



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ.
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ - ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΓΕΝΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ»**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΤΟΥΛΟΥΜΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΟΥΣΑΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

Περίληψη

Η κατασκευή τεχνικών έργων είναι μία άκρως απαιτητική διαδικασία που την ξεχωρίζει από τις περισσότερες διαδικασίες που θεωρούνται ως έργα. Η πλειοψηφία των επιμέρους δραστηριοτήτων οι οποίες συνθέτουν ένα τεχνικό κατασκευαστικό έργο εκτελούνται για μεγάλο χρόνο σε εξωτερικό χώρο ή υπό μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες εισάγοντας μεγάλο ποσοστό αβεβαιότητας στην υλοποίηση του χρονοπρογραμματισμού. Συχνά, στους εξωτερικούς απρόβλεπτους παράγοντες που δύνανται να επηρεάσουν την εξέλιξη ενός κατασκευαστικού έργου προστίθενται και οικονομικοί περιορισμοί είτε ως αποτέλεσμα αναπροσαρμογών στον χρονοπρογραμματισμό είτε λόγω τεχνικών αλλαγών που επιβάλλονται από την εξέλιξη του έργου.

Τα τεχνικά έργα κατασκευής είναι μοναδικά ως προς τον σχεδιασμό και την υλοποίηση τους, αφού κάθε ένα ξεχωριστά υλοποιείται σε διαφορετικό περιβάλλον και εξελίσσεται σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, ενώ έως την ολοκλήρωσή τους μεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι εργασίες που απαρτίζουν τα τεχνικά έργα είναι κατασκευαστικής φύσης, κάτι που σημαίνει ότι αφενός έχουν συχνά μεγάλη διάρκεια και αφετέρου απαιτούν τα ίδια ή παρόμοια είδη πόρων για την εκτέλεσή τους, είτε πρόκειται για προσωπικό είτε για τεχνικό εξοπλισμό. Αυτές οι ιδιότητες μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό του χρονοπρογραμματισμού ώστε να γίνεται ορθή διάθεση των πόρων σε όλο το φάσμα εξέλιξης του έργου. Αν και οι επιμέρους εργασίες είναι διακριτές μεταξύ τους, υπάρχει αλληλεξάρτηση καθώς αποτελούν τα διαδοχικά μακρά στάδια μίας κατασκευής κάτι που επιτρέπει συνήθως σε αρκετές εργασίες να μπορέσουν να εκτελούνται τμηματικά ή με μεταβαλλόμενο ρυθμό κατά την συνολικά προβλεπόμενη επιτρεπτή διάρκεια τους. Οπότε στην πράξη, κατά την εκτέλεση των έργων απαιτούνται διαφορετικά ποσά πόρων ανά ημέρα εκτέλεσης έργου και επειδή τα εργοτάξια που αποτελούν το πεδίο εξέλιξης των εργασιών είναι προσωρινές μη σταθερές κατασκευές, πρέπει να γίνεται προσπάθεια η μέση χρήση πόρων να παραμένει όσο δυνατόν σταθερή ώστε να μην προκύπτει οικονομική και χρονική επιβάρυνση του έργου από την μεταφορά πόρων από και προς το εργοτάξιο.

Η Διαχείριση Πόρων ως αντικείμενο του επιστημονικού πεδίου της Διοίκησης Έργων στοχεύει στην βελτίωση της διαχείρισης των διαθέσιμων πόρων. Η Εξομάλυνση Πόρων ένα πιο εξειδικευμένο πεδίο που πραγματεύεται τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί μία

ομοιόμορφη χρήση πόρων για δεδομένη σταθερή διάρκεια έργου. Στην ουσία πρέπει να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις ώστε να ακολουθηθεί η βέλτιστη στρατηγική διαχείρισης των πόρων για να εξυπηρετηθεί ο σκοπός της έγκαιρης ολοκλήρωσης ενός έργου με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Πρόκειται για ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης όπου ο λήπτης των αποφάσεων πρέπει να επιλέξει την καλύτερη απόφαση. Αρωγός σε αυτήν την προσπάθεια υπήρξε η Τεχνητή Νοημοσύνη, η οποία παρείχε τα πρώτα υποστηρικτικά εργαλεία προς τον λήπτη αποφάσεων ήδη από το δεύτερο μισό του προηγούμενου αιώνα.

Η εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης, σε κάθε βήμα της προσέφερε και νέες βοήθειες ως προς το πρόβλημα της εξομάλυνσης πόρων σε έργα. Η εμφάνιση των Εξελκτικών Αλγορίθμων και η επιτυχία τους στην αντιμετώπιση προβλημάτων βελτιστοποίησης έδωσε περαιτέρω ώθηση στην εφαρμογή νέων τεχνικών που χρησιμοποιούν Νοήμονες Υπολογιστικές Μεθόδους για να επιλύσουν προβλήματα. Σε αυτή την κατηγορία αναπτύχθηκαν πρόσφατα οι Νοήμονες Μέθοδοι Εμπνευσμένες από την Φύση οι οποίες αποδείχτηκαν εξαιρετικά αποτελεσματικές στην επίλυση δύσκολων προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης της εξομάλυνσης πόρων σε έργα δεν έχει λυθεί με ακρίβεια για έργα μεγάλης πολυπλοκότητας. Στη βιβλιογραφία απαντώνται ακριβείς λύσεις για μικρά έργα (<20 δραστηριοτήτων), ενώ για έργα μεσαίου μεγέθους (μέχρι 50 δραστηριότητες) και για έργα με ιδιαιτερότητες όπως η μεγάλη διάρκεια εργασιών και οι σχέσεις εξάρτησης, όπως για παράδειγμα οι Start – Start, Start – Finish εξαρτήσεις (SS, SF) κλπ, παρουσιάζονται κάποιες καλές προσεγγιστικές λύσεις. Τα έργα που χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιβλιογραφία είναι τεχνητά και λίγες είναι οι επιτυχείς προσπάθειες εξομάλυνσης πόρων σε πραγματικά έργα.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας καταρχήν εξετάζονται οι μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού σε τεχνικά έργα με ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αλλά και με πραγματικά παραδείγματα τεχνικών έργων με χρήση του λογισμικού Microsoft Project. Ακολούθως, η εργασία κινείται ένα βήμα παραπάνω και επιχειρεί να επιτύχει βελτιωμένες προσεγγιστικές λύσεις χρονικού προγραμματισμού και διαχείρισης πόρων σε δύο πραγματικά έργα μεσαίου μεγέθους εφαρμόζοντας μία Νοήμονα Υπολογιστική Μέθοδο εμπνευσμένη από τον Φυσικό Κόσμο, την Βελτιστοποίηση Εμπνευσμένη από τον Ηχοεντοπισμό.

Abstract

Constructional projects include most of the times very demanding processes and are generally more complicated than other kind of projects. The majority of the individual activities that compose a technical construction project are carried out for a long time outdoors or under variable environmental conditions, introducing a high degree of uncertainty in the implementation of time scheduling. Often, financial constraints are added to the external unforeseen factors that may affect the development of a construction project, either as a result of schedule adjustments or due to technical changes imposed by the development of the project.

The constructional projects are unique in terms of their design and implementation since each one is implemented separately in a different environment and evolves in different periods of time while their completion takes a long time. They are consisted of constructional activities meaning that on the one hand they are often long-lasting and on the other hand they require the same or similar types of resources such as staff or equipment in order to be executed. These characteristics should be taken into account during the initial design in order to properly allocate resources throughout the project development range.

Although the individual tasks are distinct, there is interdependence between them as they are interlinked to successive long stages that are part of the same construction process, something that usually allows several tasks to be executed in time interval periods or at a variable rate during their total allowable duration. In real word, the execution of projects requires different amounts of resources per day of project execution. Since the construction site is a temporary and variable environment, efforts should be made to keep the average resource usage of resources as stable as possible so that no financial and time burden is introduced to the total cost of the project due to the need of transferring resources to the construction site.

Project Management and specifically Resource Management aims to improve the management of available resources. Resource Leveling is the field that deals with the ways in which a uniform use of resources can be achieved for a given fixed project duration. In essence, the right decisions must be made in order to follow the best resource management strategy and serve the purpose of completing a project on time at the lowest possible cost.

This is an optimization problem where the decision maker has to choose the best decision. Artificial Intelligence provided the first supportive tools to the decision maker since the second half of the twentieth century. The evolution of Artificial Intelligence, gradually offered new tools in

Resource Leveling of projects. The success of Evolutionary Algorithms in optimizing problems has given further boost to the application of new techniques that use Intelligent Computational Methods to solve problems. The Nature-Inspired Intelligent Methods which have recently been developed in this category, are proven to be extremely effective in solving difficult optimization problems.

Optimizing the usage of resources in complex projects is a problem which is not yet provided with an optimum solution. In bibliography, there are accurate solutions for small projects while approximate solutions are presented for medium-sized projects including particularities, such as the long duration of tasks or the correlations between them. The projects used for optimization are usually artificial and there are few successful resource smoothing efforts in real projects.

In the context of this work, first of all, the methods of time planning in technical projects are examined with a review of the literature but also with real examples of technical projects using the Microsoft Project software. In the present document, improved approximate solutions are achieved in two real medium-sized projects by applying an Intelligent Computational Method inspired by the Nature, called Sonar Inspired Optimization.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Περίληψη	2
Abstract	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
1.Εισαγωγή	11
1.1.1 Καθορισμός δραστηριοτήτων και εργασιών.....	13
1.1.2 Πρόγραμμα Εργασιών	14
1.1.3 Σημαντικότητα του Προγράμματος Εργασιών στα έργα.....	15
Εργαλεία Διαχείρισης Έργου.....	15
1.1.4 Ευθύγραμμα Γραφήματα/Διαγράμματα Gantt (Bar/Gantt Charts).....	16
1.1.5 Καμπύλες Μάθησης/Προόδου ή Καμπύλες S (S Curves).....	18
1.2.1.Βασικές έννοιες δικτυωτής ανάλυσης	19
1.2.2. Μέθοδος CPM	22
1.2.3. MS PROJECT.....	22
1.3.Υπολογιστική Νοημοσύνη.....	23
1.4.Υπολογιστικές Μέθοδοι Εμπνευσμένες από την Φύση.....	24
2.Βιβλιογραφική Επισκόπηση	26
2.1.Αλγόριθμοι Εμπνευσμένοι από τη Φύση.....	26
2.2.Νοημοσύνη Εμπνευσμένη από Φυσικά Φαινόμενα και Νόμους των Επιστημών (NEEΦΦΝΕ)	27
2.3. Χρήση Αλγορίθμων Εμπνευσμένων από τη Φύση στο πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής πόρων	27

3.ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ EXCEL	30
3.1.Αριθμητική Εφαρμογή 1.....	30
3.2.Αριθμητική Εφαρμογή 2.....	34
4.ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ MS PROJECT.....	43
4.1.Αριθμητική Εφαρμογή 1.....	43
4.2.Αριθμητική Εφαρμογή 2.....	49
5.Προβλήματα χρονικού προγραμματισμού με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων	55
5.1. Περιγραφή Προβλήματος	55
5.2.Επίλυση του αρχικού προβλήματος με συμβατικές μεθόδους Excel Solver.....	55
5.3.Επίλυση προβλήματος με έμμεσο κόστος με χρήση Excel Solver.....	58
5.4.Περιγραφή ανάπτυξης κώδικα με χρήση γενετικών αλγορίθμων στο περιβάλλον της Matlab	61
5.5. Αναλυτική επίλυση του ίδιου προβλήματος με γενετικούς αλγορίθμους	67
6.Συμπεράσματα	71
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Παράδειγμα γραφήματος Gantt (Λιάπης 2011)	17
Εικόνα 2: Γενική μορφή καμπύλης S (Δημητριάδης, 1996)	19
Εικόνα 3: Ενδεικτικό δικτυωτό γράφημα (Παντουβάκης 2002)	19
Εικόνα 4: Διάγραμμα MPM Αριθμητικής Εφαρμογής 1	31
Εικόνα 5: Συμπληρωμένο διάγραμμα MPM Αριθμητικής Εφαρμογής 1	32
Εικόνα 6: Κρίσιμο Μονοπάτι Δραστηριοτήτων Αριθμητικής Εφαρμογής 1	33
Εικόνα 7: Διάγραμμα Gantt Αριθμητικής Εφαρμογής 1	34
Εικόνα 8: Διάγραμμα AON χωρίς νωρίτερους χρόνους έναρξης και λήξης	37
Εικόνα 9: Διάγραμμα εργασιών με σημείωση της κρίσιμης διαδρομής	42
Εικόνα 10: Διάγραμμα Gantt Αριθμητικής Εφαρμογής 2	50
Εικόνα 11; Απεικόνιση Κρίσιμης Διαδρομής με χρήση Microsoft Project	51
Εικόνα 12: Πίνακας Κατανομής Προσωπικού	51
Εικόνα 13: Διάγραμμα Εξομαλυσμένης Κατανομής Εργατικού Προσωπικού	52
Εικόνα 14: Εβδομαδιαίο και αθροιστικό διάγραμμα κόστους	52
Εικόνα 15: Καρτέλα ενημέρωσης εργασιών στο Microsoft Project	53
Εικόνα 16: Ποσοτά εργασίας που έπρεπε να έχουν ολοκληρωθεί στην επιλεγμένη ημερομηνία ελέγχου	53
Εικόνα 17: Αναφορά Ημερομηνίας Ορόσημου στο Microsoft Project	53
Εικόνα 18: Λεπτομέρειες Κόστους	54
Εικόνα 19: Επίλυση προβλήματος με χρήση Excel Solver	57
Εικόνα 20: Επιλογή Μεταβλητών, Περιορισμών και Αντικειμενικής Συνάρτησης	58
Εικόνα 21: Επίλυση υποπροβλήματος με χρήση excel solver	59
Εικόνα 22: Ορισμός αντικειμενικής συνάρτησης, περιορισμών και μεταβλητών στο υποπρόβλημα χρονικού προγραμματισμού	60
Εικόνα 23: Ορισμός του προβλήματος με χρήση του optimization toolbox της Matlab	61

Εικόνα 24: Κώδικας ορισμού αντικειμενικής συνάρτησης στη Matlab	61
Εικόνα 25: Εισαγωγή Αντικειμενικής Συνάρτησης στο Optimization Toolbox	62
Εικόνα 26: Κωδικοποίηση των πινάκων του γραμμικού προβλήματος στη Matlab	62
Εικόνα 27: Στήσιμο του προβλήματος με το Genetic Algorithms Toolbox	63
Εικόνα 28: Εισαγωγή μεταβλητών	63
Εικόνα 29: Ορισμός Παραγωγής Γραφημάτων	64
Εικόνα 30; Τελικό αποτέλεσμα γραμμικού προβλήματος χρονικού προγραμματισμού.....	64
Εικόνα 31: Απαιτούμενες γενιές.....	64
Εικόνα 32: Γραφική απεικόνιση γενεών επίλυσης και τελικού αποτελέσματος	65
Εικόνα 33; Γραφική απεικόνιση επαναλήψεων.....	66
Εικόνα 34; Παραγωγή Source Code για το πρόβλημα	66
Εικόνα 35: Παραγωγή Source Code	67

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Εργασίες με χρήση πραγματικών δεδομένων	28
Πίνακας 2: Χρονικά στοιχεία δραστηριοτήτων και αλληλεξαρτήσεις	30
Πίνακας 3: Εύρεση αλληλουχίας εργασιών	36
Πίνακας 4: Πίνακας χρόνων γρηγορότερης έναρξης και λήξης	41
Πίνακας 5 Παρουσίαση έργου (Εγκατάσταση εργοταξίου)	43
Πίνακας 6; Πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού Αριθμητική Εφαρμογή 2	49
Πίνακας 7; Πρόβλημα προς επίλυση με μεθόδους εξελικτικών αλγορίθμων	55
Πίνακας 8: Διάγραμμα Έργου	56
Πίνακας 9: Αρχική κατάταξη 10 τυχαίων χρωμοσωμάτων	67
Πίνακας 10: Ταξινόμηση χρωμοσωμάτων	68
Πίνακας 11: Διασταύρωση χρωμοσωμάτων	68
Πίνακας 12: Μετάλλαξη χρωμοσώματος 4	69
Πίνακας 13: Ταξινόμηση χρωμοσωμάτων νέας γενιάς	69
Πίνακας 14: Νέα ταξινόμηση χρωμοσωμάτων	70
Πίνακας 15: Εύρεση βέλτιστης λύσης	70

1.Εισαγωγή

Αποτελεί διαχρονικό στόχο των Διαχειριστών Έργων η εκτέλεση των εργασιών οι οποίες συνθέτουν κάθε έργο με τρόπο που θα μειώνει το συνολικό κόστος διασφαλίζοντας παράλληλα την ποιότητα κατασκευής.

Η κατασκευή τεχνικών έργων είναι συνυφασμένη με την ανθρώπινη εξέλιξη, καθώς η ανακάλυψη των πρώτων εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο έδωσε την δυνατότητα της χρήσης τους ως βοηθήματα για την αποδοτικότερη εκτέλεση εργασιών, οι οποίες πραγματοποιούνταν κυρίως με χρήση της μυϊκής δύναμης.

Η εξέλιξη του ανθρώπινου είδους συνδέθηκε με την εξέλιξη των εργαλείων που χρησιμοποιούνταν για την εκτέλεση των καθημερινών εργασιών, που αρχικά αφορούσε πρωταρχικές βασικές ανάγκες. Σταδιακά, η οργάνωση των ανθρώπινων κοινωνιών με την συγκέντρωση αρκετών μελών σε περιορισμένο χώρο έκανε επιτακτική την ανάγκη εκτέλεσης εργασιών που αφορούν μεγαλύτερο πλήθος μελών της. Με αυτόν τον τρόπο, η αρχική αναζήτηση τροφής από ένα άτομο που χρησιμοποιούσε ένα εργαλείο, εξελίχθηκε στην υλοποίηση τεχνικών έργων που αποτελούνται από πολλές εργασίες εκτελούμενες από πλειάδα ανθρώπων, χρησιμοποιώντας μεγάλο πλήθος εργαλείων και τεχνικών μέσων ενώ πλέον σπάνια τα τεχνικά έργα κατασκευάζονται για να καλυφθούν οι ανάγκες ευρύτερου τμήματος της κοινωνίας σε σχέση με τους εμπλεκομένους στην κατασκευή αυτών.

Η διαρκής προσπάθεια για έλεγχο και συντονισμό όλων των εργασιών ώστε να επιτευχθεί καλύτερο αποτέλεσμα έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη της Διοίκησης Έργων. Η Διοίκηση Πόρων, ως τμήμα της Διοίκησης Έργων, εστιάζει στους τρόπους χρησιμοποίησης των απαραίτητων πόρων για την εκτέλεση όλων των εργασιών που απαρτίζουν ένα έργο, όπως το ανθρώπινο δυναμικό και ο μηχανολογικός εξοπλισμός.

Η βελτίωση του τρόπου χρησιμοποίησης των πόρων αποτελεί αντικείμενο της τεχνικής Κατανομής Πόρων (Resource Allocation) η οποία στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της χρονικής διάρκειας χρησιμοποίησης πόρων μέσω του Προγραμματισμού Πόρων (Resource Scheduling) και στην ομοιόμορφη χρήση πόρων για δεδομένη σταθερή διάρκεια έργου μέσω της Εξομάλυνσης Πόρων (Resource Leveling).

Εξετάζοντας την Βιβλιογραφία, η Εξομάλυνση Πόρων σε τεχνικά έργα επιχειρήθηκε να εφαρμοστεί με χρήση μαθηματικών προσεγγίσεων οι οποίες ήταν αποδοτικές σε περιορισμένου

μεγέθους έργα. Σε αυξανόμενη πολυπλοκότητας έργα χρησιμοποιήθηκαν ευρετικές μέθοδοι, ανάλογες με τις ιδιαιτερότητες του κάθε έργου, εξασφαλίζοντας σε μεγάλο βαθμό την εύρεση λύσεων που αφορούσαν τα συγκεκριμένα έργα. Πιο πρόσφατα, εφαρμόστηκαν εξελικτικές προσεγγίσεις (Εξελικτικοί Αλγόριθμοι), οι οποίες βελτιώνουν ικανοποιητικά την ομοιομορφία χρησιμοποίησης των πόρων.

Από το ξεκίνημα του 20^{ου} αιώνα παρουσιάστηκε μια βασική ανάγκη εντός του περίπλοκου περιβάλλοντος της διοίκησης – διαχείρισης έργου, να δημιουργηθούν τα κατάλληλα εργαλεία και μεθοδολογίες, με στόχο τη βοήθεια της προόδου του έργου καθώς και των καθηκόντων του. Ο βασικός στόχος των μεθοδολογιών αυτών είναι ο εξής:

- Να βοηθήσουν στο να ελεγχθεί ο χρόνος. Με αυτόν τον τρόπο ο διευθυντής κατέχει μια συνολική εικόνα του χρονοδιαγράμματος των εργασιών καθώς και του συνόλου του έργου
- Να βοηθήσουν στο να ελέγχονται τα μέσα παραγωγής. Και πάλι ο διευθυντής του έργου έχει επίγνωση της σύνθεσης των ομάδων εργασίας και είναι εφικτό να κάνει προγραμματισμό για τις προμήθειές του, τους υπεργολάβους που έχει στη διάθεσή του για το έργο, τις ενέργειες συντήρησης εξοπλισμού του κλπ.

Όπως παρατηρείται, ο κύριος στόχος των προγραμματιστικών μεθοδολογιών είναι το να δημιουργηθεί ένα δίκτυο σχέσεων μεταξύ των δράσεων που να εμφανίζει με γραφικό τρόπο τις επάλληλες σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων του έργου. Ενέργειες που πρέπει να προηγηθούν ή να έπονται άλλων δραστηριοτήτων πρέπει να προσδιοριστούν και από χρονικής και από λειτουργικής άποψης και τελικά μέσω της χρήσης ποικίλων πόρων (εξοπλιστικά μέσα, ανθρώπινο δυναμικό κλπ) το επόμενο βήμα είναι να εκτελεστούν. Πλέγματα σαν κι αυτό θεωρούνται ως ο ακρογωνιαίος λίθος του συστήματος προγραμματισμού και τα πλεονεκτήματα που έχουν είναι τα ακόλουθα:

- Θεωρούνται τα σταθερά πλέγματα για το σχεδιασμό, τον προγραμματισμό, την παρακολούθηση και τον έλεγχο των εργασιών
- Παρουσιάζουν την εξάρτηση του συνόλου των ενεργειών και των τομέων εργασίας
- Υποδηλώνουν τα χρονικά πλαίσια κατά τα οποία συγκεκριμένο μεμονωμένο ανθρώπινο δυναμικό ή πόροι είναι προς διάθεση για εργασία για κάποια δραστηριότητα
- Συμβολή στο να προσδιορισθεί μια αναμενόμενη ημερομηνία για την ολοκλήρωση του έργου

- Εντοπισμός των «κρίσιμων» δραστηριοτήτων, οι οποίες σε ενδεχόμενη καθυστέρησή τους θα οδηγήσουν στο να καθυστερήσει το έργο στο σύνολό του. Επίσης εντοπίζονται και εκείνες οι δραστηριότητες που η πιθανή καθυστέρησή τους δεν θα έχει επιρροές στην τελική ολοκλήρωση του έργου.
- Επίλυση και αποφυγή διαπροσωπικών συγκρούσεων με το να επιδειχθούν ευκρινώς οι εξαρτήσεις των ενεργειών κλπ

Ορισμένες εκ των κυρίων μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προγραμματιστεί το έργο και να ολοκληρωθούν επιτυχώς οι προαναφερθέντες στόχοι, παρουσιάζονται ακολούθως:

- Ευθύγραμμα γραφήματα ή γραφήματα Gantt: Μια μέθοδος με απεικόνιση σε διαγράμματα που αποτελείται από παράλληλες ευθείες γραμμές. Είναι χρήσιμη κατά κύριο λόγο σε έργα με απλή διάταξη εργασιών και δομή σειριακής μορφής.
- Καμπύλες προόδου (progress curves): Καμπύλες με σχήμα το λατινικό γράμμα S (εξ ου και η εναλλακτική τους ονομασία ως S curves), που εποπτεύουν την φυσική πρόοδο αλλά και την οικονομική ροή του έργου
- Μέθοδοι CPM, MPM, PERT: Τα αρκτικόλεξα των μεθόδων αυτών βγαίνουν αντιστοίχως από τις αγγλικές ονομασίες: Critical Path Method, Metra Potential Method και Proect Evaluation and Review Technique. Αυτές αποτελούν μεθόδους δικτυωτών αναλύσεων που καθιστούν εφικτή την απεικόνιση και τον προγραμματισμό του έργου με τη χρήση δικτύων ροής με τόξα και κόμβους.

1.1. Πρόγραμμα εργασιών

1.1.1 Καθορισμός δραστηριοτήτων και εργασιών

Πριν κατασκευαστούν τα Προγράμματα Εργασιών (Χρονοδιάγραμμα έργων) προηγείται η ενέργεια του προσδιορισμού των δραστηριοτήτων προκειμένου να αναγνωριστούν και να καταταχθούν με την ορθότερη προτεραιότητα, αναλόγως του πόσο κρίσιμες είναι, ώστε να εκτελεστεί και να διεκπεραιωθεί επιτυχώς το έργο. Επιπροσθέτως, είναι απαραίτητο να καθοριστούν όλα όσα είναι αναγκαία για να ελεγχθεί αποτελεσματικά η διαδικασία κατασκευής. Διακρίνουμε τρία είδη δραστηριοτήτων: εφοδιαστικές (procurement) που εμπεριέχουν τις παραγγελίες και παραλαβές εξοπλιστικών μέσων και υλικών και χαρακτηρίζονται από εκτενείς χρονικές περιόδους, οι δραστηριότητες παραγωγής

(production) που είναι όσες κρίνονται αναγκαίες ώστε να αποπερατωθεί το ίδιο το έργο και τέλος, οι δραστηριότητες διαχείρισης (management) που απαρτίζονται από ό,τι είναι απαραίτητο για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό. (Καδινόπουλος 2009). Επιπλέον, πρέπει να καθοριστεί η διάρκεια των ενεργειών. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι όρος του συμβολαίου το ανώτερο όριο διαρκείας ορισμένων εκ των δραστηριοτήτων (Mubrank 2005). Στις περιπτώσεις τεχνικών έργων, ως επί το πλείστον, οι διάρκειες προσδιορίζονται μέσω εργασίμων ημερών οι οποίες συνηθέστατα συμπεριλαμβάνουν πέντε μέρες ως εργάσιμη εβδομάδα.

Επίσης, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν και οι μη εργάσιμες μέρες (πχ αργίες, μέρες βροχής). Στο συμβόλαιο προσδιορίζονται οι επίσημες αργίες αλλά και ο επιτρεπόμενος αριθμός ημερών βροχής που είναι δυνατόν να παρουσιαστούν και να οδηγήσουν σε μερική παύση των εργασιών. Η εξαγωγή των προβλέψεων αυτών βασίζεται σε στοιχεία μετεωρολογικά για την περιοχή όπου θα ολοκληρωθεί το έργο.

1.1.2 Πρόγραμμα Εργασιών

Ακολούθως, αφού καθοριστούν οι δραστηριότητες και οι εργασίες του έργου δημιουργείται το πρόγραμμα εργασιών που αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την καλύτερη διαχείριση του έργου και την βελτιωμένη παρακολούθηση της προόδου των εργασιών σε πραγματικό χρόνο. Η δημιουργία ενός Προγράμματος Εργασιών δίνει την δυνατότητα προγραμματισμού των Εργασιών, καθώς και τη παρουσίαση της χρονικής και κατασκευαστικής προόδου των εργασιών από μέρους του Εργολάβου. Συγκαταβατικά είναι δυνατή η παρακολούθηση της προόδου της εργασίας και να γίνεται μια εκτίμηση ως προς την ημερομηνία για την ολοκλήρωση του έργου. Είναι δυνατόν εκτός των άλλων να στοιχειοθετηθεί η εξέλιξη των εργασιών και να γίνει παρουσίαση στον Εργοδότη σε όσους τον αντιπροσωπεύουν. Εν τέλει, μπορεί να γίνει εκτίμηση ενός χρονικού πλαισίου για την αποπεράτωση του έργου.

Οι δραστηριότητες του έργου συνδέονται με σχέσεις ή δεσμεύσεις (Constrains) μεταξύ τους. Οι εν λόγω σχέσεις είναι οι εξής (Λιαπής Ιωάννης 2011):

- **Σχέσεις Τέλους – Έναρξης** (Finish to Start - **FS**), σε αυτήν την περίπτωση κάθε καινούρια δραστηριότητα ξεκινά μόνο όταν ολοκληρωθεί κάποια άλλη.

- **Σχέσεις Τέλους – Τέλους (Finish to Finish - FF)**, όπου το πέρας μιας ενέργειας εξαρτάται και μπορεί να καθοριστεί από το πέρας κάποιας άλλης δραστηριότητας.
- **Σχέσεις Έναρξης – Τέλους (Start to Finish - SF)**, όπου το τέλος μιας δραστηριότητας εξαρτάται από την έναρξη κάποιας άλλης.
- **Σχέσεις Έναρξης – Έναρξης (Start to Start - SS)**, όπου η έναρξη κάποιας δραστηριότητας εξαρτάται από την έναρξη κάποιας άλλης.

1.1.3 Σημαντικότητα του Προγράμματος Εργασιών στα έργα

Στη διάρκεια της κατασκευής ενός οικοδομικού/τεχνικού έργου είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν διλήμματα και οι εμπλεκόμενοι φορείς πρέπει να αντιμετωπίσουν και να διαχειρισθούν κινδύνους και ρίσκα που δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν. Οι κίνδυνοι αυτοί προκύπτουν λόγω διαχειριστικών αμελειών και κακής διεύθυνσης που με την βοήθεια κομβικών μεθοδολογιών όπως το Πρόγραμμα Εργασιών είναι δυνατόν να επιλυθούν.

Παραδείγματος χάριν η εμφάνιση ρίσκου εν αναλογία με το χρόνο είναι δυνατόν με τη χρησιμοποίηση του προγράμματος εργασιών να αναλυθεί και να γίνει τεκμηρίωση και υπόδειξη απαιτήσεων για χρονικές παρατάσεις. Με ένα καλώς ενημερωμένο πρόγραμμα γίνεται εφικτή η κατανόηση και η αφομοίωση των ρίσκων των καθυστερήσεων. Επιπλέον, με τακτική ενημέρωση αυτών στη διάρκεια κατασκευής του έργου είναι δυνατόν να αποφευχθούν τυχόν καθυστερήσεις που ίσως και να προέκυπταν. Εάν όμως δεν υπάρχει τακτική και διαχείριση τότε ο απαιτητής (Υπεργολάβος, Εργοδότης, Πολιτικός Μηχανικός κ.τ.λ.) θα έχει την ευθύνη για να αποδειχθούν οι αιτίες των καθυστερήσεων.

Εργαλεία Διαχείρισης Έργου

Κάνοντας χρήση των εργαλείων για την διαχείριση του έργου δύναται να δοθεί απάντηση σε βασικά ερωτήματα που αφορούν στην αποτελεσματική παρακολούθηση της πορείας του έργου. Για παράδειγμα:

- Τη χρονική στιγμή ολοκλήρωσης του έργου.

- Το πότε είναι προγραμματισμένη η έναρξη και η λήξη των ανάλογων δραστηριοτήτων των κύριων τμημάτων του έργου.
- Ποιες είναι οι δραστηριότητες που χαρακτηρίζονται ως κρίσιμες διότι επηρεάζουν την χρονική διάρκεια του έργου ως σύνολο όσον αφορά στον χρόνο παράδοσης του.
- Ποιες δραστηριότητες δύναται να καθυστερήσουν χωρίς να επηρεάσουν τον χρόνο παράδοσης του συνολικού έργου αλλά και πόση μπορεί να είναι αυτή η καθυστέρηση.
- Ποια η πιθανότητα να παραδοθεί το έργο σε μία ορισμένη χρονική στιγμή.
- Ποιες είναι οι δραστηριότητες όπου ο υπεύθυνος πρέπει να επιστήσει την προσοχή του για κάθε χρονική στιγμή του έργου.
- Με ποιους τρόπους μπορεί η διαδικασία της εκτέλεσης του έργου να επιταχύνει και ποιες είναι οι δράσεις που επηρεάζονται.
- Κατά πόσο είναι εφικτό να μεταφερθούν πόροι από μία λιγότερο κρίσιμη σε μία κρίσιμη δραστηριότητα.

1.1.4 Ευθύγραμμα Γραφήματα/Διαγράμματα Gantt (Bar/Gantt Charts)

Το διάγραμμα Gantt είναι ένα μαθηματικό εργαλείο για τον έλεγχο της παραγωγής που δημιουργήθηκε από τον Henry L. Gantt στις αρχές του 20ου αιώνα. Αφορά ένα οριζόντιο ιστόγραμμα το οποίο περιλαμβάνει την καθολική γραφική απεικόνιση ενός έργου και επιπλέον βοηθάει στην σχεδίαση, τον συντονισμό και στην εξειδίκευση όσον αφορά στις εργασίες ενός έργου.

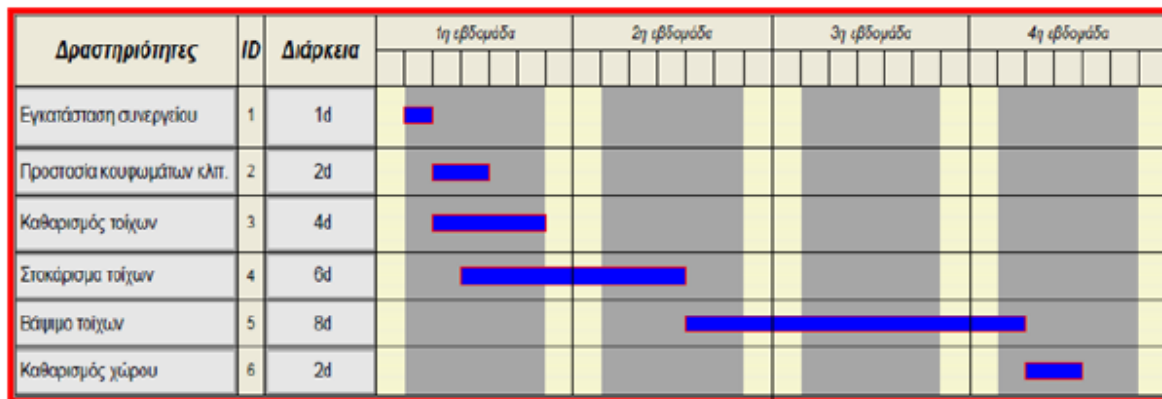
Η κατασκευή του γίνεται σε ένα οριζόντιο άξονα ο οποίος αναπαριστά την χρονική διάρκεια του έργου και διαμορφώνεται σε διαστήματα (πχ. σε ημέρες, σε εβδομάδες ή σε μήνες) και σε έναν κάθετο άξονα που αφορά τις εργασίες ή τις δραστηριότητες που έχουν να κάνουν με το έργο.

Οι δραστηριότητες του έργου αναπαρίστανται με ευθύγραμμα τμήματα (ή με ορθογώνια παραλληλόγραμμα) με μήκος που εξαρτάται από την χρονική διάρκεια. Τα ευθύγραμμα τμήματα (ή αντίστοιχα τα ορθογώνια παραλληλόγραμμα) τοποθετούνται παράλληλα στον άξονα των χρόνων που είναι και ο οριζόντιος άξονας, με αρχή την χρονική στιγμή που ξεκίνησε η δραστηριότητα. Η περιγραφή κάθε δραστηριότητας γίνεται στον κάθετο άξονα,

στο ύψος του ευθύγραμμου τμήματος που αφορά την κάθε δραστηριότητα.

Μέσω του διαγράμματος Gantt δίνεται η δυνατότητα να διενεργείται έλεγχος των δραστηριοτήτων αλλά και να παρθούν αποφάσεις όσον αφορά τις ενέργειες που χρειάζεται να γίνουν αν μία δραστηριότητα αποκλίνει από τα δοσμένα αρχικά πλαίσια του προγραμματισμού της.

Ένα παράδειγμα γραφήματος Gantt παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα που ακολουθεί και αφορά το απλό έργο της "βαφής τοίχων". Το γράφημα αυτό, το λαμβάνουμε με τη βοήθεια του λογισμικού Microsoft Office Visio 2007, για το σχεδιασμό γραφημάτων Gantt:



Εικόνα 1: Παράδειγμα γραφήματος Gantt (Λιάπης 2011)

Τα γραφήματα Gantt θεωρούνται απλά στον σχεδιασμό τους, εύκολα στην ανάγνωση τους, άκρως κατανοητά και με εύρος εφαρμογών, γι' αυτό είναι μία από τις εφαρμόσιμες μεθόδους για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο. Είναι ένας από τους πιο γρήγορους και απλούς τρόπους για να αναπαρασταθεί η πρόοδος ενός έργου αλλά και η έλλειψη της και είναι εύκολη η ανάλυση τους για να εντοπιστούν δραστηριότητες και λοιπά στοιχεία του έργου που μπορεί να είναι εντός ή εκτός του αρχικού προγράμματος.

Πολύ σημαντικό μειονέκτημα των παραπάνω γραφημάτων είναι ότι δεν είναι εφαρμόσιμα σε έργα που απαρτίζονται από πολλές δραστηριότητες. Αυτό προκύπτει από το ότι με τα ευθύγραμμα ραβδογράμματα με τα οποία γίνεται η παρουσίαση της ιδέας του έργου, είναι δύσκολος ο εντοπισμός της αλληλεξάρτησης μεταξύ των δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση καθυστέρησης κάποιας δραστηριότητας, δεν δύναται να υπολογιστεί η γενική καθυστέρηση πραγμάτωσης του έργου. Με αυτό τον τρόπο, τα γραφήματα του

Gantt παρουσιάζουν μικρή αξία πρόβλεψης και ανάλυσης και δεν υποδεικνύουν την αβεβαιότητα που εντοπίζεται στην πραγματοποίηση των δραστηριοτήτων του έργου.

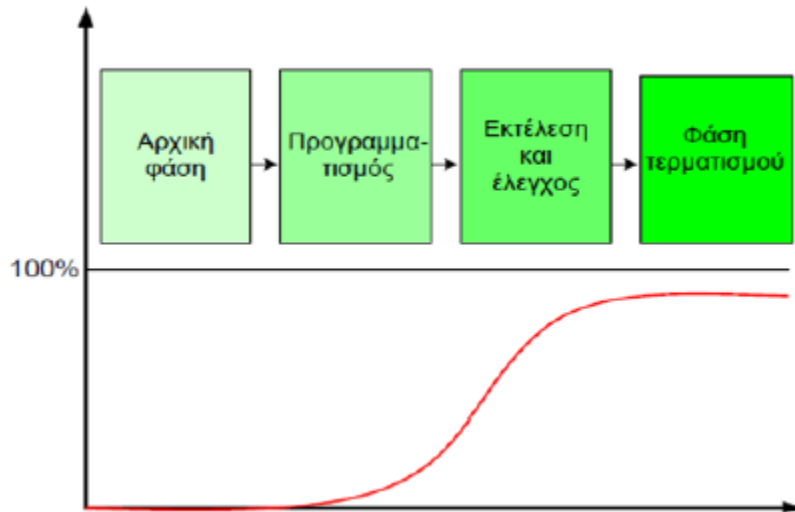
1.1.5 Καμπύλες Μάθησης/Προόδου ή Καμπύλες S (S Curves)

Οι καμπύλες προόδου που είναι γνωστές και ως καμπύλες S, είναι εύκολα στην χρήση τους μαθηματικά εργαλεία όσον αφορά το κομμάτι της διαχείρισης ενός έργου, αφού δίνουν μία γραφική απεικόνιση κάποιου αθροιστικού μεγέθους της προόδου του έργου (όπως το κόστος, οι εργατοώρες, η αξία σε χρήμα που έχει προγραμματιστεί ή εκτελεστεί, το μέγεθος της εργασίας αλλά και διάφορα άλλα ποσοτικά μεγέθη), το οποίο παρουσιάζεται στον κάθετο άξονα και στον οριζόντιο τοποθετείται ο χρόνος.

Το όνομα τους, "καμπύλες S", προκύπτει από το γεγονός ότι το σχήμα τους μοιάζει με το λατινικό γράμμα S. Η καμπύλη ξεκινάει με μικρή κλίση, στην συνέχεια αυξάνεται και συνεχίζει να μειώνεται με προοδευτικό ρυθμό ως το τέλος της. Αυτό προκύπτει από την πραγματική συμπεριφορά ενός έργου: ξεκινάει με εργασίες που προχωρούν αργά, εν συνεχεία οι ρυθμοί αυξάνονται μέχρι ένα σημείο κορύφωσης και τέλος το έργο συνεχίζει με μικρότερους ρυθμούς.

Ανάλογα με το τμήμα του έργου που θέλουμε να μελετήσουμε (π.χ. το κοστολόγιο του, τον στόχο του, τη χρονική του διάρκεια, κλπ.) χρησιμοποιούμε τις καμπύλες S που μας προσδιορίζουν την πρόοδο. Οι τύποι των καμπυλών S είναι οι εξής:

- Καμπύλη S για το κόστος του έργου συναρτήσει του χρόνου (εφαρμόζεται σε έργα που εμπεριέχουν χειρωνακτικές αλλά και μη χειρωνακτικές εργασίες).
- Καμπύλη S για τον στόχο, η οποία μας δίνει την ιδανική πρόοδο του έργου με την προϋπόθεση ότι οι δραστηριότητες του θα ολοκληρωθούν βάσει του προγραμματισμού τους.
- Καμπύλη S για την αξία και το ποσοστό. Η καμπύλη S του ποσοστού είναι χρήσιμη στο να υπολογιστεί το πραγματικό κόστος του εκτελέσιμου έργου. Οι τιμές για τα μεγέθη της προόδου μπορούν να εμφανιστούν κι ως ποσοστά επί τις εκατό του συνόλου της ποσότητας που απαιτεί το έργο.
- Πραγματική καμπύλη S, η οποία έχει να κάνει με την μελέτη της πραγματικής προόδου του έργου έως τη στιγμή της μελέτης μας.

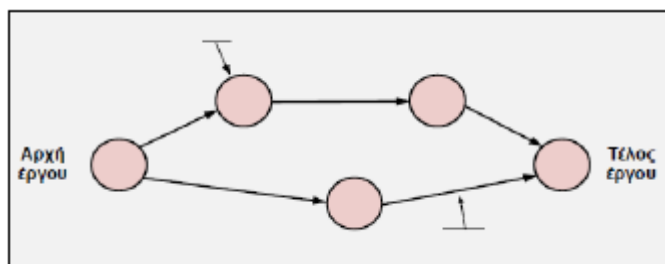


Εικόνα 2: Γενική μορφή καμπύλης S (Δημητριάδης, 1996)

1.2. Μέθοδοι δικτυωτής ανάλυσης

1.2.1. Βασικές έννοιες δικτυωτής ανάλυσης

Με τον όρο δικτυωτό γράφημα ή απλά δίκτυο αναφερόμαστε σε μία σχηματική απεικόνιση μεταξύ των δραστηριοτήτων που συνδέονται και είναι απαραίτητες για την διεκπεραίωση του έργου. Ένα δίκτυο αποτελείται από κλειστά σχήματα (κατά κύριο λόγο κύκλους ή ελλείψεις ή παραλληλόγραμμα) με το όνομα κόμβοι (ή γεγονότα) αλλά και από ευθύγραμμα τμήματα τα οποία έχουν προσανατολισμό και ενώνουν τους κόμβους, τα οποία ονομάζουμε βέλη (ή τόξα). Ο σχεδιασμός των δικτύων γίνεται από αριστερά προς τα δεξιά, όπως στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3: Ενδεικτικό δικτυωτό γράφημα (Παντουβάκης 2002)

Από τον ορισμό του έργου (όπως αναφέραμε, έργο είναι μία ακολουθία που αποτελείται από μοναδικές και σύνθετες δραστηριότητες που αλληλοσχετίζονται που στόχο έχουν την

πραγμάτωση ενός συγκεκριμένου σκοπού) συμπεραίνουμε ότι οι δραστηριότητες που το απαρτίζουν πρέπει να γίνονται με καθορισμένη σειρά ή σε άλλες περιπτώσεις να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Σχέσεις αλληλουχίας οπότε ονομάζουμε τις σχέσεις που συνδέουν τις δραστηριότητες όπου η μία προηγείται της άλλης. Παραδείγματος χάρη, έστω ότι έχουμε να κατασκευάσουμε ένα πολυώροφο κτίριο. Προφανώς, ο πρώτος όροφος θα κατασκευαστεί αφού έχουν κατασκευαστεί τα θεμέλια πρώτα. Δηλαδή το να κατασκευαστούν τα θεμέλια προηγείται σαν δραστηριότητα της κατασκευής του πρώτου ορόφου. Τέτοιες σχέσεις αλληλουχίας, με προέλευση την φύση των πραγμάτων που δεν επιδέχονται μεταβολή, ονομάζονται αμετάβλητες ή μη αιωρούμενες.

Υπάρχουν ωστόσο και αλληλουχίες που έχουν προέλευση τους περιορισμούς των παραγωγικών μέσων. Ας πούμε ότι θέλουμε να κατασκευαστούν δύο πολυκατοικίες, θα τις ονομάσουμε Α και Β. Διαθέτουμε όμως μόνο έναν εκσκαφέα που θα πραγματοποιήσει την εκσκαφή πρώτα των θεμελίων της Α και στη συνέχεια της Β, οπότε η δραστηριότητα της εκσκαφής των θεμελίων της Α προηγείται της δραστηριότητας της εκσκαφής των θεμελίων της Β. Αν όμως διαθέταμε δύο εκσκαφείς θα μπορούσαμε να πραγματοποιήσουμε τη θεμελίωση των πολυκατοικιών Α και Β ταυτοχρόνως. Τέτοιου είδους αλληλουχίες μεταξύ των δραστηριοτήτων που αφορούν στους περιορισμούς των παραγωγικών μέσων και έχουν την δυνατότητα να μεταβληθούν με την προσθήκη μέσων τις ονομάζουμε μεταβλητές.

Η μέθοδος προγραμματισμού με την οποία πραγματοποιείται ο έλεγχος των έργων που βασίζονται στα δικτυωτά γραφήματα, ονομάζεται δικτυωτή ανάλυση. Εκτός από το ότι μπορεί να γίνει απεικόνιση σε γράφημα μεταξύ των σχέσεων των δραστηριοτήτων που απαρτίζουν το έργο, περιλαμβάνεται και μία διαδικασία που αναφέρει ποια είναι η σχετική χρονική σημασία μίας δραστηριότητας του έργου. Η σχετική χρονική σημασία εντοπίζεται προσδιορίζοντας την συνολική διάρκεια του έργου αλλά και:

- την στιγμή που ξεκινάει η δραστηριότητα, πιο νωρίς ή πιο αργά έτσι ώστε να μην κωλυσιεργήσει το έργο.
- τα χρονικά περιθώρια της δραστηριότητας, τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.

Ο στόχος της δικτυωτής ανάλυσης, αλλά και γενικότερα των μεθόδων προγραμματισμού και του ελέγχου των έργων, είναι η πραγματοποίηση του έργου μέσα στα ζητούμενα χρονικά όρια και όρια κόστους με το απαιτούμενο ποιοτικό επίπεδο. Μέσω των μεθόδων δικτυωτής ανάλυσης λοιπόν επιτυγχάνεται:

- Η κατάλληλη προετοιμασία για την πραγματοποίηση κάθε δραστηριότητας του έργου.
- Η εκτίμηση του ολικού χρόνου για την πραγμάτωση του.
- Ο εντοπισμός των δραστηριοτήτων που αναφέραμε ως κρίσιμες και από αυτές εξαρτάται ο συνολικός χρόνος του έργου.
- Η πρόβλεψη των χρηματικών ροών του έργου.
- Η αύξηση του βαθμού χρησιμοποίησης των παραγωγικών μέσων που απαιτούνται για το έργο.
- Ο προσδιορισμός των χρηματοοικονομικών επιπτώσεων που θα επισύρει η καθυστέρηση των δραστηριοτήτων του έργου.
- Η εκτίμηση του κοστολογίου αναλόγως αν το έργο επιταχύνει ή καθυστερεί.
- Ο έλεγχος της χρονικοοικονομικής πορείας πραγμάτωσης του έργου.

Τα στάδια της δικτυωτής ανάλυσης είναι τα παρακάτω:

1. Η ανάλυση του έργου σε επιμέρους δραστηριότητες.
2. Ο προσδιορισμός των σχέσεων που συνδέουν τις δραστηριότητες.
3. Ο προσδιορισμός μεθόδων εκτέλεσης των δραστηριοτήτων.
4. Η εκτίμηση του χρονικού πλαισίου και του κοστολογίου των δραστηριοτήτων.
5. Ο σχεδιασμός του δικτύου αναλόγως την μέθοδο της δικτυωτής ανάλυσης που έχει επιλεγεί
6. Η επίλυση του δικτύου για να προσδιοριστεί η νωρίτερη και η αργότερη χρονική στιγμή που ξεκινάει και λήγει μία δραστηριότητα.
7. Ο υπολογισμός των χρονικών πλαισίων των δραστηριοτήτων και των γεγονότων του έργου.
8. Η κατασκευή ενός πίνακα που περιέχει το σύνολο των στοιχείων των δραστηριοτήτων.
9. Η κατάρτιση ενός ευθύγραμμου τμήματος (διαγράμματος Gantt) για το έργο.

10. Η εκτίμηση του κοστολογίου για το σύνολο των δραστηριοτήτων και για την κατασκευή της καμπύλη προόδου (της καμπύλης S).

Η πετυχημένη πραγματοποίηση των παραπάνω σταδίων ισοδυναμεί με την πραγματοποίηση του σχεδιασμού και του προγραμματισμού του έργου. Το εκτιμώμενο πρόγραμμα υλοποίησης του έργου περιλαμβάνει τα στάδια της σχεδίασης και του προγραμματισμού. Το εν λόγω πρόγραμμα χρησιμεύει στον έλεγχο του έργου κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής του.

Εν συνεχεία θα εξεταστεί η μέθοδος του προγραμματισμού ελέγχου που χρησιμοποιείται συχνά και στηρίζεται στην απόδοση της εικόνας ενός έργου με την χρήση δικτυωτών γραφημάτων. Η μέθοδος καλείται CPM (Critical Path Method) και περιλαμβάνει γραφήματα με προσανατολισμό. Καλείται και μέθοδος κρίσιμης διαδρομής.

1.2.2. Μέθοδος CPM

Η μέθοδος CPM εμφανίστηκε στα μέσα του 20ου αιώνα και δημιουργήθηκε από τη DuPont και το τμήμα UNIVAC ώστε να αναπτυχθεί μία διαδικασία για τον χρονικό προγραμματισμό των εργοστασίων που επεξεργάζονταν χημικές ουσίες που ξεκίνησαν να κλείνουν και καθορίζει τις κρίσιμες εργασίες. Βάσει της μεθόδου CPM γίνεται ο υπολογισμός του νωρίτερου και αργότερου χρόνου που ξεκινάει και λήγει μία εργασία.

Για να εφαρμοστεί ορθά η μέθοδος πρέπει να υπολογιστεί η κρίσιμη διαδρομή του έργου το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των κρίσιμων εργασιών, οι οποίες αν καθυστερήσουν συνεπάγεται την καθυστέρηση διεκπεραίωσης του έργου.

1.2.3. MS PROJECT

Το MS Project (Microsoft Project) είναι ένα πρόγραμμα που διαχειρίζεται έργα και στο οποίο μπορεί να γίνει σχεδιασμός, διαχείριση και να μεταδοθεί με αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο το χρονικό διάγραμμα και οι πληροφορίες που κατέχουμε για κάποιο έργο. Πριν την έναρξη ενός έργου είναι απαραίτητο να γίνει ο καθορισμός των στόχων του και στην συνέχεια να γίνει ο προσδιορισμός των βημάτων που χρειάζονται για την πραγμάτωση τους. Αφού γίνει αυτό, στη συνέχεια πρέπει να αποφασιστεί ποιος θα είναι ο εκτελεστής, ο χρόνος εκκίνησης και η χρονική διάρκεια μέχρι τη λήξη τους. Επιπρόσθετα, συγχρόνως με τον σχεδιασμό πρέπει να αποφασιστεί και το κόστος του έργου. Όταν ξεκινάει ένα έργο οφείλουμε να παρακολουθούμε την πρόοδο της εκάστοτε εργασίας, Για παράδειγμα, οφείλουμε να ελέγχουμε την πρόοδο του έργου. Μετέπειτα μπορεί να χρειαστούν ανακατατάξεις σε περιπτώσεις απρόβλεπτων γεγονότων,

για παράδειγμα το να μην παραδοθούν στην ώρα τους τα υλικά ή το να ασθενήσει κάποιος εργαζόμενος. Λόγω τέτοιων συμβάντων το χρονοδιάγραμμα διαμορφώνεται ώστε να ενημερωθούν οι συναποφασίζοντες συνεργάτες στο έργο. Ο χειρισμός κάποιου έργου περιέχει εφαρμογές ποικίλων δραστηριοτήτων που αφορούν τον συντονισμό και την διαχείριση. Το να διατηρηθεί ο έλεγχος κατά την διεξαγωγή του έργου και ως την πραγμάτωσή του είναι πράγματι μία πρόκληση. Με το MS Project δίνεται η δυνατότητα της σχεδίασης, της διαχείρισης και του συντονισμού του έργου από την στιγμή που θα το συλλάβουμε μέχρι την στιγμή που θα ολοκληρωθεί. Επιπλέον, με την βοήθεια αυτού του προγράμματος εκτός του ότι μπορούμε να αποθηκεύσουμε και να εμφανίσουμε πληροφορίες, μπορεί να γίνει και εφαρμογή υποθετικών σεναρίων ώστε να γίνει η πρόβλεψη και η αντιμετώπιση ορισμένων γεγονότων και περιστατικών στο έργο. Με αυτό το πρόγραμμα λοιπόν μπορεί να γίνει μία σίγουρη διαχείριση του έργου μας.

Με το MS PROJECT δύναται να δημιουργηθούν και να τροποποιηθούν οι εργασίες για να επιτευχθεί ο στόχος με τον καλύτερο δυνατό τρόπο αλλά και για να γίνει η καλύτερη αρχική σχεδίαση του έργου. Επίσης, βάσει του προγράμματος αυτού γίνεται πιο γρήγορος ο υπολογισμός των χρονοδιαγραμμάτων και είναι εφικτό να υπολογιστούν τυχούσες αλλαγές στο έργο και πως αυτές θα το επηρεάσουν. Οι καινούριες εργασίες ή εκείνες που έχουν ξεπεραστεί, οι εργασίες που επηρεάζονται από ενδιάμεσες ημερομηνίες ή μη κανονική διαθεσιμότητα ενός πόρου, υπήρχε περίπτωση να μην εντοπιστούν αν δεν υπήρχε το εν λόγω πρόγραμμα το οποίο τις έχει υπό έλεγχο. Χωρίς πρόγραμμα ακόμα και η διαδικασία της ενημέρωσης των ατόμων που απαρτίζουν την ομάδα του έργου μόνο παρουσιάζοντας τους τις πληροφορίες θα ήταν κουραστική. Οι εργαζόμενοι πρέπει να είναι ενημερωμένοι για τα καθήκοντα τους αλλά και για το χρονικό περιθώριο που τους δίνεται. Εκτός από τους εργαζόμενους, ενημερωμένη πρέπει να είναι και η διοίκηση όσον αφορά την πορεία του έργου. Το πρόγραμμα αυτό είναι ένας γρήγορος τρόπος για να αντλήσουμε αναφορές και πληροφορίες που έχουμε ανάγκη για να είμαστε ενήμεροι για την πορεία του έργου και να κρατάμε και τα άτομα που απαρτίζουν την ομάδα του έργου ενήμερα.

1.3.Υπολογιστική Νοημοσύνη

Η απαρχή ανάπτυξης της Υπολογιστικής Νοημοσύνης βασίστηκε στην παρατήρηση ότι ο υπολογιστής μπορεί να επεξεργαστεί μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας σε σχέση με την ανθρώπινη νόηση. Έτσι εξελίχθηκαν υπολογιστικά συστήματα ανταγωνιστικά ως προς την αποτελεσματικότητά τους με την ανθρώπινη νοημοσύνη.

Η ισχυρή θεωρία της Εξέλιξης των Ειδών υπήρξε έμπνευση για την δημιουργία Εξελκτικών Αλγορίθμων των οποίων η εφαρμογή εστιάστηκε σε πολύπλοκα προβλήματα. Εμφανίστηκαν μέθοδοι που χρησιμοποιούν Εξελκτικούς Αλγορίθμους για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης ενώ όταν διαφοροποιούνται το πεδίο εφαρμογής τους, ανάλογα με την φύση των προβλημάτων που βελτιστοποιούνται, παρατηρήθηκε αυξημένη αποτελεσματικότητα όταν συνδυάζονταν διάφορες τεχνικές όπου συνεργάζονταν διαφορετικές μέθοδοι Υπολογιστικής Νοημοσύνης, παράγοντας Υβριδικά Σχήματα (Hybrid Schemes).

1.4.Υπολογιστικές Μέθοδοι Εμπνευσμένες από την Φύση

Πηγή έμπνευσης για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης υπήρξαν και οι στρατηγικές που ακολουθούν οργανισμοί στην φύση κατά την διάρκεια βασικών λειτουργιών τους όπως η εύρεση τροφής και οι οποίες αποδεικνύονται αρκετά αποτελεσματικές για τους οργανισμούς. Οπότε οι Υπολογιστικές Μέθοδοι Εμπνευσμένες από την Φύση (Nature Inspired Computational Methods) δομώντας την λειτουργία τους πάνω στο ίδιο μοντέλο, το οποίο επιτυχημένα χρησιμοποιούν οι οργανισμοί για την ικανοποίηση των εκτελούμενων εργασιών τους, επιδιώκουν να επιλύσουν ικανοποιητικώς προβλήματα βελτιστοποίησης.

Η παρατήρηση των φυσικών μηχανισμών αποτέλεσαν επίσης έμπνευση για την ραγδαία εμφάνιση Νοημόνων Μεθόδων Εμπνευσμένων από τα Φαινόμενα της Φύσης (Nature Inspired Intelligent Methods) οι οποίες χρησιμοποίησαν Αλγόριθμους Εμπνευσμένους από την Φύση (Nature Inspired Algorithms) όπως αυτός της Προσομοιωμένης Ανόπτησης (Simulated Annealing).

Οι μέθοδοι κατατάσσονται αρχικά με κριτήριο την πηγή έμπνευσης τους σε τέσσερις κατηγορίες (Fister et al., 2013):

1. Νοημοσύνη Σμήγους (Swarm Intelligence)
2. Βιο-εμπνευσμένα Σχήματα (Bio-Inspired)
3. Εμπνευσμένες από Φυσική και Χημεία
4. Μη εντασόμενες σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες

Την πρώτη κατηγορία την απαρτίζουν μέθοδοι που προσομοιώνουν την συλλογική συμπεριφορά ζώντων οργανισμών ενώ στην δεύτερη εντάσσονταν μέθοδοι που αντλούν έμπνευση από ενέργειες οι οποίες εκτελούνται από στοιχεία της χλωρίδας και της πανίδας χωρίς όμως να εμφανίζεται συλλογική συμπεριφορά (collective behavior).

Η τρίτη κατηγορία απαρτίζεται από μεθόδους οι οποίες εμπνεύστηκαν από φαινόμενα που αποτελούν αντικείμενα θετικών επιστημών όπως η Φυσική και η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει

όλες τις υπόλοιπες μεθόδους που δεν εντάσσονται αποκλειστικά σε μία εκ των προαναφερομένων τριών κατηγοριών.

2.Βιβλιογραφική Επισκόπηση

2.1.Αλγόριθμοι Εμπνευσμένοι από τη Φύση

Στην διεθνή βιβλιογραφία, η πρώτη εμφάνιση της έννοιας του Εξελικτικού Υπολογισμού (Evolutionary Computing) και των Εξελικτικών Αλγόριθμων έγινε αρκετά πρόσφατα (Back, Fogel and Michalewic , 1997). Η ορολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε για να περιγραφούν μέθοδοι οι οποίες είναι εμπνευσμένες από την Δαρβινική θεωρία της Εξέλιξης των Ειδών.

Βασικός εκπρόσωπος της κατηγορίας είναι ο Γενετικός Αλγόριθμος (Holland, 1992b) ενώ στην θεωρία των Γενετικών Αλγορίθμων βασίστηκε και ο Γενετικός Προγραμματισμός (Genetic Programming) (Ko a, 1992) που αποτελεί ευρέως γνωστή μέθοδο Εξελικτικού Υπολογισμού.

Οι Εξελικτικοί Αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων βελτιστοποίησης και αυτό οδήγησε στην εμφάνιση αυξανόμενου αριθμού νέων μεθόδων που ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Η Προσομοιωμένη Ανόπτηση (Simulated Annealing) (Kirikpatrick, Gelatt and Vecchi, 1983) και η Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization) (Eberhart and Kennedy, 1995) άντλησαν έμπνευση από φυσικά φαινόμενα όπως το φαινόμενο της ανόπτησης και από συλλογικές συμπεριφορές έμβιων όντων που λαμβάνουν χώρα στη φύση και αποτέλεσαν την βάση για την ανάπτυξη άλλων μεθόδων που αντλούσαν έμπνευση από τον ίδιο χώρο, δημιουργώντας την κατηγορία των Νοημόνων Μεθόδων Εμπνευσμένων από Φαινόμενα της Φύσης (Nature Inspired Algorithms).

Πρόσφατα έγινε σαφέστερη ομαδοποίηση των υπάρχουσών μεθόδων και οι αλγόριθμοι που εμπνέονται από την Φύση μπορούν να ενταχθούν σε μία εκ των τριών επόμενων κατηγοριών (Tanetos et al., 2018):

1. Νοημοσύνη Σμήνους (Swarm Intelligence)
2. Αλγόριθμοι Εμπνευσμένοι από Οργανισμούς (Organisms-based)
3. Αλγόριθμοι Εμπνευσμένοι από Φυσικά Φαινόμενα και Νόμους των Επιστημών (Physical Phenomena and Laws of Science)

2.2. Νοημοσύνη Εμπνευσμένη από Φυσικά Φαινόμενα και Νόμους των Επιστημών (ΝΕΕΦΦΝΕ)

Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται αλγόριθμοι που αντλούν έμπνευση από νόμους ή από φυσικά φαινόμενα που αποτελούν ευρύτερο αντικείμενο μελέτης Επιστημών όπως η Φυσική, η Χημεία, η Μηχανική και διέπονται από τους νόμους των επιστημών τους αντίστοιχα (Τζανέτος Α., 2020).

Επιτυχημένο παράδειγμα αυτής της κατηγορίας είναι ο Αλγόριθμος Προσομοιωμένης Ανόπτωσης (Simulated Annealing). Αντλεί έμπνευση από την Επιστήμη της Μεταλλουργίας στην οποία περιγράφεται το φαινόμενο της ανόπτωσης όπου κατά την τελική επεξεργασία παραγόμενου μετάλλου, η πολύ θερμή επιφάνεια του ψύχεται ελεγχόμενα με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής του και την δημιουργία πιο λείας επιφάνειας.

Η πρόσφατη ραγδαία αύξηση εμφάνισης Αλγορίθμων Εμπνευσμένων από την Φύση αποκάλυψε και μία άλλη τάση. Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας συνήθως εφαρμόζονταν και σε πραγματικά προβλήματα και όχι απλά σε συναρτήσεις ελέγχου (benchmark functions).

2.3. Χρήση Αλγορίθμων Εμπνευσμένων από τη Φύση στο πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής πόρων

Στην Επιστήμη των Υπολογιστών τα προβλήματα που μπορούν να επιλυθούν σε πολυωνυμικό χρόνο κατατάσσονται στην κλάση P ενώ αντίστοιχα τα προβλήματα που δεν μπορούν να επιλυθούν σε πολυωνυμικό χρόνο αποτελούν μέρος της κλάσης NP. Έχουν εισαχθεί αρκετές υποκατηγορίες της κλάσης NP όπως τα NP-δυσμενή (NP-hard) προβλήματα των οποίων η λύση δεν μπορεί να επαληθευτεί σε πολυωνυμικό χρόνο εάν προσεγγιστούν με ντετερμινιστικές μεθόδους. Συνεπώς, είναι σημαντικό να εξετάσουμε τι δυνατότητες έχει κάθε τύπος αλγορίθμου όσον αφορά το μέγεθος του προβλήματος και τον υπολογιστικό χρόνο που απαιτεί για να φτάσει στην επίλυσή του. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι ακριβείς αλγόριθμοι (exact algorithms) εντοπίζουν την ακριβή λύση αλλά σε περιορισμένου μεγέθους προβλήματα.
- Σε πολύπλοκα προβλήματα οι Ευρετικοί (Heuristic) Αλγόριθμοι εφαρμόζοντας ευρετικούς κανόνες αναζητούν την λύση ακόμα και σε περιοχές του χώρου λύσεων όπου δεν φαίνεται να υπάρχουν πιθανές λύσεις, υστερώντας σε ποιότητα.
- Οι μετα-ευρετικοί (metaheuristic) αλγόριθμοι, μεταβάλλουν τις εντοπιζόμενες λύσεις που προκύπτουν από την αλγοριθμική αναζήτηση με βάση μία πληροφορία ή ένα σύνολο κανόνων. Η εξέλιξη αυτής της μεθόδου οδήγησε στην ανάπτυξη νοημοσύνης που

χρησιμοποιείται για την αναζήτηση ποιοτικότερων λύσεων (Kyriklidis, 2015). Όταν αυτοί οι κανόνες εμπνέονται από φαινόμενα και συμπεριφορές που απαντώνται στη Φύση, ο αντίστοιχος αλγόριθμος που μοντελοποιεί την πληροφορία μπορεί να ενταχθεί στους Νοήμονες Αλγόριθμους Εμπνευσμένους από την Φύση.

Η δυσκολία των περισσότερων προβλημάτων διαχείρισης πόρων και χρονικού προγραμματισμού ανήκοντας στην κλάση NP καθιστά τις ευρετικές μεθόδους χρονοβόρες και αναποτελεσματικές. Γι' αυτό επιστρατεύονται νοήμονες μέθοδοι (intelligent methods) για την εύρεση υπο-βέλτιστων (near optimal) λύσεων. Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται διάφορες μέθοδοι που καλούνται να λύσουν το πρόβλημα της βέλτιστης Κατανομής Πόρων (Resource Leveling), αρκετές εκ των οποίων παρουσιάζονται και στις εργασίες του Χρ. Κυρικλίδη (Kyriklidis and Dounias, 2016, 2014).

Αντίστοιχες μέθοδοι στη βιβλιογραφία έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση προβλημάτων κατανομής πόρων σε τεχνητά και πραγματικά προβλήματα. Συνήθως, τεχνητά έργα επιλέγονται από τη βάση δεδομένων PSPLib¹ (Project Scheduling Problem Library), τα οποία έχουν 20, 30, 40, 60, 90 ή 120 δραστηριότητες (hang et al., 2005; Anagnostopoulos and Koulinas, 2010; Li, Wuliang and hongliang, 2010; Pon -Tienda et al., 2013; Kim, 2013; Koulinas, Kotsikas and Anagnostopoulos, 2014; Huang, Huang and Pei, 2015; Prayogo et al., 2018). Ωστόσο, στα τεχνητά έργα αυτά οι εργασίες εκτελούνται σειριακά, δηλαδή πρέπει να ολοκληρωθούν οι προαπαιτούμενες δραστηριότητες για να ξεκινήσει η επόμενη.

Πίνακας 1: Εργασίες με χρήση πραγματικών δεδομένων

Έτος	Εργασία	Μέγεθος έργου
1999	(AL-Tabtabai and Alex, 1999)	16
1999	(Leu and Yang, 1999)	27
2003	(Kim, Gen and Yamazaki, 2003)	27
2005	(Yan Liu et al., 2005)	10
2007	(El-Gafy, 2007)	20
2008	(N. Pang, Y. Shi and Y. You, 2008)	6
2008	(Priyanto, Adiwijaya and Maharani, 2008)	8
2008	(Fathi and Afshar, 2008)	10
2009	(W. Tian and Y. Tian, 2009)	13
2010	(Bozorg Haddad et al., 2010)	8
2012	(Guo et al., 2012)	14
2012	(Garmsiri and Abassi, 2012)	12
2012	(Iranagh and Sonmez, 2012)	10
2013	(Ghoddousi et al., 2013)	6
2015	(D. Pythaloka, A. T. Wibowo and M. D. Sulistiyo, 2015)	6
2015	(Kaiafa and Chassiakos, 2015)	10

¹ <http://www.om-db.wi.tum.de/psplib/>

2015	(Benjaoran, Tabyang and Sooksil, 2015)	8
2015	(Dunham, 2015)	59
2016	(Gaitanidis et al., 2016)	1178
2017	(Ponz-Tienda et al., 2017)	71
2017	(Wenmin Han and Binbin Zhu, 2017)	10
2018	(Prayogo et al., 2018)	44
2019	(Prayogo and Kusuma, 2019)	44

Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι εργασίες που έχουν χρησιμοποιήσει δεδομένα από πραγματικά έργα. Όπως είναι προφανές, όλα τα έργα είναι μικρά (από 6 έως 27 δραστηριότητες) εκτός από τις εργασίες των (Prayogo et al., 2018; Prayogo and Kusuma, 2019) που έχουν ένα έργο των 44 δραστηριοτήτων, την εργασία του (Dunham, 2015) που περιέχει δεδομένα για έργο 59 δραστηριοτήτων και την εργασία των (Pon -Tienda et al., 2017) που επιλύει έργο 71 δραστηριοτήτων.

Στη βιβλιογραφία περιλαμβάνεται και μια εργασία που προήλθε από το εργαστήριο ΔΕΛΑΠ του Πανεπιστημίου Αιγαίου (Gaitanidis et al., 2016) στην οποία έγινε επίλυση ενός έργου με εμφανώς μεγαλύτερης τάξης μεγέθους εργασίες σε σχέση με τις προηγούμενες δημοσιευμένες έρευνες. Πιο συγκεκριμένα επιλύθηκε το πρόβλημα της νηολόγησης πλοίου, με συνολικό αριθμό 1178 δραστηριοτήτων.

3.ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ EXCEL

Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθούν παραδείγματα αριθμητικών εφαρμογών χρονικού προγραμματισμού τεχνικών έργων χωρίς τη χρήση κάποιου λογισμικού. Ο στόχος είναι καταρχήν ο αναγνώστης να εξοικειωθεί με εφαρμογές που επιλύονται απευθείας με το χέρι ή έστω με την απλή χρήση ενός λογιστικού φύλλου Microsoft Excel ούτως ώστε κατόπιν στο 4^ο κεφάλαιο να κάνουμε ένα βήμα παραπάνω και να προβούμε σε εφαρμογές χρονικού προγραμματισμού σε τεχνικά έργα με χρήση λογισμικού (εν προκειμένω το Microsoft Project)

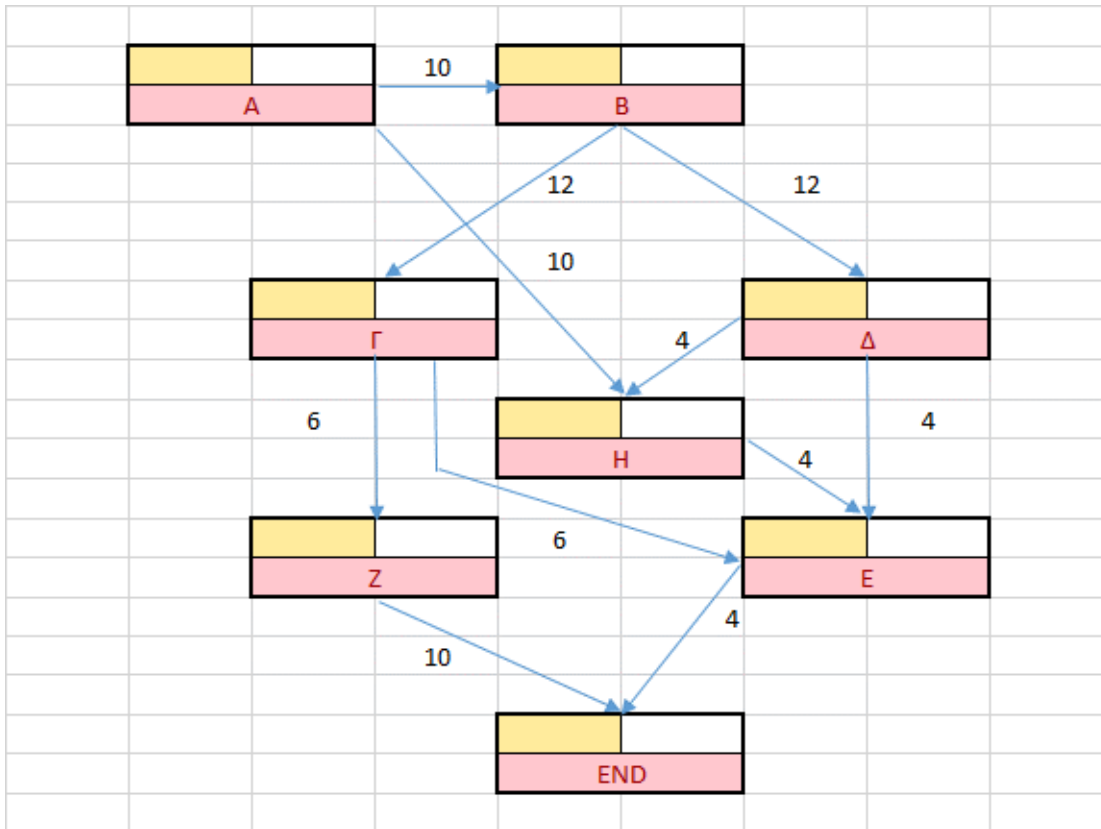
3.1.Αριθμητική Εφαρμογή 1

Καταρχήν εξετάζουμε μια απλή εφαρμογή χρονικού προγραμματισμού σε ένα γενικής φύσης τεχνικό έργο με 7 δραστηριότητες, η περιγραφή των οποίων φαίνεται ακολούθως

Πίνακας 2: Χρονικά στοιχεία δραστηριοτήτων και αλληλεξαρτήσεις

Δραστηριότητα	Διάρκεια (μήνες)	Σχέσεις αλληλεξάρτησης
A	10	Η A είναι αρχική δραστηριότητα
B	12	Η B ξεκινά μετά από 3 μήνες από την έναρξη της A Η B τελειώνει μετά από 4 μήνες από το πέρας της A
Γ	6	Η Γ ξεκινά μετά το πέρας της B
Δ	4	Η Δ ξεκινά μετά 6 μήνες από την έναρξη της B
E	6	Η E αρχίζει μετά το πέρας της Γ Η E ξεκινά 2 μήνες μετά το πέρας της Η Η E ξεκινά αμέσως μετά το πέρας της Δ Η E είναι τελική δραστηριότητα
Z	10	Η Z τελειώνει μετά 13 μήνες από την έναρξη της Γ Η Z είναι τελική δραστηριότητα
H	4	Η H ξεκινά 3 μήνες μετά το πέρας της A Η H ξεκινά 2 μήνες μετά την έναρξη της Δ

Το διάγραμμα MPM της αναγραφόμενης αλληλουχίας εργασιών είναι το ακόλουθο (πάνω στα βέλη αναγράφονται οι διάρκειες των εργασιών και επιπλέον έχει τεθεί ένας τελικός κόμβος για το έργο):



Εικόνα 4: Διάγραμμα MPM Αριθμητικής Εφαρμογής 1

Καταρχήν υπολογίζεται την συντομότερη εκκίνηση κάθε έργου (ES) και τοποθετείται στο άνω αριστερά τετράγωνο της κάθε δραστηριότητας.

Έργο A: $ES=0$

Έργο B: Η B πρέπει να ξεκινήσει 3 μήνες μετά την έναρξη της A, άρα στο +3 και πρέπει να τελειώσει 4 μήνες μετά το πέρας της A άρα στο +14. Σίγουρα το $ES_B=ES_A+3=3$.

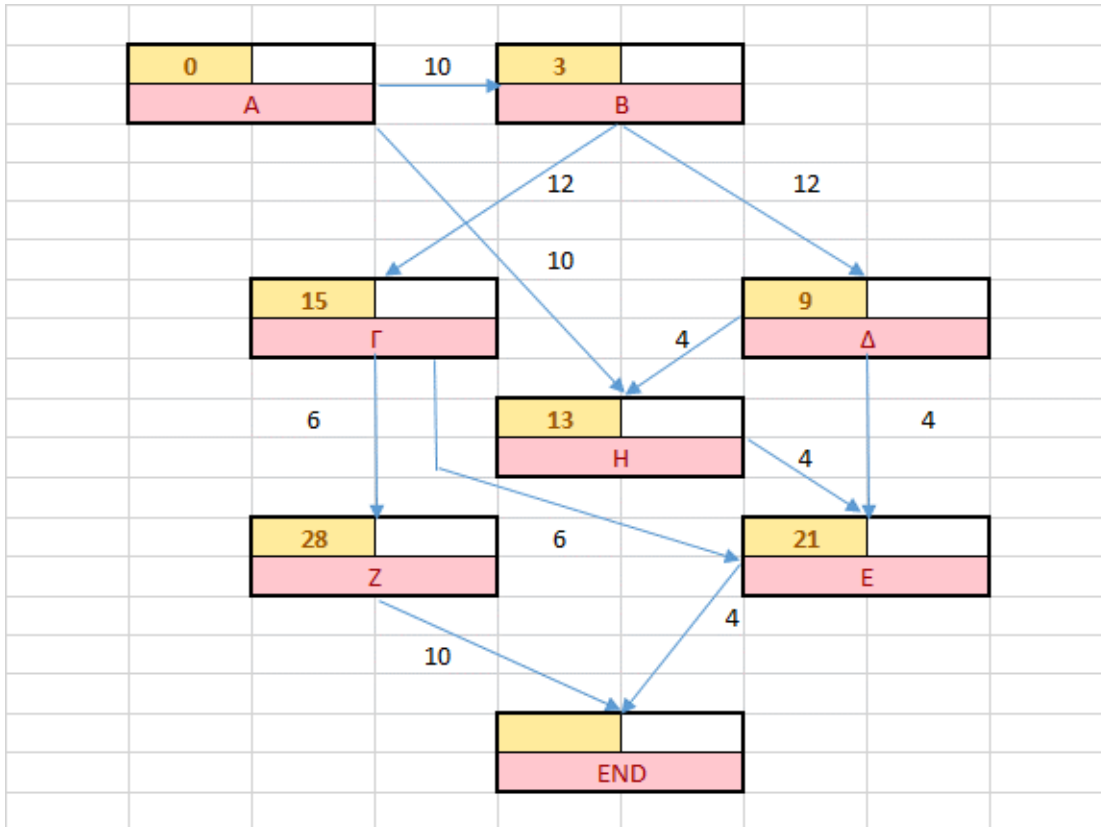
Έργο Γ: Η Γ ξεκινάει με το πέρας του B. Άρα, η συντομότερη εκκίνηση του Γ είναι: $ES_\Gamma=ES_B+T_B=3+12=15$.

Έργο Δ: Η Δ ξεκινάει 6 μήνες από την έναρξη του B. Άρα: $ES_\Delta=ES_B+6=9$

Έργο H: Το H ξεκινάει 3 μήνες μετά το πέρας του A. Άρα $ES^1_H=ES_A+T_A+3=0+10+3=13$. Επιπλέον όμως η H ξεκινάει 2 μήνες μετά την έναρξη του Δ. Άρα $ES^2_H=ES_\Delta+2=9+2=11$. Εν τέλει η συντομότερη δυνατή εκκίνηση του H είναι: $ES_H=\max(ES^1_H, ES^2_H)=\max(13,11)=13$.

Έργο Z: Η Z τελειώνει 13 μήνες μετά από την έναρξη της Γ. Άρα $ES=ES_\Gamma+13=15+13=28$.

Έργο E: Η E αρχίζει με το πέρας του Γ. Άρα $ES_E^1 = ES_\Gamma + T_\Gamma = 15 + 6 = 21$. Επιπλέον, η E ξεκινάει 2 μήνες μετά το πέρας του H. Άρα $ES_E^2 = ES_H + T_H + 2 = 13 + 4 + 2 = 19$. Τέλος η E ξεκινάει αμέσως μετά το πέρας της Δ. Άρα: $ES_E^3 = ES_\Delta + T_\Delta = 9 + 4 = 13$. Συνεπώς για την πιο γρήγορη εκκίνηση της E πρέπει να ισχύει ότι: $ES_E = \max(ES_E^1, ES_E^2, ES_E^3) = \max(21, 19, 13) = 21$. Το διάγραμμα έχει λάβει μέχρι στιγμής αυτή τη μορφή.



Εικόνα 5: Συμπληρωμένο διάγραμμα MPM Αριθμητικής Εφαρμογής 1

Η συνολική διάρκεια του έργου υπολογίζεται από τη μακρύτερη εκ των 2 διαδρομών που προκύπτουν: $T^{Εργου} = \max(T_{ΑΒΓΖ}, T_{ΑΒΔΕ}) = \max(ES + T, ES_E + T_E) = \max(28 + 10, 21 + 4) = 38$. Άρα το έργο διαρκεί 38 ημέρες κατ ελάχιστον.

Ξεκινάμε πλέον να λύνουμε ανάποδα το διάγραμμα για να βρούμε την πιο αργή εκκίνηση κάθε έργου (LS).

Στην τελική δραστηριότητα (κόμβος END) έχουμε την επιλογή της ολοκλήρωσης στις 38 ημέρες. Ξεκινώντας από εκεί έχουμε διαδοχικά τα εξής:

Έργο E: Είναι δυνατόν να ξεκινήσει το αργότερο $LS_E = ES_{END} - T_E = 38 - 4 = 32$

Έργο Z: Είναι δυνατόν να ξεκινήσει το αργότερο $LS_Z = ES_{END} - T_Z = 38 - 10 = 28$

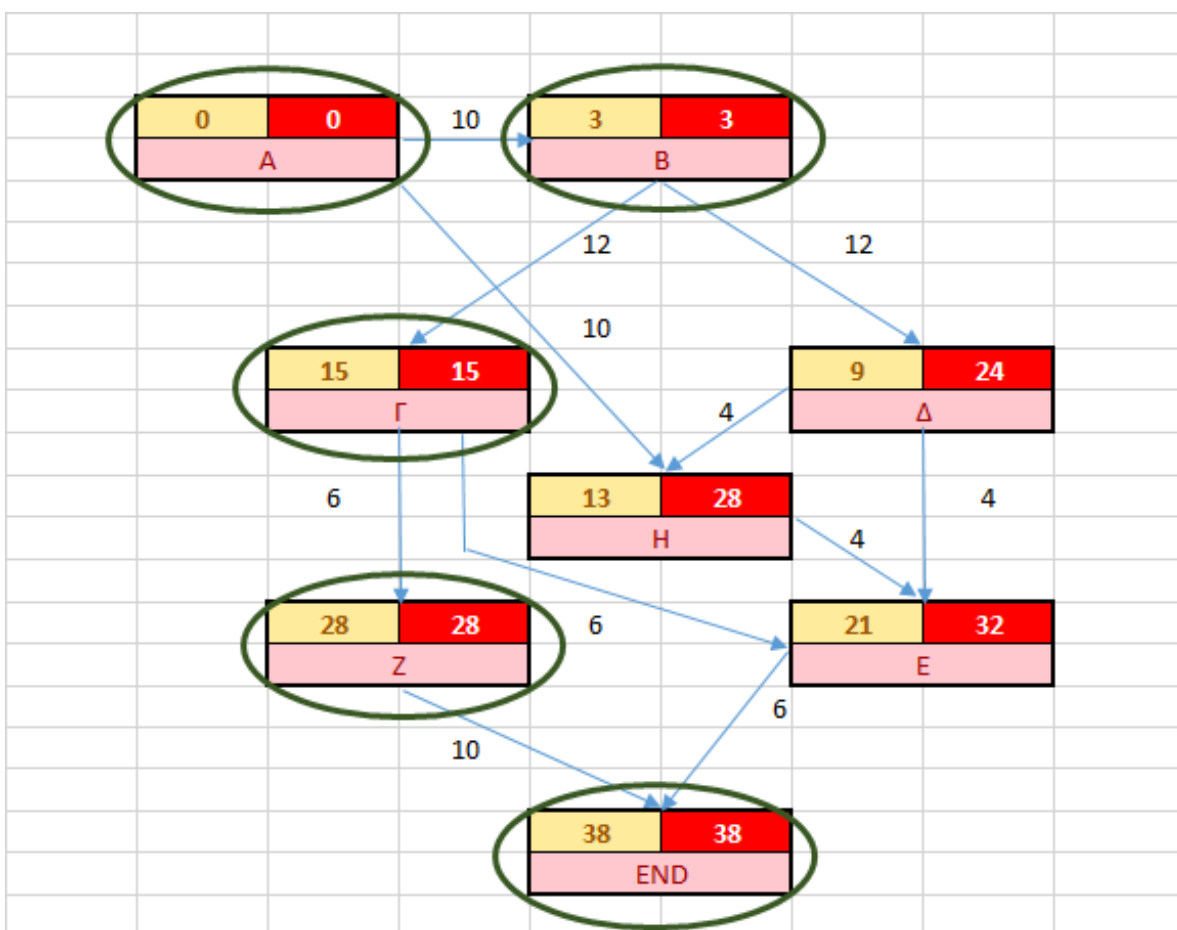
Έργο H: Είναι δυνατόν να ξεκινήσει το αργότερο: $LS_H = LS_E - T_H - 2 = 32 - 4 - 2 = 26$.

Έργο Δ: Είναι δυνατόν να ξεκινήσει το αργότερο: $LS_\Delta^1 = LS_H - T_\Delta = 26 - 4 = 22$ ή $LS_\Delta^2 = LS_E - T_\Delta = 32 - 4 = 28$. Συνεπώς προκύπτει ότι: $LS_\Delta = \min(LS_\Delta^1, LS_\Delta^2) = \min(22, 28) = 22$

Έργο Γ: Είναι δυνατόν να ξεκινήσει το αργότερο: $LS_{\Gamma}^1 = LS_E - T_{\Gamma} = 34 - 6 = 28$ ή $LS_{\Gamma}^2 = \min(LS - T_{\Gamma}, LS - 13) = \min(28 - 6, 28 - 13) = \min(22, 13) = 13$. Συνεπώς προκύπτει ότι: $LS_{\Gamma} = \min(LS_{\Gamma}^1, LS_{\Gamma}^2) = \min(28, 13) = 13$

Έργο Β: Είναι δυνατόν να ξεκινήσει το αργότερο: $LS_B^1 = LS_{\Gamma} - T_B = 15 - 12 = 3$ ή $LS_B^2 = LS_{\Delta} - T_B = 24 - 12 = 12$. Συνεπώς προκύπτει ότι: $LS_B = \min(LS_B^1, LS_B^2) = \min(3, 12) = 3$

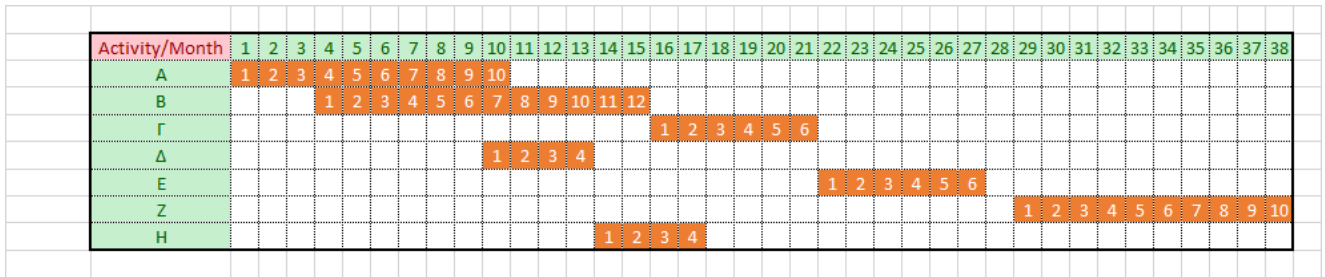
Έργο Α: Υποχρεωτικά ως εκκίνηση των εργασιών $LS_A = 0$ (κάτι που επαληθεύεται και αν κάνουμε αναλυτικά τις πράξεις με τις διαδρομές AB και AH με τους αντίστοιχους περιορισμούς τους. Τα χρονικά στοιχεία των δραστηριοτήτων στο διάγραμμα MPM μαζί με την κρίσιμη διαδρομή (εργασίες όπου $ES - LS = 0$ άρα δεν έχουμε ελεύθερο χρονικό περιθώριο) φαίνονται ακολούθως.



Εικόνα 6: Κρίσιμο Μονοπάτι Δραστηριοτήτων Αριθμητικής Εφαρμογής 1

Όπως φαίνεται παραπάνω, η κρίσιμη διαδρομή είναι η $A \rightarrow B \rightarrow \Gamma \rightarrow Z \rightarrow \text{End Node}$.

Σχεδιάζεται το διάγραμμα Gantt με βάση πάντα τους ενωρίτερους χρόνους εκκίνησης των εργασιών προκύπτει το εξής:



Εικόνα 7: Διάγραμμα Gantt Αριθμητικής Εφαρμογής 1

Εξετάζουμε τώρα πόσο μπορεί να καθυστερήσει η έναρξη της δραστηριότητας Δ, χωρίς να προκληθεί καθυστέρηση στον νωρίτερο προγραμματισμό του έργου. Αν τελικά η Δ ολοκληρωθεί τον 17ο μήνα, ποιες θα είναι οι συνέπειες για το χρονοδιάγραμμα του έργου

Η Δ μπορεί να καθυστερήσει $LS-ES-2=24-9-2=13$ μήνες χωρίς να επιβαρυνθεί η τελική διάρκεια του έργου. Η αφαίρεση των 2 μηνών στην πράξη οφείλεται στο γεγονός ότι η εργασία E έχει περιορισμό Start to Finish (SF) +2 μήνες εκκίνηση μετά το πέρας της Δ. Η H δεν επηρεάζεται γιατί μπορεί να ξεκινήσει 2 μήνες μετά την έναρξη της Δ, άρα στους $13+9+2=24$ μήνες < 28 μήνες που είναι και η αργότερη δυνατή εκκίνηση. Άρα οι 13 μήνες καθυστέρηση της Δ είναι το μέγιστο όριο καθυστέρησης χωρίς επίπτωση στην τελική παράδοση του έργου.

Εάν η Δ ολοκληρωθεί το 17^ο μήνα η E δεν επηρεάζεται καθώς μπορεί να ξεκινήσει τον 21^ο μήνα κατ' ελάχιστον. Η εργασία Δ για να έχει ολοκληρωθεί το 17^ο μήνα έχει ξεκινήσει το 5^ο μήνα και η E εκ νέου ΔΕΝ επηρεάζεται καθώς θα πρέπει κατ' ελάχιστον να ξεκινήσει 3 μήνες μετά το πέρας της A άρα δεν είναι εφικτό να ξεκινήσει σε νωρίτερο χρόνο που είναι ο 5^{ος} μήνας. Συνεπώς παρατηρούμε ότι μια ολοκλήρωση της Δ στον 17^ο μήνα δεν επηρεάζει καθόλου το τελικό αποτέλεσμα αλλά και τις επιμέρους συνδεδεμένες δραστηριότητες, εφόσον φυσικά θεωρούμε ότι οι υπόλοιποι περιορισμοί του έργου εξακολουθούν να ισχύουν.

3.2.Αριθμητική Εφαρμογή 2

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυξημένες επιχειρηματικές ανάγκες μιας εταιρείας, τα ανώτερα διευθυντικά στελέχη αποφάσισαν να κατασκευάσουν ένα νέο συγκρότημα γραφείων μέσα στους επόμενους πέντε μήνες σε οικόπεδο δίπλα στα υπάρχοντα γραφεία τους. Το έργο "Νέο συγκρότημα γραφείων" περιγράφεται λεπτομερώς παρακάτω. Η 'έγκριση για το έργο' και η 'άδεια προγραμματισμού (planning permission)' έχουν ήδη χορηγηθεί και οι εργολάβοι έχουν διοριστεί. Οι εργασίες για την 'κατεδάφιση μιας

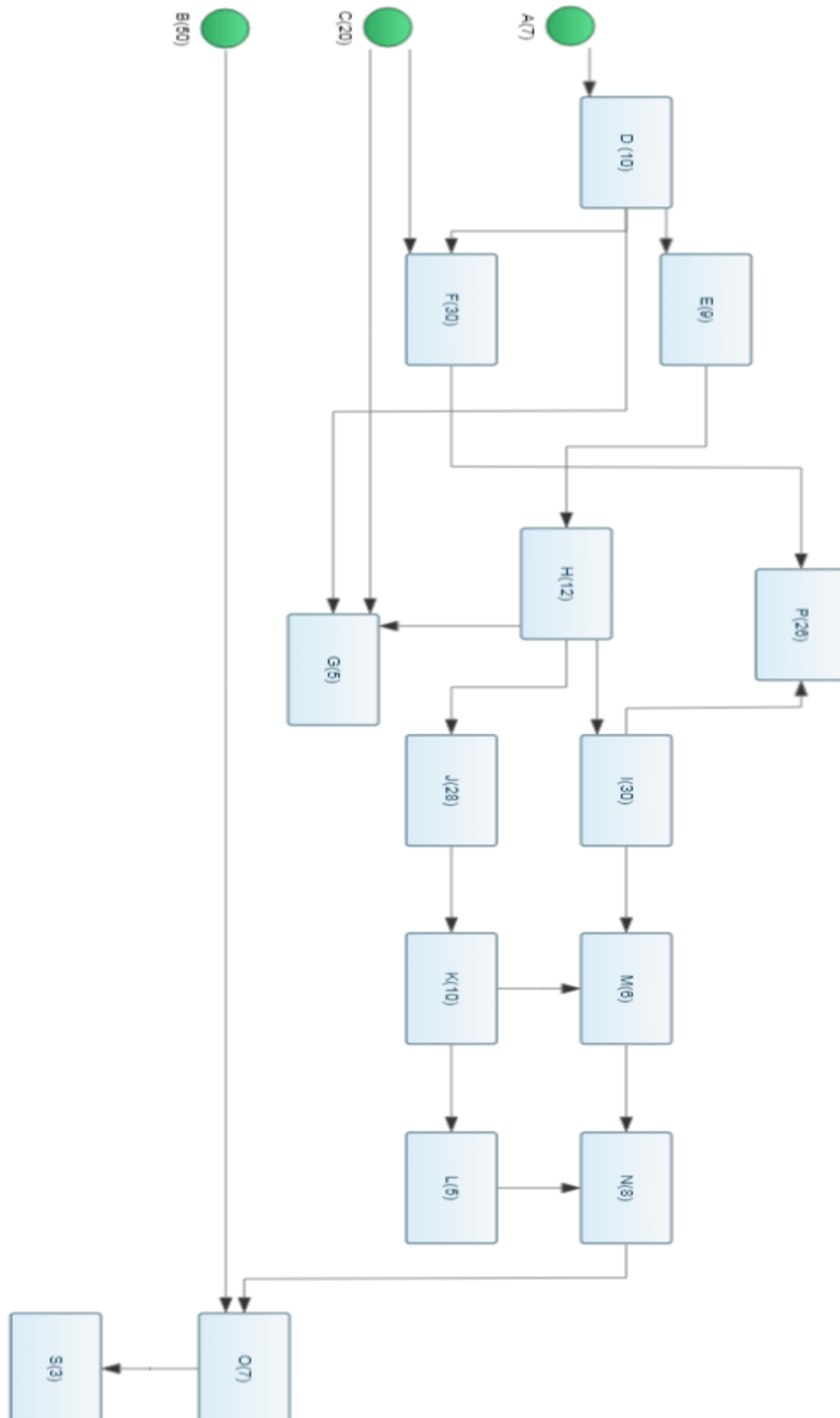
εγκαταλελειμμένης αποθήκης' (7 ημέρες) στο νέο οικοπέδο μπορούν να ξεκινήσουν άμεσα ενώ 'η επίπλωση και ο εξοπλισμός γραφείου' (παράδοση 10 εβδομάδες) και 'τα οικοδομικά υλικά' (παράδοση 4 εβδομάδες) μπορούν να παραγγελθούν. Τέσσερις ημέρες μετά την έναρξη της κατεδάφισης, η εργασία για το 'καθάρισμα και την χωματουργική διευθέτηση του οικοπέδου' (10 ημέρες) μπορεί να ξεκινήσει, αλλά αυτή η δραστηριότητα μπορεί μόνο να ολοκληρωθεί πέντε ημέρες μετά το πέρας της κατεδάφισης της αποθήκης. Επτά ημέρες μετά την έναρξη του καθαρίσματος του οικοπέδου, η εργασία για την 'εκσκαφή των θεμελίων' (9 ημέρες) μπορεί να αρχίσει. Η 'ανέγερση του περιτειχίσματος ασφαλείας' (30 ημέρες) και η 'τοποθέτηση του νέου συστήματος αποχέτευσης' (5 ημέρες) μπορούν να ξεκινήσουν μόλις ο χώρος έχει καθαριστεί και προετοιμαστεί και τα οικοδομικά υλικά έχουν παραδοθεί. Με την ολοκλήρωση της τοποθέτησης του νέου συστήματος αποχέτευσης και της εκσκαφής των θεμελίων, εργασία για την 'τοποθέτηση των θεμελιώσεων' (12 ημέρες) μπορεί να ξεκινήσει. Με την ολοκλήρωση των θεμελιώσεων, αρχίζει η εργασία για την 'εγκατάσταση των διασυνδέσεων για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, νερού και τηλεπικοινωνιών' (30 ημέρες) και την 'κατασκευή τοίχων' (28 ημέρες). Η κατασκευή των τοίχων πρέπει να ολοκληρωθεί πριν την 'ανέγερση της οροφής' (10 ημέρες), η οποία στη συνέχεια ακολουθείται από την 'εγκατάσταση των πάνελ οροφής - ceiling panels' (5 ημέρες). Η 'τοποθέτηση σωληνώσεων και καλωδιώσεων' (6 ημέρες) μπορεί να αρχίσει μετά την ολοκλήρωση ανέγερσης της οροφής και εγκατάστασης των διασυνδέσεων για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, νερού και τηλεπικοινωνιών. Οι 'εσωτερικοί χρωματισμοί και τα τελειώματα πατωμάτων' (8 ημέρες) ακολουθούν την εγκατάσταση των πάνελ οροφής και τη τοποθέτηση σωληνώσεων και καλωδιώσεων. Η 'τοποθέτηση της επίπλωσης και η δοκιμή του εξοπλισμού γραφείου' (7 ημέρες) που έχουν παραδοθεί μπορεί να γίνει μόνο μετά που έχουν τελειώσει οι εσωτερικοί χρωματισμοί. 'Η διαμόρφωση του εξωτερικού χώρου (landscaping) και η κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων' (26 ημέρες) ακολουθεί την ολοκλήρωση της ανέγερσης του περιτειχίσματος ασφαλείας και την εγκατάσταση των διασυνδέσεων για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, νερού και τηλεπικοινωνιών. Περίοδος τριών ημερών έχει δοθεί στο προσωπικό για να ολοκληρωθεί η 'μεταφορά των υπαρχόντων αρχείων και άλλων απαραίτητων στοιχείων' στο νέο γραφείο και για εξοικείωση με το νέο περιβάλλον πριν από την επανέναρξη της κανονικής λειτουργίας της εταιρείας. Για τη δεδομένη ομάδα εργασιών θα πρέπει καταρχήν να μορφοωθεί ένας πίνακας με κωδικοποίηση των εργασιών και να τεθούν οι περιορισμοί που δίνονται σε σχέση με το χρόνο και την προτεραιότητα των εργασιών. Συγκεκριμένα παρατίθεται ο επόμενος πίνακας που επεξηγείται ακολούθως.

Εργασία	Κωδικός	Χρονική διάρκεια (μέρες)	Αμέσως προηγούμενες εργασίες
Κατεδάφιση αποθήκης	A	7	
Παραγγελία Επίπλωσης	B	50	
Παραγγελία Υλικών	C	20	
Καθάρισμα Οικόπεδου	D	10	A
Εκσκαφή Θεμελίων	E	9	D
Ανέγερση περιτειχίσματος	F	30	D,C
Αποχέτευση	G	5	D,C
Τοποθέτηση Θεμελιώσεων	H	12	G,E
Σύνδεση ηλεκτρικού ρευμ	I	30	H
Κατασκευή τοίχων	J	28	H
Ανέγερση Οροφής	K	10	J
Πάνελ οροφής	L	5	K
Τοποθέτηση σωληνώσεων	M	6	K,I
Εσωτερικοί Χρωματισμοί	N	8	L,M
Τοποθέτηση επίπλωσης	O	7	N,B
Διαμόρφωση εξωτερικού χώρου	P	26	F,I
Μεταφορά υπάρχοντων αρχείων	S	3	O

Πίνακας 3: Εύρεση αλληλουχίας εργασιών

Ο παραπάνω πίνακας δίνει κωδικοποιημένα την αλληλουχία των εργασιών που δίνεται περιγραφικά από την εκφώνηση. Για παράδειγμα η ανέγερση του περιτειχίσματος μπορεί να ξεκινήσει μόνο αν έχουν παραγγελθεί και παραδοθεί τα υλικά και αν έχει καθαριστεί το οικόπεδο (δεξιά στήλη αμέσως προηγούμενων εργασιών →C,D). Αμέσως μετά δίνεται το διάγραμμα ροής ΑΟΑ από το οποίο ακολούθως θα εξαχθούν οι νωρίτερες και αργότερες ενάρξεις καθώς και οι νωρίτερες και οι αργότερες λήξεις. Σε παρένθεση αρχικά τίθεται η χρονική διάρκεια της εκάστοτε εργασίας.

Να σημειωθεί ότι για οικονομία του χώρου, στα πλαίσια των εργασιών ως τίτλοι έχουν τεθεί οι κωδικοί τους και επίσης για να ξεχωρίζουν οι πρώτες εργασίες της ακολουθίας έχουν τεθεί με πράσινο κύκλο ως πλαίσιο για να ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες χωρίς αυτή η αισθητική διαφοροποίηση να σημαίνει ότι υπάρχει κάποια επιπλέον πληροφορία στη συνέχεια όταν θα ακολουθήσουν οι υπολογισμοί.



Εικόνα 8: Διάγραμμα AON χωρίς ωριότερους χρόνους έναρξης και λήξης

Αφού κατασκευαστεί το διάγραμμα AON (εικόνα 1) τοποθετώντας τις δραστηριότητες στους κόμβους, γίνεται επίλυση του δικτύου από «έναρξη προς πέρας» (forward pass) για τον υπολογισμό των χρόνων νωρίτερης έναρξης και λήξης. Να σημειωθεί πως θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς η πενταήμερη εβδομάδα, δηλαδή να συνυπολογίζονται οι αργίες των σαββατοκύριακων. Απλοποιητικά δεν λαμβάνουμε υπόψη τις εθνικές αργίες αυτού του διαστήματος του καλοκαιριού. (αγίου πνεύματος και κοιμήσεως της θεοτόκου) Στο διάγραμμα που θα προκύψει θα θεωρήσουμε μέρα 0 την 7 Μαΐου, συνεπώς η 8 Μαΐου θα είναι η μέρα 1 κοκ.

Συγκεκριμένα:

→Οι δραστηριότητες A,B,C μπορούν να ξεκινήσουν απευθείας στις 7 Μαΐου (Δευτέρα). Η ημερομηνία αυτή θεωρείται η ημέρα 0 στους υπολογισμούς. Η δραστηριότητα A έχει χρονική διάρκεια 7 ημερών. Άρα με τη μεσολάβηση του σαββατοκύριακου θα ολοκληρωθεί στις 15/5 (ημέρα 8). Παρομοίως η παραγγελία επίπλωσης έχει διάρκεια 50 ημέρες (10 εβδομάδες). Άρα η παράδοση θα γίνει στις 16 Ιουλίου (ημέρα 70). Η παραγγελία των υλικών έχει διάρκεια 20 μέρες άρα θα ολοκληρωθεί στις 4 Ιουνίου (ημέρα 28). Η νωρίτερη έναρξη ES αυτών των δραστηριοτήτων θα είναι η μέρα 0.

ESA=ESB=ESC=0, EFA=8, EFB=70, EFC=28

→Η δραστηριότητα D μπορεί να ξεκινήσει αμέσως μετά τη δραστηριότητα A. Άρα η νωρίτερη έναρξη της θα είναι στις 16/5 (ημέρα 9) και λήγει στις 29/5 (ημέρα 22) νωρίτερη λήξη.

ESD=9, EFD=22

→Η δραστηριότητα E μπορεί να ξεκινήσει αμέσως μετά την D άρα στις 30/5 (ημέρα 23) και έχει διάρκεια 9 ημερών άρα θα λήξει το νωρίτερο στις 11/6 (ημέρα 35).

ESE=23, EFD=35

→Η δραστηριότητα F μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος της D και της C άρα το νωρίτερο στις 5 Ιουνίου (ημέρα 29). Διαρκεί 30 εργάσιμες μέρες άρα θα ολοκληρωθεί το νωρίτερο στις 16 Ιουλίου (ημέρα 70).

ESF=29, EFF=70.

→ Η δραστηριότητα G μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος της D και της C άρα κι αυτή το νωρίτερο στις 5 Ιουνίου (ημέρα 29). Διαρκεί 5 μέρες άρα θα ολοκληρωθεί το νωρίτερο στις 11 Ιουνίου (ημέρα 35)

ESG=29, EFG=35

→ Η δραστηριότητα H μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος των G,E άρα το νωρίτερο στις 12 Ιουνίου (ημέρα 36). Έχει διάρκεια 12 ημερών άρα θα ολοκληρωθεί το νωρίτερο στις 27 Ιουνίου (ημέρα 51).

ESH=36, EFH=51

→ Η δραστηριότητα I μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος της H άρα στις 28 Ιουνίου (ημέρα 52). Έχει διάρκεια 30 ημερών άρα το νωρίτερο πέρας της θα είναι στις 8 Αυγούστου (ημέρα 100).

ESI=52, EFI=100

→ Η δραστηριότητα J μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος της H άρα στις 28 Ιουνίου το νωρίτερο (ημέρα 52). Έχει διάρκεια 28 ημερών άρα το νωρίτερο πέρας της θα είναι στις 6 Αυγούστου (ημέρα 98)

ESJ=52, EFJ=98

→ Η δραστηριότητα K μπορεί να ξεκινήσει το νωρίτερο μετά το τέλος της J άρα στις 7 Αυγούστου (ημέρα 99) και έχει διάρκεια 10 ημερών άρα θα τελειώσει το νωρίτερο στις 20 Αυγούστου (ημέρα 112)

ESK=99, EFK=112

→ Η δραστηριότητα L μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος της K άρα το νωρίτερο στις 21 Αυγούστου (ημέρα 113) και έχει διάρκεια 5 ημερών άρα μπορεί το νωρίτερο να τελειώσει στις 27 Αυγούστου (ημέρα 119).

ESL=113, EFL=119

→ Η δραστηριότητα M μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος των K,I άρα το νωρίτερο στις 21 Αυγούστου (ημέρα 113). Έχει διάρκεια 6 ημερών άρα μπορεί το νωρίτερο να τελειώσει στις 28 Αυγούστου. (ημέρα 120)

ESM=113, EFM=120

→ Η δραστηριότητα N μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος των L,M άρα το νωρίτερο στις 29 Αυγούστου (ημέρα 121). Έχει διάρκεια 8 ημερών άρα το νωρίτερο τελειώνει στις 7 Σεπτεμβρη (ημέρα 130)

ESN=121, EFN=130

→ Η δραστηριότητα O μπορεί να ξεκινήσει μετά το τέλος των N,B άρα το νωρίτερο στις 10 Σεπτεμβρη, γιατί μεσολαβεί σαββατοκύριακο (ημέρα 133). Έχει διάρκεια 7 ημερών άρα νωρίτερα τελειώνει στις 18 Σεπτεμβρη (ημέρα 141).

ESO=133, EFO=141.

→ Η δραστηριότητα P ξεκινάει το νωρίτερο μετά το πέρας των F,I δηλαδή στις 9 Αυγούστου (ημέρα 101) και έχει διάρκεια 26 ημερών άρα τελειώνει το νωρίτερο στις 13 Σεπτεμβρη (ημέρα 136)

ESP=101, EFP=136.

→ Η δραστηριότητα Q ξεκινάει το νωρίτερο μετά το τέλος της O άρα στις 19 Σεπτεμβρη (ημέρα 142) και έχει διάρκεια 3 ημερών άρα το νωρίτερο πέρας της είναι στις 21 Σεπτεμβρη (ημέρα 144).

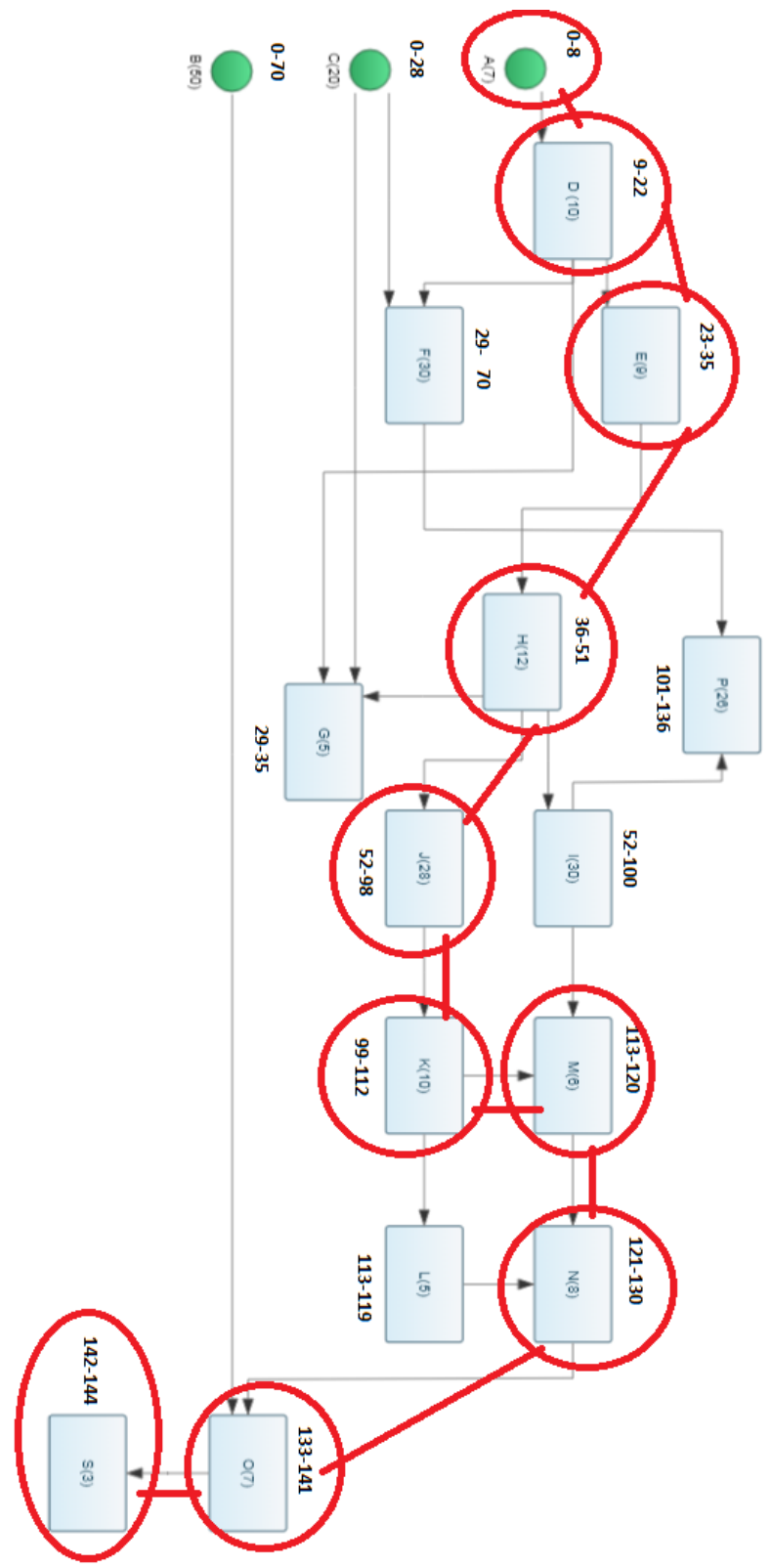
ESQ=142, EFQ=144

Άρα το νωρίτερο πέρας του έργου είναι στις 21 Σεπτεμβρη και η ελάχιστη χρονική διάρκεια είναι 144 μέρες.

Ακολουθεί πίνακας με τους χρόνους νωρίτερης έναρξης και λήξης δραστηριοτήτων. Η κρίσιμη διαδρομή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί με κόκκινους κύκλους και γραμμές.

Πίνακας 4: Πίνακας χρόνων γρηγορότερης έναρξης και λήξης

Εργασία	Κωδικός	Γρηγορότερη έναρξη (ES)	Γρηγορότερη λήξη (EF)
Κατεδάφιση αποθήκης	A	0	8
Παραγγελία Επίπλωσης	B	0	70
Παραγγελία Υλικών	C	0	28
Καθάρισμα Οικοπέδου	D	9	22
Εκκαφή Θεμελίων	E	23	35
Ανέγερση περιτειχίσματος	F	29	70
Αποχέτευση	G	29	35
Τοποθέτηση Θεμελιώσεων	H	36	51
Σύνδεση ηλεκτρικού ρευμ	I	52	100
Κατασκευή τοίχων	J	52	98
Ανέγερση Οροφής	K	99	112
Πάνελ οροφής	L	113	119
Τοποθέτηση σωληνώσεων	M	113	120
Εσωτερικοί Χρωματισμοί	N	121	130
Τοποθέτηση επίπλωσης	O	133	141
Διαμόρφωση εξωτερικού χώρου	P	101	136
Μεταφορά υπάρχοντων αρχείων	Q	142	144



Εικόνα 9: Διάγραμμα εργασιών με σημείωση της κρίσιμης διαδρομής.

4.ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ MS PROJECT

4.1.Αριθμητική Εφαρμογή 1

Η περιγραφή του τεχνικού έργου που θα προσομοιωθεί στο MS PROJECT συνοψίζεται στη λίστα εργασιών του ακόλουθου πίνακα. Το παρακάτω έργο πρέπει να ξεκινήσει κάποια στιγμή μες στο Γενάρη του επόμενου έτους (2021).

Πίνακας 5 Παρουσίαση έργου (Εγκατάσταση εργοταξίου)

A/A	Δραστηριότητα	Διάρκεια (μέρες)	Πόροι	Προγενέστερη
1	Καθαρισμός γηπέδου	4	Εκσκαφέας [100%] Εργάτης [200%]	
2	Ανέγερση σήμανσης ασφαλείας	1	Εργάτης [100%] Υλικά: 1.000€	Μαζί με την ολοκλήρωση της 1
3	Εξομάλυνση εδάφους	2	Πρωθητής [100%] Εργάτης [200%]	2
4	Κατασκευή περίφραξης	5	Εργάτης [200%] Υλικά: 4.000€	2
5	Καθορισμός προστατευόμενων διαβάσεων πεζών	2	Εργάτης [100%] Υλικά: 1.000€	3
6	Προετοιμασία θεμελίων προκατασκευασμένων στοιχείων	1	Εκσκαφέας [100%] Εργάτης [200%] Υλικά: 500€	3
7	Σκυροδέτηση θεμελίων προκατασκευασμένων στοιχείων	2	Εργάτης [200%] Υλικά: 1.500€	6
8	Συναρμολόγηση προκατασκευασμένου γραφείου φύλακα	1	Γερανός [50%] Εργάτης [100%] Υλικά: 10.000€	7 με 1 μέρα καθυστέρηση
9	Εγκατάσταση Φύλακα	0.5	Υλικά: 500€	Μαζί με την

A/A	Δραστηριότητα	Διάρκεια (μέρες)	Πόροι	Προγενέστερη
				ολοκλήρωση της 8
10	Συναρμολόγηση προκατασκευασμένων γραφείων	2	Γερανός [100%] Εργάτης [200%] Υλικά: 20.000€	7 με 1 μέρα καθυστέρηση, 9
11	Συναρμολόγηση προκατασκευασμένης αποθήκης	2	Γερανός [100%] Εργάτης [200%] Υλικά: 15.000€	7 με 1 μέρα καθυστέρηση, 9
12	Συναρμολόγηση χώρων υγιεινής	1	Γερανός [50%] Εργάτης [100%] Υλικά: 5.000€	7 με 1 μέρα καθυστέρηση, 9
13	Σύνδεση δικτύων ύδρευσης και ηλεκτρισμού	1	Εργάτης [100%] Κόστος: 4,000€	8, 10, 11, 12
14	Εγκατάσταση καντίνας	1	Γερανός [50%] Εργάτης [100%] Υλικά: 500€	13
15	Εγκατάσταση συνεργείων	1	Υλικά: 500€	13

Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το εργοτάξιο θα πρέπει να είναι έτοιμο στις 7/5/2021, αλλά ο εργοταξιάρχης επιθυμεί να προγραμματίσει τις εργασίες με ένα περιθώριο ασφαλείας τριών εργάσιμων ημερών. Θα ακολουθείται εβδομάδα πέντε εργάσιμων ημερών (Δευ-Παρ) με οκτώ ώρες εργασίας ανά ημέρα (08.00-16.00). Δεν θα πραγματοποιούνται εργασίες κατά τις επίσημες αργίες (για τις ημερομηνίες των αργιών του έτους 2021 εξετάσαμε την ιστοσελίδα <http://www.argies.gr/>). Όλες οι δραστηριότητες είναι σταθερής ποσότητας εργασίας (fixed work).

Οι απαιτήσεις σε πόρους καθώς και το κόστους τους είναι οι εξής:

- Μηχανικός: κόστος 250€/ημέρα που χρεώνεται σύμφωνα με την πρόοδο του έργου, διαθεσιμότητα 100%.

- Εργάτες: κόστος εργάτη 150€/ημέρα που χρεώνεται σύμφωνα με την πρόοδο του έργου. Υπάρχουν διαθέσιμοι 5 ισοδύναμοι εργάτες.
- Υλικά/κόστος: τα υλικά που αναλώνονται κατά την εκτέλεση κάθε δραστηριότητας εξοφλούνται προκαταβολικά κατά την χρονική στιγμή έναρξης της δραστηριότητας.
- Μηχανήματα: Εκσκαφέας (450€/ημέρα), Προωθητής (400€/ημέρα), Γερανός (1.000€/ημέρα), χρεώνονται σύμφωνα με την πρόοδο του έργου, διαθεσιμότητα κάθε μηχανήματος: 100%.
- Λοιπές δαπάνες: Στο έργο θα χρεωθούν 25.000€ γενικές δαπάνες, επιμεριζόμενες ανάλογα με την πρόοδό του.

Για την επίλυση χρησιμοποιούμε το λογισμικό Microsoft Project. Καταρχήν στην επιφάνεια εργασίας του Microsoft Project καθορίζουμε τα έργα, τη διάρκειά τους και τις σχέσεις αλληλουχίας και αλληλεξάρτησης που δίδονται από τα δεδομένα του έργου. Συγκεκριμένα κάνουμε μια αρχική παραδοχή ότι το έργο ξεκινάει έστω 20/3/2020 και ελέγχουμε αν το deadline (7/5/2020 με περιθώριο ασφαλείας 3 εργάσιμων ημερών) ικανοποιείται. Εάν δεν ικανοποιείται (θα εμφανίσει μήνυμα λάθους το Microsoft Project) τότε θα μετακυλήσουμε όλες τις εργασίες πιο πίσω μέχρις ότου να βρούμε την καταλληλότερη ημερομηνία εκκίνησης του έργου. Επιπλέον θα θέσουμε τις απαραίτητες πηγές για το έργο. Θα ληφθούν υπόψιν τα Σαββατοκύριακα και οι εθνικές αργίες του 2020 οι οποίες είναι οι εξής:

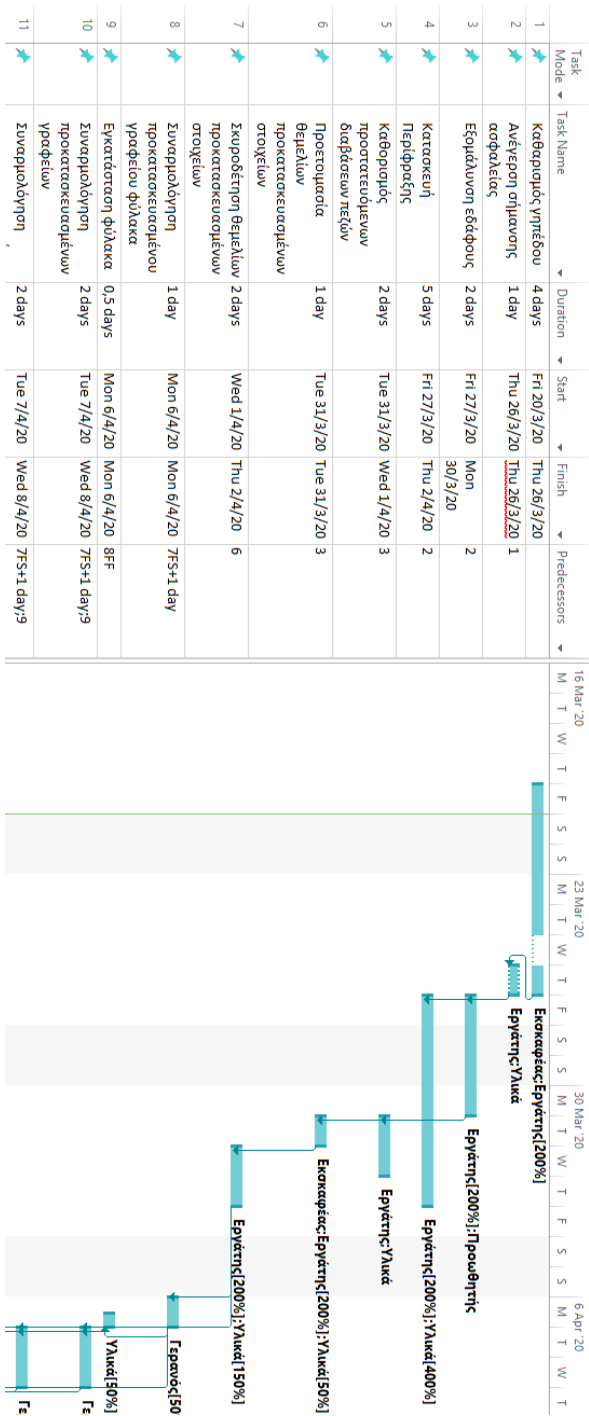
25/3/2020 → Εθνική Επέτειος

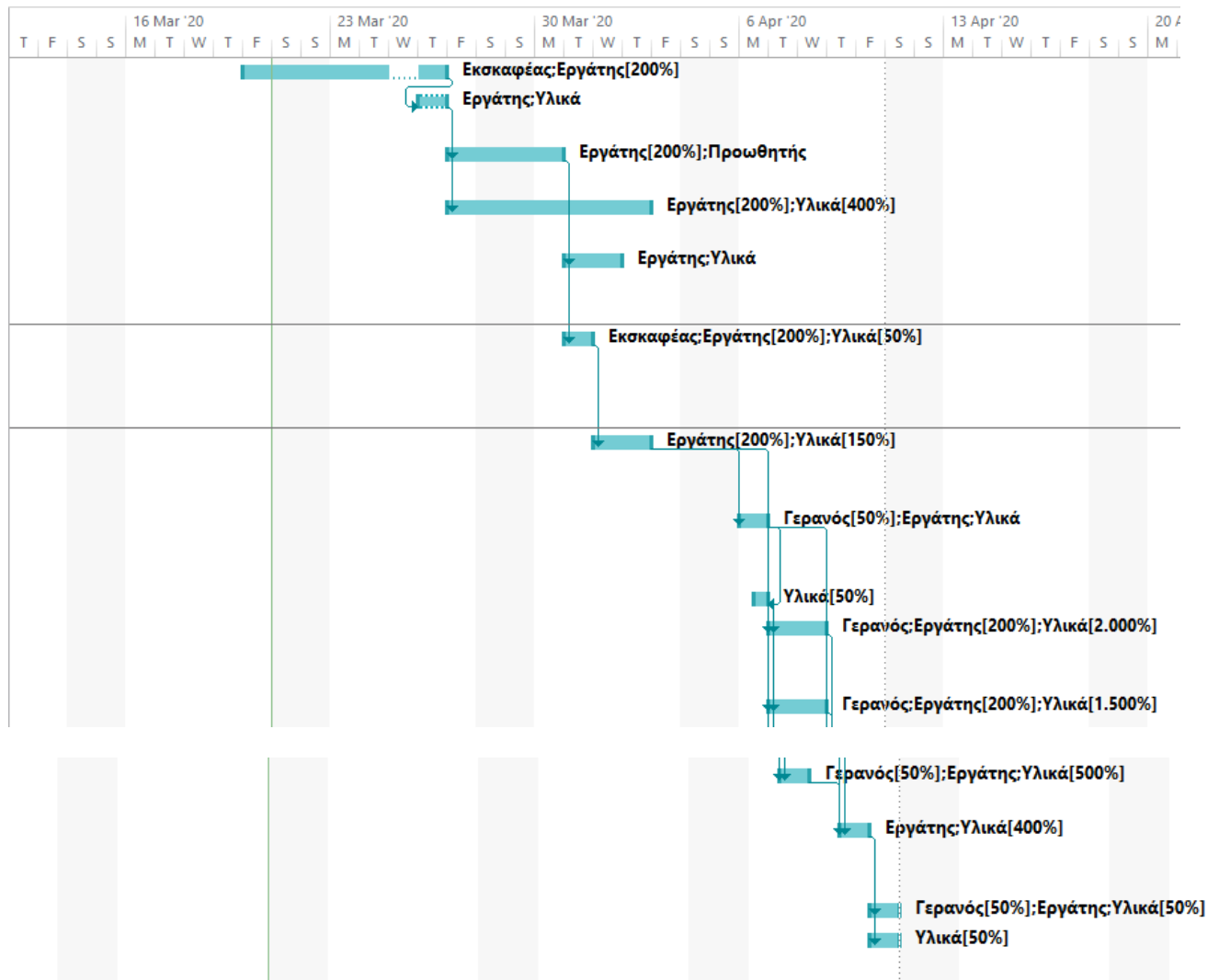
17/4/2020 → Μεγάλη Παρασκευή

20/4/2020 → Δευτέρα του Πάσχα

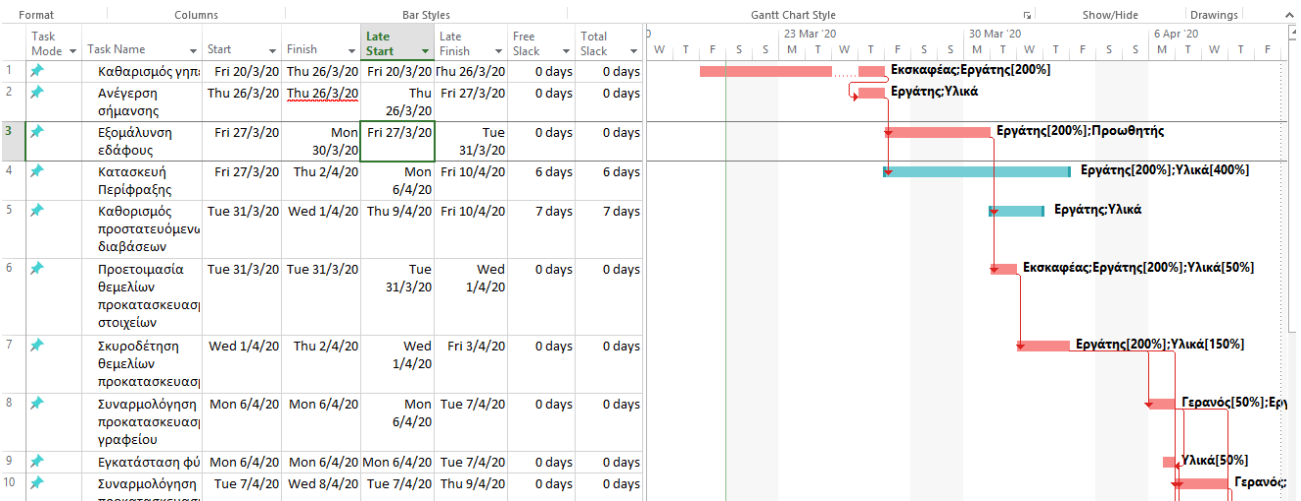
1/5/2020 → Εργατική Πρωτομαγιά

Συγκεκριμένα προκύπτει ένα αρχείο της ακόλουθης μορφής:





Το έργο ξεκινάει χωρίς να υπάρχει πρόβλημα στο deadline στις 20/3/2020 και ολοκληρώνεται στις 10/4/2020. Προφανώς κάθε τεχνικός επιβλέπων υπεύθυνος για τη διαχείριση του έργου θα μπορούσε να επιλέξει μια άλλη ημερομηνία εκκίνησης αν ήθελε να προσεγγίσει περισσότερο το deadline των 7/5/2020 (με 3 μέρες περιθώριο) αρκεί φυσικά να μην το υπερβαίνει. Η συνολική διάρκεια του έργου είναι ίση με 21 ημέρες. Όσον αφορά την κρίσιμη διαδρομή πατούμε το Format →Critical Tasks. Αυτές πλέον φαίνονται στην οθόνη με ροζ χρώμα.



Συγκεκριμένα το κρίσιμο μονοπάτι είναι το εξής:

Δραστηριότητες 1-2-3-6-7-8-9-10-11-13-14-15

Το έργο απαιτεί τη σωρευτική ανάλωση του πόρου Εργάτης σε ώρες εργασίας μέχρι τις 27/4/2020 που στην ακραία και οριακή περίπτωση είναι 5 εργάσιμες ημέρες πριν την ολοκλήρωση του έργου (δηλαδή με βάση το δικό μας προγραμματισμό είναι μέχρι τη Δευτέρα 6/4/2020. Στο ταμπλό Resource→Details εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας:

Project	ID	Task Name	Work	Leveling Delay	Delay	Scheduled Start	Scheduled Finish
Thema 5	1	Καθαρισμός γηπέδου	64h	0d	0d	Fri 20/3/20	Thu 26/3/20
Thema 5	2	Ανέγερση σήμανσης ασφαλείας	8h	0d	0d	Thu 26/3/20	Thu 26/3/20
Thema 5	3	Εξομάλυνση εδάφους	32h	0d	0d	Fri 27/3/20	Mon 30/3/20
Thema 5	4	Κατασκευή Περίφραξης	80h	0d	0d	Fri 27/3/20	Thu 2/4/20
Thema 5	5	Καθορισμός προστατευόμενων δια	16h	0d	0d	Tue 31/3/20	Wed 1/4/20
Thema 5	6	Προετοιμασία θεμελίων προκατασκ	16h	0d	0d	Tue 31/3/20	Tue 31/3/20
Thema 5	7	Σκυροδέτηση θεμελίων προκατασκ	32h	0d	0d	Wed 1/4/20	Thu 2/4/20
Thema 5	8	Συναρμολόγηση προκατασκευασι	8h	0d	0d	Mon 6/4/20	Mon 6/4/20

Άρα φαίνεται ότι οι εργάτες έχουν δουλέψει συνολικά 256 ώρες από την εκκίνηση του έργου μέχρι και 5 εργάσιμες μέρες πριν την αποπεράτωσή του (με άθροιση των στοιχείων ωρών που φαίνονται στο ανωτέρω screenshot).

Το συνολικό κόστος της δραστηριότητας «Σκυροδέτηση Θεμελίων» εμφανίζεται αν ο χρήστης πατήσει 2 φορές πάνω στη δραστηριότητα αυτή στο διάγραμμα Gantt. Συγκεκριμένα του εμφανίζεται ο ακόλουθος πίνακας:

Task Information

General | Predecessors | Resources | Advanced | Notes | Custom Fields

Name: Σκυροδέτηση θεμελίων προκατασκευασμένων στοιχείων Duration: 2 days Estimated

Resources:

Resource Name	Assignment Owner	Units	Cost
Εργάτης		200%	600,00 €
Υλικά		150%	1.500,00 €

Help OK Cancel

Άρα έχουμε συνολικό κόστος δραστηριότητας $600+1500=2100$ ευρώ.

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης του εργοταξίου προκύπτει με την άθροιση των τιμών κόστους για κάθε εργασία +25000 ευρώ γενικών εξόδων. Προκύπτει συνολικό κόστος 94500 ευρώ.

4.2.Αριθμητική Εφαρμογή 2

Καλούμαστε να λύσουμε με το Microsoft Project το ακόλουθο πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού.

Πίνακας 6: Πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού Αριθμητικής Εφαρμογής 2

Δραστηριότητα	Αμέσως προηγούμενες	Διάρκεια (εβδομάδες)	Μέγεθος συνεργείου (αριθμός εργατών)
A	-	2	6
B	-	2	3
Γ	A	3	4
Δ	A	6	2
E	A	5	3
Z	A, B	4	3
H	Γ, Δ	2	3
Θ	Δ, E	4	3
I	E	6	4
K	E, Z	4	3

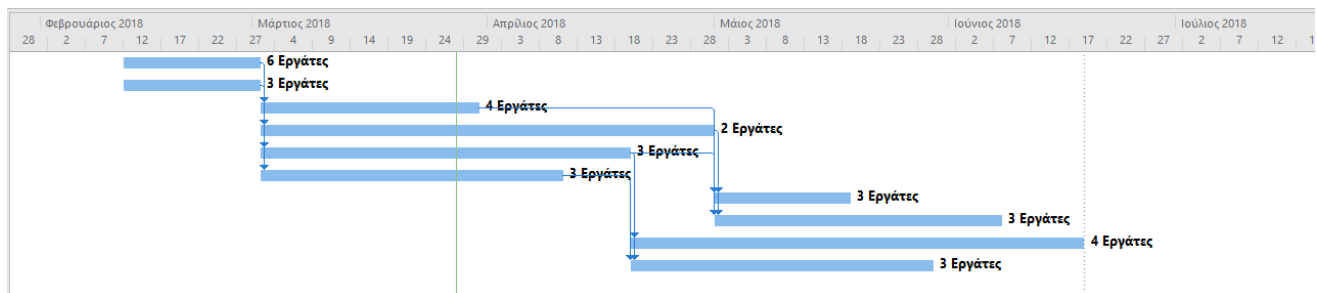
Έστω ότι η ημερομηνία έναρξης του έργου (επιλογή τυχαίας ημερομηνίας) είναι στις 12/2/2018. Θα επιλυθεί το πρόβλημα 1^α με χρήση του Microsoft Project.

Τίθενται στο αρχείο με όνομα 1Aproject τα δεδομένα του προβλήματος που εμφανίζονται με αυτή τη μορφή:

	Λειτουργία εργασίας	Όνομα εργασίας	Διάρκεια	Έναρξη	Λήξη	Προσπαιτούμ- εργασίες	Όνόματα πόρων
1		A	14 ημέρες	Δευτ. 12/2/18	Πέμ. 1/3/18		6 Εργάτες
2		B	14 ημέρες	Δευτ. 12/2/18	Πέμ. 1/3/18		3 Εργάτες
3		Γ	21 ημέρες	Παρ. 2/3/18	Παρ. 30/3/18	1	4 Εργάτες
4		Δ	42 ημέρες	Παρ. 2/3/18	Δευτ. 30/4/18	1	2 Εργάτες
5		E	35 ημέρες	Παρ. 2/3/18	Πέμ. 19/4/18	1	3 Εργάτες
6		Z	28 ημέρες	Παρ. 2/3/18	Τρί. 10/4/18	1;2	3 Εργάτες
7		H	14 ημέρες	Τρί. 1/5/18	Παρ. 18/5/18	3;4	3 Εργάτες
8		Θ	28 ημέρες	Τρί. 1/5/18	Πέμ. 7/6/18	4;5	3 Εργάτες
9		I	42 ημέρες	Παρ. 20/4/18	Δευτ. 18/6/18	5	4 Εργάτες
10		K	28 ημέρες	Παρ. 20/4/18	Τρί. 29/5/18	5;6	3 Εργάτες

Στην 1^η στήλη τέθηκε προεπιλογή για όλες τις εργασίες τον αυτόματο προγραμματισμό. Στην 2^η στήλη τέθηκε η ονομασία της εργασίας, στη 3^η στήλη μπήκε η χρονική διάρκεια, στην 4^η στήλη τέθηκε αυτομάτως η ημερομηνία έναρξης εφόσον έχει συμπληρωθεί η 7^η στήλη τις προαπαιτούμενες εργασίες που προηγούνται. Τέλος στην 8^η στήλη τέθηκε ο αριθμός των πόρων για κάθε εργασία.

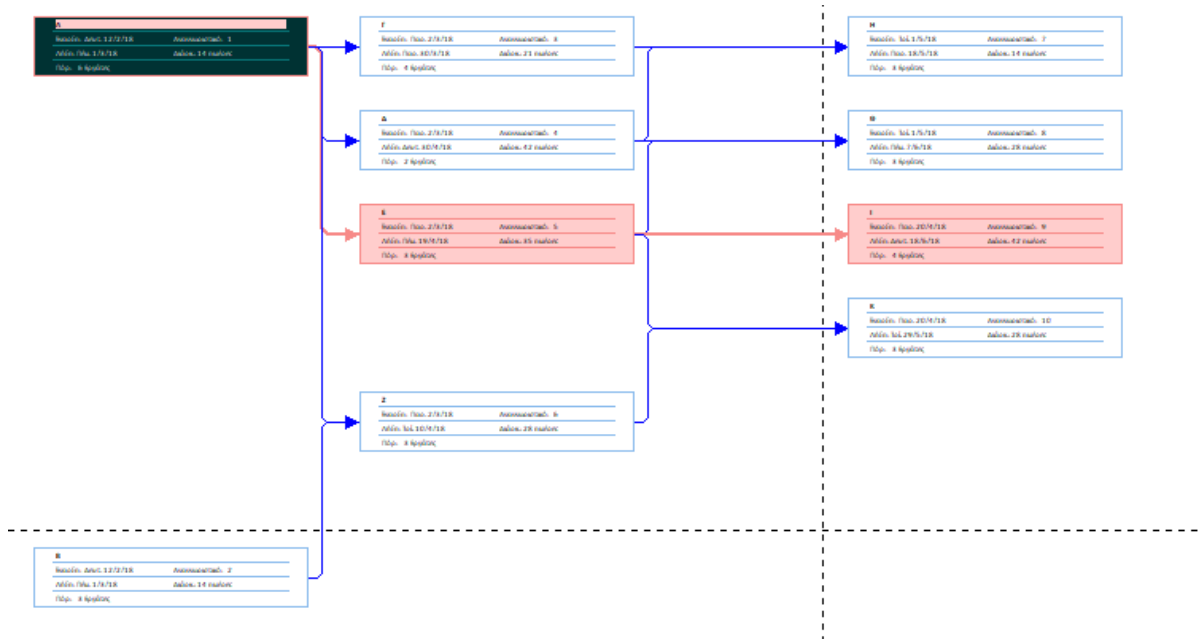
Το διάγραμμα Gantt που προκύπτει είναι το εξής:



Εικόνα 10: Διάγραμμα Gantt Αριθμητικής Εφαρμογής 2

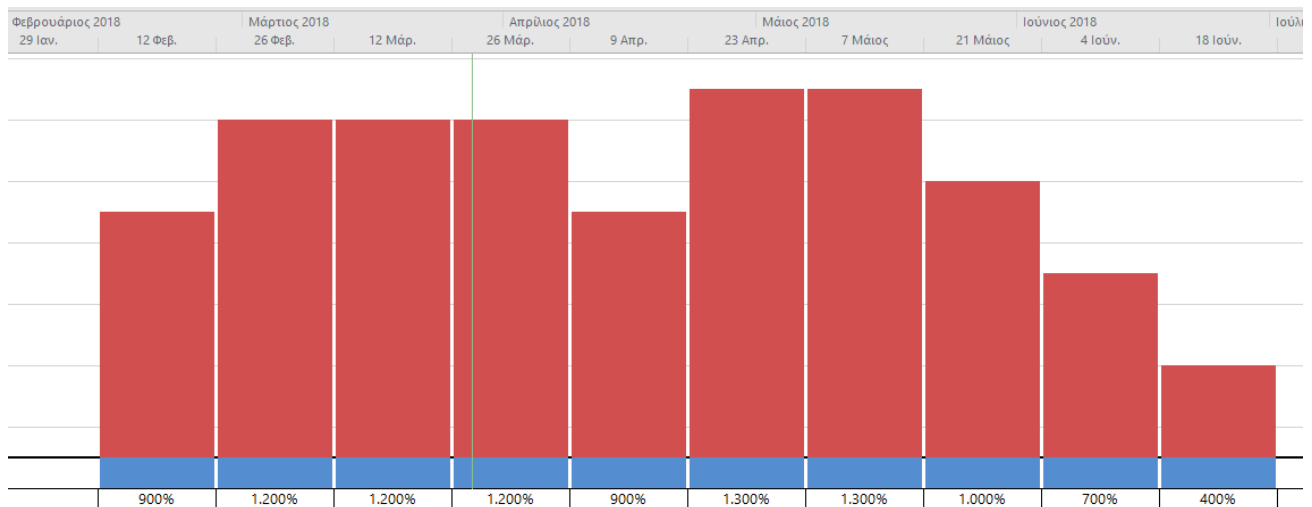
Παρατηρείται ως καταληκτική ημερομηνία η 17^η Ιουνίου.

Το διάγραμμα δικτύου είναι το ακόλουθο και παρατηρείται ότι η κρίσιμη διαδρομή, σημειωμένη με ροζ χρώμα, είναι η A,E,I άρα αποτελούσαν και την κρίσιμη διαδρομή. Να σημειωθεί ότι το Microsoft Project έχει default ορίσει 8ωρο εργασίας και 5 ημέρες την εβδομάδα εργάσιμες.



Εικόνα 11; Απεικόνιση Κρίσιμης Διαδρομής με χρήση Microsoft Project

Ο πίνακας κατανομής προσωπικού είναι ο ακόλουθος.



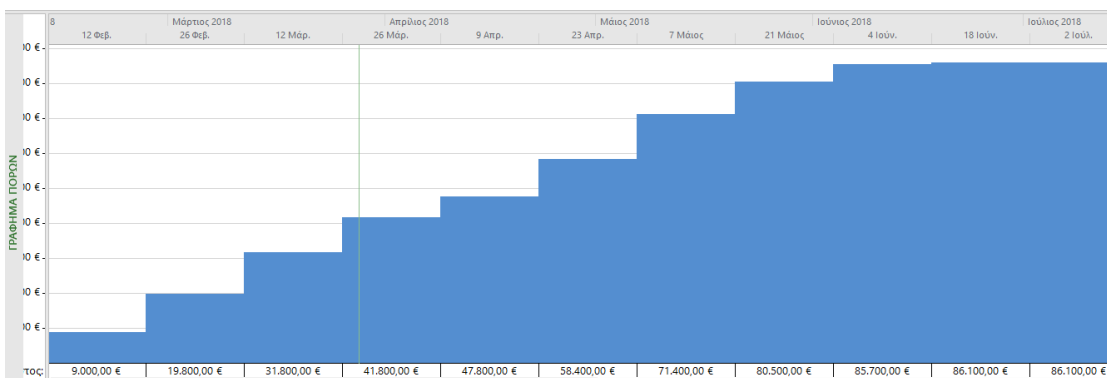
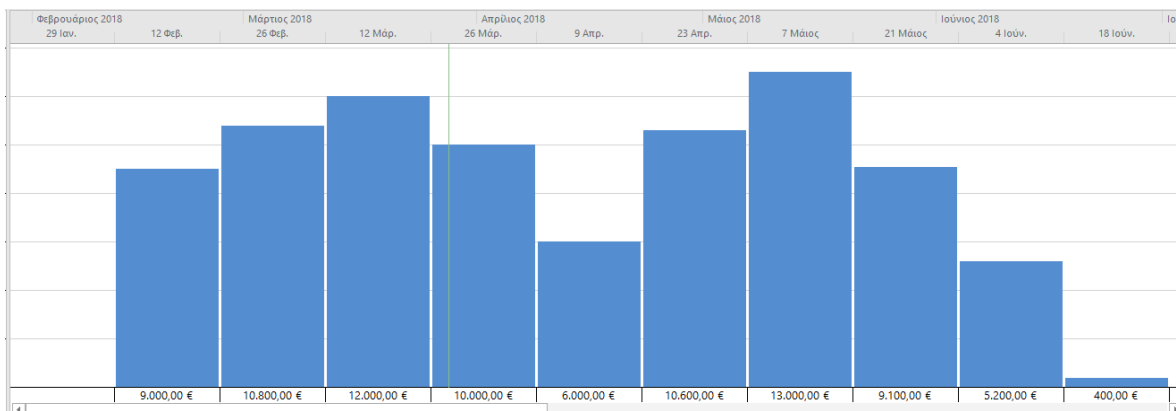
Εικόνα 12: Πίνακας Κατανομής Προσωπικού

Δημιουργείται αντίγραφο του αρχείου και ονομάζεται 1Bproject. Προσπαθώ να εξομαλύνω το διάγραμμα κατανομής προσωπικού, μετακινώντας χρονικά κάποιες εργασίες εντός των περιθωρίων τους, χωρίς να αυξηθεί η διάρκεια του έργου. Επιπλέον τροποποιείται ελαφρώς το χρονοδιάγραμμα εργασιών. Συγκεκριμένα η εργασία Γ ξεκινάει μια εβδομάδα αργότερα, η εργασία Ε σταματάει τη 4^η εβδομάδα ε και επανεκκινεί μια εβδομάδα αργότερα, η Ζ σταματάει στην 5^η εβδομάδα και ξεκινάει μια εβδομάδα αργότερα, η Θ σταματάει στην 10^η εβδομάδα και ξεκινάει μια εβδομάδα αργότερα και η Κ ξεκινάει 2 εβδομάδες αργότερα του κανονικού. Η νέα κατανομή των εργατών είναι η ακόλουθη.



Εικόνα 13: Διάγραμμα Εξομαλυσμένης Κατανομής Εργατικού Προσωπικού

Έχω θέσει στα δεδομένα ως 12.5 ευρώ ανά ώρα αμοιβή του κάθε εργαζόμενου. Το εβδομαδιαίο και το αθροιστικό διάγραμμα κόστους είναι τα εξής:



Εικόνα 14: Εβδομαδιαίο και αθροιστικό διάγραμμα κόστους

Εξετάζεται πχ στο τέλος της 8^{ης} εβδομάδας εργασιών η πρόοδος των εργασιών. Καταρχήν τίθενται τα ποσοστά ολοκλήρωσης κάθε εργασίας. Για παράδειγμα στην εργασία Ε στην καρτέλα ενημέρωση εργασιών θέτω ποσοστό ολοκλήρωσης 80%.

Ενημέρωση εργασιών

Όνομα: E Διάρκεια: 35η

% Ολοκλήρωση: 80% Πραγματική διάρκεια: 28η Υπόλοιπη διάρκεια: 7η

Πραγματικό

Εγναξη: Παρ. 2/3/18

Λήξη: Δ/Υ

Τρέχον

Εναρξη: Παρ. 2/3/18

Λήξη: Πέμ. 19/4/18

Βοήθεια Σημειώσεις... OK Άκυρο

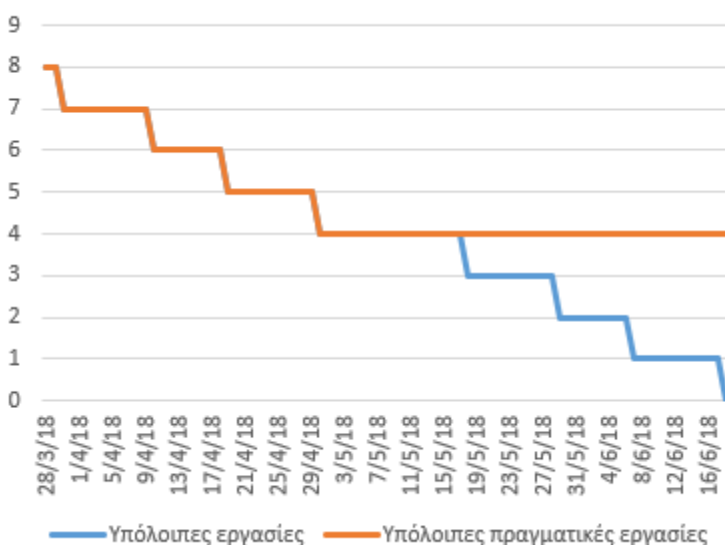
Εικόνα 15: Καρτέλα ενημέρωσης εργασιών στο Microsoft Project

Επίσης τίθεται στην καρτέλα πραγματικής ολοκλήρωσης το ποσοστό εργασίας που έπρεπε να έχει ολοκληρωθεί στο πέρας της 8^{ης} εβδομάδας.

Όνομα εργασίας	Πραγμ. έναρξη	Πραγμ. λήξη	% ολοκλ.	% ολοκλ.	Πραγμ. διάρκ.	Υπόλ. διάρκ.	Πραγμ. κόστος	Πραγμ. όγκος εργασίας	Προσθήκη νέας ροής
1 A	υτ. 12/2/18	Πέμ. 1/3/18	100%	100%	14 ημέρες	0 ημέρες	8.400,00 €	672 ώρ.	
2 B	υτ. 12/2/18	Πέμ. 1/3/18	100%	100%	14 ημέρες	0 ημέρες	4.200,00 €	336 ώρ.	
3 Γ	Γαρ. 2/3/18	αρ. 30/3/18	100%	100%	21 ημέρες	0 ημέρες	8.400,00 €	672 ώρ.	
4 Δ	Γαρ. 2/3/18	υτ. 30/4/18	100%	75%	42 ημέρες	0 ημέρες	8.400,00 €	672 ώρ.	
5 E	Γαρ. 2/3/18	έμ. 19/4/18	100%	80%	35 ημέρες	0 ημέρες	10.500,00 €	840 ώρ.	
6 Z	Γαρ. 2/3/18	Γρί. 10/4/18	100%	100%	28 ημέρες	0 ημέρες	8.400,00 €	672 ώρ.	
7 H	Δ/Υ	Δ/Υ	0%	0%	0 ημέρες	14 ημέρες	0,00 €	0 ώρ.	
8 Θ	Δ/Υ	Δ/Υ	0%	0%	0 ημέρες	28 ημέρες	0,00 €	0 ώρ.	
9 I	αρ. 20/4/18	Δ/Υ	17%	20%	7,14 ημέρες	36 ημέρες	2.856,00 €	228,48 ώρ.	
10 K	αρ. 20/4/18	Δ/Υ	25%	25%	7 ημέρες	21 ημέρες	2.100,00 €	168 ώρ.	

Εικόνα 16: Ποσοτά εργασίας που έπρεπε να έχουν ολοκληρωθεί στην επιλεγμένη ημερομηνία ελέγχου

Και η αναφορά οροσήμου είναι η ακόλουθη.



Εικόνα 17: Αναφορά Ημερομηνίας Ορόσημου στο Microsoft Project

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Οι λεπτομέρειες κόστους για όλες τις εργασίες ανώτατου επιπέδου.

Όνομα	Σταθερό κόστος	Πραγματικό κόστος	Υπόλοιπο κόστος	Κόστος	Κόστος γραμμής βάσης	Διακύμανση κόστους
A	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €
B	0,00 €	4.200,00 €	0,00 €	4.200,00 €	0,00 €	4.200,00 €
Γ	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €
Δ	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €
E	0,00 €	10.500,00 €	0,00 €	10.500,00 €	0,00 €	10.500,00 €
Z	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €
H	0,00 €	0,00 €	4.200,00 €	4.200,00 €	0,00 €	4.200,00 €
Θ	0,00 €	0,00 €	8.400,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €
I	0,00 €	2.856,00 €	13.944,00 €	16.800,00 €	0,00 €	16.800,00 €
K	0,00 €	2.100,00 €	6.300,00 €	8.400,00 €	0,00 €	8.400,00 €

Εικόνα 18: Λεπτομέρειες Κόστους

Από όλα τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι η χρήση ενός λογισμικού (όπως το Microsoft Project) μπορεί να μας παράσχει πλήρη αποτίμηση και εποπτεία του διαχειριστικού έργου που καλούμαστε ως μηχανικοί να αναλάβουμε. Ωστόσο, υπάρχει ένα μειονέκτημα σε αυτή τη διαδικασία, καθώς λογισμικά σαν κι αυτό (ή και οι πιο τετριμμένες αναλυτικές επιλύσεις με το χέρι) δεν μπορούν να επιλύσουν προβλήματα «Βελτιστοποίησης Χρόνου και Πόρων». Ουσιαστικά ο μηχανικός διευκολύνεται μεν να συντάξει διαγράμματα Gantt, διαγράμματα ροής, εύρεση κρίσιμων δραστηριοτήτων κλπ. αλλά αν έχει να επιλέξει μέσα από μία πληθώρα εφικτών λύσεων την βέλτιστη (ως προς κάποιο κριτήριο) χρειάζεται να καταφύγει σε πιο εξελιγμένα μέσα, όπως είναι οι εξελικτικοί αλγόριθμοι. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων προβλημάτων διαχείρισης τεχνικών έργων με απαίτηση εύρεσης βέλτιστης λύσης, θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο, όπου συγκεκριμένα θα γίνει περιγραφή της μεθόδου των γενετικών αλγορίθμων και θα επιχειρηθεί η επίλυση του προβλήματος με χρήση του υπολογιστικού αυτού εργαλείου (χειροκίνητα ή με γλώσσα προγραμματισμού ή και με απλή χρήση excel spreadsheets).

5. Προβλήματα χρονικού προγραμματισμού με χρήση εξελικτικών αλγορίθμων

5.1. Περιγραφή Προβλήματος

Επιλέγουμε έστω ένα απλουστευμένο πρόβλημα χρονικού (και οικονομικού προγραμματισμού) το οποίο περιλαμβάνει 5 δραστηριότητες, με συγκεκριμένες σχέσεις αλληλουχίας και συγκεκριμένα κόστη (άμεσο και πρόσθετα κόστη ανά ημέρα). Συνοπτικά, τα δεδομένα του προβλήματος φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 7; Πρόβλημα προς επίλυση με μεθόδους εξελικτικών αλγορίθμων

Δραστηριότητα	Άμεσως προηγούμενη	Διάρκεια (ημέρες)	Άμεσο κόστος (κανονική διάρκεια)	Ελάχιστη διάρκεια (ημέρες)	Πρόσθετο κόστος ανά ημέρα συντόμευσης
A	-	3	300	2	150
B	A	6	720	4	100
Γ	A	7	700	3	200
Δ	B	1	400	1	-
E	B	3	300	2	150

Το πρόβλημα που ζητείται να επιλυθεί είναι να βρεθεί με ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης η ελάχιστη διάρκεια του έργου και το ελάχιστο κόστος υλοποίησης που αντιστοιχεί στην διάρκεια αυτή. Ο στόχος της αντικειμενικής συνάρτησης βελτιστοποίησης θα είναι η ελάχιστη διάρκεια του έργου. Το πρόβλημα αυτό θα λυθεί με δύο τρόπους χάριν συγκρίσεως. Αφενός θα χρησιμοποιηθούν συμβατικές μέθοδοι γραμμικού ή μη γραμμικού προγραμματισμού (Excel Solver) και αφετέρου θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των γενετικών αλγορίθμων με ανάπτυξη κώδικα στο περιβάλλον της Matlab. Στο παρόν έγγραφο θα περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία ανάπτυξης και των δύο μοντέλων. Να σημειωθεί ότι θα επιλυθεί και μια παραλλαγή του προβλήματος, δηλαδή θα προστεθεί επιπλέον κι ένα έμμεσο κόστος ανά ημέρα ίσο με 140 χρηματικές μονάδες. Οι επιλύσεις ακολουθούν στις επόμενες ενότητες.

5.2. Επίλυση του αρχικού προβλήματος με συμβατικές μεθόδους Excel Solver

Σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, τα 3 σημαντικότερα χαρακτηριστικά είναι:

1. Η αντικειμενική συνάρτηση (min, max)
2. Οι Μεταβλητές του προβλήματος (variables)
3. Οι περιορισμοί (constraints)

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα θα ληφθεί καταρχήν υπόψιν μόνο το άμεσο κόστος. Το πρόβλημα μορφώνεται ως εξής:

Έστω x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 οι μεταβλητές της διάρκειας των 5 δραστηριοτήτων Α, Β, Γ, Δ, Ε. Ένας πρώτος περιορισμός αυτών των 5 μεταβλητών είναι πως πρόκειται για θετικούς αριθμούς και ακεραίους. Επιπλέον τίθενται οι περιορισμοί για την ελάχιστη και τη μέγιστη διάρκεια κάθε μιας δραστηριότητας.

$$x_{1,2,3,4,5} \geq 0$$

$$2 \leq x_1 \leq 3$$

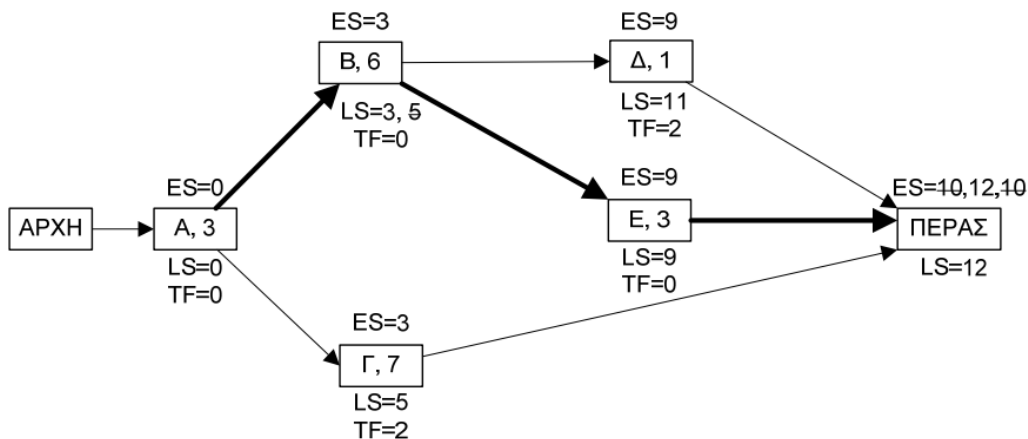
$$4 \leq x_2 \leq 6$$

$$3 \leq x_3 \leq 7$$

$$x_4 = 1$$

$$2 \leq x_5 \leq 3$$

Επιπλέον θα πρέπει να τεθούν οι περιορισμοί που αφορούν τις προτεραιότητες των εργασιών. Θα πρέπει να καταγραφούν οι διαδρομές του έργου και να τεθούν ως περιορισμοί τα αθροίσματα των διαρκειών των διαδρομών. Το διάγραμμα του έργου φαίνεται ακολούθως.



Πίνακας 8: Διάγραμμα Έργου

Οι διαδρομές που εμφανίζονται είναι οι εξής:

A-B-Δ

A-B-E

A-Γ

Άρα τίθενται οι εξής περιορισμοί:

$$7 \leq x_1 + x_2 + x_4 \leq 10$$

$$8 \leq x_1 + x_2 + x_5 \leq 12$$

$$5 \leq x_1 + x_3 \leq 10$$

Η αντικειμενική συνάρτηση για τη χρονική διάρκεια του έργου, (εφόσον πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί όλες οι διαδρομές για να είναι πλήρες το έργο) είναι η εξής:

$$\max \{x_1 + x_2 + x_4; x_1 + x_2 + x_5; x_1 + x_3\}$$

Για να εκφρασθεί αυτό ως συνάρτηση στο solver του excel (καθώς αν θέσω κελί με αντικειμενική συνάρτηση max με ό,τι τιμές εκκίνησης και να ξεκινώ στις μεταβλητές θα καταλήγω πιθανότατα σε τοπικό ακρότατο της συνάρτησης) θα χρειαστώ μια σύνθετη συνάρτηση με nestedif. Η λογική σε αυτήν τη συνάρτηση είναι η εξής:

→Εάν η διαδρομή ΑΒΔ έχει διάρκεια μεγαλύτερη από την ΑΒΕ και την ΑΓ είναι η μέγιστη αλλιώς:

→Εάν η ΑΒΕ έχει διάρκεια μεγαλύτερη από την ΑΓ αυτή είναι η μέγιστη αλλιώς:

→Η ΑΓ είναι η μέγιστη άρα και αυτή που επιλύει το πρόβλημα της μεγιστοποίησης.

Σε περιβάλλον excel αυτή η συνάρτηση, εάν θεωρήσω ότι Κ6,Κ7,Κ8 έστω τα κελιά διάρκειας των διαδρομών ΑΒΕ,ΑΒΔ και ΑΓ θα γραφόταν ως εξής:

$$=IF(AND(K5>K6;K5>K7);K5;IF(K6>K7;K6;K7))$$

Η παραπάνω είναι και η αντικειμενική μου συνάρτηση που υπάγεται στους περιορισμούς που προαναφέρθηκαν. Όσον αφορά το κόστος, σε σχέση με τη διάρκεια κάθε εργασίας, απλώς ακολουθώ το παρακάτω σκεπτικό :

Κόστος εργασιών ως συνάρτηση της διάρκειας

$$C_A = 300 + 150 (3 - d_A)$$

$$C_B = 720 + 100 (6 - d_B)$$

$$C_\Gamma = 700 + 200 (7 - d_\Gamma)$$

$$C_\Delta = 400 + 0 (1 - d_\Delta)$$

$$C_E = 300 + 150 (3 - d_E)$$

Άρα με αυτόν τον τρόπο, η αντικειμενική μου συνάρτηση πλέον δεν είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, αλλά η ελαχιστοποίηση των ημερών εργασίας.

Στο περιβάλλον του excel solver το πρόβλημα απεικονίζεται ως εξής γραφικά και με βάση τους περιορισμούς:

Εργασία	Διάρκεια	Κόστος	Μαχ διάρκεια	C κανονικό	Min d	ΔC	Διάρκειες Διαδρομών	Obj
A	3	300	3	300	2	150	12	12
B	6	720	6	720	4	100	10	
Γ	6	900	7	700	3	200	9	
Δ	1	400	1	400	1	0		
E	3	300	3	300	2	150		
Συνολικό κόστος		2620						
			Αντικειμενική					
			Μεταβλητές					
			Περιορισμοί					
			Υπολογισμοί					

Εικόνα 19: Επίλυση προβλήματος με χρήση Excel Solver.

Ορισμός στόχου:

Σε: Μέγιστη Ελάχιστη Ίμμή του:

Με αλλαγή μεταβλητών κελιών:

Σύμφωνα με τους περιορισμούς:

\$E\$5 <= \$G\$5
 \$E\$5 >= \$I\$5
 \$E\$5:\$E\$9 = ακέραιος
 \$E\$6 <= \$G\$6
 \$E\$6 >= \$I\$6
 \$E\$7 <= \$G\$7
 \$E\$7 >= \$I\$7
 \$E\$8 <= \$G\$8
 \$E\$8 >= \$I\$8
 \$E\$9 <= \$G\$9
 \$E\$9 >= \$I\$9

Καταστήστε τις μεταβλητές που δεν έχουν περιορισμούς μη αρνητι

Επιλέξτε μια μέθοδο επίλυσης:

Μέθοδος επίλυσης

Επιλέξτε το μη γραμμικό GRG μηχανισμό για προβλήματα της Επίλυσης που είναι ομαλά μη γραμμικά. Επιλέξτε το μηχανισμό LP Simplex για γραμμικά προβλήματα της Επίλυσης και επιλέξτε το μηχανισμό Evolutionary για προβλήματα της Επίλυσης που δεν είναι ομαλά.

Εικόνα 20: Επιλογή Μεταβλητών, Περιορισμών και Αντικειμενικής Συνάρτησης

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι η ελάχιστη διάρκεια του έργου είναι 12 ημέρες και το συνολικό (ελάχιστον τρόπον τινά) κόστος που αντιστοιχεί σε αυτήν είναι 2620 ευρώ.

5.3.Επίλυση προβλήματος με έμμεσο κόστος με χρήση Excel Solver

Σε δεύτερη φάση αναζητάται η βέλτιστη λύση για το ελάχιστο κόστος (και η βέλτιστη διάρκεια που αντιστοιχεί σε αυτό). Προστίθενται έμμεσα κόστη 150 ευρώ ανά ημέρα εργασίας. Συνεπώς τα κόστη εργασιών λαμβάνουν την ακόλουθη μορφή:

$$C_1 = 300 + 150(3 - x_1) + 140x_1$$

$$C_2 = 720 + 100(6 - x_2) + 140x_2$$

$$C_3 = 700 + 200(7 - x_3) + 140x_3$$

$$C_4 = 400 + 0(1 - x_4) + 140x_4$$

$$C_5 = 300 + 150(3 - x_5) + 140x_5$$

Οι περιορισμοί είναι οι ίδιοι με πριν και η αντικειμενική συνάρτηση είναι η ακόλουθη:

$$\text{Στόχος: } \min C = C_A + C_B + C_\Gamma + C_\Delta + C_E$$

Σε περιβάλλον excel solver το παραπάνω πρόβλημα φαίνεται ως εξής:

Εργασία	Διάρκεια	Κόστος	Μαχ διάρκεια	C κανονικό	Min d	ΔC	Διάρκειες Διαδρομών	Διάρκεια Έργου
A	3	720	3	300	2	150	10	10
B	4	1480	6	720	4	100	8	
Γ	7	1680	7	700	3	200	10	
Δ	1	540	1	400	1	0		
Ε	3	720	3	300	2	150		
Συνολικό κόστος		5140						
			Αντικειμενική					
			Μεταβλητές					
			Περιορισμοί					
			Υπολογισμοί					

Εικόνα 21: Επίλυση υποπροβλήματος με χρήση excel solver

Παράμετροι Επίλυσης



Ορισμός στόχου:

Σε: Μέγιστη Ελάχιστη Ίμμή του:

Με αλλαγή μεταβλητών κελιών:

Σύμφωνα με τους περιορισμούς:

\$E\$5 <= \$G\$5
 \$E\$5 >= \$I\$5
 \$E\$5:\$E\$9 = ακέραιος
 \$E\$6 <= \$G\$6
 \$E\$6 >= \$I\$6
 \$E\$7 <= \$I\$7
 \$E\$7 >= \$I\$7
 \$E\$8 <= \$G\$8
 \$E\$8 >= \$I\$8
 \$E\$9 <= \$G\$9
 \$E\$9 >= \$I\$9

Καταστήστε τις μεταβλητές που δεν έχουν περιορισμούς μη αρνητι

Επιλέξτε μια μέθοδο επίλυσης:

Μέθοδος επίλυσης

Επιλέξτε το μη γραμμικό GRG μηχανισμό για προβλήματα της Επίλυσης που είναι ομαλά μη γραμμικά. Επιλέξτε το μηχανισμό LP Simplex για γραμμικά προβλήματα της Επίλυσης και επιλέξτε το μηχανισμό Evolutionary για προβλήματα της Επίλυσης που δεν είναι ομαλά.

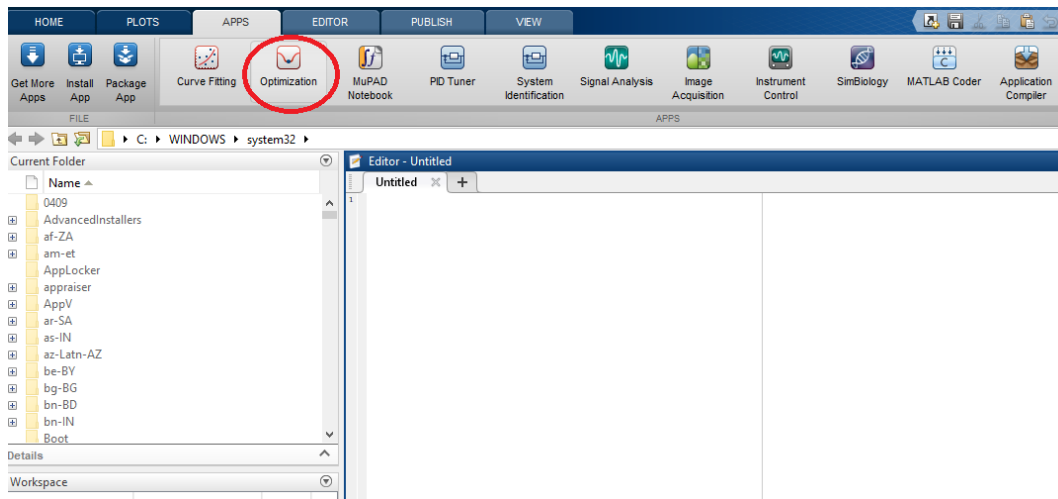
Εικόνα 22: Ορισμός αντικειμενικής συνάρτησης, περιορισμών και μεταβλητών στο υποπρόβλημα χρονικού προγραμματισμού

Παρατηρείται ότι το ελάχιστο κόστος σε αυτήν την περίπτωση είναι ίσο με 5140 ευρώ και η αντίστοιχη βέλτιστη διάρκεια είναι ίση με 10 ημέρες (αντί για 12 του πρώτου ερωτήματος).

Θα επαναληφθεί η ίδια διαδικασία με χρήση γενετικών αλγορίθμων.

5.4. Περιγραφή ανάπτυξης κώδικα με χρήση γενετικών αλγορίθμων στο περιβάλλον της Matlab

Χρησιμοποιείται το toolbox της Matlab με τίτλο Optimization Tool όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 23: Ορισμός του προβλήματος με χρήση του optimization toolbox της Matlab

Στο παράθυρο που αναδύεται τίθεται στο tab Solver → Genetic Algorithms

Δημιουργείται αρχείο m file το οποίο προσδιορίζει ο χρήστης την αντικειμενική συνάρτηση. Ο τίτλος του αρχείου θα είναι objfun. Η μορφή της συνάρτησης (σύμφωνα με όσα έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες) θα είναι η ακόλουθη:

```

Editor - C:\Users\user\objfun.m
Alpha.m x beta.m x objfun.m x +
1 function y=objfun(x)
2     y=2420+150*(3-x(1))+100*(6-x(2))+200*(7-x(3))+150*(3-x(5))+140*(x(1)+x(2)+x(3)+x(4)+x(5))
3     end
  
```

Εικόνα 24: Κώδικας ορισμού αντικειμενικής συνάρτησης στη Matlab

Επιπλέον στο κενό με τον αριθμό των μεταβλητών επιλέγω 5 (οι ανεξάρτητες μεταβλητές που είναι οι χρονικές διάρκειες των 5 έργων).



Εικόνα 25: Εισαγωγή Αντικειμενικής Συνάρτησης στο Optimization Toolbox

Έπειτα δημιουργώ 2 αρχεία για τον πίνακα A και για το διάνυσμα b των γραμμικών ανισοτήτων.

Έχω συνολικά 6 ανισότητες προτεραιότητας εργασιών που πρέπει να γραφούν σε μορφή $A*x < b$. Σε μορφή matlab θα χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη δομή:

$$7 \leq x_1 + x_2 + x_4 \leq 10$$

$$8 \leq x_1 + x_2 + x_5 \leq 12$$

$$5 \leq x_1 + x_3 \leq 10$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 10 \\ 12 \\ 10 \\ -7 \\ -8 \\ -5 \end{bmatrix}$$

```
Editor - C:\Users\user\Alpha.m
Alpha.m x beta.m x +
1 A=[1 1 0 1 0;1 1 0 0 1;1 0 1 0 0;-1 -1 0 -1 0;-1 -1 0 0 -1;-1 0 -1 0 0];
2
```

```
Editor - C:\Users\user\betaeta.m
Alpha.m x beta.m x +
1 b=[10;12;10;-7;-8;-5];
```

Εικόνα 26: Κωδικοποίηση των πινάκων του γραμμικού προβλήματος στη Matlab

Έχοντας και τους περιορισμούς για τις χρονικές διάρκειες των εργασιών (εξαιρουμένου του περιορισμού για το $x_4=1$ ο οποίος είναι περιορισμός ισότητας και θα τεθεί σε άλλο πεδίο):

$$x_{1,2,3,4,5} \geq 0$$

$$2 \leq x_1 \leq 3$$

$$4 \leq x_2 \leq 6$$

$$3 \leq x_3 \leq 7$$

$$x_4 = 1$$

$$2 \leq x_5 \leq 3$$

Constraints:

Linear inequalities: A: b:

Linear equalities: Aeq: beq:

Bounds: Lower: Upper:

Nonlinear constraint function:

Integer variable indices:

Εικόνα 27: Στήσιμο του προβλήματος με το Genetic Algorithms Toolbox

Να σημειωθεί ότι στο πεδίο Integer variable indices θα θέσω και τις 5 μεταβλητές καθώς κάθε διάρκεια εργασίας είναι ακέραιος αριθμός ημερών.

Constraints:

Linear inequalities: A: b:

Linear equalities: Aeq: beq:

Bounds: Lower: Upper:

Nonlinear constraint function:

Integer variable indices:

Run solver and view results

Use random states from previous run

Εικόνα 28: Εισαγωγή μεταβλητών

Επιλέγοντας στο output να μου παρουσιάσει και το best fitness, την επιλογή (selection) και την custom function,

Plot functions

Plot interval:

Best fitness Best individual Distance

Expectation Genealogy Range

Score diversity Scores Selection

Stopping Max constraint

Custom function:

Output function

Custom function:

Εικόνα 29: Ορισμός Παραγωγής Γραφημάτων

προκύπτουν μετά από το τρέξιμο τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Final point:				
1	2 ▲	3	4	5
	3	4	7	1
				3

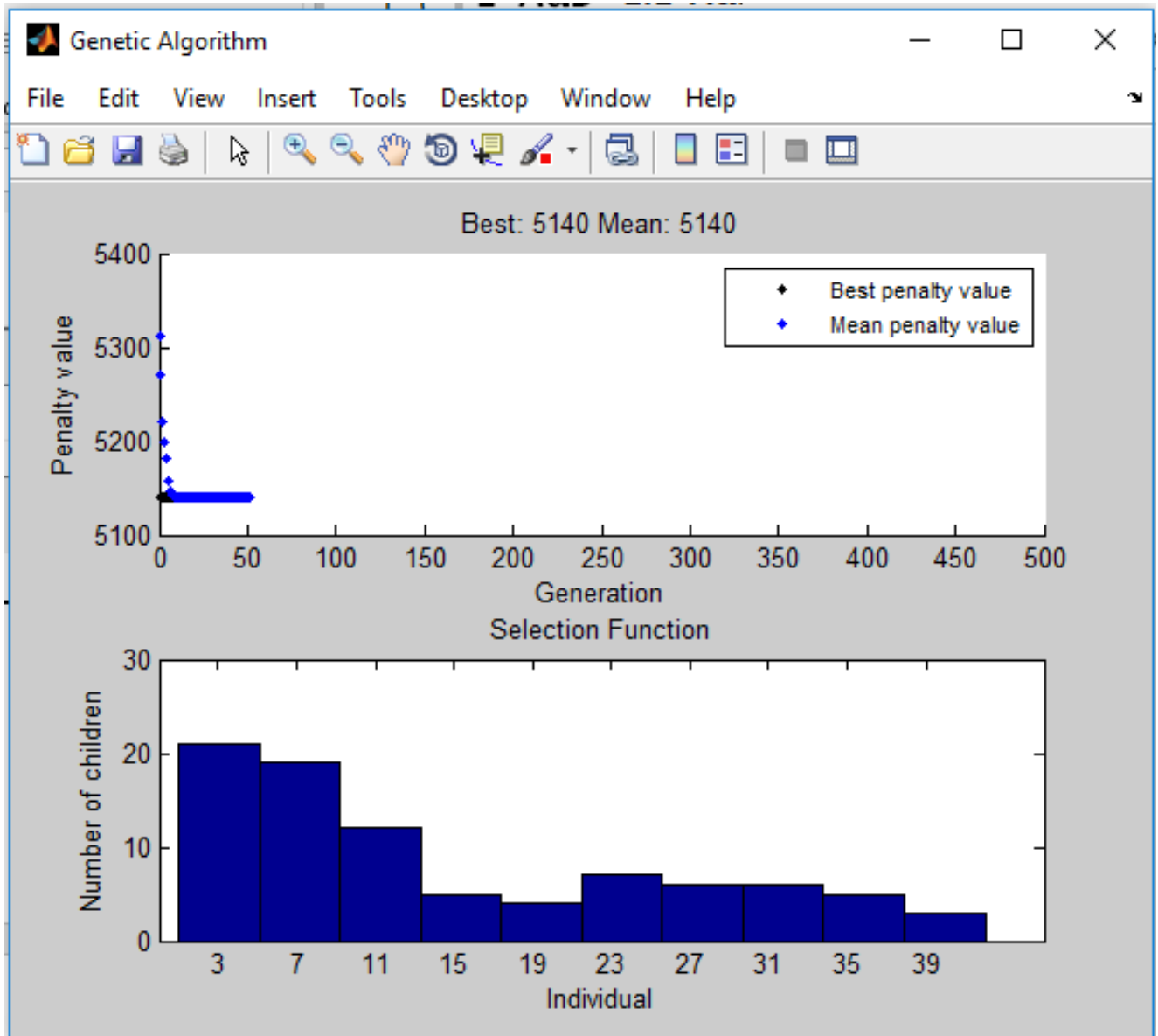
Εικόνα 30: Τελικό αποτέλεσμα γραμμικού προβλήματος χρονικού προγραμματισμού

ΤΑΥΤΙΣΗ ΤΕΛΙΚΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕ ΤΟ EXCEL SOLVER

Current iteration:

Εικόνα 31: Απαιτούμενες γενιές

51 γενιές για τον εντοπισμό της βέλτιστης λύσης



Εικόνα 32: Γραφική απεικόνιση γενεών επίλυσης και τελικού αποτελέσματος

Minimum cost=5140 Μονάδες. Ταύτιση αποτελέσματος με το excel solver.

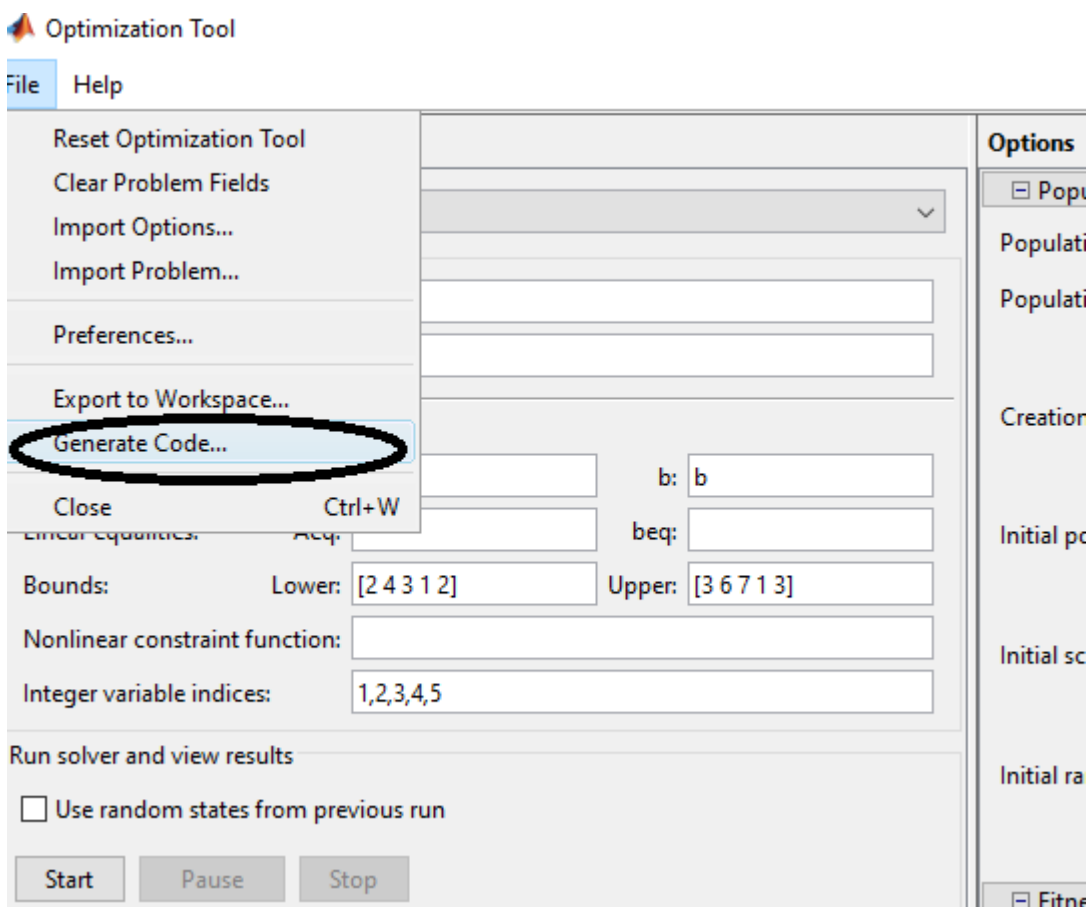
Ενδεικτικά το πώς εμφανίζονται οι επαναλήψεις στο workspace της matlab φαίνεται ακολούθως:

Generation	F-count	Penalty	Penalty	Generations
30	1550	5140	5140	29
31	1600	5140	5140	30
32	1650	5140	5140	31
33	1700	5140	5140	32
34	1750	5140	5140	33
35	1800	5140	5140	34
36	1850	5140	5140	35
37	1900	5140	5140	36
38	1950	5140	5140	37
39	2000	5140	5140	38
40	2050	5140	5140	39
41	2100	5140	5140	40
42	2150	5140	5140	41
43	2200	5140	5140	42
44	2250	5140	5140	43
45	2300	5140	5140	44
46	2350	5140	5140	45
47	2400	5140	5140	46
48	2450	5140	5140	47
49	2500	5140	5140	48
50	2550	5140	5140	49
51	2600	5140	5140	50

Optimization terminated: average change in the penalty fitness value less than options.TolFun and constraint violation is less than options.TolCon.

Εικόνα 33; Γραφική απεικόνιση επαναλήψεων

Εν τέλει, για την παραγωγή του source code επιλέγεται η επιλογή του toolbox → generate code



Εικόνα 34; Παραγωγή Source Code για το πρόβλημα

Ο οποίος παρατίθεται ακολούθως:

```

Editor - C:\Users\user\TotalCode.m
Alpha.m x beta.m x objfun.m x TotalCode.m x +
This file can be published to a formatted document. For more information, see the publishing video or help.
1 function [x,fval,exitflag,output,population,score] = TotalCode(nvars,Aineq,bineq,lb,ub,intcon)
2 %% This is an auto generated MATLAB file from Optimization Tool.
3
4 %% Start with the default options
5 options = gaoptimset;
6 %% Modify options setting
7 options = gaoptimset(options,'Display','diagnose');
8 options = gaoptimset(options,'PlotFcns',{ @gaplotbestf @gaplotselection });
9 [x,fval,exitflag,output,population,score] = ...
0 ga(@objfun,nvars,Aineq,bineq,[],[],lb,ub,[],intcon,options);
1

```

Εικόνα 35: Παραγωγή Source Code

5.5. Αναλυτική επίλυση του ίδιου προβλήματος με γενετικούς αλγορίθμους

Ανεξαρτητες μεταβλητές είναι οι διάρκειες των δραστηριοτήτων, αντικειμενική συνάρτηση η ελαχιστοποίηση του κόστους και περιορισμοί αυτοί που εξετάστηκαν και στα προηγούμενα ερωτήματα. Θα επιλεγθούν 10 χρωμοσώματα. Η αρχική κατάσταση των τυχαίων 10 χρωμοσωμάτων είναι η ακόλουθη.

Πίνακας 9: Αρχική κατάταξη 10 τυχαίων χρωμοσωμάτων

Εργασία	Χρωμ.1	Χρωμ.2	Χρωμ.3	Χρωμ.4	Χρωμ.5	Χρωμ.6	Χρωμ.7	Χρωμ.8	Χρωμ.9	Χρωμ.10
A	2	3	3	2	2	3	3	2	3	2
B	6	6	4	6	4	6	5	4	4	6
Γ	6	6	7	5	6	6	7	6	5	3
Δ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ε	2	3	2	2	2	2	2	3	3	2
ΑΒΔ	9	10	8	9	7	10	9	7	8	9
ΑΒΕ	10	12	9	10	8	11	10	9	10	10
ΑΓ	8	9	10	7	8	9	10	8	8	5
ΚΔ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ
Κόστος Α	730	720	720	730	730	720	720	730	720	730
Κόστος Β	1560	1560	1480	1560	1480	1560	1520	1480	1480	1560
Κόστος Γ	1740	1740	1680	1800	1740	1740	1680	1740	1800	1920
Κόστος Δ	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Κόστος Ε	730	720	730	730	730	730	730	720	720	730
ΣΥΝΟΛΟ	5300	5280	5150	5360	5220	5290	5190	5210	5260	5480

Ακολουθεί η ταξινόμηση, από το βέλτιστο χρωμόσωμα στο λιγότερο βέλτιστο.

Πίνακας 10: Ταξινόμηση χρωμοσωμάτων

Εργασία	Χρωμ.1	Χρωμ.2	Χρωμ.3	Χρωμ.4	Χρωμ.5	Χρωμ.6	Χρωμ.7	Χρωμ.8	Χρωμ.9	Χρωμ.10
A	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2
B	4	5	4	4	4	6	6	6	6	6
Γ	7	7	6	6	5	6	6	6	5	3
Δ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ε	2	2	3	2	3	3	2	2	2	2
ΑΒΔ	8	9	7	7	8	10	10	9	9	9
ΑΒΕ	9	10	9	8	10	12	11	10	10	10
ΑΓ	10	10	8	8	8	9	9	8	7	5
ΚΔ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ
Κόστος Α	720	720	730	730	720	720	720	730	730	730
Κόστος Β	1480	1520	1480	1480	1480	1560	1560	1560	1560	1560
Κόστος Γ	1680	1680	1740	1740	1800	1740	1740	1740	1800	1920
Κόστος Δ	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Κόστος Ε	730	730	720	730	720	720	730	730	730	730
ΣΥΝΟΛΟ	5150	5190	5210	5220	5260	5280	5290	5300	5360	5480

➤ Διασταύρωση

➤ Μέθοδος Τουρνουά (πιθανότητα 40%, $0.4 \times 10 = 4$ χρωμοσώματα)

Το πρώτο ζεύγος γονέων Έστω δύο αριθμοί 2 και 5, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 2. Έστω δύο αριθμοί 3 και 8, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 3. Σημείο διασταύρωσης, έστω μετά το Β.

Έστω δύο αριθμοί 1 και 5, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 1. Έστω δύο αριθμοί 5 και 2, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 2. Σημείο διασταύρωσης, έστω μετά το Γ. Τα τέσσερα νέα χρωμοσώματα θα αντικαταστήσουν τα τέσσερα χειρότερα χρωμοσώματα του πληθυσμού.

Πίνακας 11: Διασταύρωση χρωμοσωμάτων

Εργασία	Χρωμ.1	Χρωμ.2	Χρωμ.3	Χρωμ.4	Χρωμ.5	Χρωμ.6	Χρωμ.7	Χρωμ.8	Χρωμ.9	Χρωμ.10
A	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3
B	4	5	4	4	4	6	5	4	4	5
Γ	7	7	6	6	5	6	7	6	7	7
Δ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ε	2	2	3	2	3	3	2	3	2	2
ΑΒΔ	8	9	7	7	8	10	9	7	8	9
ΑΒΕ	9	10	9	8	10	12	10	9	9	10
ΑΓ	10	10	8	8	8	9	10	8	10	10
ΚΔ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΓ	ΑΒΕ
Κόστος Α	720	720	730	730	720	720	720	730	720	720
Κόστος Β	1480	1520	1480	1480	1480	1560	1520	1480	1480	1520
Κόστος Γ	1680	1680	1740	1740	1800	1740	1680	1740	1680	1680
Κόστος Δ	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Κόστος Ε	730	730	720	730	720	720	730	720	730	730
ΣΥΝΟΛΟ	5150	5190	5210	5220	5260	5280	5190	5210	5150	5190

Παρατηρούμε ότι δημιουργήθηκαν 3 νέα καλά χρωμοσώματα (7, 9 και 10).

➤ Μετάλλαξη

Έστω ότι η μετάταξη μπορεί να γίνει μόνο στα χρωμοσώματα 2, 3, 4, 5 και 6 (μειθανότητα 4%, $0.04 \times 25 = 1$ γονίδιο)

Επιλέγουμε τυχαία έναν αριθμό από 2 έως το 6, έστω το 4 (4ο χρωμόσωμα)

Επιλέγουμε τυχαία έναν αριθμό από 1 έως το 5, έστω το 3 (Εργασία Γ)

Συνεπώς η μετάλλαξη θα γίνει στο χρωμόσωμα 4 για την εργασία Γ. Το στοιχείο έχει τιμή 7 (διάρκεια), Επιλέγουμε τυχαία εντός των ορίων μια νέα διάρκεια, έστω 7.

Πίνακας 12: Μετάλλαξη χρωμοσώματος 4

Εργασία	Χρωμ.1	Χρωμ.2	Χρωμ.3	Χρωμ.4	Χρωμ.5	Χρωμ.6	Χρωμ.7	Χρωμ.8	Χρωμ.9	Χρωμ.10
A	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3
B	4	5	4	4	4	6	5	4	4	5
Γ	7	7	6	7	5	6	7	6	7	7
Δ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ε	2	2	3	2	3	3	2	3	2	2
ΑΒΔ	8	9	7	7	8	10	9	7	8	9
ΑΒΕ	9	10	9	8	10	12	10	9	9	10
ΑΓ	10	10	8	7	8	9	10	8	10	10
ΚΔ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΓ	ΑΒΕ
Κόστος Α	720	720	730	730	720	720	720	730	720	720
Κόστος Β	1480	1520	1480	1480	1480	1560	1520	1480	1480	1520
Κόστος Γ	1680	1680	1740	1680	1800	1740	1680	1740	1680	1680
Κόστος Δ	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Κόστος Ε	730	730	720	730	720	720	730	720	730	730
ΣΥΝΟΛΟ	5150	5190	5210	5160	5260	5280	5190	5210	5150	5190

Παρατηρούμε ότι με τη μετάλλαξη βελτιώθηκε η συγκεκριμένη λύση (τιμή 5160 αντί για 5220). Στη συνέχεια ακολουθεί η ταξινόμηση των χρωμοσωμάτων της πρώτης γενιάς.

Πίνακας 13: Ταξινόμηση χρωμοσωμάτων νέας γενιάς

ΤΑΞΙΝΟΜΗΘΗ 1 ^η ΓΕΝΙΑΣ	Εργασία	Χρωμ.1	Χρωμ.2	Χρωμ.3	Χρωμ.4	Χρωμ.5	Χρωμ.6	Χρωμ.7	Χρωμ.8	Χρωμ.9	Χρωμ.10
	A	3	3	2	3	3	2	2	2	3	3
	B	4	4	4	5	5	4	4	4	4	6
	Γ	7	7	7	7	7	6	6	6	5	6
	Δ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ε	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
	ΑΒΔ	8	8	7	9	9	7	7	7	8	10
	ΑΒΕ	9	9	8	10	10	9	9	9	10	12
	ΑΓ	10	10	7	10	10	8	8	8	8	9
	ΚΔ	ΑΓ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ
	Κόστος Α	720	720	730	720	720	730	730	730	720	720
Κόστος Β	1480	1480	1480	1520	1520	1480	1480	1480	1480	1560	
Κόστος Γ	1680	1680	1680	1680	1680	1740	1740	1740	1800	1740	
Κόστος Δ	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	
Κόστος Ε	730	730	730	730	730	720	720	720	720	720	
ΣΥΝΟΛΟ	5150	5150	5160	5190	5190	5210	5210	5210	5260	5280	

➤ Μέθοδος Τουρνουά (πιθανότητα 40%, $0.4 \times 10 = 4$ χρωμοσώματα)

Για το πρώτο ζεύγος γονέων Έστω δυο αριθμοί 9 και 4, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 4. Έστω δυο αριθμοί 2 και 7, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 2. Σημείο διασταύρωσης, έστω μετά το Γ. Για το δεύτερο ζεύγος γονέων Έστω δυο αριθμοί 5 και 3, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 3. Έστω δυο αριθμοί 6 και 8, επιλέγεται το καλύτερο χρωμόσωμα, το 6. Σημείο διασταύρωσης, έστω μετά το Α.

Τα τέσσερα νέα χρωμοσώματα θα αντικαταστήσουν τα τέσσερα χειρότερα χρωμοσώματα.

Πίνακας 14: Νέα ταξινόμηση χρωμοσωμάτων

Εργασία	Χρωμ.1	Χρωμ.2	Χρωμ.3	Χρωμ.4	Χρωμ.5	Χρωμ.6	Χρωμ.7	Χρωμ.8	Χρωμ.9	Χρωμ.10
A	3	3	2	3	3	2	3	3	2	2
B	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4
Γ	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6
Δ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ε	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3
ΑΒΔ	8	8	7	9	9	7	9	8	7	7
ΑΒΕ	9	9	8	10	10	9	10	9	8	9
ΑΓ	10	10	7	10	10	8	10	10	7	8
ΚΔ	ΑΓ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ
Κόστος Α	720	720	730	720	720	730	720	720	730	730
Κόστος Β	1480	1480	1480	1520	1520	1480	1520	1480	1480	1480
Κόστος Γ	1680	1680	1680	1680	1680	1740	1680	1680	1680	1740
Κόστος Δ	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Κόστος Ε	730	730	730	730	730	720	730	730	730	720
ΣΥΝΟΛΟ	5150	5150	5160	5190	5190	5210	5190	5150	5160	5210

Έστω ότι η μετάταξη μπορεί να γίνει μόνο στα χρωμοσώματα 2, 3, 4, 5 και 6 (με πιθανότητα 4%, $0.04 \times 25 = 1$ γονίδιο) Επιλέγουμε τυχαία έναν αριθμό από 2 έως το 6, έστω το 2 (2ο χρωμόσωμα). Επιλέγουμε τυχαία έναν αριθμό από 1 έως το 5, έστω το 5 (Εργασία ε). Συνεπώς η μετάλλαξη θα γίνει στο χρωμόσωμα 1 για την εργασία Ε, το στοιχείο έχει τιμή 2 (διάρκεια), Επιλέγουμε τυχαία εντός των ορίων μια νέα διάρκεια, έστω 3.

Πίνακας 15: Εύρεση βέλτιστης λύσης

Εργασία	Χρωμ.1	Χρωμ.2	Χρωμ.3	Χρωμ.4	Χρωμ.5	Χρωμ.6	Χρωμ.7	Χρωμ.8	Χρωμ.9	Χρωμ.10
A	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2
B	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4
Γ	7	7	7	7	7	6	7	7	7	6
Δ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ε	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3
ΑΒΔ	8	8	7	9	9	7	9	8	7	7
ΑΒΕ	9	9	8	10	10	9	10	9	8	9
ΑΓ	10	10	7	10	10	8	10	10	7	8
ΚΔ	ΑΓ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΒΕ	ΑΓ	ΑΒΕ	ΑΒΕ
Κόστος Α	720	720	730	720	720	730	720	720	730	730
Κόστος Β	1480	1480	1480	1520	1520	1480	1520	1480	1480	1480
Κόστος Γ	1680	1680	1680	1680	1680	1740	1680	1680	1680	1740
Κόστος Δ	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Κόστος Ε	730	730	730	730	730	720	730	730	730	720
ΣΥΝΟΛΟ	5150	5140	5160	5190	5190	5210	5190	5150	5160	5210

Παρατηρείται ότι στο χρωμόσωμα 2 στο τέλος της 2ης γενιάς έχω τη βέλτιστη λύση (5140 ευρώ).

6.Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να παρουσιαστούν οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εύρεση λύσεων σε προβλήματα χρονικού προγραμματισμού. Όπως διαπιστώθηκε υπάρχει μια πληθώρα εργαλείων στα χέρια του προγραμματιστή πολιτικού μηχανικού που τον οδηγούν στην εύρεση της βέλτιστης λύσης για το εκάστοτε πρόβλημα. Αρχικώς εξετάστηκαν οι προσεγγίσεις της αναλυτικής επίλυσης τέτοιων δικτύων έργων και διαπιστώθηκε ότι, παρόλο που είναι ευκολονόητα στην επίλυσή τους, σε περίπτωση ύπαρξης πολλών υπο-εργασιών και εξαρτήσεων μεταξύ τους, είναι ασύμφορο να γίνεται η επίλυση με το χέρι. Συνεπώς, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση είναι η χρήση κάποιου εμπορικού λογισμικού, όπως είναι το Primavera ή το Microsoft Project (το τελευταίο μάλιστα χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση των αριθμητικών εφαρμογών της εργασίας) Η δεύτερη προσέγγιση είναι η χρησιμοποίηση ενός ευρετικού – εξελικτικού αλγορίθμου, όπως είναι επί παραδείγματι οι γενετικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Η μεθοδολογία των γενετικών αλγορίθμων προϋποθέτει να μορφωθεί το πρόβλημα σε μια αναζήτηση βελτίστου (ελάχιστο ή μέγιστο) το οποίο θα περιλαμβάνει μια βασική αντικειμενική συνάρτηση (συνήθως αυτή είναι συνάρτηση εύρεσης συνολικού χρόνου ή συνολικού κόστους που καλούμαστε να βρούμε το ελάχιστό της), τη διαμόρφωση των μεταβλητών και των περιορισμών του προβλήματος. Οι περιορισμοί του προβλήματος μπορούν να είναι επί παραδείγματι οι σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ δύο ή περισσότερων εργασιών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα στην εργασία είναι η σχέση αλληλεξάρτησης $SF + 1$ που υποδεικνύει ότι η X εργασία δεν μπορεί να ξεκινήσει αν δεν περάσει 1 ημέρα από την ολοκλήρωση της ρηηγούμενης της εργασίας, της Y. Άρα, στα πλαίσια της διερεύνησης του πόσο μπορεί να βοηθήσει ένας ευρετικός αλγόριθμος σε ένα πρόβλημα χρονικού προγραμματισμού, ακολουθήσαμε εκ νέου 3 πιθανές προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση είναι η μόρφωση του προβλήματος στο Microsoft Excel με χρήση του Solver Add On το οποίο περιλαμβάνει τη ρουτίνα των γενετικών αλγορίθμων (καθώς και απλούστερες ρουτίνες όπως είναι αυτή της μεθόδου Simplex) Η δεύτερη προσέγγιση είναι η χρήση μια γλώσσας προγραμματισμού, Στην παρούσα εργασία έγινε η χρήση του Toolbox της Matlab για το ίδιο πρόβλημα το οποίο λύθηκε προηγουμένως με το Solver του Excel. Διαπιστώθηκε ότι φτάσαμε στην ίδια ακριβώς λύση και με τις δύο μεθόδους. Το πλεονέκτημα του Excel είναι το γεγονός πως είναι πιο εύχρηστο και δεν απαιτεί από το χρήστη εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού, ωστόσο το Matlab είναι πιο δυνατό εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων χρονικού προγραμματισμού που περιλαμβάνουν πολύ περισσότερες εργασίες και πιο σύνθετες σχέσεις αλληλεξάρτησης. Η τελευταία προσέγγιση επίλυσης του ίδιου προβλήματος με γενετικούς αλγορίθμους ήταν η αναλυτική επίλυση. Παρόλο

που καταλήξαμε σε μικρό αριθμό επαναλήψεων, γενεών και μεταλλάξεων στην ίδια ακριβώς optimum λύση, διαπιστώνεται πως είναι μια ιδιαίτερα σύνθετη μέθοδος για να απεικονίζεται σε κάθε πρόβλημα με αναλυτικό τρόπο. Άρα τελικό συμπέρασμα είναι πως οι καλύτερες μέθοδοι για την επίλυση προβλημάτων χρονικού προγραμματισμού είναι η επίλυση με εμπορικό λογισμικό ή σε πιο σύνθετες περιπτώσεις που το πρόβλημα μπορεί να πάρει τη μορφή εύρεσης βελτίστου, προτείνεται η χρήση του Optimization Toolbox κάποιας γλώσσας προγραμματισμού όπως είναι η Matlab.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AL-Tabtabai, H. and Alex, A.P., 1999. Using genetic algorithms to solve optimization problems in construction. *Engineering Construction and Architectural Management*, 6(2), pp.121–132.
- Anagnostopoulos, K.P. and Koulinas, G.K., 2010. A simulated annealing hyperheuristic for construction resource levelling. *Construction Management and Economics*, 28(2), pp.163–175.
- Back, T., Fogel, D.B. and Michalewicz, Z., 1997. *Handbook of Evolutionary Computation. 1st ed.*
- Benjaoran, V., Tabyang, W. and Sooksil, N., 2015. Precedence relationship options for the resource levelling problem using a genetic algorithm. *Construction Management and Economics*, 33(9), pp.711–723.
- Bozorg Haddad, O., Mirmomeni, M., Zarezadeh Mehrizi, M. and Mariño, M.A., 2010. Finding the shortest path with honey-bee mating optimization algorithm in project management problems with constrained/unconstrained resources. *Computational Optimization and Applications*, 47(1), pp.97–128.
- Burke, R., 1999. *Project Management, Planning & Control Techniques.*
- D. Pythaloka, A. T. Wibowo and M. D. Sulistiyo, 2015. Artificial fish swarm algorithm for job shop scheduling problem. In: *2015 3rd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*. 2015 3rd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT). pp.437–443.
- Dunham, D.F., 2015. Robustness of genetic algorithm solutions in resource leveling. In: *2015 Systems and Information Engineering Design Symposium*. 2015 Systems and Information Engineering Design Symposium. pp.267–272.
- Eberhart, R. and Kennedy, J., 1995. A new optimizer using particle swarm theory. In: *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science.*
- El-Gafy, M., 2007. Resource Allocation for Repetitive Construction Schedules: An Ant Colony Optimization Approach. In: *Proceedings of the ASC 43rd Annual International Conference, Flagstaff, Arizona*. [online] ASC 43rd Annual International Conference. Available at: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30726741/CERT103002007.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DResource_Allocation_for_Repetitive_Const.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191003%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20191003T160225Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=db8e3058cf84a35af26a246db4dc198b22dc5d6e0c64c379cb53980d591b4135>.
- Fathi, H. and Afshar, A., 2008. Multiple Resource Constraint Time-Cost-Resource Optimization Using Genetic Algorithm.

Fister, J., Yang, X.-S., Fister, I., Brest, J. and Fister, D., 2013. A Brief Review of Nature-Inspired Algorithms for Optimization. [online] Available at: <<http://arxiv.org/abs/1307.4186>>.

Gaitanidis, A., Vassiliadis, V., Kyriklidis, C. and Dounias, G., 2016. Hybrid Evolutionary Algorithms in Resource Leveling Optimization: Application in a Large Real Construction Project of a 50000 DWT Ship. In: *Proceedings of the 9th Hellenic Conference on Artificial Intelligence, SETN '16*. [online] New York, NY, USA: ACM,p.25:1–25:8. Available at: <<http://doi.acm.org/10.1145/2903220.2903227>>.

Garmsiri, M. and Abassi, M.R., 2012. Resource leveling scheduling by an ant colony-based model. *Journal of Industrial Engineering International*, 8(1), p.7.

Ghoddousi, P., Eshtehardian, E., Jooybanpour, S. and Javanmardi, A., 2013. Multi-mode resource-constrained discrete time–cost–resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm. *Automation in Construction*, 30, pp.216–227.

Guo, Y., Li, N., Zhang, H. and Ye, T., 2012. Elitist vector evaluated particle swarm optimization for multi-mode resource leveling problems. *Journal of Computational Information Systems*, 8(9), pp.3697–3705.

Holland, J.H., 1992b. Genetic algorithms Scientific american,.

Huang, H.-H., Huang, C.-H. and Pei, W., 2015. Solving Multi-Resource Constrained Project Scheduling Problem using Ant Colony Optimization. *Journal of Engineering*, p.11.

Iranagh, M.A. and Sonmez, R., 2012. A GENETIC ALGORITHM FOR RESOURCE LEVELING OF CONSTRUCTION PROJECTS.

Kaiafa, S. and Chassiakos, A.P., 2015. A Genetic Algorithm for Optimal Resource-driven Project Scheduling. *Selected papers from Creative Construction Conference 2015*, 123, pp.260–267.

Kim, J.-L., 2013. Genetic algorithm stopping criteria for optimization of construction resource scheduling problems. *Construction Management and Economics*, 31(1), pp.3–19.

Kim, K.W., Gen, M. and Yamazaki, G., 2003. Hybrid genetic algorithm with fuzzy logic for resource-constrained project scheduling. *Soft Computing in Manufacturing Enterprise Systems*, 2(3), pp.174–188.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. Science,.

Koulinas, G., Kotsikas, L. and Anagnostopoulos, K., 2014. A particle swarm optimization based hyper-heuristic algorithm for the classic resource constrained project scheduling problem. *Information Sciences*, 277, pp.680–693.

Koza, Jr., 1992. Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection. *MIT press*.

Kyriklidis, 2015. Διατριβή: Νοήμονες μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων εξομάλυνσης πόρων σε έργα - Κωδικός: 42879. [online] Available at: <<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/42879#page/1/mode/2up>> [Accessed 6 Oct. 2019].

Kyriklidis, C. and Dounias, G., 2014. Application of Evolutionary Algorithms in Project Management. In: L. Iliadis, I. Maglogiannis and H. Papadopoulos, eds. *Artificial Intelligence Applications and Innovations*. Springer Berlin Heidelberg, pp.335–343.

Kyriklidis, C. and Dounias, G., 2016. Evolutionary computation for resource leveling optimization in project management. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 23(2), pp.173–184.

Leu, S.-S. and Yang, C.-H., 1999. A genetic-algorithm-based resource-constrained construction scheduling system. *Construction Management and Economics*, 17(6), pp.767–776.

Li, Z., Wuliang, P. and Zhongliang, Z., 2010. An Ant Colony System for Solving Resource Leveling Problem. In: *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*. 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. pp.489–492.

N. Pang, Y. Shi and Y. You, 2008. Resource Leveling Optimization of Network Schedule Based on Particle Swarm Optimization with Constriction Factor. In: *2008 International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering*. 2008 International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering. pp.652–656.

Ponz-Tienda, J.L., Salcedo-Bernal, A., Pellicer, E. and Benlloch-Marco, J., 2017. Improved adaptive harmony search algorithm for the resource leveling problem with minimal lags. *Automation in Construction*, 77, pp.82–92.

Ponz-Tienda, J.L., Yepes, V., Pellicer, E. and Moreno-Flores, J., 2013. The Resource Leveling Problem with multiple resources using an adaptive genetic algorithm. *Automation in Construction*, 29, pp.161–172.

Prayogo, D., Cheng, M.-Y., Wong, F.T., Tjandra, D. and Tran, D.-H., 2018. Optimization model for construction project resource leveling using a novel modified symbiotic organisms search. *Asian Journal of Civil Engineering*, 19, pp.625–638.

Prayogo, D. and Kusuma, C.T., 2019. Optimization of resource leveling problem under multiple objective criteria using a symbiotic organisms search. *Civil Engineering Dimension*, 21(1), pp.43–49.

Priyanto, A.A., Adiwijaya and Maharani, W., 2008. IMPLEMENTATION OF ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM ON THE PROJECT RESOURCE SCHEDULING PROBLEM.

Tzanetos, A., Kyriklidis, C., Papamichail, A., Dimoulakis, A. and Dounias, G., 2018. A Nature Inspired Metaheuristic for Optimal Leveling of Resources in Project Management. In: *Proceedings of the 10th Hellenic Conference on Artificial Intelligence, SETN '18*. [online] New York, NY, USA: ACM.p.17:1–17:7. Available at: <<http://doi.acm.org/10.1145/3200947.3201014>>.

W. Tian and Y. Tian, 2009. An Improved Artificial Fish Swarm Algorithm for Resource Leveling. In: *2009 International Conference on Management and Service Science*. 2009 International Conference on Management and Service Science. pp.1–4.

Wenmin Han and Binbin Zhu, 2017. Research on New Methods of Multi-project Based on Entropy and Particle Swarm Optimization for Resource Leveling Problem. In: *2017 2nd International Symposium on Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (ISAECE 2017)*. [online] Atlantis Press. Available at: <<https://doi.org/10.2991/isaece-17.2017.40>>.

Yan Liu, Sheng-Li Zhao, Xi-Kai Du and Shu-Quan Li, 2005. Optimization of resource allocation in construction using genetic algorithms. In: *2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. pp.3428-3432 Vol. 6.

Zhang, H., Li, X., Li, H. and Huang, F., 2005. Particle swarm optimization-based schemes for resource-constrained project scheduling. *Automation in Construction*, 14(3), pp.393–404.

ΑΔΜΗΕ ΑΕ, 2018. ΔΕΚΑΕΤΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ 2018-2027. Available at: <http://www.admie.gr/fileadmin/user_upload/Files/masm/2018_2027/DPA_2018_2027.pdf>.

ΑΔΜΗΕ ΑΕ, 2019. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ. Available at: <<http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrifi-systimatos-metaforas/>>.

Τζανέτος, Αλέξανδρος, 2020. *Νοήμονες υπολογιστικές μέθοδοι εμπνευσμένες από τον φυσικό κόσμο για την βελτιστοποίηση συστημάτων: βελτιστοποίηση εμπνευσμένη από τον ηχοεντοπισμό*. [online] Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Σχολή Πολυτεχνική. Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης. Available at: <<http://hdl.handle.net/10442/hedi/47419>>.

