως διαμορφώθηκαν, εφαρμόστηκαν σε ένα έργο υπό το πρίσμα των παρακάτω δύο κριτηρίων:

- Μεγιστοποίηση της ευστάθειας του χρονοδιαγράμματος, δηλαδή την μεγιστοποίηση του αθροίσματος των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων
- Μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας

Τα δύο κριτήρια αυτά λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους, διότι η βελτιστοποίηση του ενός, μειώνει το άλλο. Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε πως για την μεγιστοποίηση του 1<sup>ου</sup> κριτηρίου το άθροισμα των νωρίτερων χρόνων έναρξης ανέρχεται στις 75 μέρες και η καθαρή παρούσα αξία ανέρχεται στα 646,05 ευρώ, ενώ στο δεύτερο κριτήριο οι τιμές που υπολογίζονται είναι 93 μέρες και 887,60 ευρώ.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο μεθοδολογίες μετά την αρχική διερεύνηση, η μέθοδος των ικανοποιητικών στόχων και η μέθοδος των επιθυμητών στόχων. Οι δύο μεθοδολογίες κατέληξαν στο ίδιο αποτέλεσμα όπου για την πρώτη απαιτήθηκαν δύο αναδράσεις, ενώ για την δεύτερη μία. Στην περίπτωση των ικανοποιητικών στόχων για να πετύχει ο αποφασίζων την λύση που επιθυμεί προχώρησε σε μία ανάλυση παραχωρήσεων μειώνοντας τον στόχο της καθαρής παρούσας αξίας. Με τον τρόπο αυτό, μπορούμε να διαπιστώσουμε τις παραχωρήσεις που χρειάζονται να γίνουν στον έναν στόχο για να επιτευχθεί ένα καλύτερο αποτέλεσμα στον άλλον. Αυτό αποτελεί το βασικό πλεονέκτημα έναντι της μεθόδου των επιθυμητών στόχων, στην οποία δεν είναι ξεκάθαρο πόσο θυσιάζεται στο ένα κριτήριο για βελτιωθεί το άλλο. Ακόμη, η λύση που μπορεί να προκύψει με την μέθοδο των επιθυμητών στόχων υπάρχει πιθανότητα

να μην είναι η καλύτερη δυνατή. Αυτό συμβαίνει επειδή, ο αλγόριθμος υπολογίζει τιμές στις αντικειμενικές συναρτήσεις κοντά στους στόχους χωρίς να λάβει υπόψη του ποια είναι καλύτερη απόδοση σε μία αντικειμενική συνάρτηση όταν ικανοποιούνται οι στόχοι του αποφασίζοντα στις άλλες. Στην υπό μελέτη περίπτωση οι δύο μέθοδοι κατέληξαν στα ίδια αποτελέσματα διότι το έργο ήταν μικρό με λίγες δραστηριότητες. Οι δύο μεθοδολογίες θα είχαν σημαντικές διαφορές για ένα έργο με περισσότερες δραστηριότητες.

Το παράδειγμα που αναπτύχθηκε αποτελεί ένα πρόβλημα μικρής πολυπλοκότητας εξετάζοντας βασικές παραμέτρους. Ο λόγος που επιλέχθηκε ήταν για να διερευνηθεί η χρησιμότητα του Π.Γ.Π. σε αυτά τα προβλήματα. Θα μπορούσε να εξεταστεί ένα αρκετά μεγάλο έργο λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα από δύο κριτήρια βελτιστοποίησης. Ακόμη, μία σημαντική παράμετρος που αλλάζει σημαντικά την διαδικασία κατασκευής ενός χρονοδιαγράμματος είναι περιορισμοί στην χρήση πόρων αυξάνοντας την πολυπλοκότητα στους υπολογισμούς. Τα παραπάνω σημεία αποτελούν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

## 7 Βιβλιογραφία

- Al-Fawzan, M.A. and Haouari, M. (2005), “A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 96 No. 2, pp. 175–187.
- Burke, R. (2010), *Fundamentals of Project Management: Tools and Techniques*, Burke Publishing.
- Charvat, J. (2003), *Project Management Methodologies: Selecting, Implementing, and Supporting Methodologies and Processes for Projects*, John Wiley & Sons.
- Davis, K.R., Stam, A. and Grzybowski, R.A. (1992), “Resource constrained project scheduling with multiple objectives: A decision support approach”, *Computers & Operations Research*, Vol. 19 No. 7, pp. 657–669.
- Dean, M. (2020), “Chapter Six - Multi-criteria analysis”, in Mouter, N. (Ed.), *Advances in Transport Policy and Planning*, Vol. 6, Academic Press, pp. 165–224.
- Ehrgott, M. (2005), *Multicriteria Optimization*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, available at:<https://doi.org/10.1007/3-540-27659-9>.
- Fazar, W. (1959), “Program Evaluation and Review Technique”, *The American Statistician*, Vol. 13, p. 10.
- Greco, S., Figueira, J. and Ehrgott, M. (2005), “Multiple criteria decision analysis”, *Springer’s International Series*.
- Hirsch, C., Shukla, P.K. and Schmeck, H. (2011), “Variable Preference Modeling Using Multi-Objective Evolutionary Algorithms”, in Takahashi, R.H.C., Deb, K., Wanner, E.F. and Greco, S. (Eds.), *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 91–105.
- Ipsilandis, P.G. (2007), “Multiobjective Linear Programming Model for Scheduling Linear Repetitive Projects”, *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, Vol. 133 No. 6, pp. 417–424.

- Kelley, J.E. (1961), “Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis”, *Operations Research*, INFORMS, Vol. 9 No. 3, pp. 296–320.
- Kobyłański, P. and Kuchta, D. (2007), “A note on the paper by M. A. Al-Fawzan and M. Haouari about a bi-objective problem for robust resource-constrained project scheduling”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 107 No. 2, pp. 496–501.
- Lavanya, N. and Malarvizhi, T. (2008), “Risk analysis and management: a vital key to effective project management.”, *Paper Presented at PMI® Global Congress 2008—Asia Pacific, Sydney, New South Wales, Australia.*, Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Leach, L.P. (2014), *Critical Chain Project Management, Third Edition*, 3rd edition., Artech House.
- Odu, G.O. (2013), “Review of Multi-criteria Optimization Methods – Theory and Applications”, *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 3 No. 10, pp. 01–14.
- PMI. (2017), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Project Management Institute, Inc, Newtown Square, Pennsylvania.
- Reddy, A.S., Kumar, P.R. and Raj, P.A. (2019), “Preference based multi-criteria framework for developing a Sustainable Material Performance Index (SMPI)”, *International Journal of Sustainable Engineering*, Taylor & Francis, Vol. 12 No. 6, pp. 390–403.
- Roy, B. (1985), *Méthodologie Multicritere d’Aide à La Decision*, Economica, Paris.
- Sprecher, A. (2012), *Resource-Constrained Project Scheduling: Exact Methods for the Multi-Mode Case*, Springer Science & Business Media.
- Torabi Yeganeh, F. and Zegordi, S.H. (2020), “A multi-objective optimization approach to project scheduling with resiliency criteria under uncertain activity duration”, *Annals of Operations Research*, Vol. 285 No. 1, pp. 161–196.
- Vanhoucke, M. (2013), *Project Management with Dynamic Scheduling*, Springer, Berlin, Heidelberg.

- Vanhoucke, M. (2016), *Integrated Project Management Sourcebook*, Springer International Publishing, Cham
- Wang, H., Olhofer, M. and Jin, Y. (2017), “A mini-review on preference modeling and articulation in multi-objective optimization: current status and challenges”, *Complex & Intelligent Systems*, Vol. 3 No. 4, pp. 233–245.
- Zeleny, M. (2010), “Multiobjective Optimization, Systems Design and De Novo Programming”, in Zopounidis, C. and Pardalos, P.M. (Eds.), *Handbook of Multicriteria Analysis*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 243–262.
- Zopounidis, C. and Pardalos, P.M. (2010), *Handbook of Multicriteria Analysis*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Καστρινάκης, Α. (2002), *Διεύθυνση Κατασκευών Τεχνικών Έργων*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.