

ΚΟΕ: 19 533

ND= 49664



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής



Διδακτορική Διατριβή

*Σχεδιασμός Συστημάτων Τερματικών Εγκαταστάσεων
Εμπορευματοκιβωτίων-Προσέγγιση με Βάση την Εξελικτική Θεωρία
Παιγνίων*

Λουκάς Δημητρίου

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

Αθήνα, Απρίλιος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επιχειρεί να συνεισφέρει σε μία από τις ουσσιωδέστερες διαδικασίες δράσης της επιστήμης του μηχανικού, που αφορά στον βέλτιστο προγραμματισμό επεμβάσεων σε ένα σύστημα υποδομών. Ο βασικός στόχος που τίθεται αφορά στη θεωρητική και πρακτική διερεύνηση του σχεδιασμού μελλοντικών επενδύσεων σε τερματικές εγκαταστάσεις εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ) για την αύξηση της πρακτικής χωρητικότητάς τους, διατυπώνοντας μια διαδικασία βέλτιστης διαστασιολόγησης ικανή να χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό συστημάτων με ιδιαιτερότητες σαν και αυτές των εμπορευματικών μεταφορικών υποδομών. Συγκεκριμένα, η οπτική της διατριβής δεν θεωρεί το υπό ανάλυση σύστημα ως πάγιο (οδηγώντας τη διερεύνηση στην αναζήτηση διαχειριστικών μέτρων, τακτικών ή πολιτικών), αλλά αναγνωρίζει ευκαιρίες περισσότερο δραστηκών επεμβάσεων σε αυτό, όπως η περαιτέρω ανάπτυξή του μέσω της προσθήκης/κατασκευής νέων υποδομών. Ο προγραμματισμός μελλοντικών επενδύσεων εδώ αναφέρεται ως *σχεδιασμός ανάπτυξης* του συστήματος αν και δεν αποκλείονται από τις έγκυρες λύσεις σενάρια μηδενικών επενδύσεων.

Η προσέγγιση του βέλτιστου σχεδιασμού συστήματος τερματικών εγκαταστάσεων (ΤΕ) Ε/Κ πραγματοποιείται αναγνωρίζοντας τη θέση τους εντός του φυσικού περιβάλλοντός τους που είναι το ευρύτερο σύστημα της αλυσίδας εξυπηρέτησης της ζήτησης εμπορευματικών ροών. Συνεπώς, το σύστημα των ΤΕ το οποίο επιχειρείται να σχεδιαστεί με βέλτιστο τρόπο θα αναλυθεί ως επάλληλο υπο-σύστημα συμπληρωματικών συστημάτων, το καθένα από τα οποία έχουν διαφορετικά λειτουργικά και επιχειρησιακά χαρακτηριστικά (μέρη, στόχους κ.α.).

Το θεωρητικό αναλυτικό υπόβαθρο της διατριβής παρέχεται από την θεωρία παιγνίων καθώς αναγνωρίζεται ο ρόλος πολλαπλών συμμετεχόντων στα συστήματα οι οποίοι αναπτύσσουν συνεργατικούς ή/και ανταγωνιστικούς στόχους. Οι μαθηματικές διατυπώσεις που προτείνονται στοχεύουν στην εκτίμηση σημείων ισορροπιών εναλλακτικών παιγνίων ως λύσεις προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού. Συγκεκριμένα, η κωδικοποίηση των εναλλακτικών καταστάσεων σχεδιασμού βασίζεται στις τεχνικές του ιεραρχικού μαθηματικού προγραμματισμού και ειδικά του μη-γραμμικού προγραμματισμού με περιορισμούς ισορροπίας (Mathematical Programming with Equilibrium Constraints-MPEC). Οι εναλλακτικές διαμορφώσεις των παιγνίων που προτείνονται στην παρούσα διατριβή, αντιστοιχούν σε εναλλακτικές καταστάσεις σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ. Οι μορφές αυτές αντιστοιχούν στον Κεντρικό Σχεδιασμό, στον Συναλλακτικό Σχεδιασμό και στον Αποκεντρωμένο Σχεδιασμό συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.

Επιπλέον, οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των σημείων ισορροπιών των εναλλακτικών παιγνίων, εμπίπτουν στο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης, ιδιαίτερα όπως σε αυτές εισάγονται και χρησιμοποιούνται ιδέες της Εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων.

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται, προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με τις στρατηγικές ανάπτυξης συστημάτων ΤΕ, τόσο σε κάθε αρχιτεκτονική σχεδιασμού, όσο και μεταξύ των αρχιτεκτονικών αυτών. Επιπλέον, από την χρήση των τεχνικών αυτών σε κατάλληλα επιλεγμένο δειγματικό χώρο, προκύπτουν οι δυνατότητες εφαρμογής των προτεινόμενων αλγόριθμων σε ρεαλιστικές καταστάσεις σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	ii
Περιεχόμενα.....	iv
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	vii
Ευχαριστίες.....	x
Πίνακας Συντομογραφιών.....	xi
Πίνακας Συμβόλων	xi
1. Εισαγωγή	1
1.1 Η έννοια της βελτιστοποίησης στον σχεδιασμό μεταφορικών υποδομών	1
1.2 Γενική περιγραφή του προβλήματος	2
1.3 Προτεινόμενη προσέγγιση του βέλτιστου σχεδιασμού	3
1.4 Οργάνωση της παρουσίασης της διατριβής.....	5
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	7
2.1 Οργάνωση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης	7
2.2 Σχεδιασμός ΤΕ Ε/Κ.....	7
2.3 Λειτουργία των συστημάτων ΤΕ Ε/Κ	10
2.4 Βελτιστοποίηση του σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ	11
2.5 Περιγραφή της συμβολής της διατριβής	19
3. Προτυποποίηση δικτύων συνδυασμένων εμπορευματικών μεταφορών	22
3.1 Προτυποποίηση του συστήματος διακίνησης Ε/Κ – Απαιτήσεις και προδιαγραφές	22
3.2 Πρότυπα κόμβων-συνδέσμων	24
3.2.1 Συναρτήσεις απόδοσης των συνδέσμων χερσαίων μέσων μεταφοράς.....	26
3.2.2 Συναρτήσεις απόδοσης των συνδέσμων ναυτικών μέσων μεταφοράς.....	27
3.2.3 Συναρτήσεις απόδοσης των συνδέσμων τερματικών εγκαταστάσεων.....	28
3.3 Πρότυπο φόρτισης του δικτύου.....	33
3.3.1 Εκτίμηση της ισορροπίας με βάση το GNL πρότυπο επιλογής διαδρομής.....	37
3.3.2 Συνθήκες Ύπαρξης της Λύσης.....	38
3.3.3 Συνθήκες Μοναδικότητας της λύσης	40
3.3.4 Αντιστοίχιση του προτύπου GNL σε MNL.....	41
3.4 Προσδιορισμός της ισορροπίας για το προτεινόμενο πρότυπο επιλογών των χρηστών δικτύων συνδυασμένων μεταφορών.....	42
4. Προτεινόμενες μαθηματικές διατυπώσεις για τις εναλλακτικές μορφές του προβλήματος σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.....	46

4.1 Εναλλακτικές μορφές του προβλήματος του βέλτιστου σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ. Η παιγνιοθεωρητική θεώρηση.....	46
4.1.1 Το σχήμα του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ.....	47
4.1.2 Το σχήμα του Κεντρικού και Συναλλακτικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ.....	49
4.1.3 Το σχήμα του Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ.	49
4.2 Εναλλακτικές διατυπώσεις του κεντρικού σχεδιασμού συστήματος λιμενικών τερματικών εγκαταστάσεων.....	51
4.2.1 Μαθηματική διατύπωση του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ.	52
4.2.2 Μαθηματική διατύπωση του Κεντρικού Συναλλακτικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ.....	54
4.3 Διατύπωση του αποκεντρωμένου σχεδιασμού συστημάτων λιμενικών τερματικών εγκαταστάσεων.....	58
4.4 Χαρακτηριστικά κατάταξης των προτεινόμενων προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού.....	61
5. Προτεινόμενοι Μέθοδοι Επίλυσης Βασίζόμενοι στην Εξελικτική Αλγοριθμική Θεωρία Παιγνίων.....	63
5.1 Ευρετικοί παιγνιοθεωρητικοί αλγόριθμοι - Μέθοδοι εξελικτικής βελτιστοποίησης βασισμένοι σε ‘πληθυσμό λύσεων’	63
5.2 Προτεινόμενος εξελικτικός αλγόριθμος για την περίπτωση του Κεντρικού Σχεδιασμού.....	64
5.3 Προτεινόμενος εξελικτικός αλγόριθμος για την περίπτωση του συναλλακτικού σχεδιασμού.....	69
5.4 Προτεινόμενος συν-εξελικτικός παιγνιοθεωρητικός αλγόριθμος για την περίπτωση του Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού.....	74
5.4.1 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική κατανομής του υπολογιστικού φόρτου για τον συν-εξελικτικό αλγόριθμο	79
6. Υπολογιστικά παραδείγματα.....	82
6.1 Περιγραφή του δειγματικού χώρου. Υποθέσεις και ιδιαιτερότητες	82
6.2 Αποτελέσματα κεντρικού σχεδιασμού.....	86
6.2.1 Αποτελέσματα κεντρικού συνεργατικού σχεδιασμού.....	86
6.2.2 Αποτελέσματα κεντρικού συναλλακτικού σχεδιασμού.....	91
6.3 Αποτελέσματα αποκεντρωμένου (ανταγωνιστικού) σχεδιασμού.....	95
6.4 Συγκρίσεις	98
7. Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	106
7.1 Συμπεράσματα.....	106
7.1.1. Συμπεράσματα ως προς τη μεθοδολογική προσέγγιση της διατριβής.....	105

7.1.2. Συμπεράσματα εκ των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης προσέγγισης,....	109
7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	110
8. Βιβλιογραφία.....	112
Παράρτημα Α	132
Παράρτημα Β	145

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Αριθμός	Τίτλος	Σελίδα
2.2.1	Βασικότερα αντικείμενα έρευνας στο πεδίο του σχεδιασμού λιμενικών τερματικών εγκαταστάσεων Ε/Κ.....	8
6.1.1	Χαρακτηριστικά συστήματος ΤΕ του δειγματικού χώρου	86
6.2.1.1	Επιλεγέντα χαρακτηριστικά 'γενετικών' διαδικασιών.....	87
6.2.1.2	Αποτελέσματα Σχεδιασμού.....	90
6.2.2.1	Επιλεγέντα χαρακτηριστικά 'γενετικών' διαδικασιών.....	91
6.3.1	Επιλεγέντα χαρακτηριστικά 'γενετικών' διαδικασιών.....	95
6.3.2	Συγκριτικά αποτελέσματα ανά κατηγορία σχεδιασμού	98
6.4.1	Συγκριτικά αποτελέσματα ανά κατηγορία σχεδιασμού	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Αριθμός	Τίτλος	Σελίδα
3.2.1	Τυπική αλυσίδα μιας συνδυασμένης μετακίνησης που περιλαμβάνει θαλάσσιο σκέλος	25
3.2.2	Απόδοση με τη μορφή υπερ-δικτύου τυπικής αλυσίδας συνδυασμένης μετακίνησης που περιλαμβάνει θαλάσσιο σκέλος	25
3.2.3.1	Σχηματική απεικόνιση ροών Ε/Κ εισόδου-εξόδου και εντός ΤΕ (με βάση Steenken κ.α. 2004)	28
3.2.3.2	Αναλυτική απεικόνιση ροής εξυπηρέτησης Ε/Κ σε ΤΕ (Ballis and Dimitriou, 2008)	29
3.2.3.3	Σχηματική απεικόνιση διαδικασιών εξυπηρέτησης Ε/Κ σε ΤΕ (με βάση Steenken κ.α. 2004)	30
3.2.3.4	Οικογένεια καμπυλών για την εκτίμηση του κόστους συμφόρησης εντός ΤΕ.	31
3.2.3.5	Απόδοση εναλλακτικών μέσων στοιβασιάς Ε/Κ σε ΤΕ (Stahlbock and Voss, 2008)	32
3.2.3.6	Εκτίμηση του κόστους επενδύσεων για την αύξηση της δυναμικότητας ΤΕ	33
4.1.1	Σχήμα αλληλεπίδρασης μεταξύ των μερών του συστήματος των ΤΕ	47
4.1.1.1	Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας <i>Κεντρικού Σχεδιασμού</i> συστημάτων ΤΕ	48
4.1.2.1	Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας <i>Κεντρικού Συναλλακτικού Σχεδιασμού</i> συστημάτων ΤΕ	49
4.1.3.1	Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας <i>Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού</i> συστημάτων ΤΕ	50
5.2.1	Σχήμα κωδικοποίησης των μεταβλητών ελέγχου ενός προβλήματος βελτιστοποίησης με τη μορφή οριζόντιας στοίχισης δυαδικών αριθμητικών τιμών.	65
5.2.2	Σχήμα των γενετικών διαδικασιών (πράξεων) της Διασταύρωσης και Μετάλλαξης	68
5.2.3	Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου ΓΑ για την βελτιστοποίηση του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.	69
5.3.1	Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου ΓΑ για την βελτιστοποίηση του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.	73
5.4.1	Διαδικασία εκτίμησης της απόδοσης των μελών πληθυσμού λύσεων για κάθε ΕΠ. .	77
5.4.2	Διάγραμμα ροής συν-εξελικτικού αλγόριθμου	78
5.4.1.1	Διάγραμμα ροής προτεινόμενης αρχιτεκτονικής παράλληλης επεξεργασίας του συν-εξελικτικού αλγόριθμου.	80
5.4.1.2	Διάγραμμα ροής καταμερισμού του υπολογιστικού φόρτου για τον συν-εξελικτικό αλγόριθμο	81
6.1.1	Μακροσκοπική απεικόνιση του δειγματικού χώρου (Πηγή: Google Maps)	83

6.1.2	Περιγραφή του κωδικοποιημένου δικτύου δειγματικού χώρου (Υπόβαθρο από Google Maps).....	83
6.1.3	Ισομορφισμός κωδικοποιημένου δικτύου δειγματικού χώρου.....	84
6.1.4	Ζήτηση μεταξύ σημείων προέλευσης-προορισμού για τον δειγματικό χώρο	85
6.2.1.1	Διαδικασία εκτίμησης της ΕΣΣ	87
6.2.1.2	Απόδοση 'ατόμων' του πληθυσμού των εφικτών λύσεων για την γενεά Νο 5 (α) και 50 (β)	88
6.2.1.3	Εξέλιξη γενετικών διαδικασιών για όλες τις γενεές (α) και για τις 10 πρώτες (β) ...	90
6.2.2.1	Εκτίμηση του ΡΣ των οικονομικών αποτελεσμάτων (αντικειμενική συνάρτηση) για τις TE του δειγματικού χώρου	92
6.2.2.2	Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανυσματικής αντικειμενικής συνάρτησης σε μορφή δυαδικών συνδυασμών για τις 3 υπό ανάλυση TE	93
6.2.2.3	Παρουσίαση των οικονομικών αποτελεσμάτων του συναλλακτικού σχεδιασμού για την TE του Πειραιά (κόκκινη ράβδος), του Gioia Tauro (μπλε ράβδος) και της Θεσσαλονίκης (πράσινη ράβδος).....	94
6.2.2.4	Παρουσίαση των στρατηγικών ανάπτυξης (επενδύσεων) του συναλλακτικού σχεδιασμού για την TE του Πειραιά (κόκκινη ράβδος), του Gioia Tauro (μπλε ράβδος) και της Θεσσαλονίκης (πράσινη ράβδος).	95
6.3.1	Διασπορά των στρατηγικών ανάπτυξης που ελέγχθησαν στην 1 ^η (α), 5 ^η (β) και 300 ^η (γ) γενεά του συν-εξελικτικού αλγόριθμου.....	96
6.3.2	Διάγραμμα σύγκλισης του συν-εξελικτικού αλγόριθμου.....	97
6.3.3	Διάγραμμα συν-εξέλιξης για ΕΠ με μέγεθος πληθυσμού 20 'ατόμων', μέγεθος δείγματος 5% και ποσοστό μετάλλαξης 10%.....	97
6.4.1	Συγκριτικά αποτελέσματα καθοδήγησης της ζήτησης ανά κατηγορία σχεδιασμού .	100
6.4.2	Σύγκριση στρατηγικών ανάπτυξης (επενδύσεων) ανά κατηγορία σχεδιασμού	100
6.4.3	Συγκριτικά αποτελέσματα του κόστους της συμφόρησης ανά TEU και κατηγορία σχεδιασμού	101
6.4.4	Συγκριτικά αποτελέσματα του συνολικού κόστους της συμφόρησης σε κάθε TE ανά κατηγορία σχεδιασμού.....	102
6.4.5	Συγκριτικά αποτελέσματα του συνολικού κόστους της συμφόρησης ανά κατηγορία σχεδιασμού	103
6.4.6	Σύγκριση οικονομικών αποτελεσμάτων ανά κατηγορία σχεδιασμού	103
6.4.7	Συγκριτικά αποτελέσματα του κόστους της συμφόρησης ανά κατηγορία σχεδιασμού.....	105
6.4.8	Σύγκριση κόστους επενδύσεων σε κάθε TE ανά είδος σχεδιασμού.....	105

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά τη διαδικασία εκπόνησης της διατριβής μου πολλοί άνθρωποι με υποστήριξαν και τους οποίους αυτόνοτα ευχαριστώ. Ειδικά οφείλω ευχαριστίες στα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής της παρούσας διατριβής, κ.κ. Αντώνιο Σταθόπουλο, Καθηγητή ΕΜΠ (Επιβλέπων), Ματθαίο Καρλαύτη, Αν. Καθηγητή ΕΜΠ και Αθανάσιο Μπαλλή, Επικ. Καθηγητή ΕΜΠ, για τον χρόνο, τον κόπο και τις ουσιώδεις παρατηρήσεις που προσέφεραν, βελτιώνοντας το τελικό περιεχόμενο της παρούσας διατριβής. Ξεχωριστά στον επιβλέποντα της διατριβής και δάσκαλό μου χρωστώ ευγνωμοσύνη, διότι εκτός ότι μου διέθεσε την υποδομή και τις δυνατότητες του Εργαστηρίου Σιδηροδρομικής & Μεταφορών του ΕΜΠ, επιπλέον ενθάρυνε προσωπικά την ανάπτυξη εύφορου ερευνητικού κλίματος εντός του Εργαστηρίου, προϊόν του οποίου αποτελεί και η παρούσα διατριβή.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τους επιστημονικούς συνεργάτες του Εργαστηρίου Σιδηροδρομικής & Μεταφορών Πολιτικούς Μηχανικούς ΕΜΠ - Συγκ/γους, κο Νικόλαο Παπαχρήστου (τον Νίκο) και την κα Δέσποινα Αλεξανδροπούλου (την Ντέπη) οι οποίοι μου πρόσφεραν τη φιλία τους σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής.

Αισθάνομαι υποχρέωση επίσης απέναντι στον κο Joe Ellison από τη βιβλιοθήκη του University of Northwestern, για τις πολλαπλές διευκολύνσεις (και εξαφρέσεις) που μου προσέφερε ως προς το υλικό που ζήτησα και χρησιμοποίησα από την συλλογή NU-Transportation Library.

Τέλος, ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω όλους τους συνεργάτες και φίλους μου, χωρίς τους οποίους δεν θα ήταν δυνατό να ολοκληρώσω την διατριβή μου. Θέλω να επισημάνω ξεχωριστά την υποστήριξη και την υπομονή της Έφης, της Γεωργίας και του Τάσου. Ειδικά της Έφης, εφόσον χωρίς εκείνη δεν γίνεται τίποτα.

Σε όσους με δίδαξαν με το παράδειγμά τους

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΓΑ	Γενετικός Αλγόριθμος
Ε/Κ	Εμπορευματοκιβώτιο
ΕΠ	Ευφυής Πράκτορας
ΕΣΣ	Εξελικτικά Σταθερή Στρατηγική
ΣΡ	Σύνορο Pareto
ΤΕ	Τερματική Εγκατάσταση
ΤτΑ	Τίμημα της Αναρχίας
ABS	Agent-Based Simulation
CML	Conditional Multinomial Logit
DBGA	Distance-Based Genetic Algorithm
ESS	Evolutionary Stable Strategy
GNL	Generalized Nested Logit
GEV	Generalized Extreme Value
IAS	Intelligent Autonomous Systems
MNL	MultiNomial Logit
MPEC	Mathematical Programming with Equilibrium Constraints
MSA	Method of Successive Averages
NDP	Network Design Problem
SPEP	Spatial Price Equilibrium Problem
SUE	Stochastic User Equilibrium
UE	Users Equilibrium

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

A	Σύνολο των συνδέσμων
$a \in L \subseteq A$	Σύνολο των συνδέσμων του υπο-δικτύου οδικών μεταφορών
$a \in T \subseteq A$	Σύνολο των συνδέσμων του υπο-δικτύου σιδ/κών μεταφορών
$a \in N \subseteq A$	Σύνολο των συνδέσμων του υπο-δικτύου θαλάσσιων μεταφορών
CC_i	τέλη εξυπηρέτησης στην Τ.Ε. i .
CpK	Χίλιομετρικό κόστος
D^n	Συνολική μεταφορική ζήτηση προορισμού n
$E_\bullet$	Ελιτικό σύνολο
$F_{\max}$	Μέγιστη απόδοση
G	Γράφος δικτύου
K_m	Σύνολο όλων των εναλλακτικών επιλογών που περιλαμβάνονται στον ιεραρχικό κλάδο m
$P(m)$	Οριακή πιθανότητα της επιλογής του ιεραρχικού κλάδου m
$P(k m)$	Δεσμευμένη πιθανότητα της επιλογής της εναλλακτικής k , με δεδομένη την επιλογή του ιεραρχικού κλάδου m
$F_\bullet$	Αρχικός πληθυσμός
Y_a	Ονομαστική πρακτική απόδοση σε μονάδες κινήσεις TEUs/έτος.
Y_a^0	Υφιστάμενη δυναμικότητα του λιμένα a (σε TEUs/έτος)
V_k	Ντετερμινιστική συνιστώσα χρησιμότητας
TC_a	Συνολικό κόστος συνδέσμου a
Z	Όρος εντροπίας

a_{km}	Συντελεστής ένθεσης για την επιλογή k στον ιεραρχικό κλάδο m
a_{mk}^{rs}	Συντελεστής ένθεσης της διαδρομής k στον ιεραρχικό κλάδο m μεταξύ προέλευσης-προορισμού r και s
b_a	Μοναδιαίο κόστος επένδυσης συνδέσμου a
c_a	Κόστος χρήσης συνδέσμου a
$d^{(k)}(x)$	Απόσταση της λύσης x από την ελιτική ομάδα κατά την επανάληψη k
d^n	Διάνυσμα φθίνουσας κατεύθυνσης κατά την επανάληψη n
l_a	Μήκος συνδέσμου a
f_{mk}^{rs}	Φόρτος στη διαδρομή k του ιεραρχικού κλάδου m μεταξύ προέλευσης r και προορισμού s
m	Ιεραρχικός κλάδος
q^{rs}	Ζήτηση μεταξύ r και s
x^n	τιμή του ανύσματος των μεταβλητών απόφασης στη n -οστή επανάληψη
x_i	Εξυπηρετούμενος φόρτος του συνδέσμου i σε TEUs/έτος
w_a	Προσθήκη δυναμικότητας TE a , σε TEUs/έτος
θ	Συντελεστής διασποράς
λ	Πολλαπλασιαστής Lagrange
λ_a	Συντελεστής μετατροπής της πρόσθετης δυναμικότητας της εγκατάστασης σε χρηματικές μονάδες για τον σύνδεσμο a .
μ_m	Συντελεστής ένθεσης ιεραρχικού κλάδου (συγκεκριμένος για κάθε ιεραρχικό κλάδο m)
ω	Σταθερά της καμπύλης της συμφόρησης εντός των TE

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Η έννοια της βελτιστοποίησης στον σχεδιασμό μεταφορικών υποδομών

Η έννοια του σχεδιασμού αποτελεί το βασικό αντικείμενο στην επιστήμη του μηχανικού. Στην έννοια αυτή συνοψίζονται παρούσες και μελλοντικές επιδιώξεις και επεμβάσεις στο φυσικό και οικονομικό περιβάλλον με τη χρήση επιστημονικών αρχών και τεχνικών ώστε να επιτευχθούν προκαθορισμένοι-συγκεκριμένοι (προγραμματισμένοι) στόχοι οι οποίοι αντιστοιχούν σε αναγνωρισμένες ανάγκες. Το αποτέλεσμα (η λύση όπως τυπικά χαρακτηρίζεται) κρίνεται επιτυχές κατά τον βαθμό που επιτυγχάνει τον/τους στόχο/ους, ενώ ως αστοχία αναγνωρίζεται η απομάκρυνση του αποτελέσματος, του σχεδιασμού από τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Επιπλέον, η συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ εναλλακτικών έγκυρων λύσεων σε ένα πρόβλημα σχεδιασμού χαρακτηρίζει την ποιότητά του. Συγκεκριμένα, σε διαδικασίες ανάπτυξης στις οποίες τα διαθέσιμα μέσα, οι πόροι (φυσικοί, οικονομικοί κ.α.) και ο χρόνος των επεμβάσεων αποτιμώνται ή/και βρίσκονται σε ανεπάρκεια, στο αποτέλεσμα του σχεδιασμού εισάγεται η έννοια του 'βέλτιστου'. Βέλτιστο σχέδιο (ή βέλτιστος σχεδιασμός) είναι εκείνο όπου είναι έγκυρο αφενός και αφετέρου οι επιλογές που έχουν γίνει σε αυτό αποδίδουν λύση/εις οι οποίες υπερτερούν συγκρινόμενες με όλες τις άλλες έγκυρες λύσεις ως προς τα προκαθορισμένα κριτήρια. Είναι σαφές ότι η έννοια του βέλτιστου δεν καταλήγει πάντοτε σε μοναδικές λύσεις, αλλά (το συνηθέστερο) μπορεί να καταλήγει σε ένα σύνολο 'βέλτιστων' λύσεων.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή θα διερευνηθούν εναλλακτικές στρατηγικές επεμβάσεων στα πλαίσια του σχεδιασμού ενός συστήματος τερματικών λιμενικών εγκαταστάσεων, θέτοντας κριτήρια επιλογής μεταξύ έγκυρων λύσεων, την έννοια του βέλτιστου όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Συγκεκριμένα η διερεύνηση θα αφορά στον βέλτιστο προγραμματισμό επεμβάσεων σε σύστημα εμπορευματικού μεταφορικού

συστήματος, πολιτική υποδομή θεμελιώδη για την οικονομική και κοινωνική λειτουργία κάθε περιοχής. Ακολούθως, θα γίνει τοποθέτηση του προβλήματος με την περιγραφή των θεμελιωδών αρχών του.

1.2 Γενική περιγραφή του προβλήματος

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή ο πρωταρχικός στόχος είναι η θεωρητική και πρακτική διερεύνηση του σχεδιασμού μελλοντικών έργων (επενδύσεων) σε τερματικές εγκαταστάσεις εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ) για την αύξηση της πρακτικής χωρητικότητάς τους, διατυπώνοντας μια διαδικασία βέλτιστης διαστασιολόγησης ικανή να χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό συστημάτων με ιδιαιτερότητες σαν και αυτές των εμπορευματικών μεταφορικών υποδομών. Συγκεκριμένα, η διατριβή δεν θεωρεί το υπό ανάλυση σύστημα ως πάγιο (οδηγώντας τη διερεύνηση στην αναζήτηση διαχειριστικών μέτρων, τακτικών ή πολιτικών), αλλά αναγνωρίζει ευκαιρίες περισσότερο δραστικών επεμβάσεων σε αυτό, όπως η διερεύνηση περαιτέρω ανάπτυξής του μέσω της προσθήκης/κατασκευής νέων υποδομών. Ο προγραμματισμός μελλοντικών επενδύσεων εδώ αναφέρεται ως *σχεδιασμός ανάπτυξης* του συστήματος αν και δεν αποκλείονται από τις έγκυρες λύσεις σενάρια μηδενικών επενδύσεων.

Η προσέγγιση του βέλτιστου σχεδιασμού συστήματος τερματικών εγκαταστάσεων (ΤΕ) εμπορευματοκιβωτίων θα πραγματοποιηθεί αναγνωρίζοντας τη θέση τους εντός του λειτουργικού περιβάλλοντός τους που είναι το ευρύτερο σύστημα της αλυσίδας διακίνησης της ζήτησης εμπορευματικών ροών (supply chain). Συνεπώς, το σύστημα των ΤΕ το οποίο θα επιχειρηθεί να σχεδιαστεί με βέλτιστο τρόπο θα αναλυθεί ως επάλληλο υπο-σύστημα συμπληρωματικών συστημάτων, το καθένα από τα οποία έχουν διαφορετικά λειτουργικά και επιχειρησιακά χαρακτηριστικά (μέρη, στόχους κ.α.).

Ο στόχος της διατριβής όπως αυτός διατυπώθηκε παραπάνω, περιέχει το αντικείμενο βασικών διερευνήσεων που η θεωρητική προσέγγιση επιχειρεί να προσφέρει. Η ανάλυση περιλαμβάνει εναλλακτικά σενάρια βέλτιστου σχεδιασμού, τα οποία αφορούν σε διαφορετικά διαχειριστικά 'σχήματα' του συνολικού συστήματος των ΤΕ. Συγκεκριμένα, διατυπώνονται μαθηματικά τα πρότυπα που αντιστοιχούν στην περίπτωση ενός μοναδικού διαχειριστή του συστήματος όπου στην αρχική περίπτωση επιχειρείται η βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος από έναν μοναδικό κεντρικό διαχειριστή (Κεντρικός Σχεδιασμός). Στη συνέχεια διερευνάται το σχήμα όπου ένας κεντρικός διαχειριστής επιχειρεί τον καταμερισμό των πόρων με συνεργατικό (Συναλλακτικός Σχεδιασμός) τρόπο μεταξύ των ΤΕ και επιχειρείται να εκτιμηθεί το σύνολο των βέλτιστων αποδόσεων για κάθε ΤΕ. Τέλος, διερευνάται και η κατάσταση όπου η κάθε ΤΕ επιχειρεί να εκτιμήσει την βέλτιστη στρατηγική ανάπτυξης, ανταγωνιστικά ως προς τις υπόλοιπες (Ανταγωνιστικός Σχεδιασμός).

Επιπλέον, η επιρροή εναλλακτικών οικονομικών θεωρήσεων περί του βέλτιστου καταμερισμού πόρων/προσπάθειας θα αναδειχτεί από τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από το προτεινόμενο θεωρητικό πλαίσιο, εφόσον τα παραπάνω σχήματα σχεδιασμού καλύπτουν τις βασικότερες καταστάσεις ανάπτυξης στρατηγικών μεταξύ διαχειριστών μεταφορικών υποδομών, που είναι η συνεργασία, ο συντονισμός και ο ανταγωνισμός (Knieps 1993).

Τελικά, το πλαίσιο ανάλυσης που παρουσιάζεται στη διατριβή καταλήγει σε ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων για τον προγραμματισμό μελλοντικών επενδύσεων σε ένα σύστημα λιμενικών ΤΕ ικανό να προσφέρει 'λύσεις' σε στρατηγικό επίπεδο, τεκμηριώνοντας τον χαρακτηρισμό τους ως βέλτιστες. Επιπλέον, αναδεικνύονται οι αδυναμίες και τα πλεονεκτήματα του μεθοδολογικού αναλυτικού πλαισίου που προσφέρεται εδώ, γεγονός που αναδεικνύει τις δυνατότητες μεταφοράς και εφαρμογής του σε περιπτώσεις σχεδιασμού της μεταφορικής υποδομής διαφορετικές από τον δειγματικό χώρο που έχει χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διατριβή, και τελικά την ευρύτητα και την χρησιμότητά του. Ακολούθως θα παρουσιαστεί η προσέγγιση του μεθοδολογικού πλαισίου που αναπτύσσεται στη διατριβή καθώς και το βασικό θεωρητικό υπόβαθρό της.

1.3 Προτεινόμενη προσέγγιση του βέλτιστου σχεδιασμού

Η προσέγγιση που τυπικά ακολουθείται στην περίπτωση του σχεδιασμού μεταφορικών συστημάτων (αλλά και γενικά συστημάτων μηχανικού) περιλαμβάνει τα εξής δύο βήματα: αρχικά ανάλυση του συστήματος (από όπου προκύπτουν οι βασικές λειτουργικές συνιστώσες του) και στη συνέχεια σχεδιασμός των επεμβάσεών του. Στην παρούσα διατριβή η αλληλουχία αυτή τηρείται και συγκεκριμένα γίνεται περιγραφή των βασικών μερών που αποτελούν το συνολικό υπό εξέταση σύστημα, ενώ η εκτίμηση των βέλτιστων στρατηγικών ανάπτυξης πραγματοποιείται με τη ανάπτυξη μαθηματικών προτύπων και την υλοποίηση σε αυτό κατάλληλων αλγόριθμων βελτιστοποίησης.

Συγκεκριμένα, η λειτουργία του συστήματος των εμπορευματικών μεταφορών εντός του οποίου επιχειρούν οι ΤΕ Ε/Κ προτυποποιείται με τη χρήση της θεωρίας υπερ-δικτύων (στο εξής η έννοια των υπερ-δικτύων θα αποδίδεται με τον όρο δίκτυα, Βλ. Κεφ. 3). Η θεωρία δικτύων παρέχει την δυνατότητα της αναπαράστασης των σχέσεων μεταξύ πολλαπλών συμμετεχόντων σε ένα σύστημα, αναγνωρίζοντας και περιλαμβάνοντας τις ιδιαιτερότητες κάθε μέρους. Επιπλέον, η αναπαράσταση εντός ενός προτύπου του συνόλου των ιδιοτήτων των μερών που το αποτελούν δίνει τη δυνατότητα την καθολικής (και συνεπώς πιο ρεαλιστικής) διερεύνησης του τρόπου, που αποφάσεις κάποιου μέρους επηρεάζουν τα υπόλοιπα και συνεπώς λαμβάνεται υπόψη του φαινομένου των διαδοχικών επιρροών

(network effects) που μπορούν να προκληθούν εντός ενός συστήματος αλληλεπιδράσεων (Wei et al. 2007).

Τα πρότυπα των δικτύων που αναπτύσσονται στην παρούσα διατριβή ανήκουν στην κλάση των ενοποιημένων προτύπων προσφοράς και ζήτησης. Σε αυτή την κλάση των προτύπων μπορεί να εκτιμηθεί η απόδοση και η ανάδραση όλων των μερών του συστήματος (αυτών που ελέγχουν την προσφορά της μεταφορικής υποδομής και των χρηστών της) εντός ενός κατάλληλα ομογενοποιημένου προτύπου. Η εκτίμηση των συνθηκών λειτουργίας των συστημάτων που προτυποποιούνται, θα βασιστούν στην ανάλυση με βάση την υπόθεση της ισορροπίας στα δίκτυα (και συγκεκριμένα της στοχαστικής ισορροπίας σε αυτά).

Κατόπιν της ανάλυσης και προτυποποίησης του υπό εξέταση συστήματος ακολουθεί η διαμόρφωση ενός μηχανισμού εκτίμησης βέλτιστων στρατηγικών ανάπτυξής του. Με δεδομένο ότι η αλυσίδα εξυπηρέτησης εμπορευματικών ροών ενδογενώς αποτελείται από ένα πλέγμα αλληλεξαρτήσεων που δρουν (κατά περίπτωση και οργάνωση) μη-συνεργατικά, συνεργατικά και ανταγωνιστικά το μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύσσεται ανήκει στο πεδίο της θεωρίας παιγνίων¹. Η θεωρία παιγνίων παρέχει τις δυνατότητες διερεύνησης βέλτιστων αποφάσεων σε καταστάσεις σύγκρουσης ή/και συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών μερών. Στην παρούσα διατριβή, τέτοιες καταστάσεις εμφανίζονται στη λειτουργία των ΤΕ και στις στρατηγικές ανάπτυξής τους αλλά και στην αλληλεπίδραση των χρηστών της μεταφορικής υποδομής μεταξύ τους και με τις ΤΕ.

Ως βέλτιστες στρατηγικές για κάθε σχέση αλληλεπίδρασης λαμβάνεται το σημείο ισορροπίας της, το οποίο εκτιμάται μέσω της διαμόρφωσης και επίλυσης κατάλληλου προβλήματος βελτιστοποίησης το οποίο είναι ικανό να αναπαράγει την μορφή του παιγνίου που κάθε φορά αναπτύσσεται. Οι τεχνικές του μαθηματικού προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθούν σημεία ισορροπίας, ανήκουν σε αυτές του ιεραρχικού προγραμματισμού πολλαπλών επιπέδων. Η μορφή που κυρίως χρησιμοποιείται είναι του μαθηματικού προγραμματισμού με περιορισμούς ισορροπίας (Mathematical Programming with Equilibrium Constraints – MPEC), η οποία αφορά σε προβλήματα βελτιστοποίησης τουλάχιστον δύο επιπέδων.

Σε ότι αφορά στις μεθόδους επίλυσης των διατυπωθέντων προβλημάτων βελτιστοποίησης, οι τεχνικές που αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται ανήκουν στο πεδίο της Αλγοριθμικής Θεωρίας Παιγνίων (Nisan et al. 2009). Αναγνωρίζοντας την αυξημένη πολυπλοκότητα των προβλημάτων επίλυσης παιγνίων (κάθε μορφής), η αλγοριθμική θεωρία παιγνίων παρέχει αρχές και μεθόδους ώστε να προσεγγίζονται τα σημεία ισορροπίας (λύσεις) τους. Στην παρούσα διατριβή, το είδος και η φύση των προβλημάτων μαθηματικού

¹ Παίγνιο αναγνωρίζεται η κατάσταση κατά την οποία συγκροτείται ένα σύστημα πολλαπλών συμμετεχόντων, οι δράσεις του κάθε ενός εκ των οποίων, επηρεάζουν την απόδοση του κάθε άλλου.

προγραμματισμού του διατυπώνονται σε κάθε περίπτωση, δεν καθιστούν δόκιμη τη χρήση κλασικών μεθόδων βελτιστοποίησης (βασισμένες σε πληροφορίες διαφορικών, κλίσεων κλπ). Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί μέθοδοι στοχαστικής προσέγγισης του σημείου ισορροπίας κάθε παιγνίου. Οι αλγόριθμοι αυτοί ανήκουν στο πεδίο της Εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων και συγκεκριμένα αποτελούν μορφές Γενετικών Αλγόριθμων κατάλληλα τροποποιημένων ώστε να επιλύουν προβλήματα μαθηματικής βελτιστοποίησης, που αποδίδουν σημεία ισορροπίας παιγνίων. Μετά την σύντομη περιγραφή της ερευνητικής προσέγγισης, θα γίνει η παρουσίαση της οργάνωσης της διατριβής και της σπονδυλωτής ανάπτυξής της.

1.4 Οργάνωση της παρουσίασης της διατριβής

Η δομή της ανάπτυξης της διδακτορικής διατριβής εκκινεί από την εκτενή περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης στο ερευνητικό πεδίο του σχεδιασμού συστημάτων μεταφορών και συγκεκριμένα εμπορευματικών συστημάτων μεταφορών. Συγκεκριμένα στο 2^ο Κεφάλαιο της διατριβής καλύπτεται η καταγραφή της βιβλιογραφίας σχετικά με τα εξής:

- i. Τεχνικές σχεδιασμού ΤΕ
- ii. Βέλτιστος σχεδιασμός των μεταφορικών συστημάτων με έμφαση τα εμπορευματικά δίκτυα, και
- iii. Αλγοριθμική θεωρία παιγνίων και βελτιστοποίηση μεταφορικών συστημάτων.

Επιπλέον, μετά την εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει η ανάγκη της έρευνας που καλύπτει η παρούσα διατριβή ενώ περιγράφονται και τα σημεία πρωτοτυπίας της.

Ακολούθως, στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή της προτυποποίησης του συστήματος των εμπορευματικών μεταφορών στο οποίο αναδεικνύεται ο ρόλος των ΤΕ. Επιπλέον, δίνεται περιγραφή των συναρτήσεων απόδοσης του κάθε μέρους του συστήματος, καθώς επίσης δίνεται η ολοκληρωμένη εικόνα του υπερ-δικτύου που συντίθεται. Εν συνεχεία, γίνεται παρουσίαση του προτύπου φόρτισης του δικτύου με την αναλυτική παρουσίαση των βασικών υποθέσεων της συγκεκριμένης στοχαστικής διαδικασίας επιλογής διαδρομής για την εξυπηρέτηση των εμπορευματικών ροών και του αντίστοιχου προγράμματος μαθηματικής βελτιστοποίησης ή λύση του οποίου αντιστοιχεί στο σημείο της στοχαστικής ισορροπίας των χρηστών (Stochastic User Equilibrium-SUE). Τέλος, περιγράφεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του SUE. Το κεφάλαιο αυτό παρέχει την βάση για το επόμενο στάδιο που αφορά στην διαμόρφωση του πλαισίου εκτίμησης των στρατηγικών βέλτιστων αποφάσεων ανάπτυξης του συστήματος των ΤΕ που ακολουθεί.

Το 4^ο Κεφάλαιο αποτελεί κεντρικό τμήμα της διατριβής και αφορά στην αναγνώριση των εναλλακτικών σχημάτων σχεδιασμού του συστήματος των ΤΕ. Επίσης αναπτύσσεται η

διαμόρφωση των προβλημάτων βελτιστοποίησης για κάθε σχήμα σχεδιασμού και δίνονται οι συνθήκες και τα χαρακτηριστικά τους από όπου προκύπτει η ανάγκη για χρήση ευρετικών και όχι αναλυτικών αλγόριθμων για την επίλυσή τους και συγκεκριμένα αλγόριθμων που εμπίπτουν στο πεδίο της εξελικτικής θεωρίας παιγνίων. Η παρουσίαση των αλγόριθμων έχει προτιμηθεί να πραγματοποιηθεί στο 5^ο Κεφάλαιο.

Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του κάθε εξελικτικού παιγνιοθεωρητικού αλγόριθμου, για κάθε σχήμα σχεδιασμού (κεντρικού, συναλλακτικού και αποκεντρωμένου). Παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή και τα χαρακτηριστικά τους καθώς και ο τρόπος που έχει υλοποιηθεί η κωδικοποίησή τους ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους για κάθε εναλλακτική περίπτωση. Από την περιγραφή των αλγόριθμων προκύπτει η ανάγκη για βελτίωση του χρόνου σύγκλισής τους ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους σε προβλήματα ρεαλιστικού μεγέθους. Για τον σκοπό αυτό παρουσιάζεται επίσης ο τρόπος που έχει γίνει η υλοποίησή τους σε περιβάλλον καταμερισμού του υπολογιστικού φορτίου. Συγκεκριμένα γίνεται η παρουσίαση των αρχιτεκτονικών συγχρονισμού και της παράλληλης επεξεργασίας των αλγόριθμων ώστε να είναι δυνατή η μείωση του υπολογιστικού χρόνου.

Στη συνέχεια, στο 6^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται αποτελέσματα από την εφαρμογή των εναλλακτικών σχημάτων σχεδιασμού σε κατάλληλα επιλεγμένο δειγματικό χώρο, ο οποίος να περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες ενός πλήρους εμπορευματικού συστήματος. Συγκεκριμένα, οι εφαρμογές των προτεινόμενων πλαισίων, έχουν πραγματοποιηθεί σε ένα τμήμα του συνδυασμένου εμπορευματικού δικτύου της Ανατολικής Μεσογείου. Οι ΤΕ στις οποίες διερευνώνται οι δυνατότητες ανάπτυξής τους είναι οι σταθμοί Ε/Κ του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης στην Ελλάδα και του Gioia Tauro στην Ιταλία, ενώ τα αποτελέσματα για κάθε σχήμα σχεδιασμού παρουσιάζονται και αναλύονται.

Τέλος, στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των συμπερασμάτων της διδακτορικής διατριβής και παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Επιπλέον υπάρχει το τμήμα με τις βιβλιογραφικές αναφορές καθώς και προσαρτήματα με την κωδικοποίηση των αλγόριθμων.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Οργάνωση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η ερευνητική προσπάθεια που έχει αναπτυχθεί στο αντικείμενο του σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ, περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα αντικειμένων, το οποίο εκτείνεται σε θέματα στρατηγικών, επιχειρησιακών και τεχνικών αποφάσεων. Η παρούσα διατριβή εντοπίζει στο αντικείμενο του στρατηγικού σχεδιασμού και συγκεκριμένα του προγραμματισμού μελλοντικών επενδύσεων σε υποδομές ΤΕ Ε/Κ. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει οργανωθεί με τρόπο ώστε να καλύψει τα βασικά θέματα που εμπίπτουν στην προσέγγιση της παρούσας διατριβής. Συγκεκριμένα, εκκινεί από την καταγραφή των σημαντικότερων εργασιών σχετικά με τον σχεδιασμό (λειτουργικό και επιχειρησιακό) ΤΕ Ε/Κ.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εργασίες εκείνες που αφορούν στην καταγραφή και προτυποποίηση της λειτουργίας του συστήματος των ΤΕ εντός του λειτουργικού περιβάλλοντός τους που είναι η αλυσίδα εξυπηρέτησης εμπορευματικών φορτίων, αναδεικνύοντας τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών, όπως είναι η ανάπτυξη συνθηκών μη-συνεργατικότητας, ανταγωνισμού και η δημιουργία συμμαχιών/συνασπισμών. Κατόπιν, θα παρουσιαστούν οι εργασίες που αφορούν στο μεθοδολογικό πλαίσιο στο οποίο θα βασιστεί η ανάλυση στην παρούσα διατριβή. Ειδικότερα, θα παρουσιαστούν οι εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί στο αντικείμενο της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού μεταφορικών συστημάτων και ειδικότερα σε αυτές που λαμβάνουν υπόψη τους πολλαπλούς συμμετέχοντες σε σύμπλοκα συστήματα. Παράλληλα, γίνεται και η καταγραφή των μεθόδων και αλγορίθμων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε τέτοιες καταστάσεις.

2.2 Σχεδιασμός ΤΕ Ε/Κ

Οι τάσεις ενοποίησης της παγκόσμιας αγοράς που σημειώνεται τα τελευταία χρόνια είναι στενά συνδεδεμένες με την παρατηρούμενη ανάπτυξη των δικτύων και μεθόδων μεταφοράς εμπορευμάτων, η οποία διευκόλυνε την ανάπτυξη του παγκόσμιου εμπορίου και

συνεπώς οδήγησε στην αύξηση του εμπορευματικού μεταφερόμενου φορτίου. Παράλληλα, οι λιμενικές εγκαταστάσεις ως βασικό μέρος των εμπορευματικών δικτύων εκμεταλλεύτηκαν την ανάπτυξη των χερσαίων μεταφορικών υποδομών (οδικών και σιδηροδρομικών) με στόχο την αύξηση της κερδοφορίας τους. Συγκεκριμένα οι λιμένες διεκδικούν την εξυπηρέτηση αυξημένου φόρτου ανταγωνιζόμενοι να προσελκύσουν φορτία προερχόμενα ή κατευθυνόμενα σε περιοχές οι οποίες παλαιότερα ανήκαν στην 'επιρροή' άλλων λιμένων.

Έτσι, οι λιμένες των περιοχών από τις οποίες προέρχεται ή κατευθύνεται ο μεγαλύτερος όγκος των εμπορευματικών ροών (Ασία, Βόρεια Αμερική, Ευρώπη), απέδωσαν πολύ μεγάλη βαρύτητα στην αύξηση της παραγωγικότητάς τους και συνεπώς της ελκυστικότητάς τους, εισάγοντας αλλαγές στον εξοπλισμό τους και την οργάνωσή τους, στην τιμολόγηση του λιμενικού προϊόντος, στις διαδικασίες χειρισμού των φορτίων τους, στην εκπαίδευση του προσωπικού τους, στις επιχειρηματικές δυνατότητες εντός των ΤΕ, αλλά και σε άλλα σημεία (Dowd et al. 1990, Oum et al. 1992, Wang et al. 2005). Επιπλέον, εναλλακτικά αναλυτικά πλαίσια μέτρησης της παραγωγικότητας των ΤΕ και εντοπισμού δυσλειτουργιών έχουν αναπτυχθεί, αναγνωρίζοντας τόσο το υψηλό κόστος λειτουργίας των συγκεκριμένων επιχειρησιακών μονάδων αφενός (Nam et al. 2002, Henesey et al. 2003, Bichou and Gray 2004, Cullinate et al. 2005), αλλά και την δυσκολία λήψης αποφάσεων σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξής τους λαμβάνοντας υπόψη το ύψος των κεφαλαίων (σε σχέση με την ανταποδοτικότητά τους) που απαιτούνται για κάτι τέτοιο (Bergantino and Corpejans 2000, Monteiro 2001).

Στο πλαίσιο αυτό, ο βέλτιστος σχεδιασμός και λειτουργία λιμενικών εγκαταστάσεων εμπορευματοκιβωτίων Ε/Κ αποτέλεσε ένα από τα πιο δραστήρια πεδία έρευνας στο αντικείμενο των μεταφορών τα τελευταία 30 χρόνια. Ο σχεδιασμός της λειτουργίας και της ανάπτυξης των λιμενικών σταθμών Ε/Κ αφορούσε στη βέλτιστη κατανομή του διαθέσιμου εξοπλισμού και πόρων ώστε να επιτευχθεί η υψηλότερη δυνατή παραγωγικότητα του σταθμού. Κωδικοποιημένα, τα αντικείμενα του σχεδιασμού των λιμενικών εγκαταστάσεων Ε/Κ αφορούν στα αντικείμενα που περιγράφονται (συνοδεύόμενες από μερικές από τις σημαντικότερες εργασίες ανά περιοχή), στον Πίνακα 2.2.1.

Πίνακας 2.2.1. Βασικότερα αντικείμενα έρευνας στο πεδίο του σχεδιασμού λιμενικών ΤΕ Ε/Κ και μια επιλογή από τις χαρακτηριστικότερες εργασίες ανά πεδίο.

Βελτιστοποίηση της χρήσης του εξοπλισμού του θαλασσίον μετώπου: De Wille and Ray 1974, Griffiths 1976, Noritake and Kimura 1983&1990, Daganzo 1989, Peterkofsky and Daganzo 1989, Imai et al. 1997&2001&2003&2005, Musso et al. 1999, Chu and Huang 2002, Dragovic et al. 2005

Εκτίμηση του χρόνου παραμονής των πλοίων εντός του λιμένα: Edmond and Maggs 1976&1978, Daganzo 1989, Parola and Sciomachen 2005.

Βελτιστοποίηση του τρόπου στοιβασιάς των Ε/Κ στα πλοία μεταφοράς τους: Bischoff and Marriott 1990, Imai *et al.* 2002

Βελτιστοποίηση της χρήσης των χερσαίων μέσων χειρισμού Ε/Κ: Chow 1986, Kozan 1997, Kim and Kim 1998&1999, Rutten 1998, Preston and Kozan 2001, Hartmann 2004

Βελτιστοποίηση του συνολικού συστήματος της ΤΕ: Waidringer 1999, Koh 2001, Moglia and Sanguineri 2003, Gaur 2005, Allahvinloo and Afandizadeh 2008,

Η παραπάνω συνοπτική κατάταξη δεν αποτελεί τον πλήρη κατάλογο της πολύ εκτενούς βιβλιογραφίας στο αντικείμενο του σχεδιασμού των ΤΕ Ε/Κ, η παράθεση του οποίου θα ξέφευγε των στόχων της παρούσας εργασίας. Πιο πλήρης βιβλιογραφική ταξινόμηση του αντικειμένου αυτού μπορεί να βρεθεί στους Steenken *et al.* (2004), Günther and Kim (2005) και Wang *et al.* (2005). Πρόσθετη βιβλιογραφική ανασκόπηση των τεχνικών που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί για την βελτιστοποίηση της εξυπηρέτησης του θαλασίου μετώπου μπορεί να βρεθεί στους Theofanis *et al.* (2009). Αντιστοίχως, αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τις μεθόδους και τις τεχνικές βέλτιστης λειτουργίας του χερσαίου μετώπου προσφέρεται στους Ballis *et al.* (2010).

Οι παραπάνω εργασίες εξετάζουν τον βέλτιστο επιχειρησιακό και στρατηγικό σχεδιασμό ΤΕ Ε/Κ για καθορισμένες συνθήκες ζήτησης χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή που έχει η απόδοση της κάθε εγκατάστασης στο υπόλοιπο εμπορευματικό μεταφορικό σύστημα. Με δεδομένη όμως την ανάπτυξη του δικτύου των χερσαίων μέσων μεταφοράς, οι ΤΕ πλέον είναι σε θέση να διεκδικούν αύξηση της οικονομικής τους απόδοσης προσελκύοντας φορτία με προέλευση ή προορισμό περιοχές που παλαιότερα είχαν αποδοθεί στην 'επιρροή' άλλων λιμένων. Ειδικότερα, η θέση των ΤΕ, το επίπεδο εξυπηρέτησης που παρέχουν, και η μεταφορική υποδομή που συνδέεται με αυτές και τις περιοχές που μπορεί να εξυπηρετήσουν, αποτελούν τα βασικά στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζουν την ελκυστικότητα τους σε σχέση με τους ανταγωνιστές τους.

Παράλληλα με τις αλλαγές στην λειτουργία των ΤΕ και της ανάπτυξης της χερσαίας μεταφορικής υποδομής, σημαντικές ήταν και οι αλλαγές στην αγορά των θαλάσσιων μεταφορών οι οποίες κατευθύνθηκαν στην δημιουργία οικονομιών κλίμακας και εντάσεως κεφαλαίου, με την εισαγωγή σκαφών πολύ μεγάλου μεγέθους (χωρητικότητας >15000 TEUs) δρομολογημένα σε γραμμές υψηλής εμπορευματικής κίνησης. Με αυτό τον τρόπο οργάνωσης, εξυπηρετείται ο αυξημένος εμπορευματικός φόρτος μέσω επιλεγμένων λιμένων λειτουργώντας σε δομή κεντρο-ακτινικού (hub-and-spoke), προσθέτοντας στους

ανταγωνιστικούς λιμένες μεγάλη πίεση για εξυπηρέτηση φορτίων (εισαγωγών-εξαγωγών και μεταφορτωνόμενων) και οδηγώντας σε φαινόμενα λιμενικής συμφόρησης (Golob and Regan 2000, Notteboom 2006, Imai et al. 2006, Meersman et al. 2007).

2.3 Λειτουργία των συστημάτων TE Ε/Κ

Ο ρόλος των TE στο εμπορευματικό μεταφορικό σύστημα βρίσκεται στην τομή των επιδιώξεων των πολλαπλών διαφορετικών μερών που συμμετέχουν σε αυτό. Οι TE αφενός παρέχουν την υποδομή και ανταγωνίζονται κυρίως για την παροχή δύο ειδών υπηρεσιών: τον χειρισμό των φορτίων που θα διακινηθούν διαμέσου τους (φορτία εισαγωγών-εξαγωγών) καθώς και διαμετακομιζόμενων (Yap and Lam 2004, Blonigen and Wilson 2006, Yeo and Song 2006, Chou 2007, Maatsch 2007). Επίσης, οι μεταφορικές εταιρίες ανταγωνίζονται για την επιλογή TE την οποία θα χρησιμοποιούν (αποκλειστικά ή μη) ως διαμετακομιστικό κέντρο, καταλήγωντας σε μια διαδικασία ανταγωνισμού μεταξύ τους (Miller et al. 1992, Marianov et al. 1999, Lu 2003, Zäpfel and Wasner 2002, Racinica and Wynter 2005, Adler and Smilowitz 2006).

Η ελκυστικότητα της TE αφετέρου καθορίζει τις επιλογές των δύο άλλων συμμετεχόντων στο μεταφορικό σύστημα: των μεταφορέων (carriers) και των αποστολέων φορτίων (shippers). Οι μεταφορείς (ναυτιλιακές γραμμές) λαμβάνουν αποφάσεις για την επιλογή του λιμένα ως μέρος της διαδρομής που θα εξυπηρετήσουν -αποφάσεις μεσοπρόθεσμου ορίζοντα- και οι αποστολείς επιλέγουν την διαδρομή για την εκτέλεση μιας αποστολής -αποφάσεις βραχυχρόνιου ορίζοντα- (Bergantino and Veenstra 2002). Σημειώνεται ότι η επιλογή ναυτιλιακής εταιρείας συνεπάγεται και επιλογή διαδρομής (και συνεπώς λιμένα) από πλευράς των αποστολέων (Psaraftis et al. 1990, Garrido and Leva 2004, Malchow and Kanafani 2004).

Όπως περιγράφηκε και προηγούμενα, ο βέλτιστος σχεδιασμός συστημάτων λιμενικών TE θα επιχειρηθεί στην παρούσα διατριβή λαμβάνοντας υπόψη ότι οι TE λειτουργούν τόσο εντός κεντρικά σχεδιαζόμενου, όσο και εντός απελευθερωμένου και ανταγωνιστικού περιβάλλοντος. Στο περιβάλλον αυτό, τα χαρακτηριστικά της κάθε TE καθορίζουν την ελκυστικότητά του και συνεπώς το φορτίο (είδος και όγκο) που θα εξυπηρετήσει επηρεάζοντας την απόδοση των ανταγωνιστών του, οδηγώντας την αναζήτηση του βέλτιστου σχεδιασμού τέτοιων εγκαταστάσεων να επιχειρηθεί λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες, ευκαιρίες και επιδιώξεις όλων των συμμετεχόντων σε αυτό.

Σημειώνεται ότι το περιβάλλον της εξυπηρέτησης εμπορευματικών φορτίων αποτελεί ένα πεδίο ραγδαίων αλληλεπιδράσεων και αλλαγών τις 'συμπεριφορές' (στρατηγικών) των ναυτιλιακών εταιριών και των 'γραμμών' εξυπηρέτησης που αυτές διαμορφώνουν,

μετακινούμενες από στρατηγικές συνεργασίας σε αντίστοιχες ανταγωνισμού (Davis 1986, Jankowski 1989, Fox 1994, Cariou 2002, Sjostrom 2002, Song and Panayides 2002, Czerny and Mitusch 2005, Tsaboulas 2005&2008), αλλά που είναι δυνατόν να επηρεάσουν καθοριστικά την απόδοση των ΤΕ μιας περιοχής (Slack 1993, Nir et al. 2003) και συνεπώς την στρατηγική συνεργασιών μεταξύ ναυτιλιακών εταιριών και ΤΕ (Heaver 1995, Heaver et al. 2000, Notteboom 2001, Henesey et al. 2002, Feng and Tsao 2005), αλλά και μεταξύ των ΤΕ (Song 2003). Οργανωτικά παραδείγματα των συστημάτων ΤΕ μπορούν να βρεθούν για την περιοχή της Ευρώπης στους Konings and Ludema (2000), Aslar (2001), Heaver 2001, Psaraftis (2005), Adler (2005), Ballis and Stathopoulos (2007), Medda (2007), για την περιοχή της Αμερικής στους Fleming and Baird (1999), Defilippi (2004), Le-Griffin and Murphy (2006), για την περιοχή της Ασίας στους Fung (2001) Song (2002), Song and Yeo (2004), Oum and Park (2004), Cullinane et al. (2005), Park et al. (2006), Yap and Lam (2006), Yap et al. (2006), για την περιοχή της Αφρικής στους Hoyle and Charlier (1995) και για την περιοχή της Αυστραλίας στους Pracz et al. (2006). Επίσης, σχετικά με τα εμπορευματικά μεταφορικά οργανωτικά πρότυπα στην διεθνή τους ανάπτυξη, περιγραφές μπορούν να αναζητηθούν στις εργασίες των Jansson and Shneerson 1978, Southworth and Peterson (2000), Peters (2001), Lim et al. (2004), Nijkamp et al. (2004), Kanafani and Kuroda (Eds.- 2005), Pando et al. (2005), Slack and Fremont (2005), Song and Panayides (2007).

Από τις παραπάνω εργασίες φαίνεται ότι η λειτουργία των ΤΕ πραγματοποιείται εντός του ευρύτερου συστήματος της αλυσίδας εξυπηρέτησης των εμπορευματικών φορτίων. Εξάλλου, η ανάπτυξη των συστημάτων (αλυσίδας) εξυπηρέτησης φορτίων (supply chain) στηρίζεται στην αναγνώριση της διαφορετικότητας των λειτουργιών και μέσων που τα συγκροτούν (Robinson 2002, Daganzo 2004&2005). Για τον λόγο αυτόν, στην παρούσα διατριβή θα αναζητηθεί η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των ΤΕ, ακολουθώντας συστηματική προσέγγιση, δηλαδή αναγνωρίζοντας την επιρροή πολλαπλών μερών στην απόδοση της κάθε ΤΕ. Η ανασκόπηση της προσέγγισης αυτής στον σχεδιασμό της μεταφορικής υποδομής, και συγκεκριμένα εμπορευματικών συστημάτων, παρουσιάζεται ακολούθως.

2.4 Βελτιστοποίηση του σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ

Το πρόβλημα του βέλτιστου σχεδιασμού συστήματος μεταφορικής υποδομής, αποτελεί ένα από τα αντικείμενα τα οποία έχουν περισσότερο διερευνηθεί κατά την διάρκεια των τελευταίων 40 ετών στο πεδίο των μεταφορών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην σημαντικότητα που αποδίδεται στην βέλτιστη οργάνωση των μεταφορικών υποδομών αφενός

αλλά και στην προσπάθεια των σύγχρονων διαχειριστικών αρχών για τον ορθολογικότερο καταμερισμό των διαθέσιμων πόρων (Arrow and Hurwicz 1977).

Ο σχεδιασμός των μεταφορικών συστημάτων, εκκινώντας από την θεμελιακή εργασία των Beckmann, McGuire and Winsten υπό τον τίτλο "*Studies in the Economics of Transportation*" (1956), αφορά στον προγραμματισμό των επεμβάσεων σε ένα μεταφορικό σύστημα με επιδίωξη την υλοποίηση προκαθορισμένων στόχων. Το πεδίο των μεταφορών, εκ του γεγονότος ότι αναπτύσσεται στην τομή των δραστηριοτήτων διαφορετικών ομάδων συμμετεχόντων (χρήστες, διαχειριστές, κοινωνικές ομάδες που υφίστανται τις ευεργετικές ή αρνητικές συνέπειες από την λειτουργία τους, κα), αποτελεί κύρια συνιστώσα της οικονομικής ευημερίας. Για τον λόγο αυτό τα τελευταία 60 –ιδίαιτερα- έτη σημειώθηκε ραγδαία ανάπτυξη αυτού του τομέα, με ανάλογη ανάπτυξη της έρευνας του συγκεκριμένου πεδίου (από τον πολύ εκτεταμένο κατάλογο της βιβλιογραφίας επιλέγονται εδώ οι τίτλοι των συχνότερα χρησιμοποιημένων αναφορών και οι οποίοι είναι οι Manheim 1979, Bell and Iida 1997, Ortúzar and Willumsen 2002, και Cascetta 2001).

Μία από τις περισσότερο καθιερωμένες και θεμελιώδεις προσεγγίσεις του αντικείμενου του σχεδιασμού της μεταφορικής υποδομής, βασίζεται στην αναγνώριση ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός μεταφορικών συστημάτων που εξυπηρετούν μη καθοδηγούμενους χρήστες, αφορά σε ένα πρόβλημα δικτύων στα οποία συμμετέχουν πολλαπλά και αλληλοεξαρτώμενα μέρη και το οποίο ονομάστηκε 'Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύου' (Network Design Problem - NDP^2). Στο NDP έχει αναγνωριστεί η σημαντικότητα και η πολυπλοκότητά του –μεταξύ των άλλων που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια- και από τα παράδοξα που ανακύπτουν κατά την επίλυσή του (Braess 1969, Yang and Bell 1998 και Braess et al. 2005), όπως η μείωση της απόδοσής τους κατά την αύξηση της προσφερόμενης υποδομής κ.α..

Η Dafermos (1968) καθώς και ο LeBlanc (1975) προσέφεραν τις πρώτες εργασίες στο αντικείμενο του NDP αναγνωρίζοντας την αλληλεπίδραση του σχεδιασμού του μεταφορικού συστήματος και των χρηστών του και οι οποίες αναφέρονται στον σχεδιασμό οδικών δικτύων. Οι διατυπώσεις που δόθηκαν στις εργασίες αυτές κατόπιν εφαρμόστηκαν (με τις κατάλληλες προσαρμογές) και σε άλλα μεταφορικά συστήματα (π.χ. δικτύων μέσων μαζικής μεταφοράς), ενώ παράλληλα αναγνωρίστηκε ότι ο βέλτιστος σχεδιασμός των μεταφορικών συστημάτων αντιστοιχεί και αυτός σε ένα παίγνιο (άλλοτε συνεργατικό και άλλοτε μη-συνεργατικό). Στην εργασία της Dafermos (1968) αναγνωρίστηκε και διατυπώθηκε για πρώτη φορά ότι ο εντοπισμός των βέλτιστων επεμβάσεων σε ένα δίκτυο θα πρέπει να γίνεται στην κατάσταση ευστάθειας (steady state) όπως αυτή προκύπτει υπολογίζοντας την

² Στο κείμενο θα προτιμηθεί η συντομογραφία του Προβλήματος Σχεδιασμού Δικτύου με αγγλικούς χαρακτήρες (NDP) ως περισσότερο αναγνωρίσιμη.

κατάσταση ισορροπίας μεταξύ των χρηστών του. Παρόλα αυτά, οι διατυπώσεις του *NDP* δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό εμπορευματικών δικτύων, πολλώ δε στον σχεδιασμό τερματικών εγκαταστάσεων.

Στη συνέχεια ο LeBlanc (1975) διατύπωσε το *NDP* σε μια από τις πιο καθιερωμένες μορφές του, χρησιμοποιώντας μη-γραμμικό προγραμματισμό δύο επιπέδων (χωρίς να κάνει αναφορά στην εργασία της Dafermos). Πιο συγκεκριμένα, το *NDP* προτυποποιείται ως ένα μη-συνεργατικό παίγνιο Stackelberg³ καθολικής πληροφόρησης, στο οποίο κατά το πρώτο στάδιο ο διαχειριστής του συστήματος επιλέγει εκείνες τις επεμβάσεις στο σύστημα από τις οποίες αναμένονται τα μεγαλύτερα οφέλη (με βάση τις επιδιώξεις του) λαμβάνοντας υπόψη την 'αντίδραση' των χρηστών της υποδομής (δικτύου) οι οποίοι κάνουν τέτοιες επιλογές ώστε να βελτιστοποιούν τις δικές τους επιδιώξεις.

Η διατύπωση αυτή του *NDP* εκφράζει την διαδικασία βελτιστοποίησης της απόδοσης του συστήματος, στην παρούσα μορφή μέσω της βελτιστοποίησης κάποιου μέτρου κόστους ή οφέλους (εκφρασμένα ως συνάρτηση της ικανότητας των συνδέσμων), με μεταβλητή τις προσθήκες που απαιτούνται για την αύξηση της ικανότητας των συνδέσμων του δικτύου (οι οποίοι υπόκεινται σε φυσικούς και χρηματικούς περιορισμούς), λαμβάνοντας υπόψη τις αντιδράσεις των χρηστών στα εναλλακτικά σχέδια βελτίωσης της υποδομής, στους οποίους αποδίδεται το χαρακτηριστικό ότι θα συμπεριφερθούν με ορθολογικότητα (δηλαδή θα κάνουν την επιλογή που βελτιστοποιεί τις επιδιώξεις τους).

Σημειώνεται ότι ο LeBlanc (1975) και οι Abduaal and LeBlanc (1979) αναγνώρισαν δύο μορφές του *NDP*, την συνεχή και την διακριτή. Στην πρώτη μορφή ανήκουν οι διαμορφώσεις του προβλήματος που αντιμετωπίζουν την βελτίωση της ικανότητας των συνδέσμων ως συνεχείς μεταβλητές (π.χ. ροή οχημάτων, αριθμό επιβατών, Ε/Κ, τόνοι κλπ), ενώ στη δεύτερη ανήκουν οι διαμορφώσεις εκείνες που αντιμετωπίζουν την ικανότητα ως διακριτές μεταβλητές (π.χ. αριθμός λωρίδων, αριθμός βαγονιών/συρμών, συχνότητα δρομολογίων, κλπ). Η παραπάνω διαδικασία σχεδιασμού έχει υλοποιηθεί και για την εκτίμηση βέλτιστων τακτικών διαχείρισης μεταφορικών υποδομών, όπως είναι η τιμολόγηση (Altman and Wynter 2004, Ayala 2006), προγραμματισμού επεμβάσεων (Alvarez et al. 2007), καθώς και ευρύτερων οργανωτικών προτύπων συμπεριφοράς των χρηστών μεταφορικών δικτύων που καλύπτονται από τη θεωρία της ισορροπίας σε αυτά (Fisk 1980, Harker 1988) όπως είναι η συνδυασμένη δράση της εκδήλωσης της ζήτησης σε σχέση με την προσφορά της μεταφορικής υποδομής (Boyce and Larson 1980, Chang and Macket 2006)⁴.

³ Το παίγνιο Stackelberg αφορά στην ιεραρχική (διαδοχική) μη-συνεργατική ανάπτυξη στρατηγικών, σε αντίστοιχη με την τυπική μορφή των παιγνίων, όπου οι στρατηγικές εκδηλώνονται ταυτόχρονα από όλους τους 'παίκτες' (βλ. § 4.1.1).

⁴ Σχετικά με τις αναφορές του παρόντος πεδίου, έχει προτιμηθεί η παράθεση των χαρακτηριστικότερων αναφορών κατά περίπτωση και όχι ο εξαντλητικός κατάλογος όλων των

Επικεντρώνοντας στον σχεδιασμό των εμπορευματικών δικτύων, ένας μεγάλος αριθμός εργασιών που έχει παρουσιαστεί στοχεύει στη βελτιστοποίηση του δικτύου εξυπηρέτησης μεμονωμένων μεταφορέων εντός δεδομένων συνθηκών ζήτησης. Οργανωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση για τέτοιου είδους προβλήματα δίνεται από, Crainic and Laporte (1997) και Crainic (2000). Επίσης πολλά και διαφορετικά προβλήματα που συνδυάζουν τόσο τον σχεδιασμό του δικτύου όσο και τον προσδιορισμό των τιμολογιακών πολιτικών για την παροχή μεταφορικών υπηρεσιών, που αφορούν διαφορετικά μεταφορικά δίκτυα, έχουν ενδεικτικά παρουσιαστεί στις εργασίες των Crainic et al. (1989&2001), Brotcome et al. (2000&2005), Fleischmann (1993), Côté et al. (2003), Castelli et al. 2004, Lai and Lo (2004), Friez et al. (2004), Kim and Kim (2006) και Marcotte et al. (2009). Παρόλα αυτά, όλες αυτές οι προσεγγίσεις για τον σχεδιασμό της μεταφορικής υποδομής αφορούν μεμονωμένους μεταφορείς, αγνοώντας την επιρροή που έχουν και δέχονται από τις επιλογές όλων των άλλων 'μερών' (παικτών) στο μεταφορικό σύστημα. Οπότε τέτοιου είδους πρότυπα είναι κατάλληλα για τον σχεδιασμό του μεταφορικού δικτύου εξυπηρέτησης είτε σε μονοπωλιακές αγορές, είτε σε αγορές όπου η συμμετοχή ενός επιπλέον μεταφορέα πρακτικά δεν επηρεάζει την απόδοση των άλλων.

Η διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος ακολουθώντας αυτή την αρχιτεκτονική αντιστοιχεί σε μια κατάσταση κεντρικού σχεδιασμού, κατά την οποία ένας διαχειριστής λαμβάνει τις αποφάσεις σε όλο το εύρος του συστήματος. Μια τέτοια διαμόρφωση και επίλυση προβλήματος βελτιστοποίησης του σχεδιασμού συστημάτων TE δεν έχει πραγματοποιηθεί (όπως προκύπτει από την βιβλιογραφία) μέχρι τώρα. Μια τέτοιου είδους επίλυση του παραπάνω προβλήματος, δηλαδή του σχεδιασμού υποδομών που περιλαμβάνουν σύνθετες διαδικασίες (σαν και αυτές που περιλαμβάνει η λειτουργία μιας TE Ε/Κ), επεκτείνει την κλασσική διαμόρφωση του προβλήματος σχεδιασμού δικτύων στη διαδικασία σχεδιασμού συστημάτων διαδικασιών, κατάσταση που εισάγει νέες δυνατότητες στον καθολικό σχεδιασμό και διαχείριση υποδομών.

Η επίλυση προβλημάτων σχεδιασμού δικτύων (στην παραπάνω κεντρική-τυπική μορφή) αφορά σε ένα παίγνιο Stackelberg και πραγματοποιείται μέσω της διατύπωσής του ως πρόβλημα ιεραρχικού μη-γραμμικού προγραμματισμού δύο επιπέδων (bi-level programming). Τα προβλήματα της κλάσης αυτής ανήκουν στην κατηγορία των μη-κυρτών προβλημάτων. Μεγάλος όγκος ερευνητικής προσπάθειας έχει πραγματοποιηθεί σχετικά με το NDP από την πρώτη διατύπωσή του μέχρι και σήμερα, προτείνοντας τόσο εναλλακτικές διατυπώσεις του προβλήματος, όσο αλγόριθμους επίλυσής του, καθώς και πεδία εφαρμογής του. Εδώ δεν θα γίνει αναλυτική περιγραφή των εργασιών σχετικών με την κλασσική μορφή

του *NDP* η οποία παρουσιάστηκε παραπάνω και η οποία θα πρέπει να καλύψει ερευνητική προσπάθεια περίπου 40 ετών. Αντί αυτού παρατίθενται οι αναφορές των Magnanti and Wong (1984), Friesz et al. (1985), Schweitzer et al. (1997), Gao et al. (2005), Dimitriou and Stathopoulos (2006), Dimitriou et al. (2007a,b) και Patriksson (2008), στις οποίες ο αναγνώστης μπορεί να βρει οργανωμένη παρουσίαση εναλλακτικών διατυπώσεων, αλγορίθμων και εφαρμογών του *NDP*. Στις εργασίες αυτές επίσης αναδεικνύεται το γεγονός ότι με δεδομένο ότι η κωδικοποίηση του προβλήματος σχεδιασμού δικτύων καταλήγει σε επίλυση προβλημάτων (τυπικά) μη-γραμμικού ιεραρχικού μαθηματικού προγραμματισμού, οι αλγόριθμοι που έχουν υιοθετηθεί είναι ευρετικοί.

Σε ότι αφορά στο σύνολο των διαθέσιμων στρατηγικών ανάπτυξης των ΤΕ, αυτές αποτελούνται από τον συνδυασμό διερευνητικών αποφάσεων αύξησης της δυναμικότητας εξυπηρέτησης εμπορευματικών φόρτων Ε/Κ αλλά και αποφάσεων σχετικών με την τιμολόγηση του λιμενικού προϊόντος. Η πρώτη ομάδα αποφάσεων προς διερεύνηση αφορά σε επενδύσεις και οργανωτικά μέτρα με τα οποία επιχειρείται η αύξηση της ελκυστικότητας τους. Συγκεκριμένα αυτή η ομάδα αφορά στην βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης προς τα εξυπηρετούμενα πλοία, μέσω της παροχής των απαραίτητων μέσων (γερανογεφυρών, προβλητών, εξοπλισμού χερσαίων μέσων χειρισμού Ε/Κ, χώρων στοιβασίας, κλπ) αφενός αλλά και της παροχής ειδικών εξυπηρετήσεων (π.χ. εξυπηρέτηση κατά προτεραιότητα). Η δεύτερη ομάδα αφορά στον καθορισμό των τιμολογίων για την παροχή των παραπάνω υπηρεσιών (Holguín-Veras and Jara-Díaz 1999, Goss and Stevens 2001, Haralambides 2002, Haralambides et al. 2002, Psaraftis 2005, Holguín-Veras and Jara-Díaz 2006), ενώ έχει αναδειχτεί η διαδικασία εκτίμησης των χρεώσεων της εξυπηρέτησης εμπορευματικών φορτίων εντός διαδικασίας εξισορρόπησης μεταφορικών δικτύων (Hurley and Petersen 1994). Στην παρούσα διατριβή θα επιχειρηθεί η θεώρηση του προβλήματος ως πρόβλημα σχεδιασμού και διαστασιολόγησης υποδομών, θεωρώντας ως μεταβλητές σχεδιασμού για τον κάθε λιμένα τη δυναμικότητα χειρισμού Ε/Κ (throughput) και επιχειρώντας την βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων ΤΕ μεταβάλλοντας της επιλογές των χρηστών του συστήματος, επηρεάζοντας τον καταμερισμό του εμπορευματικού φόρτου σε αυτό.

Σχετικά με τον καταμερισμό του εμπορευματικού φορτίου σε εναλλακτικές ΤΕ με βάση τα χαρακτηριστικά τους, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά πρότυπα. Τέτοια πρότυπα μπορούν να βρεθούν στους Benford (1981), Perakis (1985), Zografos and Martinez (1990) και Perakis and Jaramillo (1991), οι οποίες βασίζονται στην υπόθεση ότι η κατανομή του φορτίου γίνεται από έναν κεντρικό διαχειριστή καταλήγοντας σε ένα καταμερισμό βέλτιστο κατά το σύστημα των ΤΕ. Μια τέτοια υπόθεση όμως σε καταστάσεις απελευθερωμένης λειτουργίας των μεταφορικών συστημάτων είναι πρακτικώς μη

ρεαλιστική, εφόσον στην παρούσα μορφή του προβλήματος οι αποστολές επιλέγουν λιμένα (μέσω της επιλογής διαδρομής) μη-συνεργατικά.

Στην παρούσα διατριβή, ο καταμερισμός του εμπορευματικού φορτίου σε εναλλακτικές ΤΕ, θα προτυποποιηθεί με βάση την υπόθεση της απελευθερωμένης αγοράς εξυπηρέτησης των φορτίων Ε/Κ και θεωρώντας ότι οι αποστολές εμφανίζουν χαρακτηριστικά *‘περιορισμένης ορθολογικότητας’* σχετικά με την επιλογή διαδρομής. Συγκεκριμένα, η προτυποποίηση της διαδικασίας επιλογής διαδρομής (και κατ’ επέκταση λιμένα) υλοποιείται μέσω κατάλληλων στοχαστικών προτύπων διακριτών επιλογών ικανών να εντοπίζουν τα συγκριτικά πλεονεκτήματα του κάθε λιμένα έναντι των ανταγωνιστικών του (Winston 1981a&b, Garrido and Mahmassani 2000, Veldman and Bückmann 2003, Malchow and Kanafani 2004). Στην περίπτωση αυτή η διαμόρφωση του κάτω προβλήματος (της εκτίμησης του SUE) λαμβάνει την ειδική μορφή του προβλήματος του στοχαστικού καταμερισμού του εμπορευματικού φορτίου σε λιμένες.

Η παιγνιοθεωρητική διαδικασία σχεδιασμού της μεταφορικής υποδομής που περιγράφηκε προηγούμενα έχει εφαρμογές σε ένα πολύ μεγάλο εύρος καταστάσεων στα μεταφορικά συστήματα (Fisk 1984&1986, Van Zuylem and Taale 2004, Hollander 2006), όπως σε διαδικασίες τιμολόγησης της χρήσης υποδομής, ελέγχου συστημάτων καθώς και σε διαδικασίες εκτίμησης μεταβλητών του μεταφορικού συστήματος. Παρόλα αυτά, κατάλληλη διαμόρφωση και επίλυση του προβλήματος του κεντρικού σχεδιασμού της μεταφορικής υποδομής σε συστήματα εμπορευματικών μεταφορών, όπως αυτή των λιμενικών ΤΕ, δεν έχει παρουσιαστεί μέχρι τώρα. Επιπλέον, η διαδικασία σχεδιασμού δικτύου εξυπηρέτησης εμπορευματικού φόρτου μέσω ΤΕ Ε/Κ δεν ακολουθεί μόνο την τυπική διαδικασία του *NDP* που περιγράφηκε παραπάνω. Αυτό διότι σε τέτοιου είδους συστήματα υπάρχει η θεμελιώδης διαφορά ότι οι υπεύθυνοι για τον σχεδιασμό του συστήματος μπορεί να είναι περισσότεροι από ένας, οι οποίοι μπορεί να δρουν συνεργατικά (όπως παρουσιάστηκε στην παραπάνω τυπική διαμόρφωση του κεντρικού σχεδιασμού δικτύων), συναλλακτικά ή και ανταγωνιστικά ο ένας έναντι του άλλου, έχοντας τον έλεγχο μόνο του δικού τους τμήματος της μεταφορικής υποδομής, που όμως οι επιλογές τους επηρεάζουν την απόδοση όλων των άλλων συμμετεχόντων μερών.

Σε ό,τι αφορά στον συναλλακτικό σχεδιασμό συστημάτων ΤΕ, αφορά στην κατάσταση κατά την οποία ένας κεντρικός διαχειριστής είναι υπεύθυνος για τον προγραμματισμό της ανάπτυξης τους με τρόπο ώστε τα οφέλη που θα προκύπτουν (και τα οποία θα καταβάλλονται στις ΤΕ ανάλογα με τον φόρτο που εξυπηρετούν) μεγιστοποιούνται συνεργατικά αλλά όχι αθροιστικά μεταξύ των ΤΕ. Η κατάσταση αυτή αφορά στον προσδιορισμό του μηχανισμού βέλτιστης ανταλλαγής των ωφελειών συστημάτων ΤΕ, εφόσον είναι σαφές ότι οι ωφέλειες της κάθε ΤΕ είναι σε βάρος των υπολοίπων (όσο αυξάνουν οι ωφέλειες της μίας ΤΕ τόσο υποχωρούν οι ωφέλειες των υπολοίπων). Τέτοια κατάσταση σχεδιασμού ΤΕ δεν απαντάται

στη διεθνή βιβλιογραφία. Η περισσότερο σχετική με το συγκεκριμένο σχεδιασμό συστημάτων είναι η κατάσταση όπου επιχειρείται η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση πολλαπλών αντιφατικών/αντικρουόμενων αντικειμενικών συναρτήσεων σε προβλήματα πολύ-στοχικού προγραμματισμού. Τέτοιες περιπτώσεις σχεδιασμού έχουν υλοποιηθεί από τους Yin 2000, Yin and Lawphongpanich 2006, Dimitriou and Stathopoulos (2009) και Dimitriou et al. (2009&2010) για την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού οδικών αστικών μεταφορικών συστημάτων.

Τέλος, μια από τις συνηθέστερες εκδηλώσεις της συμπεριφοράς των συμμετεχόντων στα μεταφορικά δίκτυα αφορά στις μη-συνεργατικές και ανταγωνιστικές καταστάσεις οργάνωσης (Harker 1988, Perrot 1993, Rao et al. 1997, Kent and Ashar 2001), φαινόμενο στενά συνδεδεμένο με την λειτουργία απελευθερωμένων από κεντρικό έλεγχο αγορών (Porter 1980&1985 και Ankli 1992). Σχετικά με τον ανταγωνιστικό σχεδιασμό δικτύων, η διεθνή βιβλιογραφία στο αντικείμενο αυτό είναι εξαιρετικά περιορισμένη, αν και θεωρητικό υπόβαθρο του συγκεκριμένου σχήματος στρατηγικών αλληλεπιδράσεων αντιστοιχεί στην ευρέως χρησιμοποιημένη οικονομική θεωρία της γενικής ισορροπίας (General Equilibrium Theory) όπως αυτή διατυπώθηκε και αναλύθηκε από τους Arrow and Debreu (1954) και McKenzie (1959). Συγκεκριμένα η πρώτη εργασία στο αντικείμενο του ανταγωνιστικού *NDP* έχει δημοσιευτεί από τον Lederer (1993). Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκαν οι ιδιότητες του συγκεκριμένου προβλήματος σε ότι αφορά στην ύπαρξη ισορροπίας και στην μοναδικότητά της, καθώς επίσης και αποτελέσματα από εφαρμογή σε ένα δοκιμαστικό δίκτυο τριών συνδέσμων συγκλίνοντας σε κατάσταση προσδιορισμένης ισορροπίας (deterministic equilibrium). Στην εργασία αυτή όμως, οι λύσεις (για ένα αφαιρετικό σύστημα ανταγωνιστικών λεωφορειακών γραμμών) έχουν προκύψει με δεδομένη την ύπαρξη της ισορροπίας και βασιζόμενη σε απλουστευμένη θεώρηση διαδοχικής λήψης αποφάσεων από τους διαχειριστές της υποδομής, υποθέσεις οι οποίες σημαντικά διαφέρουν από ρεαλιστικές καταστάσεις. Παρόμοια τακτική έχουν ακολουθήσει και οι Xiao and Yang (2007) για μια απλοποιημένη μορφή λιμενικής αγοράς. Τέλος, ένα αναλυτικό πλαίσιο καταστάσεων ανταγωνισμού διαφορετικών διαχειριστών της μεταφορικής υποδομής παρέχεται από τους Williams and Abdulaal (1993). Εφαρμογή της παραπάνω τακτικής σχεδιασμού ανταγωνιστικών υποδομών αποτελεί το ανταγωνιστικό παίγνιο μεταξύ διαφορετικών διαχειριστών λεωφορειακών εταιριών που έχει αναλυθεί από τους Zhou et al. (2005). Το παίγνιο αυτό αφορά στον καθορισμό τιμολογιακής πολιτικής για ανταγωνιστικούς παρόχους λεωφορειακής εξυπηρέτησης και όχι στον σχεδιασμό της υποδομής που θα προσφέρουν, ενώ η επίλυσή του έχει βασιστεί σε διαδικασίες γραμμικοποίησης των ιεραρχικών αντικειμενικών συναρτήσεων και την εφαρμογή ενός τυπικού αλγόριθμου διαδοχικών προβολών.

Παρόλα αυτά, το πρόβλημα του ανταγωνιστικού σχεδιασμού δικτύων εμφανίζει κάποιες ομοιότητες με ορισμένα προβλήματα που αφορούν σε παρόμοιες παιγνιοθεωρητικές

καταστάσεις. Για παράδειγμα στις εργασίες των, De Palma and Thisse 1993, De Palma and Leruth 1993, Nagurney 1999, Friesz et al. 2005, το πρόβλημα της ισορροπίας των τιμών σε χωρικά διαχωριζόμενες αγορές (Spatial Price Equilibrium Problem- SPEP) αφορά στον σχεδιασμό παραγωγής προϊόντων και μεταφοράς τους σε σημεία εκδήλωσης της ζήτησης. Ωστόσο, στο SPEP, με δεδομένα τα σημεία παραγωγής Α και ζήτησης Β του προϊόντος x , επιχειρείται ο χωρικός προσδιορισμός των τιμών διάθεσης του προϊόντος και το ύψος της παραγωγής Α καλύπτοντας τη συνολική ζήτηση των σημείων Β, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος μεταφοράς τους. Όμως το SPEP αφορά σε καθορισμένο τρόπο εκτίμησης του κόστους παραγωγής και διάθεσης ως μεταβλητές του εμπορευματικού φόρτου και συνεπώς καταλήγει σε μια διαδικασία βελτιστοποίησης ενός επιπέδου (όπως ανέδειξε με κατάλληλο ισομορφισμό η Dafermos 1986), σε αντίθεση με το πρόβλημα σχεδιασμού δικτύων στο οποίο οι συναρτήσεις εξυπηρέτησης επιχειρείται να μεταβληθούν κατάλληλα και συνεπώς είναι μια διαδικασία πολλαπλών ιεραρχικών σταδίων. Οι επιλύσεις του SPEP (καθώς και των προβλημάτων που αποτελούν παραλλαγές του) βασίζονται στην διαμόρφωση κατάλληλων προβλημάτων βελτιστοποίησης ικανών να συγκλίνουν στο σημείο ισορροπίας, κατά αναλογία με την διαδικασία καταμερισμού της κυκλοφορίας σε μεταφορικά δίκτυα υπό συμφόρηση. Τέτοιοι μέθοδοι είναι η ευρέως χρησιμοποιημένη μέθοδος των μεταβαλλόμενων ανισοτήτων όπως υλοποιήθηκε για παράδειγμα από τους Dafermos and Nagurney (1984), Fisk (1987) και Friesz et al. (1998&2005).

Άλλο παράδειγμα παρόμοιων καταστάσεων με τον ανταγωνιστικό σχεδιασμό δικτύων αποτελεί το πρόβλημα του ολιγοπολιακού ανταγωνισμού μεταξύ αποστολέων-μεταφορέων (shipper-carrier competition problem). Στο πρόβλημα αυτό διαφορετικοί μεταφορείς ανταγωνίζονται για την βελτιστοποίηση της απόδοσής τους (συνήθως την μεγιστοποίηση των κερδών τους) εντός ανταγωνιστικού περιβάλλοντος. Οι μεταβλητές ελέγχου είναι το παρεχόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης (συχνότητα εξυπηρέτησης, αξιοπιστία, κλπ) προς τους αποστολείς, οι οποίοι επιλέγουν μη-συνεργατικά μεταφορέα επιχειρώντας και αυτοί την βελτιστοποίηση των επιδιώξεών τους (Fisk 1984, Fisk 1986, Hamilton and Thisse 1993, Nagurney 1999, Nagurney et al. 2002, Agrawal and Ziliaskopoulos 2006). Το πρόβλημα αυτό επίσης έχει αντιμετωπιστεί ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ενός επιπέδου και συγκεκριμένα εύρεσης του σημείου ισορροπίας στο παραπάνω παίγνιο. Το πρόβλημα αυτό έχει αντιμετωπιστεί με κλασσικές μεθόδους εύρεσης ισορροπιών για απλοποιημένες καταστάσεις όπου οι μεταβλητές του προβλήματος είναι εκφρασμένες ως συνεχείς συναρτήσεις, συνήθως γραμμικές (Nagurney 1999, Nagurney et al. 2002, Agrawal and Ziliaskopoulos 2006). Στο ίδιο αναλυτικό πλαίσιο έχει διερευνηθεί η κατάσταση της ανταγωνιστικής επιλογής θέσης σε μεταφορικά δίκτυα από τους De Palma et al. (1989). Τέλος, οι Haugen and Hevrik (2004), έχουν προσεγγίσει την διαδικασία επιλογής μέσου και

μεταφορέα, με την ανάπτυξη της μη-συνεργατικής διαδικασίας επιλογών ως παίγνιο στη στατική/στρατηγική μορφή του.

Επίσης, ο Hansen (1990), παρουσίασε ένα πρότυπο οργάνωσης των αμερικανικών αερογραμμών, το οποίο προέκυπε από την επίλυση ενός μη-συνεργατικού παιγνίου με τη σύγκλιση του σε ισορροπία κατά Nash⁵ με βάση μια επαναληπτική διαδικασία προβολών (recursive projection method). Το πλαίσιο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση πολλών διαφορετικών καταστάσεων αεροπορικού ανταγωνισμού (Youssef and Hansen 1994, Janić 1997, Wei and Hansen 2005&2006&2007). Μια παρόμοια διαδικασία είχε προταθεί και από τη Fisk (1984), χωρίς όμως να παρουσιαστούν αποτελέσματα από εφαρμογή του αλγορίθμου. Επίσης, ένα πρότυπο οργάνωσης της αγοράς ακτοπλοϊκών μεταφορών σε καθεστώς απελευθέρωσης έχει παρουσιαστεί από τους Dimitriou et al. (2007). Η επίλυση του παιγνίου της ανταγωνιστικής προσφοράς ακτοπλοϊκών μεταφορικών υπηρεσιών με τον καθορισμό του επιπέδου εξυπηρέτησης και τιμολόγησης, έχει γίνει με βάση μια πρώτη προσέγγιση της χρήσης συν-εξελικτικών αλγορίθμων. Η εφαρμογή ενός πλήρους συν-εξελικτικού αλγορίθμου για τον ανταγωνιστικό σχεδιασμό συστημάτων μεταφορικής υποδομής και συγκεκριμένα συστημάτων ΤΕ γίνεται από τους Dimitriou and Stathopoulos (2009&2010). Ο αλγόριθμος αυτός για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης ή επίλυσης ανταγωνιστικών παιγνίων.

2.5 Περιγραφή της συμβολής της διατριβής

Όπως προέκυψε από την βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε, ο βέλτιστος σχεδιασμός ανάπτυξης των συστημάτων ΤΕ Ε/Κ λαμβάνοντας υπόψη τις αντιδράσεις των χρηστών (και συνεπώς της ζήτησης) δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι τώρα. Στο σημείο αυτό συμβάλει η παρούσα διατριβή και ειδικότερα στην χρήση ενοποιημένων προτύπων προσφοράς και ζήτησης για την ανάλυση της λειτουργίας των συστημάτων αυτών, αναγνωρίζοντας την αλληλεπίδραση των πολλαπλών μερών από τα οποία αποτελείται το σύστημα των ΤΕ. Επιπλέον η εισαγωγή και χρήση κατάλληλων αλγορίθμων βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό σχεδίων ανάπτυξης, μέσω διαδικασιών καταμερισμού διαθέσιμων αλλά περιορισμένων πόρων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως βέλτιστα, περιγράφει και την οπτική της διατριβής.

Επιπλέον, ο σχεδιασμός συστημάτων ΤΕ Ε/Κ στην παρούσα διατριβή επιχειρεί να καλύψει θεμελιώδεις ιδιαιτερότητες των συστημάτων αυτών, γεγονός το οποίο δεν έχει γίνει

⁵ Κατά-Nash ισορροπία χαρακτηρίζεται η κατάσταση κατά την οποία οι αλληλεπιδρώντες συμμετέχοντες σε ένα σύστημα, έχουν επιλέξει στρατηγικές τέτοιες που ταυτόχρονα μεγιστοποιούν τις αποδόσεις τους και συνεπώς δεν έχουν κίνητρο μονομερώς να τις αλλάξουν (βλ. §4.3 και Ορ. 4.3-1)

όπως τεκμηριώνεται βιβλιογραφικά μέχρι τώρα. Συγκεκριμένα, αν και η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού (κυρίως αστικών οδικών) μεταφορικών συστημάτων έχει αναλυθεί εκτενώς, αυτό έχει γίνει κυρίως υπό την υπόθεση της μονο-στοχικής και πολύ-στοχικής βελτιστοποίησης αντικειμενικών συναρτήσεων που εκφράζουν τις επιδιώξεις κυρίως ενός κεντρικού διαχειριστή. Όπως έχει φανεί από την ανασκόπηση που προηγήθηκε, δεν είναι η μοναδική κατάσταση (ούτε η συνθέστερη) στη λειτουργία συστημάτων ΤΕ Ε/Κ. Για τον λόγο αυτό διερευνάται ο βέλτιστος σχεδιασμός τέτοιων συστημάτων υπό τις τρεις χαρακτηριστικές καταστάσεις διαχείρισης: τη συνεργατική, τη συναλλακτική και την αποκεντρωμένη.

Με δεδομένη την σημαντικότητα της υποδομής για την λειτουργία, απόδοση και ανάπτυξη ενός μεταφορικού συστήματος (Manheim 1980), η παρούσα διατριβή επιχειρεί να συμβάλει στην διαστασιολόγησή της. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός της ανάπτυξης ΤΕ Ε/Κ στην παρούσα διατριβή, αντιμετωπίζεται ως πρόβλημα σχεδιασμού δικτύου με την προσθήκη ότι αυτό θα διερευνηθεί υπό εναλλακτικά διαχειριστικά καθεστώτα. Έτσι, προκειμένου να προσδιοριστεί ο βέλτιστος σχεδιασμός για την ανάπτυξη συστημάτων ΤΕ, θα ληφθούν υπόψη οι δυνατότητες και ευκαιρίες των ΤΕ όλης της περιοχής ανάλυσης (μελέτης) καθώς και η συμμετοχή των μεταφορέων/αποστολέων φορτίων στις περιοχές που εξυπηρετεί το υπό εξέταση σύστημα ΤΕ.

Η προσέγγιση αυτή βασίζεται σε παγνιοθεωρητικά πρότυπα, τα οποία παρέχουν το υπόβαθρο για την διατύπωση μαθηματικών προτύπων τα οποία είναι σε θέση να παράγουν λύσεις (σχέδια ανάπτυξης) που να μπορούν να θεωρηθούν βέλτιστα σε καταστάσεις αλληλεπίδρασης (van Neumann and Morgenstern 1944, Nash 1951, Rapoport 1966&1970, Luce and Raiffa 1985, Mayerson 1991, Osborne and Rubinstein 1994, Funderberg and Tirole 1998 και Stahl 1999, Βαρουφάκης 2007). Η ανάλυση που πραγματοποιείται, αφορά σε διαφορετικά είδη αλληλεπίδρασης, όπως είναι τα φαινόμενα συνεργατικότητας και ανταγωνισμού (Motta 2004, Telser 2007)

Η αλγοριθμική προσέγγιση της διατριβής, στηρίζεται σε μεθόδους Τεχνητής Νοημοσύνης στις οποίες έχουν υλοποιηθεί κατάλληλοι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης ώστε να μπορούν να αναπαραστήσουν τα παίγνια που αντιστοιχούν σε κάθε περίπτωση σχεδιασμού. Τέλος, μηχανισμοί εκτίμησης της ισορροπίας (των λύσεων) θα βασιστούν στην Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων (Maynard Smith 1982, Weibull 1995, Hofbauer and Sigmund 1998, Friedman 1998, Mailath and Samuelson 2006, Nisan et al. 2007, Fudenberg and Levine 2009). Τέτοιες προσεγγίσεις δεν έχουν παρουσιαστεί ως το παρόν για το σχεδιασμό συστημάτων ΤΕ Ε/Κ, αλλά ούτε και σε περιπτώσεις σχεδιασμού δικτύων συνολικά.

Τέλος, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των προτεινόμενων προτύπων παρέχουν τη δυνατότητα για την ανάδειξη με ποσοτικοποιημένο τρόπο των διαφορών μεταξύ των εναλλακτικών στρατηγικών σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ. Για τον λόγο αυτό από την εφαρμογή των προτεινόμενων λύσεων ανάπτυξης (σε κατάλληλο δειγματικό χώρο) δίνεται

ένα παράδειγμα της σύγκλισης των τεχνικών της επιστήμης του Μηχανικού καθώς και του πεδίου των πειραματικών οικονομικών (experimental economics).

Κεφάλαιο 3

Προτυποποίηση δικτύων συνδυασμένων εμπορευματικών μεταφορών

3.1 Προτυποποίηση του συστήματος διακίνησης Ε/Κ – Απαιτήσεις και προδιαγραφές

Η τεκμηρίωση όλων των σχεδίων ανάπτυξης συστημάτων μεταφορών (καθώς και του σχεδιασμού των περισσότερων έργων πολιτικού μηχανικού) βασίζεται σε αποτελέσματα προτύπων της υπό μελέτη περίπτωσης/κατάστασης. Είναι σαφές ότι η αποδοτικότητα (υπό την έννοια της πιστότητας) των αποτελεσμάτων του προτύπου που χρησιμοποιείται κρίνει και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Στη παρούσα διατριβή προτείνεται η χρήση ενός στοχαστικού προτύπου λειτουργίας του συστήματος διακίνησης/εξυπηρέτησης του εμπορευματικού φόρτου (συγκεκριμένα ροών Ε/Κ), βασιζόμενο στις τεχνικές προτυποποίησης της λειτουργίας μεταφορικών δικτύων.

Οι ιδιαιτερότητες της λειτουργίας των εμπορευματικών συστημάτων ως δικτύων έχει λιγότερο μελετηθεί από την βιβλιογραφία, σε σχέση με αυτή των επιβατικών (και ιδιαίτερα των αστικών οδικών) δικτύων (Higginson 1993, Macharis and Bontekoning, 2004). Ωστόσο, σημειώνεται ότι έχει αναπτυχθεί ερευνητική προσπάθεια για την εκτίμηση συναρτήσεων/τρόπων υπολογισμού της απόδοσης των εμπορευματικών μετακινήσεων (Higginson 1993, Sahin et al. 2009).

Οι ιδιαιτερότητες των εμπορευματικών μεταφορικών συστημάτων αφορούν κυρίως στον τρόπο με τον οποίο τα μεγάλου εύρους αυτά συστήματα οργανώνουν τη λειτουργία τους, χρησιμοποιώντας την υποδομή περιοχών οι οποίες απέχουν τόσο (χρονικά και χωρικά) από τους λήπτες πολλές από τις αποφάσεις λειτουργίας τους ώστε είναι δυνατόν να εισέρθουν στρεβλώσεις, με συμμετέχοντες σε αυτά οι οποίοι έχουν διαφορετικές επιδιώξεις, ενώ η λειτουργία τους περιλαμβάνει εξειδικεύσεις που αφορούν στα πολλά και διαφορετικά διαθέσιμα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση μιας μετακίνησης (μεταφορά φορτίου). Στις επόμενες παραγράφους θα δοθούν, εν είδη απαιτήσεων ή/και προδιαγραφών τα χαρακτηριστικά του προτύπου που θα χρησιμοποιηθεί για το πρώτο μέρος

του προτεινόμενου πλαισίου σχεδιασμού λιμενικών εγκαταστάσεων Ε/Κ και συγκεκριμένα της ανάλυσης της λειτουργίας του συγκεκριμένου συστήματος.

Ξεκινώντας από τις απαιτήσεις ενός προτύπου ώστε να είναι υπολογιστικά εκμεταλλεύσιμο εντός της προτεινόμενης διαδικασίας σχεδιασμού συστημάτων λιμενικών εγκαταστάσεων Ε/Κ, αυτό θα πρέπει να είναι σε θέση ενδογενώς να περιλαμβάνει τις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος λειτουργίας των λιμένων που το αποτελούν. Συγκεκριμένα, με δεδομένο ότι προκειμένου να αποδοθεί το σύνολο των ενεργειών που ολοκληρώνει μια εμπορευματική μετακίνηση (μεταφορά) χρησιμοποιούνται πολλαπλά μεταφορικά μέσα (θαλάσσια, οδικά και σιδηροδρομικά) και υποδομές (τερματικοί σταθμοί Ε/Κ), απαιτείται η δημιουργία ενός ενιαίου προτύπου λειτουργίας, το οποίο να ολοκληρώνει τη λειτουργία των μεταφορικών υπο-δικτύων αφενός, καθώς και των υπόλοιπων διαδικασιών/λειτουργιών που πραγματοποιούνται στην αλυσίδα της εξυπηρέτησης εμπορευματικών ροών αφετέρου. Συγκεκριμένα, η απαίτηση από ένα πρότυπο δικτύου που θα υπολογίζει την απόδοση των τερματικών εγκαταστάσεων Ε/Κ, κυρίως στοχεύει να περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που καθορίζουν την ανταγωνιστικότητά του, λαμβάνοντας υπόψη τους συμμετέχοντες στο σύστημα: τους ανταγωνιστικούς λιμένες και τους χρήστες τους.

Τέτοιες μορφές δικτύων έχουν ονομαστεί υπερ-δίκτυα (Sheffi and Dagnazo 1978, Sheffi 1985, Nagurney and Dong 2002), ενώ σχετικά πρόσφατα έχουν χρησιμοποιηθεί για να προτυποποιήσουν διαδικασίες αυξημένης πολυπλοκότητας (Naguerny and Toyasaki 2003, Liu and Nagurney, 2003, Zhang et al. 2005). Η κωδικοποίηση της λειτουργίας των εμπορευματικών δικτύων ως υπερ-δικτύων θα υλοποιηθεί βασιζόμενη στη διεύρυνση της έννοιας της ισορροπίας των χρηστών (Users Equilibrium – UE) η οποία αν και αποτελεί θεμελιώδη υπόθεση για την ανάλυση των οδικών (ιδιαίτερα των αστικών) δικτύων, εντούτοις λιγότερο έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση εμπορευματικών συστημάτων μεταφορών. Οι προτεινόμενες προδιαγραφές ενός προτύπου υπερ-δικτύου εμπορευματικών μεταφορών που περιλαμβάνει και τη λειτουργία λιμενικών τερματικών εγκαταστάσεων Ε/Κ, κυρίως αφορούν στα εξής χαρακτηριστικά:

- i. Η προτυποποίηση του προτεινόμενου υπερ-δικτύου θα πρέπει να αποδίδει με εγκυρότητα τις πολλαπλές (διαδοχικές και ταυτόχρονες) αποφάσεις που λαμβάνονται από τους συμμετέχοντες/χειριστές του φορτίου που διακινείται διαμέσου του.
- ii. Η λειτουργία των επιμέρους υπο-δικτύων και διαδικασιών θα ενσωματωθεί στις συναρτήσεις απόδοσης (κόστους/χρησιμότητας) των συνδέσμων τους, στοχεύοντας σταθερά στην εκτίμηση της απόδοσης των τερματικών εγκαταστάσεων εντός ενός πλαισίου ανταγωνισμού.
- iii. Η μαθηματική κωδικοποίηση του υπερ-δικτύου θα πρέπει να επιτρέπει τον έγκυρο υπολογισμό της μη-συνεργατικής διαδικασίας φόρτισής του (δηλαδή χειρισμού του

- φορτίου από τις πολλαπλές ομάδες συμμετεχόντων σε αυτό), ως το σημείο ισορροπίας του.
- iv. Η κωδικοποίηση του θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατές διαδικασίες βαθμονόμησης του σε ρεαλιστικές συνθήκες

Η διεύρυνση της αντίληψης αυτής περί των διαδικασιών που μπορούν να κωδικοποιηθούν ως μέρος δικτύων που προτείνεται εδώ, σημαντικά συνεισφέρει στην ανάλυση/διερεύνηση σύμπλοκων καταστάσεων λειτουργίας μεταφορικών συστημάτων, όπως είναι οι απελευθερωμένες αγορές εξυπηρέτησης εμπορευματικού φορτίου. Η μέθοδος ανάλυσης αυτή (μέσω των υπερ-δικτύων) είναι σε θέση να προσφέρει μεγαλύτερη διείσδυση στον εντοπισμό ευκαιριών και προβλημάτων ανάπτυξης των τερματικών εγκαταστάσεων Ε/Κ. Αυτό, διότι ανήκει στις επαγωγικές (inductive) μεθόδους ανάλυσης συστημάτων οι οποίες στηρίζουν την τεκμηρίωσή τους σε υποθέσεις υλοποιημένες σε πρότυπα λειτουργίας των διαδικασιών που διερευνούν, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους (π.χ. ανάλυση χρονοσειρών) οι οποίες χαρακτηρίζονται αποφατικές/συμπερασματικές (deductive) και οι οποίες στηρίζονται στη διερεύνηση της απόδοσης των εγκαταστάσεων βασιζόμενες σε παρατηρήσεις παρελθόντων/ιστορικών δεδομένων.

Στο επόμενο υπο-κεφάλαιο θα γίνει η αναλυτική παρουσίαση της αλυσίδας των διαδικασιών που πραγματοποιούνται για την εξυπηρέτηση εμπορευματικών φορτίων/ροών. Συγκεκριμένα, θα αποδοθούν οι ιδιαιτερότητες των υπο-δικτύων μεταφορών καθώς και των τερματικών διαδικασιών που ολοκληρώνουν την αλυσίδα εξυπηρέτησης των εμπορευματικών ροών ως υπερ-δίκτυο, περιγράφοντας αναλυτικά τις μετατροπές που εισάγονται στους συνδέσμους του. Η αναλυτική παρουσίαση της απόδοσης των υπο-δικτύων (σε επίπεδο ανάλυσης κόμβου-συνδέσμου) είναι απαραίτητη, τόσο για εμβάθυνση στη κατανόηση της λειτουργίας τους (και συνεπώς της διερεύνησης των μεταβλητών και βαθμονόμησής τους) όσο και για την εισαγωγή και χρήση τους στο επόμενο στάδιο προτυποποίησης, που είναι η λειτουργία του υπερ-δικτύου.

3.2 Πρότυπα κόμβων-συνδέσμων

Η ολοκλήρωση μια μετακίνησης (μεταφοράς) φορτίου από τα σημεία προέλευσης στα σημεία προορισμού του, για τις περιπτώσεις λειτουργίας συστημάτων μεγάλου εύρους που καταλήγουν σε συνδυασμένη μεταφορά (που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας διατριβής), έχει την εξής γενική εικόνα:

Λιμένας

Προορισμός

Λιμένας

Προέλευση

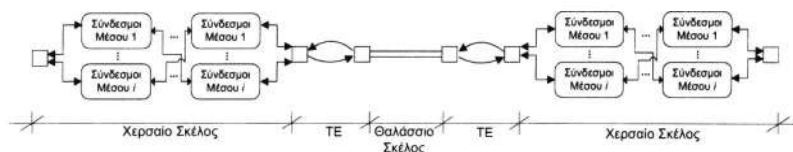
Χερσαίο Σκέλος

Θαλάσσιο Σκέλος

Χερσαίο Σκέλος

Σχήμα 3.2.1. Τυπική αλυσίδα μιας συνδυασμένης μετακίνησης που περιλαμβάνει θαλάσσιο σκέλος

όπου η προέλευση και ο προορισμός ενός φορτίου βρίσκεται σε ενδοχώρες που εξυπηρετούνται από τουλάχιστον έναν λιμένα στον οποίο λειτουργεί σταθμός εξυπηρέτησης Ε/Κ. Για την παραπάνω γενικευμένη αλλά αφαιρετική αλυσίδα εξυπηρέτησης/μεταφοράς εμπορευματικού φορτίου αποδίδεται σαν υπερ-δίκτυο ως:



Σχήμα 3.2.2. Απόδοση με τη μορφή υπερ-δικτύου τυπικής αλυσίδας συνδυασμένης μετακίνησης που περιλαμβάνει θαλάσσιο σκέλος

όπου τα δύο χερσαία τμήματα της μετακίνησης αντιστοιχούν στα υπο-δίκτυα των i διαθέσιμων χερσαίων μέσων (τα οποία δύναται να αλληλεπιδρούν/ αλληλοσυμπληρώνονται), ενώ παρεμβάλλονται σημασιολογικοί σύνδεσμοι που αντιστοιχούν στις διαδικασίες εξυπηρέτησης του φορτίου εντός των λιμενικών τερματικών εγκαταστάσεων μεταξύ των ναυτικών συνδέσμων που αντιστοιχούν στο θαλάσσιο σκέλος της μεταφοράς. Με τον τρόπο αυτό, εισάγεται η σημασία των χερσαίων συνδέσεων στην απόδοση των TE που εξυπηρετούν, χαρακτηριστικό που έχει αναγνωριστεί ως υψηλής σπουδαιότητας στην λειτουργία μιας TE (Notteboom 2008, Zhang 2008).

Η παραπάνω γενικευμένη παρουσίαση του υπερ-δικτύου εμπορευματικών μεταφορών θα αναλυθεί περαιτέρω στα επόμενα υπο-κεφάλαια όπου θα γίνει η εισαγωγή των συναρτήσεων απόδοσης των συνδέσεων για κάθε υπο-δίκτυο. Εκκινώντας την ενσωμάτωση

των επιμέρους δικτύων/λειτουργιών σε ένα δίκτυο, ο συμβολισμός που θα χρησιμοποιηθεί για τη κωδικοποίηση ενός υπερ-δικτύου G , θα είναι ο εξής:

A	:	το σύνολο των συνδέσμων του υπερ-δικτύου
$a \in L \subseteq A$	:	το σύνολο των συνδέσμων του υπο-δικτύου οδικών μεταφορών
$a \in T \subseteq A$	:	το σύνολο των συνδέσμων του υπο-δικτύου σιδ/κών μεταφορών
$a \in N \subseteq A$	:	το σύνολο των συνδέσμων του υπο-δικτύου θαλάσσιων μεταφορών

Η ολοκλήρωση του δικτύου⁶ γίνεται με την σύνθεση ενός γράφου G που αποτελείται από τους προαναφερθέντες προσανατολισμένους συνδέσμους και τις κορυφές ένωσής τους (κόμβοι δικτύου). Σημειώνεται ότι οι ομάδες συνδέσμων που παρουσιάζονται παραπάνω δεν αντιστοιχούν στο σύνολο των υπάρχοντων εμπορευματικών μέσων μεταφοράς (π.χ. έχουν παραληφθεί οι ποτάμιες, οι αεροπορικές και άλλες συνδέσεις), παρά περιορίζονται σε συνδέσμους των μέσων που θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα διατριβή. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί περιορισμό της μεθοδολογίας που θα αναπτυχθεί, εφόσον με κατάλληλες προσαρμογές μπορούν περιληφθούν και τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς. Ακολούθως θα δοθούν οι ιδιότητες των συνδέσμων υπό την έννοια των συναρτήσεων κόστους τους.

3.2.1 Συναρτήσεις απόδοσης των συνδέσμων χερσαίων μέσων μεταφοράς

Τα χερσαία μέσα μεταφοράς που χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση του συντριπτικά μεγαλύτερου εμπορευματικού φόρτου αφορούν σε οδικές (με φορτηγά νταλίκες) και σιδ/κές σε συνδέσεις, εξαιτίας κυρίως του χαμηλού κόστους για τέτοιου είδους μαζικές μεταφορές. Οι συνδέσεις αυτές, στην παρούσα διατριβή (αλλά και κατά τεκμήριο) αφορούν σε υπεραστικές μετακινήσεις.

Οι συναρτήσεις απόδοσης των χερσαίων συνδέσμων στην παρούσα διατριβή λαμβάνουν την εξής μορφή:

$$c_a(x) = TC_a + cc_a(x_a) \quad (3.2.1-1)$$

⁶Στο εξής, το εμπορευματικό υπερ-δίκτυο που συγκροτείται από την ένωση διαφορετικών δικτύων και που ολοκληρώνει πολλαπλές διαδικασίες θα αναφέρεται για συντομία ως 'δίκτυο', χωρίς όμως να απορρίπτεται ο όρος που αποδίδει την διακριτή έννοια των υπερ-δικτύων.

όπου η πρώτη συνιστώσα TC_a , $a \in L \cup T$ σχετίζεται με το συνολικό σύνδεσμο πάγιων εξόδων (δαπάνες διεκπεραίωσης και μεταφοράς) και η δεύτερη συνιστώσα $cc_a(x_a)$ εισάγει το κόστος συμφόρησης (ή καθυστέρησης) σε κάθε σύνδεσμο εκφρασμένο ως συνάρτηση του φόρτου του συνδέσμου x_a . Ειδικότερα, στον τομέα των οδικών, σιδηροδρομικών και ναυτικών συνδέσμων ο συντελεστής κόστους TC_a , συνδέεται μόνο με το μήκος συνδέσμου l_a , με την ακόλουθη μορφή:

$$TC_a = l_a CpK_a, \quad \forall a \in A \cap P \quad (3.2.1-2)$$

όπου η απόσταση l_a πολλαπλασιάζεται με ένα κόστος/km (CpK) για κάθε τιμή TEU, ευδιάκριτο για τους σιδηροδρομικούς, οδικούς και ναυτικούς συνδέσμους. Οι διαφορές στο χρόνο υπηρεσίας μεταξύ των εναλλακτικών μέσων μεταφοράς ενσωματώνονται στους συντελεστές CpK , ενώ μπορεί να υιοθετηθούν εναλλακτικές διατυπώσεις, προκειμένου να συμπεριλάβει μια αναλυτική αναπαράσταση του χρόνου υπηρεσίας για όλες τις διαθέσιμες συνδέσεις.

Σε ότι αφορά στο κόστος της συμφόρησης, εξαιτίας του γεγονότος ότι η παρούσα ανάλυση αφορά σε εξυπηρέτηση εμπορευματικών φορτίων μεταξύ περιοχών που αντιστοιχούν σε ευρείες γεωγραφικές περιοχές, το χερσαίο τμήμα της μετακίνησης θεωρείται στην παρούσα ανάλυση ως αποτελούμενο από αποκλειστικά υπεραστικές μετακινήσεις (οδικές και σιδηροδρομικές). Στις μετακινήσεις αυτές, το κόστος της συμφόρησης μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν εξαρτάται από την φόρτιση που προκαλεί η εξυπηρέτηση του φόρτου που διακινείται διαμέσου των TE Ε/Κ (Ballis and Dimitriou 2010) και συνεπώς αμελείται ($cc_a(x_a) = 0 \quad \forall a \in L \cup T$).

3.2.2 Συναρτήσεις απόδοσης των συνδέσμων ναυτικών μέσων μεταφοράς

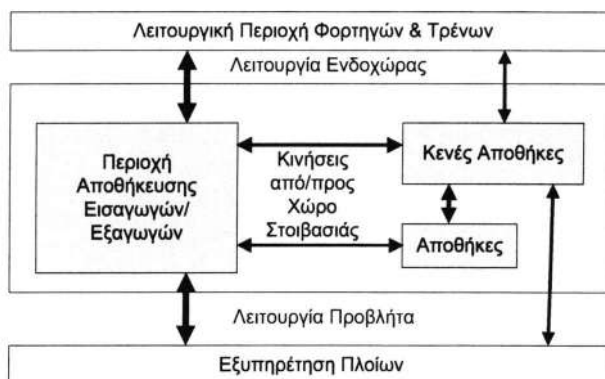
Όμοια με τους χερσαίους συνδέσμους, η συνάρτηση απόδοσης των ναυτικών συνδέσεων στην παρούσα διατριβή ακολουθούν την εξής μορφή:

$$c_a(x) = TC_a + cc_a(x_a) \quad \forall a \in N \quad (3.2.2-1)$$

όπου η συνιστώσα του κόστους συμφόρησης $cc_a(x_a)$ είναι μηδενική, αφού σε στρατηγικό επίπεδο ακολουθείται η υπόθεση ότι οι ναυτιλιακές εταιρίες που εξυπηρετούν συγκεκριμένες 'γραμμές' θα προσαρμοστούν ώστε να καλύψουν τη ζήτηση όταν αυτή εκδηλωθεί όμοια με τους χερσαίους συνδέσμους ($cc_a(x_a) = 0, \forall a \in N$). Η εκτίμηση του κόστους χρήσης του συνδέσμου είναι συνεπώς $TC_a = I_a C_p K_a, \forall a \in N$, εκπεφρασμένο ως συνάρτηση της απόστασης ταξιδιού (μήκος συνδέσμου a).

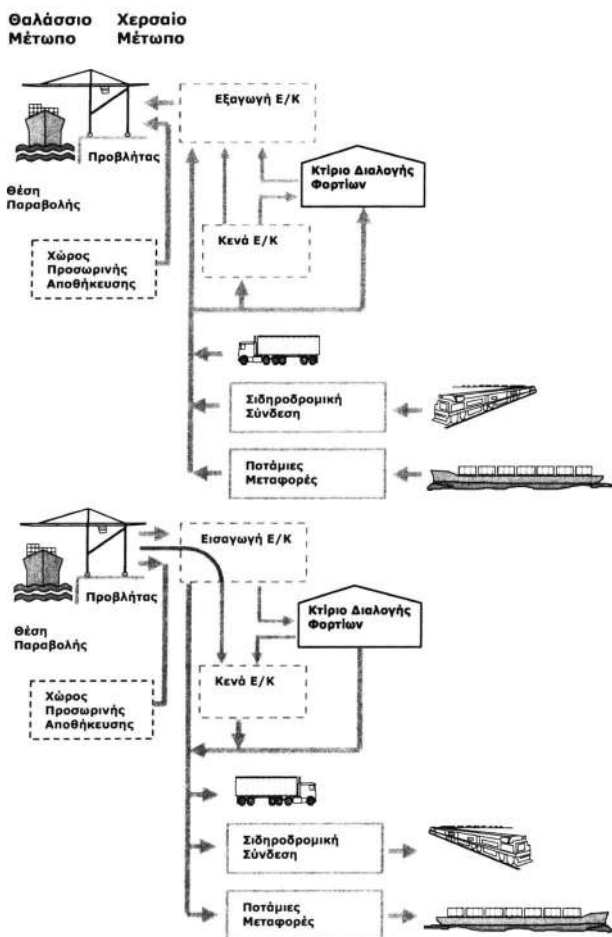
3.2.3 Συναρτήσεις απόδοσης των συνδέσμων τερματικών εγκαταστάσεων

Η συνάρτηση απόδοσης των συνδέσμων που αντιστοιχούν στις ΤΕ Ε/Κ αναπαριστούν ομογενώς μια σειρά από διαδικασίες εξυπηρέτησης των φορτίων που διέρχονται διαμέσου τους, όπως οι διαδικασίες που αφορούν το θαλάσσιο μέτωπο, τις κινήσεις εντός του σταθμού καθώς και του χερσαίου μετώπου, όπως διαγραμματικά εμφανίζονται στο Σχήμα 3.2.3.1.



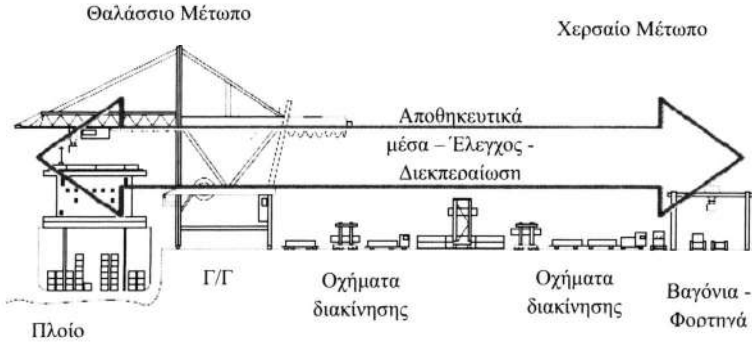
Σχήμα 3.2.3.1. Σχηματική απεικόνιση ροών Ε/Κ εισόδου-εξόδου και εντός ΤΕ (με βάση Steenken et al. 2004)

Συνοπτικά, οι ροές εισόδου και εξόδου της ΤΕ, τυπικά, εξυπηρετούνται από τον ίδιο εξοπλισμό, όπως πιο αναλυτικά φαίνεται στο Σχήμα 3.2.3.2.



Σχήμα 3.2.3.2. Αναλυτική απεικόνιση ροής εξυπηρέτησης Ε/Κ σε ΤΕ (Ballis and Dimitriou, 2008)

Για τον λόγο αυτό καθώς επίσης εκ του γεγονότος ότι η ανάλυση που πραγματοποιείται στην παρούσα διατριβή αφορά στο στρατηγικό επίπεδο, η απόδοση του σημασιολογικού συνδέσμου που αντιστοιχεί στις ΤΕ εκτιμάται από συνάρτηση που λαμβάνει υπόψη αθροιστικά τις ροές Ε/Κ εισόδου και εξόδου. Εξάλλου, η απασχόληση του διαθέσιμου εξοπλισμού σε ΤΕ είναι τέτοιος ώστε προσαρμόζεται στις ανάγκες (κινήσεις, διαδικασίες) ανεξάρτητα αν αφορούν σε κινήσεις εισόδου, εξόδου ή εσωτερικές (Σχήμα 3.2.3.3).



Σχήμα 3.2.3.3. Σχηματική απεικόνιση διαδικασιών εξυπηρέτησης Ε/Κ σε ΤΕ (με βάση Steenken et al. 2004)

Εκκινώντας με την γενική σχέση που χρησιμοποιήθηκε προηγούμενα:

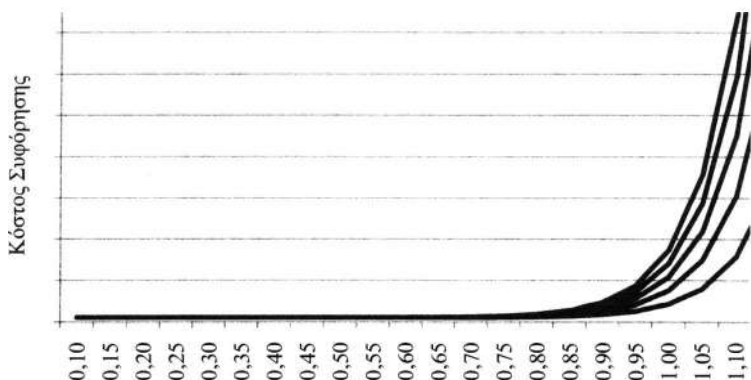
$$c_a(x) = TC_a + cc_a(x_a) \quad \forall a \in N \quad (3.2.3-1)$$

η συνιστώσα TC_a αντιπροσωπεύει ένα βασικό, εκτός συμφόρησης, κόστος (εδώ $TC_a = 200 \text{ €/TEU}$). Οι καθυστερήσεις που αναπτύσσονται στους συνδέσμους των ΤΕ, είναι αυξημένης σημασίας για τους χρήστες τους, εφόσον ο εντός ΤΕ χρόνος εξυπηρέτησης αντιστοιχεί σε αυξημένες χρεώσεις (Golob and Regan 2000, Notteboom 2006, Imai et al. 2006, Meersman et al. 2007). Προκειμένου να εκτιμηθεί η επιρροή της συμφόρησης στους συνδέσμους των ΤΕ, υιοθετείται η σύνθετη συνάρτηση:

$$cc_a(x_a) = \begin{cases} \omega_1 \exp\left(\omega_2 \frac{x_a}{Y_a}\right), \forall a \in P & (3.2.3-2a) \\ 0, \forall a \notin P & (3.2.3-2b) \end{cases}$$

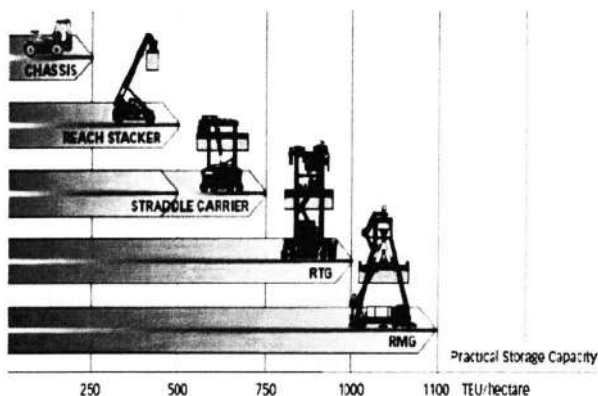
Το κόστος της συμφόρησης $cc_a(x)$ αναφέρεται σε διαδικασίες χειρισμού του φορτίου εντός της ΤΕ και συγκεκριμένα σε αυτές της φορτο-εκφόρτωσης, της αποθήκευσης και των τελωνειακών διεκπεραιώσεων (Daganzo 1989, Jara-Diaz et al. 2006). Y_a είναι η ονομαστική πρακτική απόδοση σε μονάδες κίνησης ΤΕUs/έτος. Η συνολική απόδοση $Y_a, \forall a \in P$ εδώ

υπολογίζεται ως $Y_a = Y_a^0 + w_a, \forall a \in P$, όπου το Y_a^0 αντιπροσωπεύει την υφιστάμενη δυναμικότητα του λιμένα a (σε TEUs/έτος) και το w_a τη βελτίωσή της που αντιστοιχεί στην στρατηγική ανάπτυξης της ΤΕ. Οι συντελεστές ω_1, ω_2 είναι σταθερές που ρυθμίζουν της μορφή της καμπύλης της συμφόρησης εντός των ΤΕ. Η οικογένεια των καμπυλών που αποδίδεται από την μορφή της συνάρτησης του κόστους συμφόρησης ακολουθεί αυτή της απόδοσης στοχαστικών συστημάτων εξυπηρέτησης όπως αυτές αναλύονται από πρότυπα ουρών εξυπηρέτησης και εμφανίζονται στο Σχήμα 3.2.3.4..



Σχήμα 3.2.3.4. Οικογένεια καμπυλών για την εκτίμηση του κόστους συμφόρησης εντός Τ.Ε.

Σε ότι αφορά στο κόστος της επένδυσης $b_a, \forall a \in P$ για την αύξηση κατά w_a της πρακτικής δυναμικότητας της ΤΕ, αυτό υπολογίζεται ως $b_a = \lambda_a w_a$, όπου λ_a ο συντελεστής μετατροπής της πρόσθετης δυναμικότητας της εγκατάστασης σε χρηματικές μονάδες.

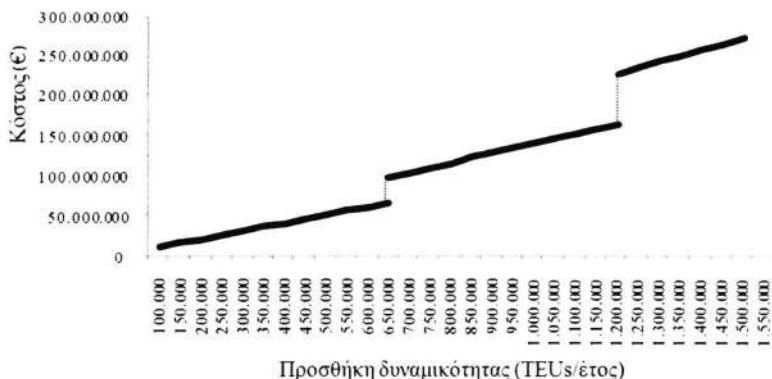


Σχήμα 3.2.3.5. Απόδοση εναλλακτικών μέσων στοιβασιάς Ε/Κ σε ΤΕ, μετρούμενη ως πυκνότητα στοιβασιάς. (Stahlbock and Voss, 2008)

Σημειώνεται ότι διαφορετικά σενάρια ανάπτυξης μιας ΤΕ (π.χ. αναδιοργάνωση της λειτουργίας, προμήθεια/εκσυγχρονισμό μηχανολογικού εξοπλισμού, κατασκευή νέας υποδομής, κλπ) αντιστοιχούν σε διαφορετικό κόστος επένδυσης. Για παράδειγμα, η βελτίωση της απόδοσης του υπο-συστήματος χερσαίου χειρισμού των Ε/Κ μπορεί να επιτευχθεί με εναλλακτικές μεθόδους οι οποίες αντιστοιχούν και σε διαφορετικό κόστος (π.χ. βλ. Σχήμα 3.2.3.5.). Για τον λόγο αυτό, έχει επιλεγεί η εξής βηματική συνάρτηση εκτίμησης του συντελεστή μετατροπής λ_a :

$$\lambda_a = \begin{cases} 100x_a, & \forall \quad x_a < 600.000 \\ 120x_a + 20.000.000, & \forall \quad 600.000 < x_a < 1.000.000 \\ 150x_a + 40.000.000, & \forall \quad x_a > 1.000.000 \end{cases} \quad (3.2.3-3)$$

Οι τρεις διαφορετικοί κλάδοι της παραπάνω συνάρτησης, αντιστοιχούν σε τρεις διαφορετικές φάσεις ανάπτυξης μιας ΤΕ. Συγκεκριμένα, η πρώτη φάση ανάπτυξης αφορά σε επενδύσεις που στοχεύουν στην αναδιοργάνωση της λειτουργίας της ΤΕ με την αύξηση των ωρών λειτουργίας του και του μηχανολογικού εξοπλισμού της. Η δεύτερη φάση ανάπτυξης, αφορά στον εκσυγχρονισμό του εξοπλισμού με την εφαρμογή προωθημένων τεχνικών και μεθόδων εξυπηρέτησης του εξυπηρετούμενου φορτίου. Η τρίτη φάση εξέλιξης, αφορά σε σημαντικές επενδύσεις σε χερσαίους χώρους και σε εξοπλισμό. Η συνάρτηση εκτίμησης του κόστους των επενδύσεων αποδίδεται στο Σχήμα 3.2.3.6.



Σχήμα 3.2.3.6. Εκτίμηση του κόστους επενδύσεων για την αύξηση της δυναμικότητας TE

3.3 Πρότυπο φόρτισης του δικτύου

Μετά την περιγραφή των συναρτήσεων απόδοσης της υποδομής του συστήματος εμπορευματικών μετακινήσεων που διερευνάται στην παρούσα διατριβή (δηλαδή του κάθε τύπου συνδέσμου), η προτυποποίηση της λειτουργίας του ολοκληρώνεται με την εισαγωγή ενός ικανού προτύπου που να αποδίδει τις επιλογές των χρηστών. Στην παρούσα διατριβή, οι χρήστες της μεταφορικής υποδομής είναι οι μεταφορείς του φορτίου, οι οποίοι εξυπηρετούν (με ανταγωνιστικό τρόπο μεταξύ τους) τις ανάγκες των αποστολέων. Οι δε αποστολείς, είναι σαφές ότι επιλέγουν τους μεταφορείς που εξυπηρετούν το φορτίο τους μεγιστοποιώντας την 'ωφέλεια' που έχει η κάθε επιλογή μεταφορέα και που εδώ αφορά στην ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους μεταφοράς.

Η διαδικασία επιλογής μεταφορέα, πρακτικά αφορά στην επιλογή διαδρομής εξυπηρέτησης του φορτίου, εφόσον είναι σαφές ότι διαφορετικοί μεταφορείς που εξυπηρετούν ίδιες διαδρομές και βρίσκονται σε ανταγωνισμό τελικά καταλήγουν στην παροχή υπηρεσιών με ταυτόσημη χρησιμότητα. Επιπλέον, η επιλογή διαδρομής διαδοχικά αφορά στις εξής επιλογές:

- i. Επιλογή χερσαίου μέσου,
- ii. Επιλογή θαλάσσιου μεταφορέα,
- iii. Επιλογή λιμενικής TE
- iv. Επιλογή χερσαίου μέσου

Στην παρούσα διατριβή το πρότυπο επιλογής διαδρομής βασίζεται στην υπόθεση της περιορισμένης ορθολογικότητας (bounded rationality), κατά την οποία αναγνωρίζεται ότι οι χρήστες έχουν μυωπική αντίληψη του γενικευμένου κόστους μετακίνησης (αθροιστική χρησιμότητα). Η μυωπική αντίληψη των χρηστών θα προτιμηθεί ως υπόθεση στην παρούσα διατριβή, εκ του γεγονότος ότι η ανάλυση θα αφορά μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (ανάλυση για τον στρατηγικό χρόνο), οι συνθήκες λειτουργίας του συστήματος αφορούν σε μεγάλο διάστημα (ετήσιες φορτίσεις), οι εκτιμήσεις των μεγεθών του συστήματος (χρόνοι εξυπηρέτησης, συνθήκες λειτουργίας, κλπ) αφορούν σε μέσες τιμές, καθώς επίσης ενδογενώς οι επιλογές που πραγματοποιούνται κατά την αλυσίδα των διαδικασιών εξυπηρέτησης εμπορευματικών φορτίων εμπεριέχουν τυχαιότητες και ασάφειες. Ως εκ τούτου, η λήψη αποφάσεων επιλογής διαδρομής θα προτυποποιηθεί ως στοχαστική διαδικασία. Υπενθυμίζεται ότι ειδικά σε μεταφορικά συστήματα στα οποία εμφανίζεται αλληλεπίδραση των επιλογών των χρηστών (όπως σε συστήματα υπό συμφόρηση), η διαδικασία φόρτισης τους μέσω των ταυτόχρονων επιλογών διαδρομής όλων των χρηστών τους με βάση την υπόθεση της ταυτόχρονης μεγιστοποίησης της αθροιστικής χρησιμότητάς τους, είναι μια διαδικασία μη-συνεργατικών παιγνίων n -προσώπων, ενώ η οριστική κατάσταση λειτουργίας τους αντιστοιχεί στο στοχαστικό σημείο της κατά Nash ισορροπίας (Dafermos and Sparrow, 1969). Το σημείο αυτό θα είναι χρήσιμο στη επόμενη φάση της διατριβής, εφόσον θα χαρακτηρίσει το είδος της ανάλυσης που θα ακολουθήσει.

Εναλλακτικά στοχαστικά πρότυπα επιλογής διαδρομής έχουν χρησιμοποιηθεί και παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία, εκκινώντας από τα πρότυπα των Daganzo and Sheffi (1977) και Daganzo (1979). Οι εργασίες αυτές έχουν τροφοδοτήσει εκτεταμένη ερευνητική προσπάθεια για την ανάπτυξη και την εισαγωγή προτύπων επιλογών στην διαδικασία επιλογής διαδρομής και κατ' επέκταση στην εκτίμηση στοχαστικών ισορροπιών, ενώ οι εφαρμογές τους κυρίως αφορούν σε αστικά οδικά δίκτυα σε συμφόρηση. Η εκτενής βιβλιογραφική παρουσίαση όλων των στοχαστικών προτύπων διακριτών επιλογών δεν εμπίπτει στο αντικείμενο της διατριβής. Ωστόσο, οι σημαντικότερες βιβλιογραφικές συνεισφορές μπορούν να αναζητηθούν στις εργασίες των Sheffi (1984), Ben-Akiva and Lerman (1985), Bekhor and Prashker (2001), Wen and Koppelman, (2001), Frejinger and Bierlaire (2007) και Washington et al. (2009).

Στη παρούσα διατριβή για την προτυποποίηση της διαδικασίας εκτίμησης της στοχαστικής ισορροπίας για την εξειδικευμένη μορφή υπερ-δικτύου που περιγράφηκε προηγούμενα, θα χρησιμοποιηθεί η περισσότερο γενικευμένη διατύπωση των ιεραρχικών προτύπων διακριτών επιλογών, η οποία μπορεί να εκφράσει μια μεγάλη ομάδα στοχαστικών προτύπων διακριτών επιλογών που στηρίζεται στη διατύπωση με λογιστικές εξισώσεις (Logit). Συγκεκριμένα, εδώ θα χρησιμοποιηθεί η γενικευμένη μορφή των ιεραρχικών

διακριτών επιλογών και ειδικότερα το Γενικευμένο Λογιστικό Πρότυπο (Generalized Nested Logit-GNL) των Wen and Koppelman (2001).

Εκκινώντας από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$G(y_1, y_2, \dots, y_k) = \sum_m \left[\sum_{k \in K_m} (a_{km} y_k)^{\frac{1}{\mu_m}} \right]^{\mu_m} \quad (3.3-1)$$

όπου

K_m = το σύνολο όλων των εναλλακτικών που περιλαμβάνονται στον ιεραρχικό κλάδο m ,

a_{km} = συντελεστής ένθεσης για το εναλλακτικό k στον ιεραρχικό κλάδο m ,

μ_m = συντελεστής ιεραρχικού κλάδου (συγκεκριμένος για κάθε ιεραρχικό κλάδο m), και

y_k = χαρακτηρίζει την τιμή για κάθε εναλλακτική.

Ο συντελεστής ένθεσης χαρακτηρίζει την αναλογία του εναλλακτικού κλάδου k ανατεθειμένο στον ιεραρχικό κλάδο m , το a_{km} πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες συνθήκες:

$$\begin{aligned} \sum_m a_{km} &= 1 \quad \forall k \in K_m \\ a_{km} &\geq 0 \end{aligned} \quad (3.3-2)$$

Επιπρόσθετα, ο συντελεστής του ιεραρχικού κλάδου πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη $0 < \mu_m \leq 1$ για να είναι συμβατή η υπόθεση μεγιστοποίησης της τυχαίας χρησιμότητας.

Η συνάρτηση που παρουσιάζεται στην Εξίσωση 3.3-1 ικανοποιεί τις συνθήκες που απαιτούνται στο θεώρημα των Γενικευμένων Ακραίων Τιμών (Generalized Extreme Value-GEV) ως ακολούθως:

- $G(\dots)$ είναι μη-αρνητική [θεωρείται ότι $y_k = \exp(V_k)$, όπου V_k είναι η χρησιμότητα της εναλλακτικής k]
- $G(\dots)$ είναι ομοιογενής πρώτου βαθμού
- $\lim_{V_k \rightarrow \infty} G(\dots) = \infty$ για κάθε k , και
- $G(\dots)$ έχει k μερικές παραγώγους, οι οποίες είναι μη-αρνητικές για περιττό k και μη-θετικές για άρτιο k .

Αν εφαρμοστεί το GEV, η πιθανότητα επιλογής μιας εναλλακτικής προκύπτει από την ακόλουθη έκφραση:

$$P(k) = \frac{\sum_m \left([a_{km} \exp(V_k)]^{\frac{1}{\mu_m}} \left\{ \sum_{k \in K_m} [a_{km} \exp(V_k)]^{\frac{1}{\mu_m}} \right\}^{\mu_m - 1} \right)}{\sum_m \left\{ \sum_{k \in K_m} [a_{km} \exp(V_k)]^{\frac{1}{\mu_m}} \right\}^{\mu_m}} \quad (3.3-3)$$

Η εξίσωση 3.3-3 μπορεί να αποσυντεθεί σε οριακές και εξαρτημένες πιθανότητες ως ακολούθως:

$$P(k) = \sum_m P(m)P(k|m) \quad (3.3-4)$$

Όπου $P(m)$ είναι η οριακή πιθανότητα της επιλογής του ιεραρχικού κλάδου m , που δίδεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$P(m) = \frac{\left\{ \sum_{k \in K_m} [a_{km} \exp(V_k)]^{\frac{1}{\mu_m}} \right\}^{\mu_m}}{\sum_m \left\{ \sum_{k \in K_m} [a_{km} \exp(V_k)]^{\frac{1}{\mu_m}} \right\}^{\mu_m}} \quad (3.3-5)$$

και $P(k|m)$ είναι η δεσμευμένη πιθανότητα της επιλογής της εναλλακτικής k , με δεδομένη την επιλογή του ιεραρχικού κλάδου m ως:

$$P(k|m) = \frac{[a_{km} \exp(V_k)]^{\frac{1}{\mu_m}}}{\sum_{k \in K_m} [a_{km} \exp(V_k)]^{\frac{1}{\mu_m}}} \quad (3.3-6)$$

Οι Wen and Koppelman (2001) απέδειξαν ότι εναλλακτικά πρότυπα τύπου GEV μπορούν να προκύψουν από το GNL πρότυπο. Εδώ δεν θα γίνει εκτενής παρουσίαση των εναλλακτικών μορφών λογιστικών προτύπων logit που μπορούν να προκύψουν από την γενικευμένη αυτή μορφή διατύπωσης. Ωστόσο, σημειώνεται ότι όταν $k \rightarrow 1$ και ο συντελεστής όλων των ιεραρχικών κλάδων a_{km} είναι ίδιοι για κάθε εναλλακτική, τότε το GNL καταλήγει στο πολωνομικό λογιστικό πρότυπο (MNL), όπως θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στη συνέχεια. Μετά από τη σύντομη παρουσίαση του προτύπου GNL στη συνέχεια παρουσιάζεται η μια διατύπωση ενός προβλήματος μαθηματικής βελτιστοποίησης η λύση του

οποίου αποτελεί το SUE από ένα GNL, από όπου προκύπτει και η δυνατότητα εφαρμογής του με τις συναρτήσεις απόδοσης του συστήματος παραπάνω.

3.3.1 Εκτίμηση της ισορροπίας με βάση το GNL πρότυπο επιλογής διαδρομής

Το πρότυπο GNL είναι ένα ιεραρχικό πρότυπο διακριτών επιλογών το οποίο μπορεί να αναλυθεί σε οριακές και εξαρτημένες πιθανότητες (Bekhor and Prashker, 2001 και Wen and Koppelman, 2001). Όμοια, η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος βελτιστοποίησης που παρέχει το σημείο της στοχαστικής ισορροπίας των χρηστών (Stochastic User Equilibrium-SUE) υπό την υπόθεση της επιλογής διαδρομής υπό GNL, αναλύεται σε δυο όρους εντροπίας αντί ενός μόνο πολυνυμικού προτύπου διακριτών επιλογών (MultiNomial Logit- MNL). Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η χρήση της συμβολής των οριακών και εξαρτημένων πιθανοτήτων ως λύσεις για την ισοδύναμη διατύπωση.

Υπό την υπόθεση της επιλογής διαδρομής υπό GNL, η εκτίμηση του SUE αποδίδεται από την επίλυση του ακόλουθου προβλήματος μαθηματικής ελαχιστοποίησης:

$$\begin{aligned} \min Z &= \min(Z_1 + Z_2 + Z_3) \\ Z_1 &= \sum_a \int_0^{x_a} c_a(w) dw \\ Z_2 &= \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m \sum_k \mu_m f_{mk}^{rs} \ln \frac{f_{mk}^{rs}}{(a_{mk}^{rs})^{1/\mu_m}} \\ Z_3 &= \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m (1 - \mu_m) \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \ln \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \end{aligned} \quad (3.3.1-1)$$

με τους τυπικούς περιορισμούς (αθροιστικότητας και μη-μηδενικότητας των φόρτων) της λειτουργίας των μεταφορικών δικτύων:

$$\sum_m \sum_k f_{mk}^{rs} = q^{rs} \quad \forall r, s \quad (3.3.1-2)$$

$$f_{mk}^{rs} \geq 0 \quad \forall m, k, r, s \quad (3.3.1-3)$$

όπου:

f_{mk}^{rs} ο φόρτος στη διαδρομή k του ιεραρχικού κλάδου m μεταξύ προέλευσης r και προορισμού s .

q^{rs} = η ζήτηση μεταξύ r και s ,

c_a = το κόστος (απόδοσης) του συνδέσμου a ,

x_a = ο φόρτος του συνδέσμου a ,

a_{mk}^{rs} = ο συντελεστής ένταξης της διαδρομής k στον ιεραρχικό κλάδο m μεταξύ r και s ,

θ = συντελεστής διασποράς,

μ_m = συντελεστής ένθεσης, και

$$f_{mk}^{rs} \ln \left[f_{mk}^{rs} / (a_{mk}^{rs})^{1/\mu} \right] = \text{ορίζεται ως μηδέν είτε για } f_{mk}^{rs} = 0 \text{ ή } a_{mk}^{rs} = 0$$

Υπάρχουν δύο βασικές διαφορές μεταξύ της μαθηματικής διατύπωσης που παρουσιάζεται ανωτέρω και αυτής της ισοδύναμης διατύπωσης της Fisk (1980) για το πρότυπο MNL: πρώτον, η συμπερίληψη ενός άλλου όρου εντροπίας (Z_3), που αντιστοιχεί σε υψηλότερο επίπεδο επιλογής, και δεύτερο, η διατύπωση του όρου εντροπίας (Z_2) να συμπεριλάβει το συντελεστή ένθεσης.

Η ανωτέρω διατύπωση είναι παρόμοια με την διατύπωση ισορροπίας για το CNL πρότυπο που παρουσιάστηκε από τους Bekhor και Prashker (2001). Οι συνθήκες πρώτης τάξεως προκειμένου για την επίλυση του ανωτέρου προβλήματος βελτιστοποίησης αντιστοιχούν στο GNL πρότυπο. Εδώ παρουσιάζονται μόνο τα βασικά βήματα της απόδειξης από όπου φανερώνεται ότι οι κυρτές συναρτήσεις που έχουν αναπτυχθεί και παρουσιαστεί προηγουμένα, μπορούν να εισαχθούν στην παραπάνω διατύπωση της εκτίμησης του SUE. Λεπτομερής απόδειξη της ύπαρξης και μοναδικότητας του προβλήματος μπορεί να αναζητηθεί στους Bekhor και Prashker (2001).

3.3.2 Συνθήκες ύπαρξης της λύσης

Οι συνθήκες πρώτης τάξεως για μια λύση του προβλήματος παρέχονται από τη διαμόρφωση της συνάρτησης Lagrange για τη διατύπωση που μόλις παρουσιάστηκε. Τα σύμβολα r και s παραλείπονται για την απλότητα των συμβολισμών:

$$L = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \lambda \left(q - \sum_m \sum_k f_{mk} \right) \quad (3.3.2-1)$$

όπου η λ είναι ο συντελεστής Lagrange. Οι μερικές παράγωγοι αντιστοιχούν στα εξής:

$$\frac{\partial Z_1}{\partial f_{mk}} = \sum_a \frac{\partial Z_1}{\partial x_a} \frac{\partial x_a}{\partial f_{mk}} = \sum_a c_a \delta_{ak} = c_k \quad (3.3.2-2)$$

$$\frac{\partial Z_2}{\partial f_{mk}} = \frac{\mu_m}{\theta} \ln \frac{f_{mk}}{(\alpha_{mk}^{\epsilon})^{1/\mu_m}} + \frac{\mu_m}{\theta} \quad (3.3.2-3)$$

$$\frac{\partial Z_3}{\partial f_{mk}} = \frac{1-\mu_m}{\theta} \ln \left(\sum_k f_{mk} \right)^{\frac{1-\mu_m}{\theta}} \quad (3.3.2-4)$$

Εξισώνοντας τις μερικές παραγώγους με το μηδέν, προκύπτει η ακόλουθη έκφραση:

$$(f_{mk}) \left(\sum_k f_{mk} \right)^{\frac{1-\mu_m}{\mu_m}} = \exp[(\theta\lambda - 1)/\mu_m] (\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp[(-\theta c_k)\mu_m] \quad (3.3.2-5)$$

Συνοψίζοντας την ανωτέρω έκφραση για την διαδρομή k προκύπτει η ακόλουθη έκφραση:

$$\left(\sum_k f_{mk} \right)^{\frac{1}{\mu_m}} = \exp[(\theta\lambda - 1)/\mu_m] \sum_k (\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp[(-\theta c_k)\mu_m] \quad (3.3.2-6)$$

Υψώνοντας και τα δύο μέρη σε μ_m ,

$$\sum_k f_{mk} = \exp(\theta\lambda - 1) \left\{ \sum_k (\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp[(-\theta c_k)/\mu_m] \right\}^{\mu_m} \quad (3.3.2-7)$$

Συνοψίζοντας την ανωτέρω έκφραση με τον σύνδεσμο (ιεραρχικό κλάδο) m :

$$\sum_m \sum_k f_{mk} = q = [\exp(\theta\lambda - 1)] \sum_m \left\{ \sum_k (\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp[(-\theta c_k)/\mu_m] \right\}^{\mu_m} \quad (3.3.2-8)$$

Τελικά διαιρώντας την εξίσωση (3.3.2-7) με την εξίσωση (3.3.2-8) προκύπτει:

$$P(m) = \frac{\sum_k f_{mk}}{q} = \frac{\left\{ \sum_k (\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp[(-\theta c_k)/\mu_m] \right\}^{\mu_m}}{\sum_m \left\{ \sum_k (\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp[(-\theta c_k)/\mu_m] \right\}^{\mu_m}} \quad (3.3.2-9)$$

το οποίο αντιστοιχεί στην οριακή πιθανότητα που μπορεί να επιλεγεί ο ιεραρχικός κλάδος m . Η εξαρτημένη πιθανότητα προκύπτει διαιρώντας την εξίσωση (3.3.2-6) με την εξίσωση (3.3.2-7), η οποία αποδίδει την εξαρτημένη πιθανότητα που η διαδρομή k μπορεί να επιλεγεί εντός του ιεραρχικού κλάδου m :

$$P(k|m) = \frac{f_{mk}}{\sum_k f_{mk}} = \frac{(\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp(-\theta c_k / \mu_m)}{\sum_k (\alpha_{mk})^{1/\mu_m} \exp(-\theta c_k / \mu_m)} \quad (3.3.2-10)$$

Οι εξισώσεις (3.3.2-9) και (3.3.2-10), αντίστοιχα, αντιστοιχούν στις εξισώσεις (3.3-5) και (3.3-6), υποθέτοντας ότι η ντετερμινιστική συνιστώσα χρησιμότητας V_k στις εξισώσεις (3.3-5) και (3.3-6) αναπαρίσταται από $(-\theta c_k)$ στις εξισώσεις (3.3.2-9) και (3.3.2-10). Σε αυτή την περίπτωση, η μαθηματική διατύπωση που παρουσιάζεται στην εξίσωση (3.3.1-1) αντιστοιχεί στη διατύπωση του SUE, για τις οποίες η λύση της φόρτισης κάθε διαδρομής παρέχεται σύμφωνα με την υπόθεση του προτύπου GNL.

3.3.3 Συνθήκες μοναδικότητας της λύσης

Η εφικτή περιοχή και η Z_1 είναι ίδιες με την διατύπωση της Fisk, εφόσον είναι οι συναρτήσεις των συνδέσμων είναι κυρτές. Μένει να αποδειχτεί ότι και οι συνιστώσες των Z_2 και Z_3 είναι κυρτές. Διαφορίζοντας διπλά και τις δυο εκφράσεις ως προς τον φόρτο της κάθε διαδρομής προκύπτει:

$$\frac{\partial^2 Z_2}{\partial f_{mk} \partial f_{ml}} = \begin{cases} \frac{\mu_m}{\theta f_{mk}}, & \forall l = k \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (3.3.3-1)$$

$$\frac{\partial^2 Z_3}{\partial f_{mk} \partial f_{ml}} = \frac{1 - \mu_m}{\theta \sum_k f_{mk}} \quad (3.3.3-2)$$

Το Εσσιανό (Hessian) μητρώο της Z_2 είναι θετικά ορισμένο, και το αντίστοιχο μητρώο της Z_3 είναι θετικά ημι-ορισμένο. Αυτό εξασφαλίζει την κυρτότητα της συνολικής αντικειμενικής συνάρτησης, και άρα η λύση είναι μοναδική εντός των ορίων της μεταβλητής f_{mk} , του φόρτου της κάθε διαδρομής.

3.3.4 Αντιστοίχιση του προτύπου GNL σε MNL

Είναι φανερό από την γενική διατύπωση του GNL ότι αυτό μπορεί να εκφράσει το πρότυπο MNL στην περίπτωση που $\mu_m = 1$. Στα ακόλουθα φαίνεται ότι η παραπάνω διατύπωση ισορροπίας καταπίπτει σε πρότυπο MNL στην περίπτωση που $\mu_m = 1$. Στη διατύπωση του προβλήματος (3.3.1-1), ο όρος Z_3 εκλείπει σε αυτή την περίπτωση. Παρόλα αυτά, ο όρος Z_2 δεν μετατρέπεται απευθείας σε ισοδύναμη MNL διατύπωση. Μόνο όταν αναπτύσσονται οι συνθήκες πρώτης τάξεως ανακύπτει το πρότυπο MNL.

Οι μερικές παράγωγοι υπολογίζονται ως:

$$\frac{\partial Z_1}{\partial f_{mk}} = \sum_a \frac{\partial Z_1}{\partial x_a} \frac{\partial x_a}{\partial f_{mk}} = \sum_a c_a \delta_{ak} = c_k \quad (3.3.4-1)$$

$$\frac{\partial Z_2}{\partial f_{mk}} = \frac{\mu_m}{\theta} \ln \frac{f_{mk}}{(a_{mk})^{\mu_m}} + \frac{\mu_m}{\theta} = \frac{1}{\theta} \ln \frac{f_{mk}}{a_{mk}} + \frac{1}{\theta} \quad (3.3.4-2)$$

Εξισώνοντας τις μερικές παραγώγους με το μηδέν και πολλαπλασιάζοντας με θ προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$\theta c_k + \ln \frac{f_{mk}}{a_{mk}} + 1 - \theta \lambda = 0 \quad (3.3.4-3)$$

όπου λ είναι ο συντελεστής Lagrange. Αναδιατάσσοντας τους όρους και λαμβάνοντας τον εκθέτη,

$$f_{mk} = a_{mk} \exp(\theta \lambda - \theta c_k - 1) \quad (3.3.4-4)$$

Αθροίζοντας τις φορτίσεις για όλες τους ιεραρχικούς κλάδους m προκύπτει:

$$\sum_m f_{mk} = \exp(\theta \lambda - \theta c_k - 1) \sum_m a_{mk} \quad (3.3.4-5)$$

Αν κάποιο ακυρώνει τον περιορισμό της κανονικότητας που επιβάλλεται στους συντελεστές ένθεσης ($\sum_m a_{mk} = 1$), προκύπτει η ακόλουθη έκφραση:

$$\sum_m f_{mk} = f_k = \exp(\theta\lambda - \theta c_k - 1) \quad (3.3.4-6)$$

Αθροίζοντας την παραπάνω σχέση για όλες τις διαδρομές k προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$\sum_k f_k = \exp(\theta\lambda - 1) \sum_k \exp(-\theta c_k) \quad (3.3.4-7)$$

Τελικά, διαιρώντας την Εξίσωση 3.3.4-6 με την Εξίσωση 3.3.4-7 προκύπτει το ακόλουθο:

$$\frac{f_k}{\sum_k f_k} = \frac{\exp(-\theta c_k)}{\sum_k \exp(-\theta c_k)} \quad (3.3.4-8)$$

Η ανωτέρω έκφραση αντιστοιχεί στο πρότυπο MNL, εντός του οποίου μπορούν να διατυπωθούν νέες ιεραρχικές δομές αποφάσεων όπως το εξαρτημένο πολυωνυμικό πρότυπο logit (Conditional Multinomial Logit-CML).

3.4 Προσδιορισμός της ισορροπίας για το προτεινόμενο πρότυπο επιλογών των χρηστών δικτύων συνδυασμένων μεταφορών

Οι Bekhor and Prashker (2001) για παρόμοια διατύπωση με το πρόβλημα της εξίσωσης 3.3.1-1 έδειξαν ότι ο αλγόριθμος εξαναγκασμένης σύγκλισης που βασίζεται στους διαδοχικούς μέσους όρους (Method of Successive Averages-MSA) μπορεί να εκτιμήσει το SUE. Στην παρούσα διατύπωση, όπου δεν επανεκτιμάται το μήκος της κοινής διαδρομής σε κάθε επανάληψη εξασφαλίζεται ότι ο αλγόριθμος MSA μπορεί να εκτιμήσει το SUE, αν και άλλοι αλγόριθμοι μπορούν να προσφέρουν ταχύτερες και περισσότερο βελτιωμένες λύσεις. Εν συντομία, ο αλγόριθμος MSA είναι ένας βηματικός επαναληπτικός αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται σε πληροφορίες των συζυγών κλίσεων της υπό βελτιστοποίηση συνάρτησης (εδώ ελαχιστοποίησης). Συγκεκριμένα, το βασικό βήμα των αλγόριθμων ελαχιστοποίησης που βασίζονται σε πληροφορίες των παραγώγων είναι το εξής:

$$x^{n+1} = x^n + a_n d^n \quad (3.4-1)$$

όπου x^n είναι η τιμή του ανύσματος των μεταβλητών απόφασης (στην περίπτωση αυτή η φόρτιση των συνδέσμων του δικτύου) στην νιοστή επανάληψη, a_n είναι βαθμιδωτή

αναπαράσταση του μεγέθους κίνησης και d'' είναι το διάνυσμα φθίνουσας κατεύθυνσης το οποίο είναι συνάρτηση του x'' .

Ο αλγόριθμος MSA βασίζεται σε μια προκαθορισμένη κίνηση μεγέθους κατά μήκος της φθίνουσας κατεύθυνσης (για την παρούσα περίπτωση ελαχιστοποίησης). Δηλαδή, το τελεστής a_n στην εξίσωση (3.4-1) δεν καθορίζει τη βάση ορισμένων χαρακτηριστικών της τρέχουσας λύσης. Αντί αυτού η κίνηση των μεγεθών $a_1, a_2, \dots, a_n$ καθορίζεται a priori.

Για την σύγκλιση της μεθόδου, η συνάρτηση ελαχιστοποιείται όταν ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες. Αυτές οι συνθήκες απαιτούν η αντικειμενική συνάρτηση να είναι συνεχής και διπλά διαφορίσιμη και ότι η κλίση της μηδενίζεται μόνο μια φορά στην εφικτή περιοχή (συνθήκες πρώτης και δευτέρας τάξεως). Επιπλέον, ο αλγόριθμος πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- i. Η εύρεση της κατεύθυνσης πρέπει να είναι άνυσμα κλίσης, και
- ii. Η ακολουθία της κίνησης των μεγεθών πρέπει να ικανοποιεί τους ακόλουθους δυο περιορισμούς:

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n = \infty \quad (3.4-2\alpha)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n^2 < \infty \quad (3.4-2\beta)$$

Αν και η αντικειμενική συνάρτηση και ο αλγόριθμος ικανοποιούν αυτές τις προϋποθέσεις, ο αλγόριθμος θα συγκλίνει υποχρεωτικά στο ελάχιστο της αντικειμενικής συνάρτησης. Επιπλέον, η ακολουθία των λύσεων θα συγκλίνει στο ελάχιστο ακόμα και αν ένα τυχαίο άνυσμα κατεύθυνσης, D'' , χρησιμοποιείται σε κάθε επανάληψη, με δεδομένο ότι $E[D'']$ έχει γνησίως φθίνουσα κλίση. Δηλαδή, ο αλγόριθμος θα συγκλίνει αν η εύρεση κατεύθυνσης είναι ένα άνυσμα κλίσης. Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις στις οποίες η φθίνουσα κλίση είναι γνωστή με βεβαιότητα, ένας μη μεροληπτικός υπολογισμός αυτής της κλίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε επανάληψη.

Μια από τις απλούστερες ακολουθίες κίνησης μεγεθών που ικανοποιεί και τους δυο περιορισμούς είναι η ακολουθία:

$$a_n = \frac{1}{n} \quad (3.4-3)$$

Με την ακολουθία αυτή, η νιοστή επανάληψη του αλγορίθμου θα είναι:

$$x^{n+1} = x^n + \frac{1}{n} d'' \quad (3.4-4)$$

Χρησιμοποιώντας τον ορισμό της εύρεσης κατεύθυνσης, το κάθε βήμα του αλγορίθμου μπορεί να γραφεί ως:

$$x^{n+1} = x^n + \frac{1}{n}(y^n - x^n) \quad (3.4-5)$$

όπου $y^n = \sum_{cs} q_{cs} P^{cs} \Delta^{csT}$. Η διαδικασία αυτή αποδίδει ότι σε κάθε επανάληψη η φόρτιση των εναλλακτικών διαδρομών αποτελείται από τον μέσο των μεταβλητών y σε όλες τις επαναληπτικές διαδικασίες. Ο ψευδο-κώδικας του αλγορίθμου MSA είναι:

Βήμα 0 Αρχικοποίηση. Εκτέλεση φόρτισης ενός στοχαστικού δικτύου βάσει ενός συνόλου αρχικών τιμών κόστους για κάθε διαδρομή. Αυτό δημιουργεί την αρχική φόρτιση του δικτύου, και $n=1$.

Βήμα 1 Ενήμερωση. Τίθεται $c_a^n = c_a(x_a)$, $\forall a \in A$ το κόστος κάθε συνδέσμου, ως συνάρτηση της φόρτισης των διαδρομών x_a .

Βήμα 2 Εύρεση κατεύθυνσης. Εκτέλεση διαδικασίας νέας στοχαστικής φόρτισης του δικτύου βάσει του τρέχοντος γενικευμένου κόστους διαδρομής. Παράγεται νέα (βοηθητική) φόρτιση $\{y_a^n\}$.

Βήμα 3 Μετακίνηση. Εύρεση του προτύπου νέας φόρτισης θέτοντας:

$$x_a^{n+1} = x_a^n + (1/n)(y_a^n - x_a^n).$$

Βήμα 4 Κριτήριο σύγκλισης. Αν επιτυγχάνεται σύγκλιση ($x_a^{n+1} - x_a^n \leq e$, $\forall a \in A$), όπου e ανοχή της σύγκλισης, τότε ο αλγόριθμος τερματίζεται. Αν όχι, τίθεται $n=n+1$ και 'κλείνει' ο επαναληπτικός βρόγχος στο Βήμα 1.

Με βάση τον αλγόριθμο αυτό εκτιμάται η φόρτιση του δικτύου των συνδυασμένων εμπορευματικών μεταφορών που παρουσιάστηκε προηγούμενα. Η φόρτιση του δικτύου έχει εκφραστεί ως συνάρτηση των αποδόσεων των συνδέσμων του δικτύου. Συνεπώς έχει δημιουργηθεί το πρότυπο στο οποίο είναι δυνατή η εφαρμογή μιας διαδικασίας δοκιμής-αποτελέσματος ή άλλως ερεθίσματος-απόκρισης (what-if analysis), με την οποία μπορούν να εκτιμηθούν οι αποδόσεις εναλλακτικών σεναρίων επεμβάσεων στο δίκτυο, όπως των συνδέσμων που αντιστοιχούν στις ΤΕ και προσδιορισμού των βέλτιστων στρατηγικών

επεμβάσεων. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν εναλλακτικές διατυπώσεις που μπορούν να αποδώσουν στρατηγικές ανάπτυξης των ΤΕ που να μπορούν να χαρακτηριστούν βέλτιστες.

Κεφάλαιο 4

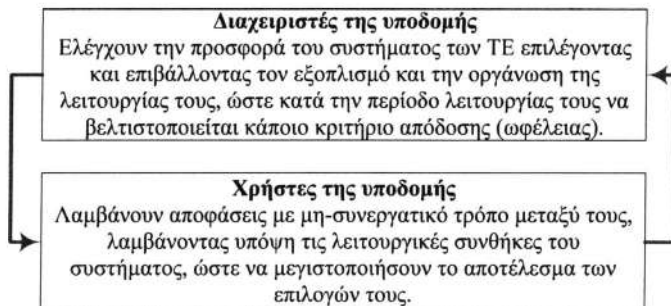
Προτεινόμενες μαθηματικές διατυπώσεις για τις εναλλακτικές μορφές του προβλήματος σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ

4.1 Εναλλακτικές μορφές του προβλήματος του βέλτιστου σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ. Η παιγνιοθεωρητική θεώρηση.

Το πρόβλημα του σχεδιασμού μεταφορικών συστημάτων όπως αυτά των ΤΕ Ε/Κ που μελετώνται στην παρούσα διατριβή, αφορά στην επιλογή των επεμβάσεων εκείνων που οι λειτουργικές συνθήκες του συστήματος (η οποία έπεται) θα βελτιστοποιεί κάποιο κριτήριο. Με δεδομένο ότι οι λειτουργικές συνθήκες του συστήματος προκύπτει από την αλληλεπίδραση της προσφοράς (υποδομή) με την ζήτηση (επιλογές χρηστών), ένα ικανό θεωρητικό πρότυπο που μπορεί να προσφέρει το πλαίσιο αναζήτησης βέλτιστων επεμβάσεων στο υπό εξέταση σύστημα είναι τα ενοποιημένα πρότυπα προσφοράς-ζήτησης (Fisk, 1986). Στα πρότυπα αυτά, ενδογενώς αποδίδεται η αλληλεπίδραση των δυο συνιστωσών (προσφορά-ζήτηση) του συστήματος, ενώ η μαθηματική διατύπωσή τους παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης των ιδιοτήτων τους.

Η παρουσίαση των εναλλακτικών διαχειριστικών σχημάτων τα οποία διερευνώνται στην παρούσα διατριβή υπό τα οποία μπορεί να σχεδιαστεί ένα σύστημα ΤΕ εκκινεί από την βασική σχέση εξάρτησης προσφοράς και ζήτησης. Ως βασικό σχήμα σχεδιασμού του συστήματος των ΤΕ θεωρείται αυτό κατά το οποίο διαχειριστικές αρχές της υποδομής επιβάλλουν αλλαγές στη μορφή του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τις επιλογές που θα κάνουν οι χρήστες όταν πλέον υλοποιηθούν οι αλλαγές αυτές. Στην παρούσα διατριβή, επιπλέον ισχύει η υπόθεση ότι οι διαχειριστές της υποδομής δεν σχεδιάζουν το σύστημα σε άμεση συνεννόηση με τους χρήστες (ή κατά συμφωνία, όπως πολλές φορές συμβαίνει σε ΤΕ Ε/Κ), αλλά με μη-συνεργατικό τρόπο. Κατά την υπόθεση αυτή, οι διαχειριστές του συστήματος καθοδηγούν τις επιλογές των χρηστών, επηρεάζοντας είτε τα κριτήρια τους, είτε την απόδοση των κριτηρίων τους, ενώ εκείνοι (οι χρήστες) υπενθυμίζεται ότι επιχειρούν όλο

ταυτόχρονα και μη-συνεργατικά μεταξύ τους να μεγιστοποιήσουν την συνολική χρησιμότητα των επιλογών τους. Η μη-συνεργατική αυτή αλληλουχία και επαλληλία καταστάσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ πολλαπλών μερών που επιχειρούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση των επιλογών τους (Σχήμα 4.1.1), συγκροτεί συνθήκες που ονομάζονται παίγνια και που για την ανάλυσή τους ένα δόκιμο πλαίσιο είναι αυτό που παρέχεται από τις έννοιες, την αντίληψη και τις αναλυτικές μεθόδους της Θεωρίας Παιγνίων.



Σχήμα 4.1.1. Σχήμα αλληλεπίδρασης μεταξύ των μερών του συστήματος των ΤΕ

Από την περαιτέρω ανάλυση του παραπάνω σχήματος αλληλεπίδρασης των μερών του συστήματος των ΤΕ Ε/Κ προκύπτουν τουλάχιστον τρία θεμελιώδη σχήματα σχεδιασμού τους:

- i. Το σχήμα του *Κεντρικού Σχεδιασμού*,
- ii. Το σχήμα του *Συνεργατικού Κεντρικού Σχεδιασμού*, και
- iii. Το σχήμα του *Ανταγωνιστικού Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού*

Τα παραπάνω σχήματα σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ δεν είναι τα μόνα, εφόσον μικτές ή υβριδικές μορφές μπορούν να εμφανίζονται κατά τον σχεδιασμό ή τη διαχείριση τους. Ωστόσο, η ανάλυση των βασικών αυτών εκδοχών δίνει την δυνατότητα κατανόησης και περισσότερο εξειδικευμένων ή εξεζητημένων μορφών τους. Ακολουθεί η σύντομη παρουσίαση του κάθε σχήματος σχεδιασμού καθώς και η ανάδειξη των παιγνιοθεωρητικών καταστάσεων που ανακύπτουν (και με τα οποία μπορούν να αναλυθούν) οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών του συστήματος.

4.1.1 Το σχήμα του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ

Εκκινώντας από τον κεντρικό σχεδιασμό του συστήματος των ΤΕ, η περίπτωση αυτή αντιστοιχεί στην κατάσταση όπου ένας κεντρικός διαχειριστής ο οποίος ελέγχει το σύνολο

της υποδομής του συστήματος λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τον καταμερισμό των πόρων σε όλες τις ΤΕ, με στόχο την βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος όπως αυτό εκφράζεται από κατάλληλα επιλεγμένο δείκτη. Κατά το σχήμα αυτό, ο διαχειριστής του συστήματος επιχειρεί μη-συνεργατικά να προβλέψει (ή προβλέπει) τις αντιδράσεις των χρηστών, ώστε να εκτιμήσει την/τις βέλτιστες στρατηγικές ανάπτυξης του συστήματος. Η ιεραρχία των μη-συνεργατικών παιγνίων αυτού του είδους αποτελεί ένα παίγνιο Stackelberg (Stackelberg, 1952), ενώ η λύση τους καταλήγει σε μια Nash ισορροπία (Funderberg και Tirole, 1998). Επιπλέον, η διαδικασία της καθοδήγησης της ζήτησης για μεταφορική εξυπηρέτηση αποτελεί μια πρακτική του εξειδικευμένου πεδίου της θεωρίας παιγνίων, της θεωρίας της επιχειρησιακής οργάνωσης (Tirole, 1988).

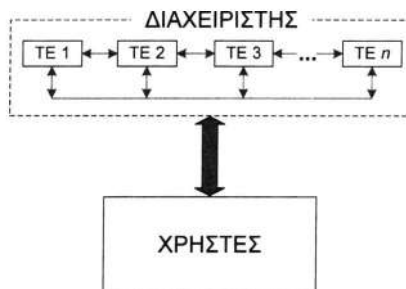


Σχήμα 4.1.1.1. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας *Κεντρικού Σχεδιασμού* συστημάτων ΤΕ

Κατά το παίγνιο αυτό, στη διαδικασία του σχεδιασμού του συστήματος των ΤΕ, αναγνωρίζονται δύο ιεραρχικά μέρη: τον ‘Ηγέτορα’ (Leader ή Principal) και τους ‘Ακόλουθους’ (Followers). Ο ‘Ηγέτορας’ αποδίδει τα χαρακτηριστικά του διαχειριστή του συστήματος ο οποίος επιβάλλει τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος με τον κατάλληλο καταμερισμό των διαθέσιμων πόρων σε όλες τις ΤΕ με στόχο την μεγιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη την μη-συνεργατική αντίδραση των χρηστών του συστήματος (η οργάνωση της οποίας αποτελεί ένα ακόμη μη-συνεργατικό παίγνιο). Η περίπτωση αυτή σχεδιασμού αφορά στην κατάσταση όπου υπάρχει κεντρικός έλεγχος των ΤΕ μιας περιοχής ενώ επιδιώκεται η συνολική βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος (Σχήμα 4.1.2). Στο σχήμα αυτό αναπτύσσονται δυο παίγνια: ένα μη-συνεργατικό παίγνιο Stackelberg μεταξύ ‘Ηγέτορος’ και ‘Ακολουθών’ και ένα μη-συνεργατικό μεταξύ των ‘Ακολουθών’ (χρηστών) για την λήψη των αποφάσεων φόρτισης του δικτύου.

4.1.2 Το σχήμα του Κεντρικού και Συναλλακτικού Σχεδιασμού συστημάτων TE

Η επόμενη κατάσταση σχεδιασμού αφορά στον κεντρικό μεν, αλλά συναλλακτικό σχεδιασμό του συστήματος των TE. Συγκεκριμένα, με τον όρο συναλλακτικό εδώ εννοείται το σχήμα σχεδιασμού κατά το οποίο ο 'Ηγέτορας' (κεντρικός διαχειριστής) επιχειρεί να βελτιστοποιήσει την απόδοση του συστήματος (την ωφέλεια) αλλά επιπλέον να προσδιορίσει και τον βέλτιστο τρόπο καταμερισμού της ωφέλειας στα μέλη που αποτελούν το σύστημα των TE. Το παίγνιο αυτό είναι επίσης ένα ιεραρχικό μεν παίγνιο μεταξύ 'Ηγήτορος' – 'Ακολουθών' αλλά στο επίπεδο του πρώτου αναπτύσσεται ένα συνεργατικό παίγνιο μεταξύ των TE (για τον καταμερισμό των ωφελειών), ενώ στο επίπεδο των δεύτερων εξακολουθεί να αναπτύσσεται το μη-συνεργατικό παίγνιο που έχει ήδη περιγραφεί (Σχήμα 4.1.3). Η περίπτωση αυτή σχεδιασμού αφορά σε μεγαλύτερο πλέγμα αλληλεπιδράσεων, καθιστώντας την περισσότερο απαιτητική από την οπτική της πολυπλοκότητας του προβλήματος.



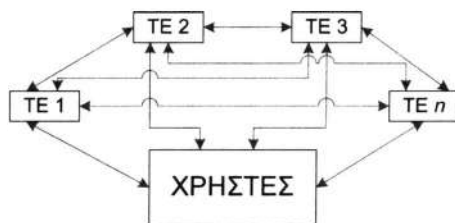
Σχήμα 4.1.2.1. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας Κεντρικού Συναλλακτικού Σχεδιασμού συστημάτων TE

4.1.3 Το σχήμα του Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού συστημάτων TE

Τέλος, αναγνωρίζεται η κατάσταση κατά την οποία στο επίπεδο του 'Ηγήτορος' αντιστοιχούν πολλοί και διαφορετικοί διαχειριστές των TE οι οποίοι αλληλεπιδρούν κατά δύο τρόπους με τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος:

- i. Μη-συνεργατικά (ανταγωνιστικά) με τις υπόλοιπες TE για την μεγιστοποίηση των ωφελειών τους, και
- ii. Μη-συνεργατικά με τους χρήστες του συστήματος.

Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στην επιχειρησιακή οργάνωση μεταφορικών συστημάτων με αποκεντρωμένη διοικητική δομή, στις οποίες αναπτύσσεται ανταγωνισμός για την βελτιστοποίηση της απόδοσης της κάθε ΤΕ.



Σχήμα 4.1.3.1. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας *Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού* συστημάτων ΤΕ

Υπό την παιγνιοθεωρητική άποψη, το σχήμα αυτό σχεδιασμού είναι περισσότερο απαιτητικό εφόσον αναπτύσσεται μεγαλύτερο και περισσότερο πολύπλοκο πλέγμα αλληλεξαρτήσεων. Συγκεκριμένα, διατηρείται η ιεραρχική δομή στην λήψη αποφάσεων, όμως πλέον στο πρώτο ιεραρχικό επίπεδο αναπτύσσεται ένα μη-συνεργατικό παίγνιο μεταξύ των διοικήσεων των ΤΕ, οι οποίες επιχειρούν την μεγιστοποίηση της ωφέλειάς τους, ταυτόχρονα όμως αλληλεπιδρούν κατά τρόπο ιεραρχικό δημιουργώντας ένα παίγνιο Stackelberg με τους χρήστες, οι οποίοι αυτό-οργανώνονται με μη-συνεργατικό τρόπο καταλήγοντας σε μια κατά Nash ισορροπία όπως έχει ήδη περιγραφεί. Η λύση της κατάστασης αυτής σχεδιασμού (εφόσον υπάρχει) θα αποτελεί σημείο ισορροπίας κατά Nash (Βλ. § 4.3) το οποίο ιδανικά μπορεί να είναι και κατά-Pareto βέλτιστο (Migdalas 1995), ενώ ως οργανωτικό οικονομικό σχήμα αντιστοιχεί στον αναταγωνιστικό καταμερισμό διαθέσιμων πόρων, το οποίο αναγνωρίζεται ως αυξημένης πολυπλοκότητας (Hurwicz et al. 1975).

Μετά την περιγραφή των τριών διαφορετικών σχημάτων σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ που έχουν διερευνηθεί στην παρούσα διατριβή, ακολουθεί το προτεινόμενο μαθηματικό αναλυτικό πλαίσιο (για κάθε περίπτωση) με το οποίο θα επιχειρηθεί να προσεγγιστεί ο στόχος της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού τους. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν οι μαθηματική διατύπωση της κάθε παιγνιοθεωρητικής κατάστασης ως πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού, ικανού να υλοποιήσει την αρχιτεκτονική της αλληλουχίας των αποφάσεων που λαμβάνουν όλα τα μέρη του συστήματος και λαμβάνοντας υπόψη όλο το φάσμα των αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους.

4.2 Εναλλακτικές διατυπώσεις του κεντρικού σχεδιασμού συστήματος λιμενικών τερματικών εγκαταστάσεων

Η μαθηματική προτυποποίηση των δύο κεντρικών σχημάτων σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ ακολουθεί την τακτική του ιεραρχικού μαθηματικού προγραμματισμού πολλαπλών επιπέδων. Συγκεκριμένα, το μεθοδολογικό πλαίσιο του μαθηματικού προγραμματισμού πολλαπλών επιπέδων ακολουθεί/αναπαράγει την ρεαλιστική διαδικασία των αποφάσεων όλων των μερών του συστήματος τα οποία λαμβάνουν αποφάσεις με μη-συνεργατικό τρόπο ακολουθώντας το πρότυπο των παιγνίων Stackelberg και έχουν την ακόλουθη γενική αρχιτεκτονική:

$$\begin{array}{ll}
 \underset{x_1 \in X_1}{\text{optimize}} & Z_1(X), \text{ υπό} \\
 \underset{x_2 \in X_2}{\text{optimize}} & Z_2(X), \text{ υπό} \\
 & \dots \\
 \underset{x_k \in X_k}{\text{optimize}} & Z_k(X)
 \end{array} \quad (4.2-1)$$

όπου $X = (X_1, X_2, \dots, X_k)$. Σε αυτή τη μορφή ιεραρχικού μαθηματικού προγραμματισμού, σε κάθε πρόβλημα βελτιστοποίησης εισάγονται ως περιορισμοί τα αποτελέσματα του επόμενου ιεραρχικού σταδίου βελτιστοποίησης.

Συγκεκριμένα, το πρόβλημα του κεντρικού σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ όπως περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, μπορούν να διατυπωθούν υπό την μορφή προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού δύο επιπέδων: στο Άνω Επίπεδο εισάγονται οι στόχοι του κεντρικού διαχειριστή του συστήματος, ενώ στο Κάτω Επίπεδο εισάγεται η αντίδραση των χρηστών ως πρόβλημα εκτίμησης του στοχαστικού κατά Nash σημείου ισορροπίας που έχει περιγραφεί στο 3^ο Κεφάλαιο. Η εξειδικευμένη μορφή του ιεραρχικού προγραμματισμού ονομάζεται Μαθηματικός Προγραμματισμός με Περιορισμούς Ισορροπίας (Mathematical Programming with Equilibrium Constraints-MPEC), ενώ οι επιλύσεις του αποδίδουν ισορροπίες κατά Nash για τα παίγνια Stackelberg που αναπαράγονται με τον τρόπο αυτό.

Το είδος αυτό του μαθηματικού προγραμματισμού θα αποτελέσει το βασικό μεθοδολογικό πλαίσιο για την προσέγγιση/εκτίμηση βελτιστοποιημένων σχεδίων ανάπτυξης συστημάτων ΤΕ. Ακολούθως θα γίνει η παρουσίαση των διαφορετικών μαθηματικών διατυπώσεων που προτείνονται για κάθε είδος σχεδιασμού, ενώ στη συνέχεια θα γίνει η περιγραφή των βασικών ιδιοτήτων του κάθε είδους προγραμματισμού που θα προκύψει ώστε

να προδιαγραφούν οι αλγόριθμοι που είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τέτοιου είδους προβλήματα.

4.2.1 Μαθηματική διατύπωση του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ

Η πρώτη μορφή σχεδιασμού αφορά στην συνολική βελτιστοποίηση της απόδοσης συστημάτων ΤΕ, με τον έλεγχο του από έναν κεντρικό διαχειριστή. Στη παρούσα διατριβή το κριτήριο απόδοσης που έχει επιλεγεί για να εκφράσει την απόδοση του συστήματος αφορά στο άθροισμα των δύο εκ των σημαντικότερων συντελεστών του κόστους που ανακύπτουν κατά τη λειτουργία αλλά και κατά την διαδικασία επεμβάσεων στα συστήματα ΤΕ Ε/Κ. Με δεδομένο ότι στη διατριβή δεν διερευνάται το πρόβλημα της λιμενικής τιμολόγησης, το κόστος αυτό αφορά στο άθροισμα του κόστους της συμμόρφωσης και στο κόστος των επενδύσεων. Συγκεκριμένα, η ελαχιστοποίηση του μεγέθους που προκύπτει από την άθροιση του κόστους της λιμενικής συμμόρφωσης και του κόστους των επενδύσεων (κατάλληλα σταθμισμένων), εκ του γεγονότος ότι είναι δύο συντελεστές τυπικά αντικρουόμενοι, αποδίδει ένα σχέδιο βέλτιστου καταμερισμού των λιμενικών επενδύσεων, ενώ ταυτόχρονα η διαδικασία επιχειρεί να εξασφαλίσει ότι τα επενδυτικά σχέδια που δεν είναι αποδοτικά (η συνεισφορά των επενδύσεων δεν αποδίδει ικανοποιητική μείωση του επιπέδου συμμόρφωσης και συνεπώς βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης), εξαιρούνται.

Η προτεινόμενη προσέγγιση του βέλτιστου σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ, έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε χερσαία μεταφορικά συστήματα. Η δε συγκεκριμένη τακτική επενδύσεων/ανάπτυξης των συστημάτων, εξαιτίας του γεγονότος ότι το υπό ελαχιστοποίηση μέγεθος αποτελεί συνιστώσα του κοινωνικού κόστους λειτουργίας των μεταφορικών συστημάτων εν γένει και συγκεκριμένα του συστήματος των ΤΕ, συχνά (παρελκυστικά ίσως) χαρακτηρίζεται και ως κοινωνικο-στραφής σχεδιασμός, εφόσον στην περίπτωση αυτή οι επενδύσεις γίνονται με στόχο την διευκόλυνση του συνόλου των χρηστών, οι οποίοι εξυπηρετούν την κοινωνική ανάγκη της μεταφοράς αγαθών, ενώ οι επενδύσεις χρηματοδοτούνται από φορέα που στοχεύει στα παραπάνω, ενώ το συνολικό σχήμα επιχειρεί την μεγιστοποίηση των συνιστωσών του κοινωνικού πλεονάσματος (social surplus).

Η διατύπωση του βέλτιστου κεντρικού σχεδιασμού ως πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού που προτείνεται είναι η εξής:

Άνω Επίπεδο:

$$\min_w P = \sum_i P_i(w_i, x_i) \quad \forall i \in C \quad (4.2.1-1)$$

υπό:

$$0 \leq w_i \leq \max w_i \quad \forall i \in C \quad (4.2.1-2)$$

$$0 \leq b_i \leq \max b_i \quad \forall i \in C \quad (4.2.1-3)$$

Κάτω Επίπεδο:

$$\min Z = \min(Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (4.2.1-4)$$

υπό:

$$Z_1 = \sum_a \int_0^{x_a} c_a(w) dw \quad (4.2.1-5)$$

$$Z_2 = \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m \sum_k \mu_m f_{mk}^{rs} \ln \frac{f_{mk}^{rs}}{(a_{mk}^{rs})^{1/\mu_m}} \quad (4.2.1-6)$$

$$Z_3 = \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m (1 - \mu_m) \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \ln \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \quad (4.2.1-7)$$

$$f_{mk}^{rs} = P_{mk}^{rs} q_{rs}, \quad \forall k, r, s \quad (4.2.1-8)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{amk}^{rs}, \quad \forall a \in A \quad (4.2.1-9)$$

$$f_k^{rs}, x_a \geq 0, \quad \forall a \in A \quad (4.2.1-10)$$

όπου στη περιοχή του προβλήματος που χαρακτηρίζεται ως Άνω Επίπεδο P είναι η αθροιστική αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζει το συνολικό κόστος της συμφόρησης και το ύψος των επενδύσεων που πραγματοποιούνται σε κάθε ΤΕ i . Συγκεκριμένα, $P_i = x_a c_a(x_a) + \lambda_i w_i, \forall i \in P$, x_a ο φόρτος της κάθε ΤΕ σε ΤΕUs/έτος και λ_i κατάλληλα επιλεγμένη σταθερά μετατροπής των προσηκόντων w_i ΤΕUs/έτος σε χρηματικές μονάδες. Επίσης, άμεσα προκύπτει ότι $b_i = \lambda_i w_i$ ο προϋπολογισμός των επενδύσεων καθώς και ότι οι εξισώσεις (4.2.1-2) και (4.2.1-3) εκφράζουν τους φυσικούς και χρηματοδοτικούς περιορισμούς αντίστοιχα. Η εκτίμηση του εξυπηρετούμενου φόρτου σε ΤΕUs/έτος που θα

εξηγηρηθεί από κάθε ΤΕ i , υπολογίζεται από την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης που εισάγεται στο τμήμα των περιορισμών που χαρακτηρίζεται *Κάτω Επίπεδο* και το οποίο αποτελείται από την επίλυση ενός προβλήματος μαθηματικής βελτιστοποίησης (με τους δικούς της περιορισμούς). Το τμήμα αυτό των περιορισμών αποδίδει την στοχαστική ισορροπία των χρηστών που αναλυτικά παρουσιάστηκε στο 3^ο Κεφάλαιο.

Για τον λόγο αυτό η μορφή του μαθηματικού προγραμματισμού που αποδίδει το παίγνιο Stackelberg μεταξύ του κεντρικού διαχειριστή *-Ηγήτορα-* του συστήματος των ΤΕ (ο οποίος ασκεί τον καθολικό έλεγχο του συστήματος εφόσον επιχειρεί την βελτιστοποίηση του αθροιστικού μεγέθους που περιγράφει η εξίσωση 4.2.1-1, μεταβάλλοντας τις μεταβλητές ελέγχου w_i), λαμβάνοντας σαν περιορισμούς τη φόρτιση του δικτύου (που αποδίδει την αντίδραση των χρηστών *-Ακολουθούν-* ως πρόβλημα στοχαστικής ισορροπίας), αφορά περίπτωση μαθηματικού προγραμματισμού με περιορισμούς ισορροπίας (MPEC), όπως περιγράφηκε στη παράγραφο 4.2. Συγκεκριμένα, η μορφή αυτή του προγραμματισμού αφορά σε ένα πρόβλημα μη-γραμμικής βελτιστοποίησης εφόσον η αντικειμενική συνάρτηση περιέχει μη-γραμμικούς όρους ($cc_n(x_n)$), ενώ το σύνολο των περιορισμών περιλαμβάνει μη-γραμμικές εξισώσεις, καθώς επίσης και ένα πρόβλημα μη-γραμμικής βελτιστοποίησης (της εκτίμησης του SUE).

4.2.2 Μαθηματική διατύπωση του Κεντρικού Συναλλακτικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ

Στην περίπτωση του *Κεντρικού Συναλλακτικού Σχεδιασμού*, επιχειρείται η εκτίμηση του βέλτιστου καταμερισμού των ωφελειών του συστήματος των ΤΕ μεταξύ μελών που το αποτελούν. Αυτός ο στόχος εδώ προτείνεται να εκφραστεί με χρήση της έννοιας της *Κυριαρχίας* μεταξύ εναλλακτικών σχεδίων ανάπτυξης του υπό διερεύνηση συστήματος. Συγκεκριμένα, θεωρώντας το σύνολο που περιέχει όλα τα σχέδια καταμερισμού των ωφελειών ενός συστήματος ΤΕ εκπεφρασμένα ως άνυσμα:

$$P^{(i)} = [P_1, P_2, \dots, P_n]^{(i)} \in P \subset R^{1 \times n} \quad (4.2.2-1)$$

όπου P το σύνολο όλων των έγκυρων (δυνατών) σχεδίων ανάπτυξης που αποδίδουν τον καταμερισμό $[P_1, P_2, \dots, P_n]^i$ των ωφελειών P_n στα μέλη που αποτελούν το υπό διερεύνηση σύστημα των ΤΕ.

Τότε μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ των μελών του P σε μέλη που κυριαρχούν στα υπόλοιπα ως προς προδιαγεγραμμένα κριτήρια. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί ο εξής ορισμός για να πραγματοποιηθεί η διάκριση αυτή:

Ορισμός 4.2.2.-1:

Η λύση $P^{(1)}$ χαρακτηρίζεται ότι κυριαρχεί μιας άλλης λύσης $P^{(2)}$, αν οι ακόλουθες δύο θέσεις είναι αληθείς:

1. Η λύση $P^{(1)}$ δεν είναι χειρότερη από τη $P^{(2)}$ σε όλα τα μέλη της.
2. Η λύση $P^{(1)}$ είναι απολύτως καλύτερη από $P^{(2)}$ τουλάχιστον σε ένα στόχο.

Αν κάποια από τις ανωτέρω προϋποθέσεις παραβιάζεται, το σχέδιο $P^{(1)}$ δεν κυριαρχεί του $P^{(2)}$. Αν $P^{(1)}$ κυριαρχεί του σχεδίου $P^{(2)}$ (ή $P^{(1)} \leq P^{(2)}$), αυτό διατυπώνεται και ως:

- η $P^{(2)}$ κυριαρχείται από τη $P^{(1)}$
- η $P^{(1)}$ δεν κυριαρχείται από τη $P^{(2)}$, ή
- η $P^{(1)}$ είναι μη-κατώτερη από τη $P^{(2)}$.

Μετά τον ορισμό της κυριαρχίας των λύσεων, ορίζεται το σύνολο των μη-κυριαρχούμενων λύσεων ως:

Ορισμός 4.2.2.-2:

Μεταξύ ενός συνόλου λύσεων P , το σύνολο των μη-κυριαρχούμενων λύσεων P^* αποτελείται από εκείνες που δεν κυριαρχούνται από κανένα μέλος του συνόλου P .

Όταν το σύνολο P είναι το σύνολο των εφικτών λύσεων, το αποτέλεσμα του μη-κυριάρχου P^* ονομάζεται βέλτιστο Σύνολο ή Όριο Pareto (ΣP) εφόσον το P^* διαγράφει το σύνολο του συνόλου των εφικτών λύσεων. Επιπλέον, γίνεται διάκριση μεταξύ των προσεγγίσεων των ΣP , σύμφωνα με τους εξής ορισμούς:

Ορισμός 4.2.2.-3:

Το σύνολο τα μέλη του οποίου δεν κυριαρχούνται από άλλα εντός του εφικτού πεδίου ορισμού P είναι το καθολικό Pareto-βέλτιστο Σύνολο.

Εισάγοντας κάποια ανοχή στην εκτίμηση του καθολικού ΣP , προκύπτει η έννοια του υπο-βέλτιστου ή του τοπικά βέλτιστου ΣP , υπό την εξής έννοια:

Ορισμός 4.2.2.-4:

Αν για κάθε μέλος P^i στο σύνολο P δεν υπάρχει λύση P^j (πλησίον της P^i έτσι ώστε $\|P^j - P^i\|_x \leq \varepsilon$, όπου ε επιλεγμένος θετικός αριθμός) να κυριαρχεί σε κάθε μέλος του συνόλου P , τότε οι λύσεις που ανήκουν στο σύνολο P αποτελούν τοπικά Pareto-βέλτιστο Σύνορο.

Η έννοια της κυριαρχίας και κατ' επέκταση το Σύνορο Pareto (ΣΡ), εξ ορισμού αποδίδει την διαδικασία της βέλτιστης ανταλλαγής μεταξύ των στοιχείων που χαρακτηρίζουν πολυδιάστατα συστήματα, εκ του γεγονότος ότι τα στοιχεία που το αποτελούν είναι αφενός όλα βέλτιστα, αλλά επιπλέον αποδίδουν τον τρόπο που υποχωρεί το κάθε χαρακτηριστικό σε όφελος του/των άλλου/ων (Ορ. 4.2.2.-1). Για τους λόγους αυτούς η έννοια της κυριαρχίας και το ΣΡ, έχουν υιοθετηθεί για τον χαρακτηρισμό των λύσεων σε καταστάσεις μαθηματικού προγραμματισμού πολλαπλών στόχων ή πολύ-στοχικής βελτιστοποίησης και ειδικότερα όταν επιχειρείται η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση πολλαπλών αντιφατικών/αντικρουόμενων αντικειμενικών συναρτήσεων.

Έτσι, στην κατάσταση κατά την οποία επιχειρείται η εκτίμηση των σχεδίων ανάπτυξης ενός συστήματος ΤΕ με στόχο τον βέλτιστο καταμερισμό των ωφελειών του συστήματος, στην παρούσα διατριβή προτείνεται να προσεγγιστεί ως πρόβλημα πολυστοχικής βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα, η διατύπωση που προτείνεται αφορά στην κατάσχεση ενός προβλήματος ανυσματικής βελτιστοποίησης, όπου τα μέλη του ανύσματος αντιστοιχούν στις ωφέλειες της κάθε ΤΕ. Η προτεινόμενη διατύπωση είναι κατάλληλη για την συγκεκριμένη περίπτωση εφόσον η επίλυση προβλημάτων αυτού του τύπου αφορά στην συνεργατική κατάσταση όπου μόνον οι κυρίαρχες λύσεις προκρίνονται για την σύσταση του ΣΡ, γεγονός που προϋποθέτει την ύπαρξη κεντρικού συντονισμού.

Η διατύπωση που προτείνεται εξακολουθεί να βασίζεται στην μορφή του ιεραρχικού προγραμματισμού πολλαπλών επιπέδων που εισήχθη στην παράγραφο 4.2.1, αλλά την φορά αυτή χρησιμοποιείται μια ανυσματική αντικειμενική συνάρτηση που εκφράζει τα οφέλη της κάθε ΤΕ. Το άνυσμα αυτό αποτελείται από αντικειμενικές συναρτήσεις οι οποίες είναι ανταγωνιστικές/αντικρουόμενες μεταξύ τους, όπως έχει ήδη περιγραφεί και η συνολική διατύπωση έχει την εξής μορφή:

Ανω Επίπεδο:

$$\max_w P = [P_1(w_1, x_1), P_2(w_2, x_2), \dots, P_i(w_i, x_i)] \quad \forall i \in C \quad (4.2.2-2)$$

υπό:

$$0 \leq w_i \leq \max w_i \quad \forall i \in C \quad (4.2.2-3)$$

$$0 \leq b_i \leq \max b_i \quad \forall i \in C \quad (4.2.2-4)$$

Κάτω Επίπεδο:

$$\min Z = \min(Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (4.2.2-5)$$

υπό:

$$Z_1 = \sum_a \int_0^{x_a} c_a(w) dw \quad (4.2.2-6)$$

$$Z_2 = \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m \sum_k \mu_m f_{mk}^{rs} \ln \frac{f_{mk}^{rs}}{(a_{mk}^{rs})^{1/\mu_m}} \quad (4.2.2-7)$$

$$Z_3 = \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m (1 - \mu_m) \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \ln \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \quad (4.2.2-8)$$

$$f_{mk}^{rs} = P_{mk}^{rs} q_{rs}, \quad \forall k, r, s \quad (4.2.2-9)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{amk}^{rs}, \quad \forall a \in A \quad (4.2.2-10)$$

$$f_k^{rs}, x_a \geq 0, \quad \forall a \in A \quad (4.2.2-11)$$

Το άνωσμο που χρησιμοποιείται στην ως αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από το μέγεθος του οικονομικού αποτελέσματος $P_i(w_i, x_i)$, όπου:

$$P_i(w_i, x_i) = CC_i x_i - \lambda_i w_i \quad (4.2.2-12)$$

με CC_i τα τέλη εξυπηρέτησης σε κάθε TE, x_i ο εξυπηρετούμενος φόρτος σε TEUs/έτος, λ_i ο συντελεστής μετατροπής σε χρηματικές μονάδες της επένδυσης w_i στην αύξηση πρακτικής δυναμικότητας σε TEUs/έτος για κάθε TE i , ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές λαμβάνονται ως στις σχέσεις 4.2.1-1 έως 4.2.1-10.

Η προτεινόμενη μορφή του μαθηματικού προγραμματισμού που παρουσιάστηκε στην παράγραφο αυτή αναπαράγει τα δύο παίγνια που αναπτύσσονται κατά την περίπτωση του Συναλλακτικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ. Συγκεκριμένα αναπαράγει το συνεργατικό παίγνιο μεταξύ των ΤΕ για τον καταμερισμό των ωφελειών της αγοράς εξυπηρέτησης Ε/Κ μιας περιοχής. Ο καταμερισμός αυτός όμως εκτιμάται αναγνωρίζοντας την μη-συνεργατική αλληλεπίδραση με τους χρήστες του συστήματος μέσω του παιγνίου Stackelberg που έχει εισαχθεί στην διαμόρφωση του προβλήματος. Η κλάση του προβλήματος με την παραπάνω διαμόρφωση ανήκει στα μη-γραμμικά, πολύ-στοχικά προβλήματα ιεραρχικής βελτιστοποίησης πολλαπλών επιπέδων με περιορισμούς ισοροπίας.

4.3 Διατύπωση του αποκεντρωμένου σχεδιασμού συστημάτων λιμενικών τερματικών εγκαταστάσεων

Μετά την παρουσίαση των προτεινόμενων υποδειγμάτων κεντρικού σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ που προηγήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, εδώ θα γίνει η παρουσίαση της προτεινόμενης διατύπωσης του αποκεντρωμένου σχήματος σχεδιασμού. Η κατάσταση αυτή θα επιχειρηθεί να αποδώσει την επαλληλία και αλληλουχία των παιγνίων που αναπτύσσονται μεταξύ των μερών του συστήματος. Όλα τα παίγνια που αναπτύσσονται στην κατάσταση αυτή είναι μη-συνεργατικά (ανταγωνιστικά). Ως εκ τούτου, η μαθηματική διατύπωση θα πρέπει να αποδίδει το/τα σημείο/α ισοροπίας της συνολικής κατάστασης. Συγκεκριμένα, η κάθε λύση (στρατηγικό σχέδιο ανάπτυξης) των παιγνίων που αναπτύσσονται μεταξύ όλων των μερών, αποτελεί και σημείο ανταγωνιστικής ισοροπίας του συστήματος, όπου το σημείο αυτό έχει τις ιδιότητες μιας κατά Nash ισοροπίας υπό τον εξής ορισμό:

Ορισμός 4.3.-1:

Η στρατηγική επενδύσεων (αποφάσεων) w^ αποτελεί ισοροπία κατά Nash αν για όλους τους 'παίκτες' i ,*

$$P_i(w_i^*, w_{-i}^*) \geq P_i(w_i, w_{-i}^*) \text{ για κάθε } w_i \in S_i \text{ το σύνολο όλων των εφικτών σχεδίων.}$$

όπου $P_i(w_i, w_{-i})$ αντιστοιχεί στο αποτέλεσμα (ωφέλεια) του 'παίκτη' (συμμετέχοντα) i ο οποίος λαμβάνει την απόφαση να ακολουθήσει την στρατηγική w_i ενώ οι υπόλοιποι παίκτες ($-i$) έχουν λάβει τις δικές τους αποφάσεις w_{-i} . Η κατά Nash ισοροπία είναι ένα προφίλ στρατηγικών το οποίο αποτελεί τη βέλτιστη απάντηση στις διαθέσιμες στρατηγικές των υπόλοιπων παικτών, κατά τρόπο ώστε στο σημείο αυτό κανένας παίκτης να μην έχει κίνητρο να αλλάξει στρατηγική, υπό την υπόθεση ότι είναι ορθολογικός, δηλαδή επιχειρεί να

μεγιστοποιήσει τα κριτήρια απόδοσής του (Nash 1950). Σημειώνεται ότι σημασιολογικά είναι διαφορετικό το σημείο της κατά Nash ισορροπίας από εκείνο των κυρίαρχων λύσεων που περιγράφηκαν στον *Ορ. 4.2.2.-1* κατά το ότι μια κατά Nash ισορροπία δεν είναι υποχρεωτικό να αποτελείται από κυρίαρχες λύσεις αλλά ούτε οι κυρίαρχες λύσεις είναι υποχρεωτικά κατά Nash ισορροπίες.

Η κατάστρωση του προβλήματος που προτείνεται εξακολουθεί να βασίζεται στην αρχιτεκτονική του ανυσματικού ιεραρχικού προγραμματισμού πολλαπλών επιπέδων για τη μεγιστοποίηση των οικονομικών αποτελεσμάτων της κάθε ΤΕ, αλλά την φορά αυτή τα στοιχεία-αντικειμενικές συναρτήσεις του ανύσματος ικανοποιούν την συνθήκη της κατά Nash ισορροπίας που περιγράφηκε νωρίτερα. Η μαθηματική διατύπωση του παραπάνω προβλήματος που θα χρησιμοποιηθεί εδώ, για το *Άνω Επίπεδο* (το παίγνιο μεταξύ των ΤΕ), θα ακολουθήσει τη μορφή των Μεταβαλλόμενων Ανισοτήτων (Variational Inequalities) όπως περιγράφηκαν από τους Kinderlehrer and Stampacchia (1980), αφού οι λύσεις στη διατύπωση προβλημάτων βελτιστοποίησης με τη μορφή αυτή αντιστοιχεί σε σημεία κατά Nash ισορροπιών (Dafermos and Sparrow 1969, Dafermos 1980, Nagurney 1999, Daniele 2006).

Άνω Επίπεδο:

$$P(w^*, Ah(w^*))^T (w - w^*) \geq 0, \quad \forall w \in W \quad (4.3-1)$$

υπό:

$$0 \leq w_i \leq \max w_i \quad \forall i \in C \quad (4.3-2)$$

$$0 \leq b_i \leq \max b_i \quad \forall i \in C \quad (4.3-3)$$

$$h(w^*) = \underset{x}{\text{ArgMin}}(Z(x, w))$$

Κάτω Επίπεδο:

$$\min Z = \min(Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (4.3-4)$$

υπό:

$$Z_1 = \sum_a \int_0^{x_a} c_a(w) dw \quad (4.3-5)$$

$$Z_2 = \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m \sum_k \mu_m f_{mk}^{rs} \ln \frac{f_{mk}^{rs}}{(a_{mk}^{rs})^{1/\mu_m}} \quad (4.3-6)$$

$$Z_3 = \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_m (1 - \mu_m) \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \ln \left(\sum_k f_{mk}^{rs} \right) \quad (4.3-7)$$

$$f_{mk}^{rs} = P_{mk}^{rs} q_{rs}, \quad \forall k, r, s \quad (4.3-8)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{amk}^{rs}, \quad \forall a \in A \quad (4.3-9)$$

$$f_k^{rs}, x_a \geq 0, \quad \forall a \in A \quad (4.3-10)$$

όπου οι συμβολισμοί ακολουθούν την περιγραφή που έγινε στις παραγράφους 4.2.1 και 4.2.2. Η διατύπωση της εξίσωσης 4.3-1 αντιστοιχεί και στην ανυσματική μορφή που παρουσιάστηκε στην εξίσωση 4.2-1 (δηλαδή $\max_w Z = [P_1(w, x), P_2(w, x), \dots, P_i(w, x)], \quad \forall i \in P$), προσθέτοντας τον χαρακτηρισμό των στοιχείων που παρουσιάζεται στον Ορ. 4.3.1. Υπενθυμίζεται ότι το άνυσμα που χρησιμοποιείται στην ως αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από το μέγεθος του οικονομικού αποτελέσματος $P_i(w_i, x_i)$, όπου:

$$P_i(w_i, x_i) = CC_i x_i - \lambda_i w_i \quad (4.3-11)$$

με CC_i τα τέλη εξυπηρέτησης σε κάθε ΤΕ, x_i ο εξυπηρετούμενος φόρτος σε ΤΕUs/έτος, λ_i ο συντελεστής μετατροπής σε χρηματικές μονάδες της επένδυσης w_i στην αύξηση πρακτικής δυναμικότητας σε ΤΕUs/έτος για κάθε ΤΕ i , ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές λαμβάνονται ως στις εξισώσεις 4.2.1-1 έως 4.2.1-10.

Η προτεινόμενη μορφή του μαθηματικού προγραμματισμού που παρουσιάστηκε στην παράγραφο αυτή αναπαράγει τα δύο παίγνια που αναπτύσσονται κατά την περίπτωση του Συναλλακτικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ. Συγκεκριμένα αναπαράγει το μη-συνεργατικό (ανταγωνιστικό) παίγνιο μεταξύ των ΤΕ για την επικράτηση σε απελευθερωμένες αγορές εξυπηρέτησης Ε/Κ και την ιεραρχική μη-συνεργατική αλληλεπίδραση με τους χρήστες του

συστήματος. Η κλάση του προβλήματος με την παραπάνω διαμόρφωση ανήκει στα μη-γραμμικά, πολύ-στοχικά προβλήματα ιεραρχικής βελτιστοποίησης πολλαπλών επιπέδων με περιορισμούς ισορροπίας

4.4 Χαρακτηριστικά κατάταξης των προτεινόμενων προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού

Οι μορφές του μαθηματικού προγραμματισμού που παρουσιάστηκαν προηγούμενα, αν και μεταξύ τους διαφορετικές για κάθε περίπτωση σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ σε ό,τι αφορά στις επιδιώξεις αλλά και στην 'κατασκευή' τους, διατηρούν κοινά χαρακτηριστικά τα οποία είναι χρήσιμα για την διερεύνηση των πιθανών λύσεων τους. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να εξασφαλίζεται (όπως και σε κάθε είδος προβλημάτων βελτιστοποίησης) η ύπαρξη λύσεων και η πιθανή μοναδικότητά τους. Επιπλέον, η κατάταξη των προβλημάτων αυτών με βάση τα χαρακτηριστικά τους θα προσδιορίσει και το είδος της επίλυσης (του αλγόριθμου που θα χρησιμοποιηθεί) ώστε η λύση να χαρακτηρίζεται έγκυρη.

Αρχικά, τα προβλήματα βελτιστοποίησης που περιγράφηκαν προηγούμενα, ανήκουν στην κλάση των συνεχών, μη-γραμμικών (τόσο στις αντικειμενικές συναρτήσεις όσο και στους περιορισμούς), ιεραρχικών προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού με περιορισμούς ισορροπίας. Σχετικά με την απόδειξη της ύπαρξης λύσεων για αυτές τις περιπτώσεις βελτιστοποίησης, στους Luo et al. (1996) έχουν παρουσιαστεί οι αποδείξεις για την ύπαρξη λύσεων σε MPEC προβλήματα, όταν οι αντικειμενικές συναρτήσεις είναι συνεχείς και φραγμένες από περιορισμούς, ενώ η κυρτότητά τους δεν αποτελεί απαραίτητη συνθήκη. Η απόδειξη στηρίζεται στην μετατροπή της γενικής διατύπωσης των συνεχών και φραγμένων MPEC στη μορφή των συνθηκών Karush-Kuhn-Tucker (Luo et al. 1996, σελ. 57).

Επιπλέον, η διαδικασία εκτίμησης της κατά-Nash ισορροπίας των παραπάνω διαπραγματευτικών παιγνίων αφορά στην επίλυση ενός συνόλου μη-κυρτών προβλημάτων προγραμματισμού (Conley and Wilkie 1996, Zhou 1996, Mariotti 1998, Denicolo and Mariotti 2000). Σχετικά με την μοναδικότητα της λύσης προβλημάτων της παραπάνω μορφής, αυτή δεν εξασφαλίζεται. Η μη-γραμμική φύση των συναρτήσεων των αντικειμενικών συναρτήσεων αλλά και των συναρτήσεων των περιορισμών, δεν επιτρέπουν την απόδειξη της μοναδικότητας των λύσεων, αν και τόσο η συνάρτηση εκτίμησης του SUE όσο και ο μηχανισμός επιλογής διαδρομής (που βασίζεται σε μη-γραμμικές εξισώσεις) και οι εξισώσεις απόδοσης των συνδέσμων (ειδικά των συνδέσμων που αντιστοιχούν σε ΤΕ) είναι εκτός από συνεχείς και κυρτές συναρτήσεις.

Τέλος, τα προβλήματα ιεραρχικής βελτιστοποίησης, έχει αποδειχτεί ότι ανήκουν στα ανώτερης πολυπλοκότητας *NP-hard* προβλήματα, η λύση των οποίων δεν εξασφαλίζεται - ακόμη και για την απλούστερη μορφή τους (όλα τα ιεραρχημένα προβλήματα βελτιστοποίησης να είναι γραμμικά)- σε πολυωνυμικό χρόνο (Jeroslow 1985, Anandalingam and Friesz 1992, Ben-Ayed and Blair 1990, Hansen et al. 1992, Vicente et al. 1994, Dempse 2003, Colson et al. 2005). Ήδη η ιδιαιτερότητα αυτή οδηγεί στον χαρακτηρισμό των προβλημάτων ως ανώτερης πολυπλοκότητας σε ότι αφορά στην εκτίμηση/εντοπισμό λύσεων τους. Οι αλγόριθμοι επίλυσης τέτοιου είδους προβλημάτων, με δεδομένο ότι δεν μπορεί να εξασφαλιστούν και να αποδειχτούν τρόποι/συνθήκες εντοπισμού του καθολικού βέλτιστου με βάση πληροφορίες των διαφορικών τους (τυπικά η πρώτη και δεύτερη συνθήκη των διαφορικών), βασίζονται σε ευρετικούς μηχανισμούς. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή ανήκουν στην κλάση της Εξελικτικής Αλγοριθμικής Θεωρίας Παιγνίων και θα παρουσιαστούν αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 5

Προτεινόμενοι Μέθοδοι Επίλυσης Βασιζόμενοι στην Εξελικτική Αλγοριθμική Θεωρία Παιγνίων

5.1 Ευρετικοί παιγνιοθεωρητικοί αλγόριθμοι - Μέθοδοι εξελικτικής βελτιστοποίησης βασισμένοι σε ‘πληθυσμό λύσεων’

Ο προσδιορισμός σημείων ισορροπίας παιγνίων είτε σε κανονική μορφή (με τη μορφή προκαθορισμένου διακριτού πίνακα στρατηγικών και αποτελεσμάτων), είτε στην ανεπτυγμένη μορφή τους (διερεύνηση του πεδίου ορισμού και τιμών των συνεχών μεταβλητών τους), είτε πρόκειται για αποφάσεις σε στοχαστικό, είτε σε καθοριστικό (ντετερμινιστικό) περιβάλλον, αφορά σε μια διαδικασία επίλυσης προβλημάτων που ανήκουν στην κατηγορία πολυπλοκότητας *NP-hard* εφόσον δεν είναι δυνατή η επίλυσή τους σε πολυωνυμικό χρόνο (Daskalakis et al. 2006&2009). Ειδικότερα, οι διατυπώσεις των προβλημάτων που έγινε στο 4^ο Κεφάλαιο, επιχειρούν την επίλυση των διαφόρων παιγνίων που αναπτύσσονται μεταξύ των μερών που συγκροτούν το υπό εξέταση σύστημα ΤΕ Ε/Κ, ως μη-γραμμικά MPEC προβλήματα. Σε προβλήματα αυτής της κατηγορίας, δεν είναι διαθέσιμοι αλγόριθμοι οι οποίοι να εξασφαλίζουν την σύγκλιση στο καθολικό βέλτιστο, ενώ κατά τεκμήριο είναι δυσχερές και η προσέγγιση υπο-βέλτιστων (τοπικών) λύσεων.

Σε καταστάσεις βελτιστοποίησης της μορφής αυτής, είναι δόκιμη η χρήση ευρετικών μηχανισμών/αλγόριθμων για την προσεγγιστική εκτίμηση βέλτιστων λύσεων. Στην παρούσα διατριβή, οι αλγόριθμοι που θα χρησιμοποιηθούν ανήκουν στην κατηγορία των αλγόριθμων από το πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης. Συγκεκριμένα, οι αλγόριθμοι που θα χρησιμοποιηθούν αναπαράγουν μηχανισμούς της φυσικής εξέλιξης και προσαρμογής όπως αυτοί διατυπώθηκαν από τους Darwin (1859), Maynard-Smith (1982) και Dawkins and Krebs (1979). Η χρήση τέτοιων αλγόριθμων σε καταστάσεις επίλυσης παιγνίων, αποτελεί ένα εξειδικευμένο αντικείμενο του πεδίου της Αλγοριθμικής Θεωρίας Παιγνίων, που περιγράφεται με τον χαρακτηρισμό Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων.

Οι εξελικτικές παιγνιο-θεωρητικές διαδικασίες όπως θα υιοθετηθούν στη παρούσα διατριβή αφορούν στη γενετική κωδικοποίηση του μηχανισμού των αλληλεπιδράσεων και των μεταβλητών του υπό βελτιστοποίηση συστήματος και στην υλοποίηση ενός μηχανισμού παραγωγής πληθυσμού έγκυρων λύσεων και εξέλιξής τους, συγκλίνοντας σε βελτιωμένες (εξελιγμένες) λύσεις. Οι μηχανισμοί της εξέλιξης θα βασιστούν στους Γενετικούς Αλγόριθμους-ΓΑ (Holland 1975), οι οποίοι παρέχουν τη βάση για την υλοποίηση και επίλυση εναλλακτικών στρατηγικών παιγνίων, ενώ παράλληλα είναι δυνατός ο χειρισμός πολλαπλών μεταβλητών και περιορισμών.

Αν και η βάση των αλγόριθμων επίλυσης των προηγούμενα διατυπωθέντων παιγνίων είναι οι ΓΑ, οι μηχανισμοί επίλυσης της κάθε κατάστασης σχεδιασμού του υπό εξέταση συστήματος ΤΕ είναι σημαντικά διαφορετικοί. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι εκδοχές των ΓΑ που έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του κάθε προβλήματος σχεδιασμού, καλύπτοντας όλες τις λεπτομέρειες της υλοποίησής τους.

5.2 Προτεινόμενος εξελικτικός αλγόριθμος για την περίπτωση του Κεντρικού Σχεδιασμού

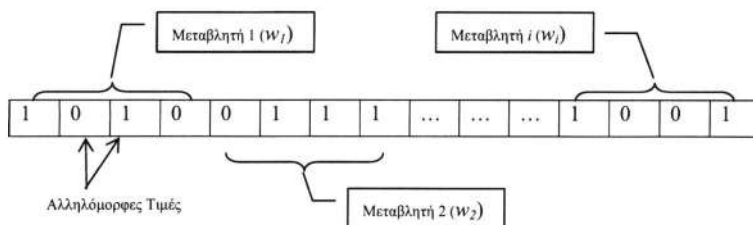
Ο ΓΑ που έχει υλοποιηθεί για την βελτιστοποίηση του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ επιχειρεί την βελτιστοποίηση μια μοναδικής αντικειμενικής συνάρτησης (Εξίσωση 4.2.1-1).

$$\max_w P = \sum_i P_i(w_i, x_i) \quad (5.2-1)$$

υπό τους περιορισμούς που έχουν περιγραφεί στις εξισώσεις 4.2.1-2 έως 4.2.1-10. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος βασίζεται στην ανάλυση του παιγνίου αυτού με βάση την εξέλιξη ενός συνόλου εφικτών λύσεων, με βάση στοχαστικές διαδικασίες εξέλιξης. Οι ΓΑ είναι στοχαστικές προσεγγιστικές μέθοδοι καθολικής αναζήτησης του βέλτιστου σε προβλήματα μαθηματικού προγραμματισμού, οι οποίες βασίζονται σε ένα σύνολο κατάλληλα επιλεγμένων δοκιμών (πληθυσμός λύσεων) και στην εξέλιξή του ακολουθώντας τον 'νόμο' (μηχανισμό) της φυσικής εξέλιξης όπως αυτός διατυπώθηκε από τον Darwin (1859). Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό, λύσεις με αυξημένη απόδοση, όσον αφορά στις τιμές της (στην παρούσα παράγραφο μοναδικής) αντικειμενικής συνάρτησης, έχουν αυξημένη πιθανότητα να επιλεγούν, προκειμένου να συνεισφέρουν στην αναζήτηση βελτιωμένου πληθυσμού λύσεων (λύσεις με βελτιωμένες τις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης). Κάθε 'άτομο' (έγκυρη λύση) του πληθυσμού αποτελεί μια κωδικοποιημένη ομάδα των μεταβλητών του υπό

βελτιστοποίηση προβλήματος και αποτελείται από ένα κατάλληλα κωδικοποιημένο διάνυσμα τιμών, που αναφέρεται ως χρωμόσωμα. Στην παρούσα διατριβή, η κωδικοποίηση των μεταβλητών των προβλημάτων που θα αναλυθούν, ακολουθούν το δυαδικό αριθμητικό σύστημα κωδικοποίησης. Υπενθυμίζεται ότι οι μεταβλητές ελέγχου αντιστοιχούν στις τιμές $w_i, i \in P$ δηλαδή το μέγεθος της ανάπτυξης σε TEUs/έτος που θα πρέπει να πραγματοποιήσει η κάθε i TE.

Σύμφωνα με αυτήν την τακτική κωδικοποίησης, κάθε χρωμόσωμα είναι μια σειρά από '0' και '1', τα οποία ονομάζονται αλληλόμορφες τιμές (allelic values) και αποδίδουν σε οριζόντια στοίχιση τις τιμές των μεταβλητών του συστήματος στο δυαδικό αριθμητικό σύστημα (σημειώνεται ότι είναι δυνατή και η κωδικοποίηση μέσω αριθμών του δεκαδικού συστήματος αρίθμησης, με τη χρήση συμβόλων ή άλλων μέσων). Η σειρά των μεταβλητών αυτών αποτελεί μια πλήρη δοκιμή του υπό βελτιστοποίηση συστήματος, ενώ το σύνολο των δομημένων δοκιμών αποτελεί τον πληθυσμό των λύσεων. Επιπλέον, κάθε σύνολο λύσεων που προκύπτει από την διαδικασία αυτή ονομάζεται 'γενεά'.



Σχήμα 5.2.1 Σχήμα κωδικοποίησης των μεταβλητών ελέγχου ενός προβλήματος βελτιστοποίησης με τη μορφή οριζόντιας στοίχισης δυαδικών αριθμητικών τιμών.

Οι δοκιμές πραγματοποιούνται μετά από την αποκωδικοποίηση των μεταβλητών του συστήματος, διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιείται και μέρος της διαδικασίας συμμόρφωσης των μεταβλητών στους περιορισμούς που επιβάλλονται από το πρόβλημα που επιχειρείται να επιλυθεί. Υπενθυμίζεται ότι στις διαμορφώσεις των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν στο 4^ο Κεφάλαιο, εμπεριέχουν φυσικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Οι φυσικοί περιορισμοί αφορούν στις τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές ελέγχου $w_i, i \in P$ του προβλήματος.

Έτσι, η γενετική εξέλιξη του (εδώ) αρχικώς τυχαία επιλεγμένου πληθυσμού εκκίνησης των εφικτών λύσεων, ξεκινά με την διαδικασία από-κωδικοποίησής τους. Κατά τη διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί συμμόρφωση των τιμών των w_i , ως εξής:

Έστω $c \in [c_i, c_j]$ το πεδίο τιμών των w_i και έστω $W[a_i, a_j]$ το πεδίο τιμών που προκύπτει από την κωδικοποίηση με βάση το δυαδικό αριθμητικό σύστημα και συνεπώς κάθε $a_i \leq w_i \leq a_j$. Τότε κάθε τιμή w_i συμμορφώνεται με αναλογικό τρόπο:

$$c = (a - a_i) \times \frac{c_j}{a_j} \quad (5.2-2)$$

Σε ό,τι αφορά την συμμόρφωση ως προς τους περιορισμούς που δεν είναι μεταβλητές ελέγχου (αλλά προφανώς εξαρτώνται από αυτές), αυτό σε προβλήματα εξελικτικής βελτιστοποίησης γίνεται με δύο τρόπους: α) με την εξαίρεση δοκιμών που καταλήγουν σε μη-εφικτές λύσεις, και β) με την εφαρμογή συναρτήσεων ποινής στις δοκιμές που δεν παράγουν εφικτές λύσεις. Στην παρούσα διατριβή, εκ του γεγονότος ότι πρόκειται για πρόβλημα με συνεχείς μεταβλητές έχει προτιμηθεί να ακολουθηθεί η πρώτη τακτική ελέγχου (εφόσον τυπικά σε τέτοιου είδους καταστάσεις εξασφαλίζεται ότι σε κάθε πληθυσμό λύσεων παραμένουν πολλά 'άτομα' κοντά στο όριο των περιορισμών και αυξημένης απόδοσης).

Στη συνέχεια, οι ΓΑ βασίζονται σε έναν μηχανισμό στοχαστικής εξέλιξης του συνόλου των εφικτών δοκιμών (πληθυσμού), προς βελτιωμένους πληθυσμούς εφικτών λύσεων. Η διαδικασία αυτή αφορά σε 3 βασικές γενετικές πράξεις (διαδικασίες): Στην *Αναπαραγωγή* του 'πληθυσμού', στην *Διασταύρωσή* του και στην *Μετάλλαξή* τους. Επιπλέον, προκειμένου να μην απορρίπτονται από την διαδικασία της γενετικής διερεύνησης του πεδίου τιμών των προς βελτιστοποίηση συναρτήσεων και την αποφυγή πρώιμης σύγκλισης, μια επιπλέον πράξη έχει προστεθεί, της Ελιτικής τροφοδότησης. Η σύντομη περιγραφή των πράξεων αυτών έχει ως εξής:

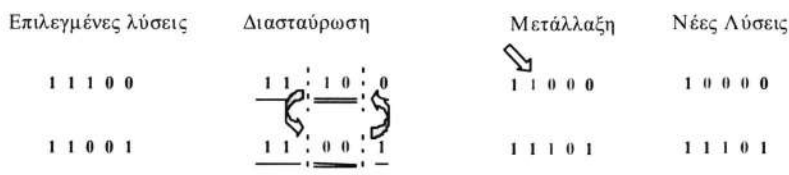
Αναπαραγωγή: Η σύγκλιση του γενετικού αλγορίθμου βασίζεται στην ιδέα ότι τα χρωμοσώματα ('άτομα' του κάθε 'πληθυσμού') με την υψηλότερη απόδοση είναι πιο πιθανό να κείνται κοντά στις βέλτιστες αξίες. Υπό την έννοια αυτή, η παραγωγή του νέου πληθυσμού θα πρέπει να βασίζεται περισσότερο στα πιο 'επιτυχημένα άτομα' (δοκιμές με καλύτερη απόδοση της αντικειμενικής συνάρτησης). Ως εκ τούτου, η διαδικασία αυτή εκτελεί την αναπαραγωγή ενός ενδιάμεσου πληθυσμού, που αναφέρεται ως γεννήτορας πληθυσμός, από τον οποίο θα παραχθεί ένας νέος, γενετικά βελτιωμένος πληθυσμός. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την αναπαραγωγή των ατόμων του γεννήτορα πληθυσμού (Goldberg 1990), (π.χ. ο *τροχός της ρουλέτας*-Roulette Wheel και η *αντιπαραθετική επιλογή*-Tournament Selection), όπου επιλέγονται οι καλύτερες λύσεις με στοχαστική αντιπαράθεση μεταξύ των μελών του πληθυσμού, έτσι ώστε οι πιθανότητες να προκριθούν στην επόμενη

διαδικασία λύσεις αυξημένης απόδοσης να είναι μεγαλύτερες (χωρίς όμως να αποκλείεται) έναντι εκείνων με χαμηλότερη απόδοση. Στη παρούσα διατριβή, έχει υιοθετηθεί η μέθοδος *αντιπαραθετικής επιλογής*. Σε αυτή τη μέθοδο, το κάθε μέλος του γεννήτορα πληθυσμού επιλέγεται μετά από σύγκρισή του μεταξύ 3 τυχαία επιλεγμένων ατόμων από τον παλαιό πληθυσμό. Η διαδικασία αυτή είναι συμβατή (αντιστοιχεί) η *Δαρβινική* αρχή της *επιβίωσης των ισχυρότερων* ατόμων (*Surviving of the Fittest*).

Διασταύρωση: Μετά την επιλογή του γεννήτορα πληθυσμού, η ανταλλαγή γενετικής πληροφορίας (Διασταύρωση) μεταξύ των ανεξάρτητων μελών πραγματοποιείται με βάση μηχανισμό που οδηγεί στην παραγωγή ενός νέου βελτιωμένου πληθυσμού. Η Διασταύρωση γίνεται με τυχαίο 'ζευγάρισμα' 'ατόμων' και ανταλλαγή τμημάτων των χρωμοσωμάτων τους, σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο ρυθμό (πιθανότητα διασταύρωσης δύο συντρόφων) και πρότυπο. Έχειδειχθεί ότι, υπό ορισμένες συνθήκες, η διαδικασία της Διασταύρωσης μπορεί να οδηγήσει σε μια καθολικά βέλτιστη λύση (Goldberg, 1989). Το ποσοστό διασταύρωσης επιλέγεται συνήθως να είναι αρκετά μεγάλο (> 50%). Η παρούσα διατριβή χρησιμοποιεί ένα ρυθμό διασταύρωσης ίσο με το 80% (κατά 80% ένα 'άτομο' θα κάνει Διασταύρωση με ένα άλλο και κατά 20 θα προκριθεί αναλλοίωτο). Τέλος, υπάρχουν πολλά πρότυπα για Διασταύρωση, όπως Διασταύρωση ενός-σημείου (single-point crossover), Διασταύρωση *n*-σημείων (*n*-point crossover) και διάσπαρτη Διασταύρωση (scattered crossover). Στη παρούσα διατριβή χρησιμοποιείται το πρότυπο διάσπαρτης διασταύρωσης, όπου τυχαία επιλεγμένα τμήματα του κάθε χρωμοσώματος ανταλλάσσονται (βλ. Σχήμα 5.2.2) επιτρέποντας την ανταλλαγή/διαβίβαση γενετικών πληροφοριών μεταξύ των 'ατόμων'.

Μετάλλαξη: Η διαδικασία/πράξη αυτή παρέχει ένα μηχανισμό για την πρόληψη των τοπικών συγκλίσεων (παγίδευση σε τοπικά βέλτιστα) μέσω της τυχαίας, τροποποίησης ορισμένων αλληλόμορφων τιμών σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο (συνήθως μικρό, <5%) ποσοστό. Στη παρούσα διατριβή έχει χρησιμοποιηθεί ένα ποσοστό μετάλλαξης ίσο με 1%.

Ελιτική τροφοδότηση: Κατά την διαδικασία αυτή, μέρος της κάθε τρέχουσας γενεάς λύσεων αποτελούνται από μέλη προηγούμενων γενεών με αυξημένη απόδοση. Με τον τρόπο αυτό ο αλγόριθμος επιχειρεί όχι μόνο την τρέχουσα εξέλιξη του πληθυσμού αλλά και την ανασκοπική.



Σχήμα 5.2.2. Σχήμα των γενετικών διαδικασιών (πράξεων) της Διασταύρωσης και Μετάλλαξης

Η παρούσα επαναληπτική διαδικασία για την επίλυση της περίπτωσης του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ ακολουθεί τα βήματα που περιγράφονται στον ακόλουθο ψευδο-κώδικα:

Βήμα 1. (Αρχικοποίηση)

Καθορισμός των παραμέτρων των γενετικών λειτουργιών και παραγωγή ενός αρχικού τυχαίου πληθυσμού των υποψηφίων εφικτών λύσεων w_i (προσθήκες σε πρακτική δυναμικότητα των συνδέσμων που αντιστοιχούν σε ΤΕ).

ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ ΕΩΣ ΤΗΝ ΣΥΓΚΛΙΣΗ:

Βήμα 2. (Γενετική Εξέλιξη)

2.1 Έλεγχος για τη συμμόρφωση στους περιορισμούς του προβλήματος και εκτίμηση της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε υποψήφια λύση.

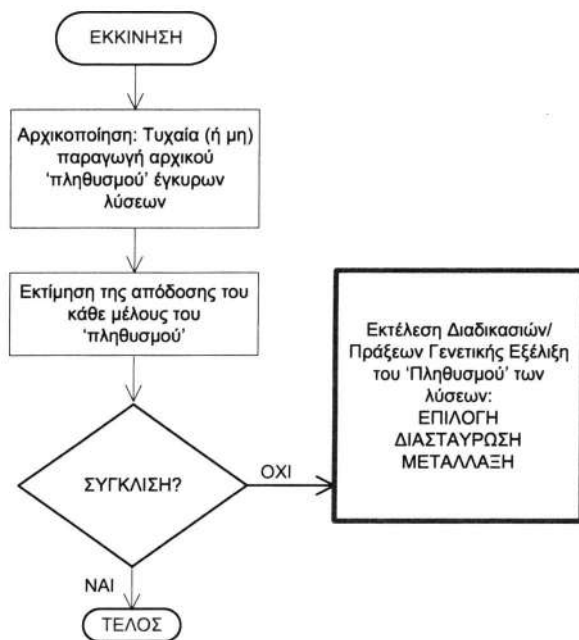
2.2 Εκτέλεση της στοχαστικής Επιλογής του συνόλου των ικανότερων λύσεων και Διασταύρωση μεταξύ τους.

2.3 Εκτέλεση Μετάλλαξης των ατόμων.

2.4 Εκτέλεση της πράξης της ελιτικής τροφοδότησης.

2.5 Παράγωγή ενός νέου πληθυσμού γενετικά βελτιωμένων υποψηφίων λύσεων.

Το διάγραμμα ροής του προτεινόμενου ΓΑ που περιγράφηκε προηγουμένα παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2.3 από όπου μπορούν να φανούν και τα σημαντικότερα αλγοριθμικά βήματα.



Σχήμα 5.2.3. Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου ΓΑ για την βελτιστοποίηση του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.

5.3 Προτεινόμενος εξελικτικός αλγόριθμος για την περίπτωση του συναλλακτικού σχεδιασμού

Κατά την περίπτωση του Συναλλακτικού Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ η διατύπωση που δόθηκε στις εξισώσεις 4.2.2-2 έως 4.2.2-12, αφορά στην επίλυση ενός προβλήματος ανυσματικής βελτιστοποίησης, δηλαδή σε ένα πρόβλημα πολυ-στοχικής βελτιστοποίησης της μορφής:

$$\max_w P = [P_1(w_1, x_1), P_2(w_2, x_2), \dots, P_i(w_i, x_i)] \quad (5.3-1)$$

υπό τους περιορισμούς που έχουν περιγραφεί στις εξισώσεις 4.2.2-3 έως 4.2.2-12. Επιπλέον, η τελική λύση δεν αφορά σε μία τιμή για κάθε μεταβλητή σχεδιασμού και για κάθε αντικειμενική συνάρτηση, αλλά σε ένα σύνολο τους (προσθήκες $w_i, \forall i \in C$). Επιπλέον, το βέλτιστο σύνολο των ανυσμάτων των αντικειμενικών συναρτήσεων, όπως περιγράφηκε στην

§ 4.2.2, αντιστοιχεί στο Σύνορο-Pareto (ΣΡ) της πολύ-στοχικής βελτιστοποίησης που επιχειρείται στην κατάσταση αυτή (Deb 2001). Για την επίλυση αυτού του τύπου του προβλήματος θα επιχειρηθεί να πραγματοποιηθεί με βάση μια υβριδική μορφή ΓΑ.

Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος αυτός ονομάζεται Γενετικός Αλγόριθμος Βασισμένος στην Απόσταση (Distance-Based Genetic Algorithm-DBGA), ο οποίος προσπαθεί να αποδώσει μια διαδικασία εκτίμησης του ΣΡ με ομοιόμορφο τρόπο, χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο μέτρο (Osyczka and Kundu 1995). Ο αλγόριθμος αυτός, σε αντίθεση με τον ΓΑ που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, διατηρεί δυο πληθυσμούς: ένα πρότυπο πληθυσμό γενετικού αλγόριθμου P_t όπου οι γενετικές λειτουργίες εκτελούνται και άλλος ένας ελιτικός πληθυσμός E_t ο οποίος περιέχει όλες τις μη-κυριαρχούμενες λύσεις (Βλ. Ορ. 4.2.2-1) που έχουν βρεθεί μέχρι την τρέχουσα γενεά.

Ο αρχικός πληθυσμός P_0 μεγέθους N δημιουργείται με τυχαίο τρόπο (όπως και σε ένα τυπικό ΓΑ). Στο πρώτο μέλος του πληθυσμού ανατίθεται μία θετική τυχαία τιμή απόδοσης F_1 (επιλεγμένη αυθαίρετα αρχικά) και προστίθεται αυτόματα στο ελιτικό σύνολο E_0 . Στη συνέχεια, σε κάθε λύση αποδίδεται μια τιμή απόδοσης βασισμένη στην απόσταση της από το ελιτικό σύνολο, $E_k = \{e^{(k)}_i, i = 1, 2, \dots, K\}$, όπου K είναι ο αριθμός των λύσεων στο ελιτικό σύνολο. Κάθε ελιτική λύση $e^{(k)}$ έχει M τιμές συνάρτησης, όσα και τα μέλη του ανύσματος που το αποτελεί, ή $e^{(k)}$. Η απόσταση της λύσης x από την ελιτική ομάδα υπολογίζεται ως εξής:

$$d^{(k)}(x) = \sqrt{\sum_{m=1}^M \left(\frac{e_m^{(k)} - f_m(x)}{e_m^{(k)}} \right)^2}. \quad (5.3-2)$$

Για την λύση x , το ελάχιστο $d^{(k)}(x)$ για όλα τα $k = 1, 2, \dots, K$ προκύπτει ως εξής:

$$d^{\min} = \min_{k=1}^K d^{(k)}(x) \quad (5.3-3)$$

και ο δείκτης k^* για την ελάχιστη απόσταση καταγράφεται επίσης. Στη συνέχεια, αν η λύση x είναι μη-κυριαρχούμενη λύση σε σχέση με το υφιστάμενο ελιτικό σύνολο, η απόδοσή της υπολογίζεται προσθέτοντας σε αυτή την απόστασή της από ελιτικό μέλος με την μικρότερη από αυτή απόσταση:

$$F(x) = F(e^{(k^*)}) + d^{\min} \quad (5.3-4)$$

Η ελιτική ομάδα εξελίσσεται γενετικά, διαγράφοντας όλες τις ελιτικές λύσεις που κυριαρχούνται από τη x ή κάποια άλλη. Από την άλλη πλευρά, αν η λύση x κυριαρχείται από κάποια άλλη ελιτική λύση, δεν γίνεται μέλος της ελιτικής ομάδας και η απόδοσή της υπολογίζεται ως εξής:

$$F(x) = \max\left[0, (F(e^{(k^*)}) - d^{\min})\right] \quad (5.3-5)$$

Με αυτόν τον τρόπο, καθώς τα μέλη πληθυσμού αξιολογούνται με βάση την απόδοσή τους, το ελιτικό σύνολο ενημερώνεται συνεχώς. Στο τέλος της κάθε γενεάς (όταν όλα τα μέλη του πληθυσμού έχουν αξιολογηθεί) υπολογίζεται η μέγιστη απόδοση $F_{\max}$ μεταξύ των υφιστάμενων ελιτικών λύσεων και σε όλες οι υπάρχουσες εκλεκτές λύσεις αποδίδεται απόδοση ίση με $F_{\max}$. Στο τέλος της κάθε γενεάς, οι πράξεις της γενετικής *Επιλογής*, *Διασταύρωσης*, *Μετάλλαξης* και *Ελιτικής Τροφοδότησης*, που περιγράφηκαν στην παράγραφο 5.2 χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία νέου πληθυσμού.

Σημειώνεται ότι μια μη-κυριαρχούμενη λύση που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το υπάρχον ελιτικό σύνολο, λαμβάνει μεγάλη τιμή απόδοσης. Αυτό βοηθά σε δύο κατευθύνσεις:

(α) εάν η νέα λύση κυριαρχεί σε λίγα μέλη του εκλεκτού συνόλου, κατά τη διαδικασία εκχώρησης τιμής της ελιτικής απόδοσης αναβαθμίζονται λύσεις πιο κοντά στο ΡΣ. Μια περισσότερο 'απομακρυσμένη' λύση, αντιστοιχεί σε μια λύση μακριά από το υφιστάμενο ελιτικό σύνολο, αλλά πιο κοντά στο ΡΣ. Αποδίδοντας μεγαλύτερη τιμή απόδοσης στη λύση αυτή γίνεται δυνατή η σύγκλιση προς το ΡΣ.

(β) εάν η νέα λύση βρίσκεται στο ίδιο μη-κυριαρχούμενο σύνολο μαζί με τις ελιτικές λύσεις, η διαδικασία ανάθεσης τιμής απόδοσης στη λύση αυτή, επιτρέπει τη διατήρηση της ποικιλομορφίας του γεννήτορα πληθυσμού. Μια απομακρυσμένη λύση αντιστοιχεί σε μια μεμονωμένη λύση στο ίδιο όριο. Δίνοντας μεγαλύτερη τιμή απόδοσης σε μια απομακρυσμένη λύση επιτρέπει τη διατήρηση της ποικιλομορφίας μεταξύ των μη-κυριαρχούμενων λύσεων. Ο ψεύδο-κώδικας που αναπαράγει τον παραπάνω αλγόριθμο είναι ο εξής:

Γενετικός Αλγόριθμος Βάσει Απόστασης (DBGA)

Βήμα 1 Δημιουργία ενός αρχικού τυχαίου πληθυσμού P_0 μεγέθους N και καθορισμός της τιμής απόδοσης της πρώτης λύσης ως F_1 . Ορισμός μετρητή γενεάς $t = 0$.

Βήμα 2 Αν $t = 0$, εισαγωγή του πρώτου στοιχείου του P_0 στο ελιτικό σύνολο $E_0 = \{l\}$. Για κάθε μέλος του πληθυσμού $j \geq 2$, για

$t=0$ και $j \geq 1$ για $t > 0$, εκτέλεση των ακόλουθων βημάτων για να καθοριστεί η τιμή απόδοσης.

Βήμα 2α Υπολογισμός της απόστασης $d^{(k)}(x)$ για κάθε επιλεγμένο μέλος k (με απόδοση $e_m^{(k)}, m=1,2,...,M$), ως εξής:

$$d_j^{(k)} = \sqrt{\sum_{m=1}^M \left(\frac{e_m^{(k)} - f_m^{(j)}}{e_m^{(k)}} \right)^2} \quad (5.3-6)$$

Βήμα 2β Προσδιορισμός της ελάχιστης απόστασης και του δείκτη του ελιτικού μέλους που βρίσκεται πλησιέστερα στη λύση j :

$$d_j^{\min} = \min_{k=1}^{|E_i|} d_j^{(k)} \quad (5.3-7)$$

$$k_j^* = \{k : d_j^{(k)} = d_j^{\min}\} \quad (5.3-8)$$

Βήμα 2γ Εάν οποιοδήποτε ελιτικό μέλος κυριαρχεί στη λύση j , η τιμή απόδοσης της j είναι:

$$F_j = \max \left[0, (F(e^{(k_j^*)}) - d^{\min}) \right] \quad (5.3-9)$$

Αλλιώς, η καταλληλότητα του j τίθεται ως:

$$F_j = F(e^{(k_j^*)}) + d^{\min} \quad (5.3-10)$$

και η j περιλαμβάνεται στο E_t καταργώντας όλα τα ελιτικά μέλη που κυριαρχούνται από τη j .

Βήμα 3 Εύρεση της μέγιστης τιμής απόδοσης όλων των ελιτικών μελών:

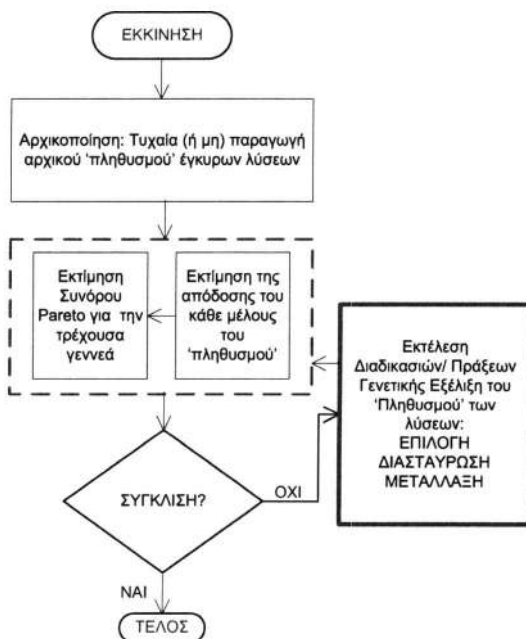
$$F_{\max} = \max_{k=1}^{|E_i|} F_i \quad (5.3-11)$$

Όλες οι ελιτικές λύσεις λαμβάνουν τιμή απόδοσης $F_{\max}$.

Βήμα 4 Εάν $t < t_{\max}$ ή οποιοδήποτε άλλο κριτήριο τερματισμού ικανοποιείται, η διαδικασία θεωρείται περαιωμένη. Διαφορετικά, μετάβαση στο Βήμα 5.

Βήμα 5 Εκτέλεση γενετικών πράξεων Επιλογής, Διασταύρωσης, Μετάλλαξης και Ελιτικής Τροφοδότησης στο P_t και δημιουργία νέου πληθυσμού P_{t+1} . Τίθεται $t=t+1$ και επιστροφή στο Βήμα 2.

Σημειώνεται ότι δεν εκτελούνται ξεχωριστές γενετικές πράξεις στον ελιτικό πληθυσμό E_t . Η τιμή απόδοσης $F_{\max}$ των ελιτικών μελών χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της καταλληλότητας των λύσεων της P_t . Το διάγραμμα ροής του υβριδικού ΓΑ που παρουσιάστηκε προηγούμενα, δίνεται στο Σχήμα 5.2.4



Σχήμα 5.3.1. Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου ΓΑ για την βελτιστοποίηση του Κεντρικού Σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.

5.4 Προτεινόμενος συν-εξελικτικός παιγνιοθεωρητικός αλγόριθμος για την περίπτωση του Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού

Στην περίπτωση του αποκεντρωμένου (ή ανταγωνιστικού) σχεδιασμού του συστήματος των ΤΕ Ε/Κ, επιχειρείται ο προσδιορισμός των βέλτιστων λύσεων ενός ανύσματος αντικειμενικών συναρτήσεων $Z = [P_1(w, x), P_2(w, x), \dots, P_l(w, x)]$, $\forall i \in P$ τέτοιος ώστε να ικανοποιεί την πολυδιάστατη συνάρτηση των μεταβαλλόμενων ανισοτήτων της μορφής:

$$P(w^*, Ah(w^*))^T (w - w^*) \geq 0, \quad \forall w \in W \quad (5.4-1)$$

υπό προαποφασισμένους περιορισμούς (εξισώσεις 4.3-1 έως 4.3-10) που αντιστοιχούν στα λειτουργικά, οικονομικά και φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι βέλτιστες στρατηγικές (προσθήκες w_i , $\forall i \in C$) σε σύνθετα προβλήματα, όπου οι πολλαπλές αποφάσεις συμμετέχουν σε ένα σύνολο συσχετισμών, όπως στην παραπάνω περίπτωση του προβλήματος ανταγωνιστικού σχεδιασμού συστημάτων, στην παρούσα διατριβή προτείνεται μια αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική βελτιστοποίησης. Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στη δομή της αυτόνομης Προσομοίωσης Ευφυών Πρακτόρων (Intelligent Autonomous Systems-IAS) ή Προσομοίωση με βάση τους Ευφυείς Πράκτορες (Agent-Based Simulation-ABS), οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση παρόμοιων καταστάσεων αποκεντρωμένης λήψης αποφάσεων όπως σε προωθημένες στρατηγικές βέλτιστου ελέγχου, σε πολύπλοκα βιολογικά συστήματα και στη δυναμική πληθυσμιακές (Weiss, 1999).

Η διαμόρφωση του πλαισίου αλληλεπίδρασης των Ευφυών Πρακτόρων (ΕΠ) εδώ, στηρίζεται στη προσομοίωση της 'συμπεριφοράς' (αποφάσεων) της κάθε ΤΕ, μέσω πληθυσμού δοκιμών που αντιστοιχούν σε αποφάσεις για επενδύσεις w_i , (υπό την έννοια που περιγράφηκε στο Κεφ. 4). Κάθε ΕΠ (ΤΕ Ε/Κ) επιχειρεί να βελτιστοποιήσει την απόδοσή του (μεγιστοποίηση κερδών του) λαμβάνοντας υπόψη (παρακολουθώντας) τη συμπεριφορά όλων των άλλων ΕΠ, και εξελίσσοντας τις αποφάσεις του με βάση γενετικές διαδικασίες. Η παρούσα εξελικτική παιγνιο-θεωρητική διατύπωση χρησιμοποιεί έννοιες της δυναμικής πληθυσμών και εκτίμησης των Εξελικτικά Σταθερών Στρατηγικών-ΕΣΣ (Evolutionary Stable Strategies-ESSs), όπως εισήχθησαν από τον Maynard Smith (1982). Οι ΕΣΣ σε

ανταγωνιστικές καταστάσεις πληθυσμών λύσεων ταυτίζεται με κάποιο κατά-Nash σημείο ισορροπίας.

Η εκτίμηση της ισορροπίας της παιγνιο-θεωρητικής διατύπωσης του ανταγωνιστικού σχεδιασμού ΤΕ που περιγράφηκε στο Κεφ. 4, επιχειρείται με τη δημιουργία μιας πλατφόρμας αμοιβαίας γενετικής εξέλιξης μεταξύ τους, ικανής να οδηγήσει σε ΕΣΣ. Ειδικότερα, η εξέλιξη των στρατηγικών των ΕΠ πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη δύο προοπτικές:

- i. Η εξέλιξη των στρατηγικών για κάθε ΕΠ ως προς τις δυνατότητές του, και
- ii. Η προσαρμογή στις στρατηγικές των άλλων υπόλοιπων ΕΠ

Επιπλέον, η εξέλιξη του πληθυσμού του κάθε ΕΠ, πραγματοποιείται με τρόπο ώστε να επιτευχθεί η προσέγγιση βέλτιστων στρατηγικών ως προς τρία κριτήρια:

- i. *Τοπική υπεροχή των λύσεων*: Η στρατηγική Α υπερέχει της Β, κατά τη σύγκριση αποδόσεων έναντι των τρεχόντων στρατηγικών των υπόλοιπων ΕΠ.
- ii. *Ιστορική υπεροχή των λύσεων*: Η στρατηγική Α υπερέχει της Β, κατά τη σύγκριση αποδόσεων έναντι όλων των στρατηγικών των υπόλοιπων ΕΠ που ανέκυψαν στο παρελθόν, δηλαδή των τρεχόντων στρατηγικών και των προγενέστερών τους.
- iii. *Καθολική υπεροχή των λύσεων*: Η στρατηγική Α υπερέχει της Β, όταν συγκρίνονται οι αποδόσεις τους έναντι όλων των πιθανών στρατηγικών, δηλαδή του συνόλου του πεδίου ορισμού.

Η εκτίμηση των ΕΣΣ που επιχειρείται να πραγματοποιηθεί στη παρούσα διατριβή αφορά στον εντοπισμό καθολικά βέλτιστων λύσεων, με την εισαγωγή ενός πρωτότυπου υβριδίου των Γενετικών Αλγόριθμων, καταλήγοντας σε έναν συν-εξελικτικό μηχανισμό (οι λεπτομέρειες των γενετικών πράξεων διατηρούνται οι ίδιοι με αυτούς που περιγράφηκαν στην § 5.2).

Ο παρών συν-εξελικτικός αλγόριθμος τροποποιείται κατάλληλα, ώστε να προτυποποιηθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων ανταγωνιστικών πρακτόρων, με βάση τους μηχανισμούς της συν-εξέλιξης όλων των ΕΠ που συμμετέχουν στο παίγνιο του ανταγωνιστικού σχεδιασμού του συστήματος των ΤΕ. Ειδικότερα, η συν-εξέλιξη των εφικτών λύσεων (άτομα) εκτελείται εγκαθιστώντας ένα 'σύνδεσμο επικοινωνίας' (communication ή monitoring link) μεταξύ των εναλλακτικών ΕΠ. Έτσι, η εξέλιξη του πληθυσμού του κάθε ΕΠ πραγματοποιείται επιτρέποντας σε αυτούς να 'παρακολουθούν' την εξέλιξη των στρατηγικών όλων των άλλων ΕΠ, και να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους σε σχέση με τη δική τους. Με την παραδοχή ότι κάθε πράκτορας είναι μη-συνεργατικός,

στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση της δικής του αντικειμενικής συνάρτησης, η κατάσταση της σύγκλισης αλγορίθμου αντιπροσωπεύει μια ΕΣΣ της συν-εξέλιξης και, συνεπώς, μια εξελικτικής ισορροπίας του παιγνίου μεταξύ τους (Maynard Smith, 1982).

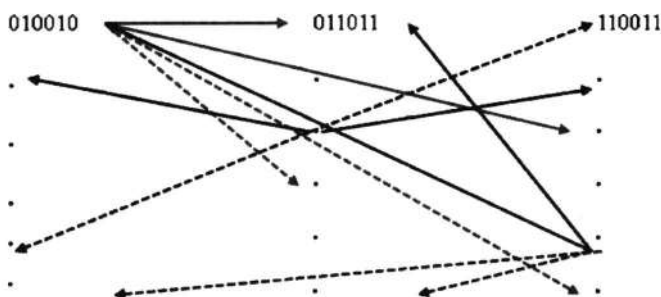
Η συν-εξέλιξη των στρατηγικών των ΕΠ που προτείνεται εδώ βασίζεται σε μια τροποποιημένη γενετική κατά τη φάση της αξιολόγησης των επιδόσεων (fitness) του κάθε 'ατόμου' του τρέχοντος πληθυσμού του κάθε ΕΠ. Η πράξη αυτή διαφέρει από εκείνη των τυπικών ΓΑ, δεδομένου ότι κάθε υποψήφια λύση έχει δοκιμαστεί έναντι ενός τυχαίου δείγματος των στρατηγικών των άλλων ΕΠ, προκειμένου να διερευνηθεί η απόδοση της σε σχέση με πιθανές αντιδράσεις των άλλων ΕΠ⁷ (βλ. Σχήμα 5.3.1).

Η ιδέα της εγκαθίδρυσης επικοινωνίας στους εξελικτικούς αλγορίθμους έχει χρησιμοποιηθεί από τον Hillis (1990) σε μια προσπάθεια να παραλληλίσει μια υπολογιστική διαδικασία, προκειμένου να βελτιωθεί ο χρόνος σύγκλισης. Παρόμοιες εφαρμογές έχουν παρουσιαστεί από τους Rossin and Belew (1997), De Jong and Pollack (2004) και Bongard and Lipson (2009), ενώ κριτική βιβλιογραφική ανασκόπηση συν-εξελικτικών αλγορίθμων παρουσιάζεται από τον Miconi (2009). Σε αυτές τις εφαρμογές όμως δεν έχουν υιοθετηθεί ανταγωνιστικές στρατηγικές μεταξύ των διαφόρων μελών του εξελισσόμενου συστήματος, αλλά συνεργατικές. Ο Axelrod (1984 & 1997) χρησιμοποίησε εξελικτικές διαδικασίες για τη προτυποποίηση τόσο συνεργατικών όσο και ανταγωνιστικών στρατηγικών, αλλά οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξηγηματική ανάλυση τέτοιων καταστάσεων και όχι εντός ενός πλαισίου βελτιστοποίησης. Επίσης, κάποιες εφαρμογές/χρήσεις προσεγγίσεων βασιζόμενες σε ΕΠ στις μεταφορές και την εφοδιαστική έχουν παρουσιαστεί από τους Davidsson et al. (2005) Lu and Wang 2008 και Fernandez and Ossowski (2009), αναδεικνύοντας το κενό στην εισαγωγή στοιχείων ανταγωνισμού, ενώ επισημαίνεται ότι συγκεκριμένη υπολογιστική αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται κυρίως για την κατανομή της υπολογιστικής προσπάθειας.

Η τροποποίηση που έχει εισαχθεί στην προτεινόμενη εξελικτική παιγνιοθεωρητική πλατφόρμα, αφορά στην συν-εξελικτική φάση, κατά την οποία αξιολογείται η απόδοση του κάθε 'ατόμου' του 'πληθυσμού' του κάθε ΕΠ. Συγκεκριμένα, μεταξύ εναλλακτικών μεθόδων συν-εκτίμησης της απόδοσης της κάθε λύσης (Yo and de Jong 2007) η απόδοση του κάθε

⁷ Σημειώνεται ότι ένας τέτοιος συν-εξελικτικός αλγόριθμος που προτυποποιεί την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών ανταγωνιστικών ΕΠ, μετατρέπει την εξελικτική διαδικασία των τυπικών ΓΑ (που βασίζεται στους Δαρβινικούς νόμους της αυτό-εξέλιξης) στην έννοια της *'Κοίρας των Εξοπλισμών'* (ή *'Μάχη των Γενεών'* - Arms Race) όπως εισήχθησαν υπό των Dawkins και Krebs (1979), όπου 'ξενιστές' και 'παράσιτα' (εναλλακτικοί ανταγωνιστικοί συν-εξελικτικοί 'οργανισμοί'/ΕΠ) στοχεύουν στη σταδιακή (εξελικτική) βέλτιστη υπερίσχυση των προκλήσεων (και αντιδράσεων) που τίθενται από όλους τους συμμετέχοντες σε κάθε 'γενεά' επιζώντων λύσεων (Wallace and Wilson 1978 και Vermeij 1994).

‘ατόμου’ λαμβάνεται ως ο μέσος όρος των αποδόσεων από ένα τυχαίο δείγμα στρατηγικών από πληθυσμούς των υπόλοιπων ΕΠ (Σχήμα 5.4.1). Κατά την περίπτωση της σύγκλισης, οι στρατηγικές που έχουν επιλεγεί αποτελούν την βέλτιστη αντίδραση κάθε ΕΠ έναντι των διαθέσιμων στρατηγικών των υπολοίπων ΕΠ, ιδιότητα που εξ ορισμού συμπίπτει με το σημείο της κατά Nash ισορροπίας.



Σχήμα 5.4.1. Διαδικασία εκτίμησης της απόδοσης των μελών πληθυσμού λύσεων για κάθε ΕΠ.

Για παράδειγμα, ας υποθεθεί η περίπτωση κατά την οποία 3 ΕΠ βρίσκονται σε ανταγωνισμό χρησιμοποιώντας ένα πληθυσμό των 100 ‘ατόμων’. Κατά τη φάση της αξιολόγησης, η απόδοση του κάθε επιμέρους ‘ατόμου’ (η οποία υπενθυμίζεται ότι εκτιμάται μέσω του υπολογισμού του SUE) λαμβάνεται ότι είναι ο μέσος όρος ενός τυχαία επιλεγμένου δείγματος (έστω 20%) από τους ‘πληθυσμούς’ στρατηγικών των υπόλοιπων ΕΠ. Αυτό οδηγεί σε $20 \times 20 = 400$ αξιολογήσεις/‘άτομο’/πράκτορα και για όλους τους πράκτορες $3 \times 100 \times 400 = 12000$ αξιολογήσεις/γενεά, (διαδικασία που καταλήγει σε αυξημένο υπολογιστικό φόρτο). Χρησιμοποιώντας αυτό το συν-εξελικτικό πρότυπο, διαμορφώνεται ένα πλαίσιο εξέλιξης πληθυσμών λύσεων (στρατηγικών επενδύσεων) με βάση την εξελικτική παιγνιο-θεωρητική διατύπωση των ανταγωνιστικών ΕΠ. Το σημείο σύγκλισης του κάθε ΕΠ είναι εκείνο κατά το οποίο τα ‘άτομα’ που αποτελούν τους πληθυσμούς έχουν (προτείνουν) τιμές βέλτιστες ως προς τις στρατηγικές που περιλαμβάνουν οι ‘πληθυσμοί’ των υπολοίπων ΕΠ, δηλαδή στο ΕΣΣ.

Ο ψευδο-κώδικας που υλοποιεί τον παραπάνω συν-εξελικτικό αλγόριθμο είναι ο εξής:

Βήμα 1. (Αρχικοποίηση)

Καθορισμός των παραμέτρων των γενετικών λειτουργιών και παραγωγή αρχικών τυχαίων πληθυσμών των υποψήφιων εφικτών

λύσεων w_i (προσθήκες σε πρακτική δυναμικότητα των συνδέσμων που αντιστοιχούν σε Τ.Ε. για κάθε ΕΠ.

ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ ΕΩΣ ΤΗΝ ΣΥΓΚΛΙΣΗ:

Βήμα 2. (Γενετική Συν-Εξέλιξη)

2.1 Έλεγχος για τη συμμόρφωση στους περιορισμούς του προβλήματος και εκτίμηση της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε υποψηφία λύση.

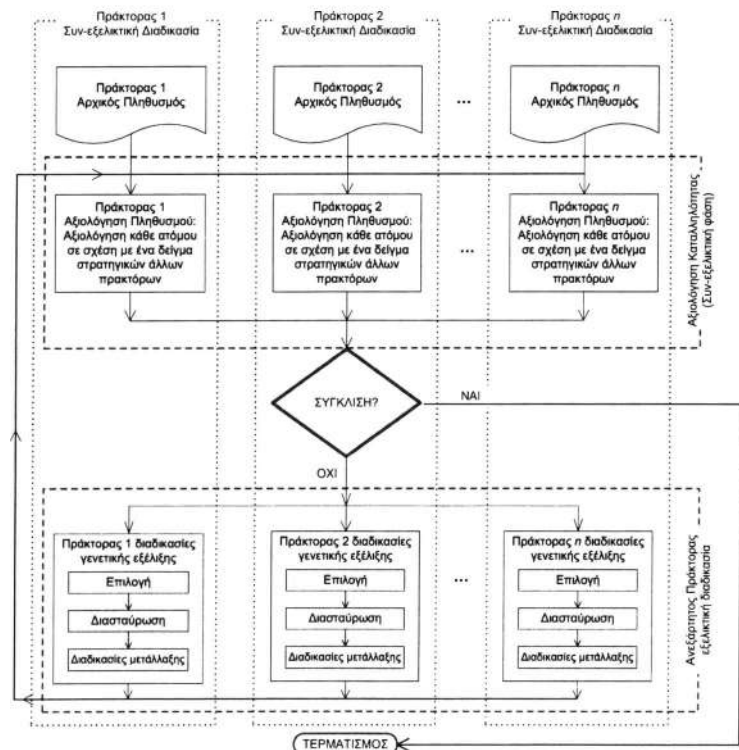
Βήμα 3. (Γενετικές Πράξεις για κάθε πληθυσμό των ΕΠ.

3.1 Εκτέλεση της στοχαστικής Επιλογής του συνόλου των ικανότερων λύσεων και Διασταύρωση μεταξύ τους.

3.2 Εκτέλεση Μετάλλαξης των ατόμων.

3.3 Εκτέλεση της πράξης της ελιτικής τροφοδότησης

3.4 Παράγωγή ενός νέου πληθυσμού γενετικά βελτιωμένων υποψηφίων λύσεων.



Σχήμα 5.4.2. Διάγραμμα ροής συν-εξελικτικού αλγόριθμου.

Σημειώνεται ότι, οι πράξεις της γενετικής εξέλιξης μεταξύ των μελών των πληθυσμών των λύσεων εξασφαλίζουν ότι επιχειρείται η στοχαστική διερεύνηση του πεδίου τιμών των προς βελτιστοποίηση ΕΠ (δηλαδή αντικειμενικών συναρτήσεων απόδοσης των ΤΕ), στοχεύοντας στην προσέγγιση του καθολικού βέλτιστου. Όμως, όπως σε κάθε ευρετική διαδικασία βελτιστοποίησης, οι λύσεις που προκύπτουν μόνο στοχαστικά μπορεί να τεκμηριωθεί η ποιότητά τους. Το διάγραμμα ροής της συν-εξελικτικής πλατφόρμας γενετικής βελτιστοποίησης με βάση ΕΠ που παρουσιάστηκε προηγούμενα, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4.2.

Όπως έχει ήδη ανακύψει από προηγούμενα, ο υπολογιστικός φόρτος του προτεινόμενου συν-εξελικτικού αλγόριθμου είναι αυξημένος σε σχέση με αυτόν των τυπικών ΓΑ. Για την διευκόλυνση της εφαρμογής του προτεινόμενου αλγόριθμου σε προβλήματα ρεαλιστικού μεγέθους (όπου η κάθε εκτίμηση της απόδοσης της κάθε εφικτής στρατηγικής απαιτεί σημαντικό χρόνο), είναι επιθυμητή η υλοποίηση του αλγόριθμου εντός πλαισίου καταμερισμού του υπολογιστικού φορτίου. Ο τρόπος και το σημείο στο οποίο μπορεί να γίνει χρήση τεχνικών κατανομής του υπολογιστικού φόρτου, παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο.

5.4.1 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική κατανομής του υπολογιστικού φόρτου για τον συν-εξελικτικό αλγόριθμο

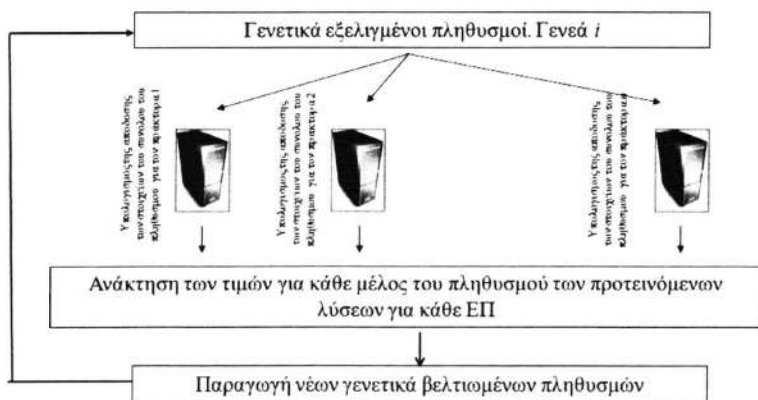
Ο προτεινόμενος συν-εξελικτικός αλγόριθμος που παρουσιάστηκε προηγούμενα, αφορά σε μια διαδικασία που απαιτεί έντονη υπολογιστική προσπάθεια. Συγκεκριμένα, ο αριθμός των εκτιμήσεων της απόδοσης του κάθε μέλους του πληθυσμού των εφικτών λύσεων για κάθε ΤΕ (η οποία αφορά στην εκτίμηση του SUE για κάθε προτεινόμενη στρατηγική ανάπτυξης $w_i, \forall i \in C$), αυξάνει με πολλαπλασιαστικό ρυθμό όσο αυξάνει ο αριθμός των ΤΕ που περιλαμβάνει η ανάλυση και όσο αυξάνει το τυχαίο δείγμα από τις στρατηγικές των ΕΠ έναντι του οποίου δοκιμάζεται η κάθε στρατηγική των ΕΠ. Για τον λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η ανάπτυξη του προτεινόμενου αλγόριθμου και η κωδικοποίησή του να πραγματοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεσή του σε τεχνολογικό περιβάλλον καταμερισμού του υπολογιστικού φόρτου.

Οι αλγόριθμοι που στηρίζονται σε εκτεταμένο αριθμό επιλεγμένων δοκιμών της/των αντικειμενικής/ών συνάρτησης/συναρτήσεων, όπως είναι οι ευρετικοί αλγόριθμοι, εκ του γεγονότος ότι οι δοκιμές μπορούν να εκτελεστούν με ανεξάρτητο ή μία από την άλλη τρόπο, δίνουν την δυνατότητα να εκτελεστούν σε περιβάλλον υπολογιστικού καταμερισμένου. Η γενική ιδέα βασίζεται στην κατάτμηση του συνόλου των ανεξάρτητων δοκιμών σε (περίπου ίσα) μέλη και στην εκτέλεσή τους. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αξιολογούνται μέσω του

μηχανισμού του κάθε αλγόριθμου και στη συνέχεια οι παραχθείσες νέες δοκιμές να εκτελεστούν με τον ίδιο καταμερισμένο τρόπο. Ειδικότερα, στους μηχανισμούς βελτιστοποίησης με βάση γενετικές εξελικτικές διαδικασίες ο καταμερισμός του υπολογιστικού φόρτου πραγματοποιείται τυπικά στη διαδικασία εκτίμησης της απόδοσης του κάθε μέλους του πληθυσμού των εφικτών λύσεων, με την κατάτμηση (σε κάθε 'γενεά' λύσεων) του πληθυσμού σε μικρότερα υπο-σύνολα και την εκτέλεση των υπο-συνόλων των δοκιμών από ανεξάρτητο επεξεργαστή. Η διαδικασία αυτή απαιτεί τον 'σύγχρονισμό' του αλγόριθμου κατά την φάση των γενετικών πράξεων ενώ οι δοκιμές του κάθε υπο-συνόλου μπορούν να πραγματοποιούνται σε ασύγχρονο παράλληλο περιβάλλον επεξεργασίας. Η αρχιτεκτονική αυτή χαρακτηρίζεται ως σύγχρονος/ασύγχρονος, παράλληλος υπολογιστικός καταμερισμός (Bertsekas and Tsitsiklis 1997).

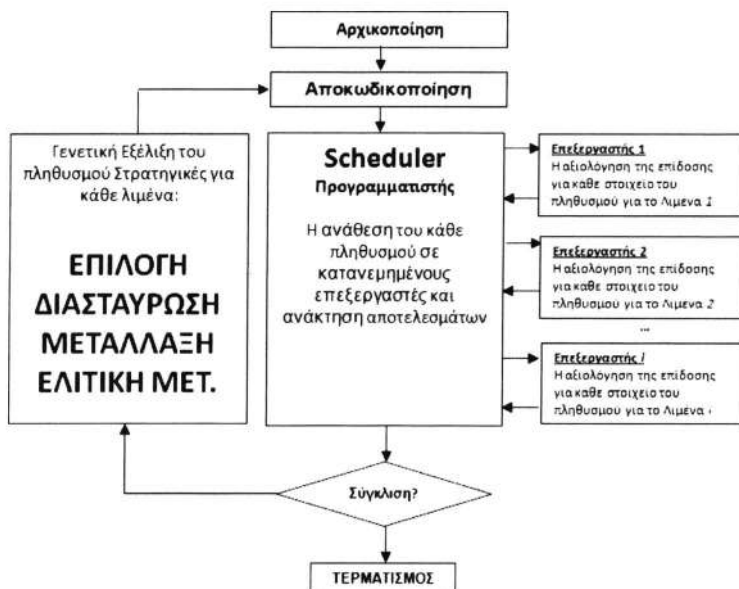
Εκ του γεγονότος ότι στον συν-εξελικτικό αλγόριθμο οι πληθυσμοί των λύσεων είναι πεπλεγμένοι μεταξύ τους (βλ. §5.4), δεν είναι δυνατή η υλοποίηση του παραπάνω σχήματος καταμερισμού του υπολογιστικού φόρτου με τον ίδιο τρόπο. Η τροποποίηση που προτείνεται στην παρούσα διατριβή αφορά στην εισαγωγή ενός ακόμη επιπέδου παράλληλης επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, προτείνονται δύο στάδια (Σχήμα 5.4.1.1):

- i. Στο πρώτο στάδιο προτείνεται η απόδοση σε ανεξάρτητο επεξεργαστή της εκτέλεσης των υπολογισμών του πληθυσμού του κάθε πληθυσμού του κάθε ΕΠ, με βάση την σύγχρονη/ασύγχρονη υπολογιστική αρχιτεκτονική και
- ii. Η (τυπική) παράλληλη σύγχρονη/ασύγχρονη παράλληλη επεξεργασία των μελών του πληθυσμού του κάθε ΕΠ.



Σχήμα 5.4.1.1. Διάγραμμα ροής προτεινόμενης αρχιτεκτονικής παράλληλης επεξεργασίας του συν-εξελικτικού αλγόριθμου.

Η σύνταξη του κώδικα παράλληλου προγραμματισμού που έχει χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διατριβή έχει υλοποιηθεί στην αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού του MATLAB™ και συγκεκριμένα στον προγραμματιστή (scheduler) του πακέτου Parallel and Distributed Computing Toolbox. Ειδικότερα, η κωδικοποίηση των δοκιμών για τον κάθε ΕΠ, έχει γίνει με την συνάρτηση *parfor*, κατά την οποία ένας τυπικός *for* επαναληπτικός βρόγχος, αποσυντίθεται σε i τμήματα και κατανέμεται στους i διαθέσιμους ανεξάρτητους επεξεργαστές της υπολογιστικής υποδομής. Η σύνταξη του κώδικα και η εκτέλεσή του υλοποιεί την διαδικασία που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4.1.2.



Σχήμα 5.4.1.2. Διάγραμμα ροής καταμερισμού του υπολογιστικού φόρτου για τον συν-εξελικτικό αλγόριθμο.

Κεφάλαιο 6

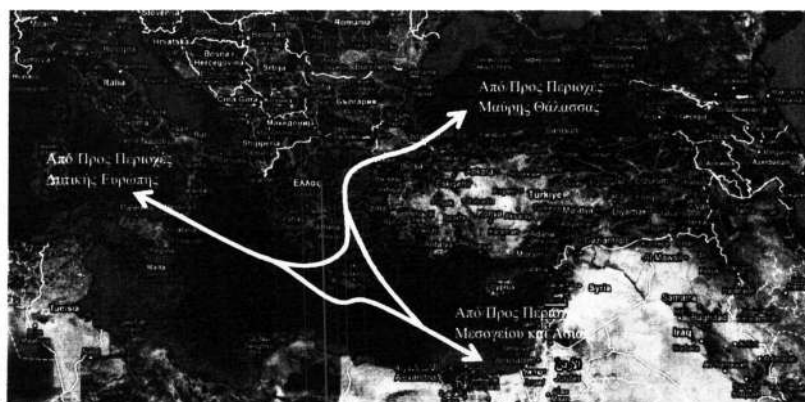
Υπολογιστικά παραδείγματα

6.1 Περιγραφή του δειγματικού χώρου. Υποθέσεις και ιδιαιτερότητες.

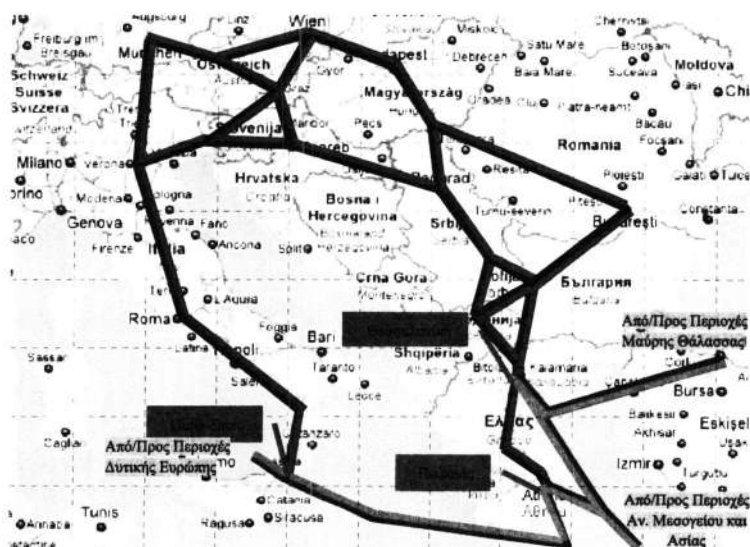
Η εφαρμογή του αναλυτικού πλαισίου που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια θα εφαρμοστεί σε κατάλληλα επιλεγμένο δειγματικό χώρο, έτσι ώστε να προκύψουν ποσοτικά αποτελέσματα και να αναδειχθούν οι διαφορές στις εναλλακτικές αρχιτεκτονικές σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ.

Ο δειγματικός χώρος αποτελείται από ένα τμήμα του συστήματος εξυπηρέτησης εμπορευματικών ροών μοναδοποιημένων φορτίων της νοτιο-ανατολικής Μεσογείου, περιοχή στην οποία εμφανίζονται φαινόμενα αυξημένου ανταγωνισμού (Ballis and Stathopoulos 2007). Η περιοχή αυτή (Σχήμα 6.1.1) βρίσκεται στην τομή κλασσικών ναυτιλιακών διαδρομών, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για να εξυπηρετήσουν τις ροές από και προς περιοχές γένεσης και προσέλευσης εμπορευματικών φορτίων όπως είναι η κεντρική Ευρώπη, η ανατολική Μεσόγειος, η Ασία, οι χώρες της Βαλκανικής και της Μαύρης Θάλασσας.

Συγκεκριμένα, στην επιλεγείσα περιοχή μελέτης έχουν αναλυθεί τα παίγνια που αφορούν στον βέλτιστο σχεδιασμό ανάπτυξης των ΤΕ Ε/Κ των λιμένων του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης από την περιοχή της Ελλάδας και του Γιοία Ταυρο στην περιοχή της Ιταλίας (Σχήμα 6.1.2). Επιπλέον, οι περιοχές προέλευσης και προορισμού έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να αντιστοιχούν στις κυριότερες περιοχές οικονομικής δραστηριότητας που εξυπηρετούν φορτία Ε/Κ μέσω των παραπάνω λιμενικών ΤΕ Ε/Κ.



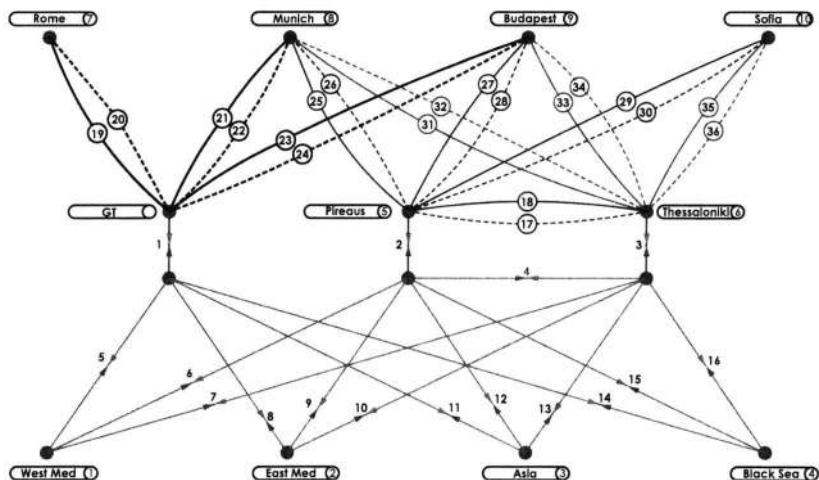
Σχήμα 6.1.1. Μακροσκοπική απεικόνιση του δειγματικού χώρου (Πηγή: Google Maps)



Σχήμα 6.1.2. Περιγραφή του κωδικοποιημένου δικτύου δειγματικού χώρου (Υπόβαθρο από Google Maps)

Το σύνολο του δικτύου των χερσαίων μέσων εξυπηρέτησης αποτελείται από δύο είδη μεταφοράς: το σιδηροδρομικό και το οδικό υπο-δίκτυο (κόκκινες και μωβ σύνδεσμοι στο Σχήμα 6.1.2) στα οποία δεν λαμβάνεται υπόψη καθυστέρηση λόγω συμφόρησης (Βλ. § 3.2.2), αλλά λαμβάνεται σταθερή ταχύτητα συνδέσμων ίση με 70Km/ώρα. Το ίδιο συμβαίνει και για το υπο-δίκτυο των θαλάσσιων μεταφορών (μπλε και γαλάζιοι σύνδεσμοι), οι οποίοι

έχουν επίσης σταθερή ταχύτητα συνδέσεων ίση με 30Km/ώρα (περίπου 20 knots/ώρα). Οι μόνιμοι σύνδεσμοι στους οποίους λαμβάνεται υπόψη καθυστέρηση λόγω συμφόρησης είναι οι σύνδεσμοι των TE. Η ιδιαιτερότητα αυτή, οδηγεί στο γεγονός ότι όλη η αλληλεπίδραση μεταξύ των χρηστών του συστήματος των TE να πραγματοποιείται στους συνδέσμους αυτούς, αναδεικνύοντας το ρόλο τους στην λειτουργία του συνολικού συστήματος εξυπηρέτησης των εμπορευματικών φορτίων μιας περιοχής. Συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία επιλογής διαδρομής (και συνεπώς φόρτισης) από τους χρήστες (ειδικά στο σύστημα που διερευνάται εδώ) ανακύπτει ο ισομορφισμός που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1.3. Όπως είναι φανερό, κάθε εναλλακτική διαδρομή διέρχεται μέσω διαφορετικής TE, η απόδοση του συνδέσμου της οποίας περιέχει και συνιστώσα καθυστέρησης (σημείο στο οποίο ανακύπτει η αλληλεπίδραση των χρηστών).

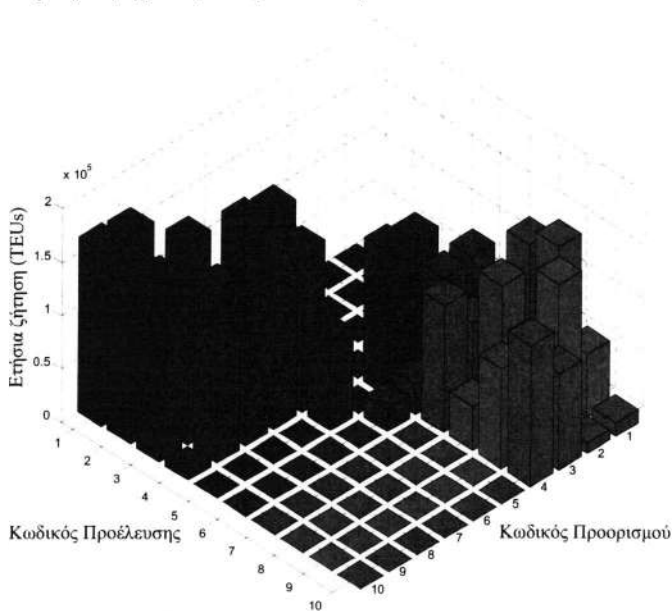


Σχήμα 6.1.3. Ισομορφισμός κωδικοποιημένου δικτύου δειγματικού χώρου

Τα χαρακτηριστικά του δικτύου που αποδίδει το πρότυπο λειτουργίας του συστήματος εξυπηρέτησης της περιοχής μελέτης αποτελείται από 36 συνδέσμους και 14 κόμβους εκ των οποίων 10 είναι σημεία προέλευσης και προορισμού φορτίου Ε/Κ. Η συνάρτηση απόδοσης των συνδέσεων των TE (Βλ. 3.2.1) έχει επιλεγεί να είναι η εξής:

$$cc_a(x_a) = \begin{cases} \omega_1 \exp\left(\omega_2 \frac{x_a}{Y_a}\right), \forall a \in P & (6.1-1a) \\ 0, \forall a \notin P & (6.1-1b) \end{cases}$$

με συντελεστές $\omega_1 = 0.0002$ και $\omega_2 = 15$. Η συνάρτηση αυτή αντιστοιχεί στην απόδοση ενός τυπικού συστήματος εξυπηρέτησης λιμενικών εγκαταστάσεων. Συγκεκριμένα η συνάρτηση αυτή έχει βαθμονομηθεί με βάση ένα σύστημα εξυπηρέτησης από ένα πρότυπο 'ουράς' $E_4 / E_2 / 1$, όπου E_4 και E_2 αντιστοιχούν στο ρυθμό αφίξεων και εξυπηρέτησεων σε ένα σύστημα μοναδικού εξυπηρετητή, οι οποίοι έχουν ληφθεί ως τυχαίοι αριθμοί ακολουθώντας τη κατανομή Erlang (με σταθερές μορφής 4 και 2 αντίστοιχα). Η μορφή αυτή του προτύπου ουρών είναι τυπική όταν αναλύεται (σε στρατηγικό επίπεδο) η απόδοση ενός σταθμού εξυπηρέτησης Ε/Κ (Stathopoulos 1979).



Σχήμα 6.1.4. Ζήτηση μεταξύ σημείων προέλευσης-προορισμού για τον δειγματικό χώρο (η αρίθμηση αντιστοιχεί σε αυτή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1.3)

Η ζήτηση μεταξύ των σημείων αυτών αποδίδεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 6.1.4), και αντιπροσωπεύει τις συνθήκες λειτουργίας του έτους 2006 για τις ΤΕ που περιλαμβάνει ο δειγματικός χώρος.

Σε ό,τι αφορά στα χαρακτηριστικά των ΤΕ αυτά συνοψίζονται στον Πίνακα 6.1.1.

Πίνακας 6.1.1. Χαρακτηριστικά συστήματος ΤΕ του δειγματικού χώρου

	Πειραιάς	Θεσσαλονίκη	Gioia Tauro
Υφιστάμενη δυναμικότητα (ΤΕU/έτος)	4.000.000	2.000.000	700.000
Χρέωση εξυπηρέτησης (Ε/ΤΕU)	100	100	100
Διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι (Ε/έτος)	100.000.000	100.000.000	100.000.000
Φυσική δυνατότητα ανάπτυξης (ΤΕU/έτος)	1.500.000	1.500.000	1.500.000

Μετά την παρουσίαση των χαρακτηριστικών σταθερών του συστήματος που αναλύεται στην παρούσα διατριβή, στις ακόλουθες παραγράφους θα γίνει η αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων για κάθε είδος σχεδιασμού όπως αυτοί κατατάχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

6.2 Αποτελέσματα κεντρικού σχεδιασμού

6.2.1 Αποτελέσματα κεντρικού συνεργατικού σχεδιασμού

Ο συνεργατικός κεντρικός σχεδιασμός του υπό ανάλυση συστήματος των ΤΕ υπενθυμίζεται ότι αφορά στην ελαχιστοποίηση του συντελεστή του κοινωνικού κόστους που εδώ αποτελείται από το συνολικό κόστος της συμμόρφωσης στο σύστημα των ΤΕ και του κόστους των επενδύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τους λειτουργικούς, φυσικούς και οικονομικούς περιορισμούς που τέθηκαν (και που δεν θα επαναληφθούν στο σημείο αυτό) στο 4^ο Κεφάλαιο, ήτοι:

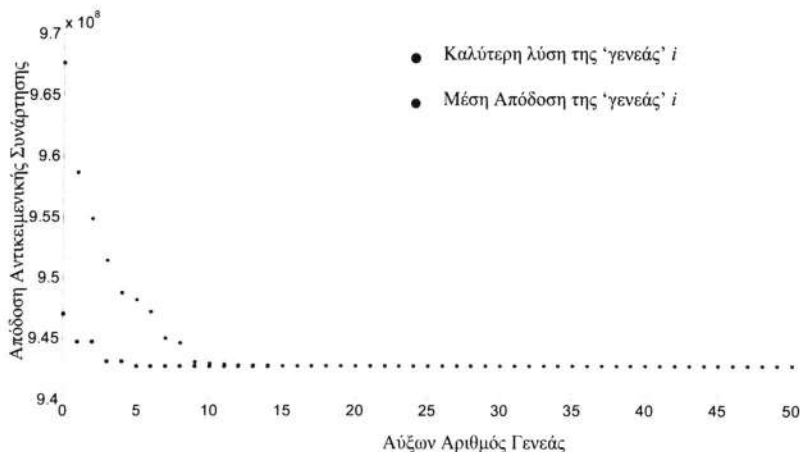
$$\min_w P = \sum_i P_i(w_i, x_i) \quad (6.2.1-1)$$

όπου $P_i = x_a c c_a(x_a) + \lambda_i w_i$, $\forall i \in P$ x_a ο φόρτος της κάθε ΤΕ σε ΤΕUs/έτος και λ_i κατάλληλα επιλεγμένη σταθερά μετατροπής των προσθηκών w_i ΤΕUs/έτος σε χρηματικές μονάδες. Το παίγνιο που αντιστοιχεί στο πρόβλημα αυτό αφορά στην ελαχιστοποίηση μιας μοναδικής αθροιστικής συνάρτησης και έχει επιχειρηθεί να επιλυθεί με ΓΑ με τα χαρακτηριστικά που δίνονται στον Πίνακα 6.2.1.1.

Πίνακας 6.2.1.1. Επιλεγέντα χαρακτηριστικά 'γενετικών' διαδικασιών

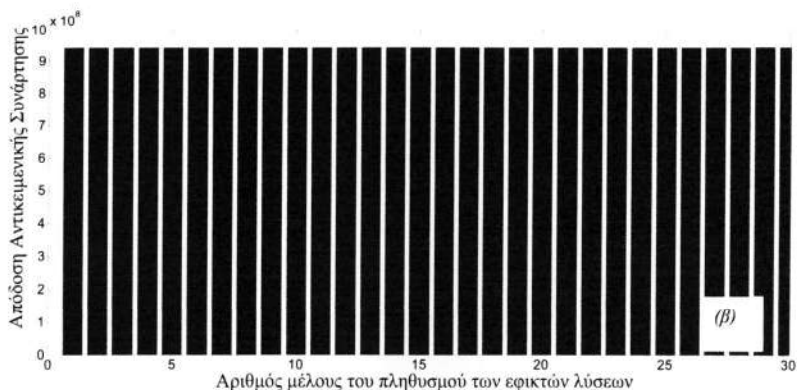
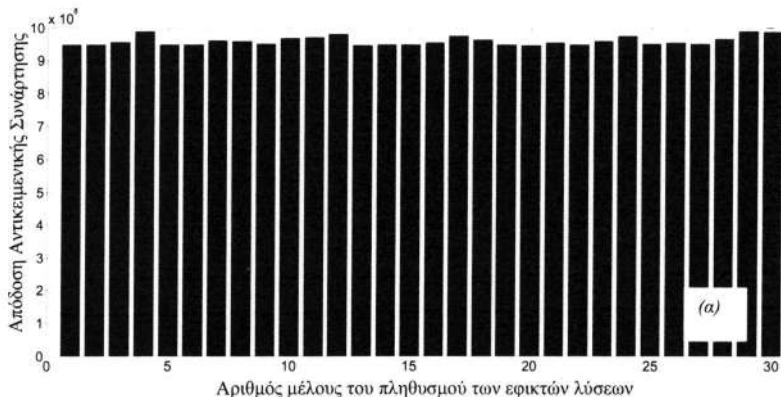
Γενετική Σταθερά	Χαρακτηριστική τιμή
Πληθυσμός	30 'Άτομα'
Αρχικοποίηση	Τυχαίος πληθυσμός
Επιλογή	Δοκιμές μεταξύ 3 υποψηφίων λύσεων
Διασταύρωση	80% (<i>n</i> -σημείων)
Μετάλλαξη	5%
Ελιτική Τροφοδότηση	10%
Κριτήριο Τερματισμού	50 Γενεές ή 20 Γενεές χωρίς πρόοδο περισσότερο από 0.1%

Ο ΓΑ με τα παραπάνω χαρακτηριστικά κρίνεται αποτελεσματικός για τον προσδιορισμό του κατά Nash σημείου ισορροπίας του παιγνίου Stackelberg μεταξύ 'Ηγέτορος' (κεντρικού διαχειριστή του συστήματος των ΤΕ) και 'Ακολούθων' (χρηστών του συστήματος) εφόσον φαίνεται ότι ο αλγόριθμος συγκλίνει από τις πρώτες κιόλας γενεές λύσεων. Στο Σχήμα 6.2.1.1. παρουσιάζεται η εξέλιξη της διαδικασίας διερεύνησης του πεδίου ορισμού του προβλήματος. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι τιμές του καλύτερου 'ατόμου' (εφικτής λύσης) καθώς και η μέση απόδοση του κάθε πληθυσμού των εφικτών λύσεων που δοκιμάζονται από τον αλγόριθμο για μια αντιπροσωπευτική δοκιμή.

**Σχήμα 6.2.1.1.** Διαδικασία εκτίμησης της ΕΣΣ

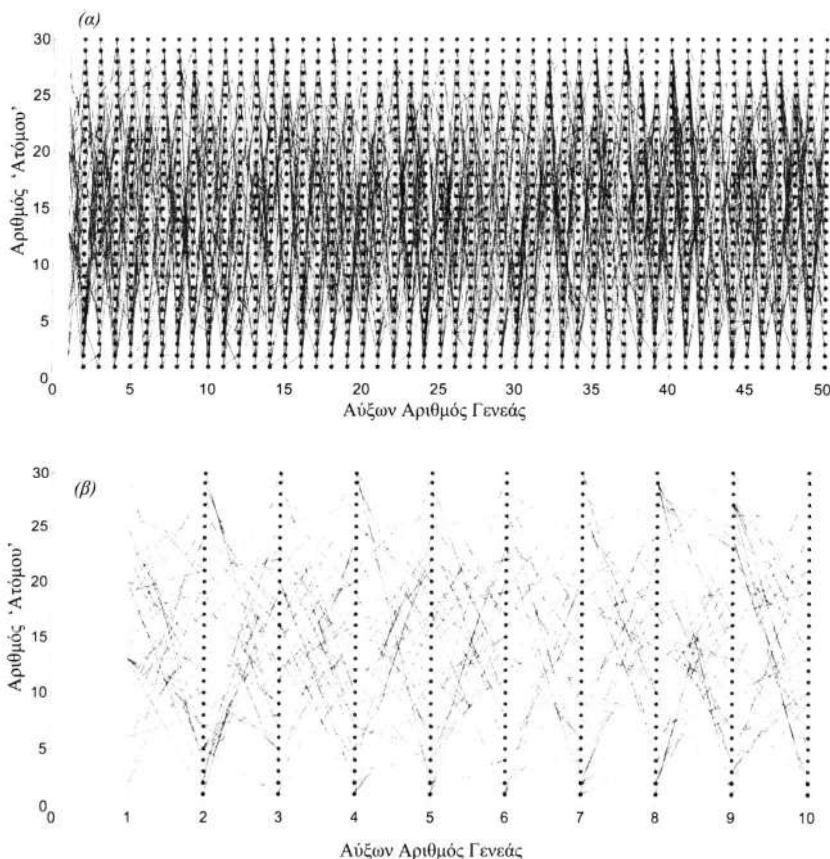
Γίνεται φανερό από το σχήμα αυτό επίσης ότι έχουν δοκιμαστεί λύσεις από ένα σύνολο διαφορετικών λύσεων, εφόσον η μέση απόδοση αρχικά είναι χαμηλής απόδοσης γεγονός που ερμηνεύεται από την διερεύνηση ενός αρχικού συνόλου εφικτών λύσεων με διασπορά. Μετά την δέκατη γενεά λύσεων όμως φαίνεται ότι ο αλγόριθμος έχει εξαντλήσει την διερευνητική του δυνατότητα, συγκλίνοντας πλέον σε μια ΕΣΣ του υπό διερεύνηση παιγνίου, ενώ ο χρόνος σύγκλισης είναι σύντομος (περίπου 30 δεπτ. σε υπολογιστική υποδομή Core™ 2 Quad CPU, 2.4 GHz, 8 GB RAM).

Η διαδικασία σύγκλισης και ο έλεγχος της διερευνητικής προσπάθειας που πραγματοποιήσε ο αλγόριθμος παρουσιάζεται και από τα διαγράμματα στο Σχήμα 6.2.1.2.(α) και (β). Στο Σχήμα αυτό φαίνεται ότι στη γενεά Νο 5 οι λύσεις που αποτελούν τον πληθυσμό της γενεάς έχουν διακύμανση στην απόδοσή τους, γεγονός που φανερώνει την διερευνητική προσπάθεια του αλγόριθμου. Στη συνέχεια, στη γενεά λύσεων Νο 50 φαίνεται ότι έχει προσδιοριστεί η ΕΣΣ, εφόσον όλα τα μέλη του πληθυσμού των εφικτών λύσεων έχουν πρακτικά την ίδια τιμή.



Σχήμα 6.2.1.2. Απόδοση 'ατόμων' του πληθυσμού των εφικτών λύσεων για την γενεά Νο 5
(α) και 50 (β)

Επιπλέον, ο έλεγχος ότι η διαδικασία προσέγγισης του σημείου της ΕΣΣ έχει τα στοχαστικά χαρακτηριστικά που έχουν περιγραφεί προηγούμενα (και δεν έχει υπάρξει κάποια παρέκκλιση προς εξεζητημένες λύσεις-γεγονός που είναι πιθανό στους ΓΑ), γίνεται με την εξέταση του γενεαλογικού διαγράμματος της εξέλιξης του αλγόριθμου. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 6.2.1.3. παρουσιάζεται ο τρόπος που οι γενετικές πράξεις της επιλογής, διασταύρωσης και μετάλλαξης ακολουθούν τυχαίο πρότυπο. Στον άξονα των Υ παρουσιάζονται τα μέλη ('άτομα') του πληθυσμού και στον Χ ο αριθμός της γενεάς. Με μπλε γραμμές αποδίδονται τα άτομα που έχουν υποστεί διασταύρωση, με κόκκινες τα 'άτομα' που έχουν επιλεγεί αλλά δεν έχουν διασταυρωθεί με άλλα, ενώ με μαύρες γραμμές τα 'άτομα' που έχουν υποστεί και μετάλλαξη.



Σχήμα 6.2.1.3. Εξέλιξη γενετικών διαδικασιών (α) για όλες τις γενεές και (β) για τις 10 πρώτες.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.2.1.3.(α) το πρότυπο των γενετικών πράξεων είναι τυχαίο καθ' όλη τη εξελικτική διαδικασία (με περισσότερη λεπτομέρεια αυτό πιστοποιείται στο Σχήμα 6.2.1.3.(β) όπου παρουσιάζεται σε μεγέθυνση η εξέλιξη για τις 10 πρώτες γενεές).

Σε ότι αφορά στα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος για τον επιλεγέντα δειγματικό χώρο, αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.1.2. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα αφορούν στα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος και αντιπαραβάλλονται ως προς το βασικό σενάριο, το οποίο εδώ έχει επιλεγεί να είναι η κατάσταση χωρίς επενδύσεις.

Πίνακας 6.2.1.2. Αποτελέσματα Σχεδιασμού

Στρατηγική	Gioia Tauro	Τερματικές Εγκαταστάσεις Πειραιάς	Θεσ/νίκη	Σύνολο
Βασικό Σενάριο (χωρίς επενδύσεις)				
Ζήτηση (TEUs/έτος)	2.599.900	1.526.500	420.600	4.547.000
Στρατηγική ανάπτυξης (TEUs/έτος)	0	0	0	0
Οικονομικό αποτέλεσμα - € (Εσοδα - Επενδύσεις)	259.999.000	152.650.000	42.060.000	454.709.000
Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	203,43	218,75	201,64	-
Κεντρικός Συνεργατικός Σχεδιασμός				
Ζήτηση (TEUs/έτος)	2.312.700 (-11%)	1.892.800 (+24%)	341.500 (-19%)	4.547.000
Στρατηγική ανάπτυξης (TEUs/έτος)	-	558.985	23.000	581.985
Οικονομικό αποτέλεσμα - € (Εσοδα - Επενδύσεις)	231.271.080	183.690.000	3.415.000	418.376.080
Κόστος Επένδυσης €	-	55.898.500	2.300.000	58.198.500
Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	201,16 (-1%)	213,17 (-2,5%)	200,30 (-0,7%)	-
Συνολικό Κόστος Συμφόρησης - €	465.222.732	403.488.176	68.402.450	937.113.358

Σημείωση: Οι τιμές στις παρενθέσεις αφορούν στις μεταβολές ως προς την απόδοση του βασικού σεναρίου

Όπως είναι αναμενόμενο, το βέλτιστο σχέδιο ανάπτυξης μειώνει τις καθυστερήσεις στο σύστημα των TE (αφού μειώνει το μοναδιαίο κόστος συμφόρησης), μεταβάλλοντας τις προτιμήσεις των χρηστών (διαφορετική φόρτιση) σε νέα κατάσταση. Επιπλέον, το κόστος της μείωσης της συμφόρησης μέσω επενδύσεων αποτυπώνεται και στα οικονομικά αποτελέσματα του σχεδίου. Τέλος, κατά τη βέλτιστη λύση οι επενδύσεις δεν εξαντλούν ούτε τους διαθέσιμους οικονομικούς ούτε τους φυσικούς πόρους, εφόσον έχει εντοπιστεί το

σημείο ισορροπίας πέραν του οποίου οι επενδύσεις παύουν να είναι αποτελεσματικές (χαρακτηριστικό που είναι επιθυμητό κατά τη διαδικασία του κεντρικού σχεδιασμού). Σημειώνεται ότι το παραπάνω σχέδιο ανάπτυξης (επενδύσεων) δεν είναι το μοναδικό αφού έχει τονιστεί ότι το παίγνιο που έχει κωδικοποιηθεί εδώ δεν είναι αυστηρώς κυρτό και συνεπώς πολλαπλές λύσεις είναι εφικτές.

6.2.2 Αποτελέσματα κεντρικού συναλλακτικού σχεδιασμού

Η επίλυση του προβλήματος του κεντρικού συναλλακτικού σχεδιασμού του συστήματος των ΤΕ που διερευνάται εδώ, αφορά στην εκτίμηση του ΡΣ της παρακάτω ανυσματικής συνάρτησης:

$$\max_w P = [P_1(w_1, x_1), P_2(w_2, x_2), \dots, P_i(w_i, x_i)] \quad (6.2.2-1)$$

όπου $P_i(w_i, x_i) = CC_i x_i - \lambda_i w_i$ το οικονομικό αποτέλεσμα των επενδύσεων, με CC_i τα τέλη εξυπηρέτησης σε κάθε ΤΕ, x_i ο εξυπηρετούμενος φόρτος σε ΤΕUs/έτος, λ_i ο συντελεστής μετατροπής σε χρηματικές μονάδες της επένδυσης w_i για αύξηση της πρακτικής δυναμικότητας σε ΤΕUs/έτος για κάθε ΤΕ i .

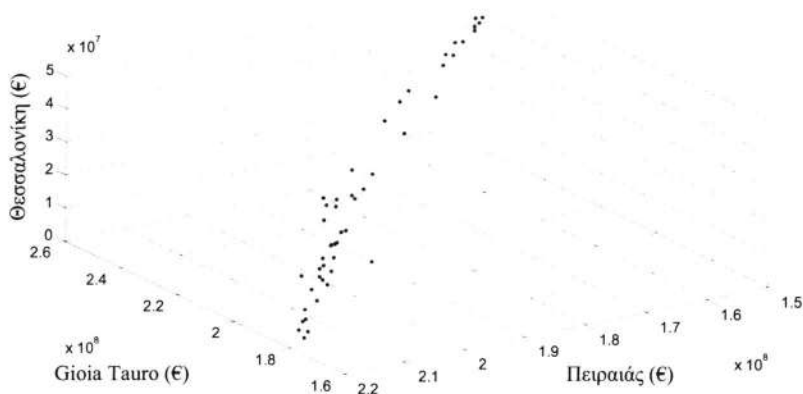
Ο βασισμένος στην απόσταση γενετικός αλγόριθμος που προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε εδώ έχει τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.2.1. Η εκτίμηση του ΣΡ αφορά στον προσδιορισμό συνόλου εναλλακτικών μη-κυριαρχούμενων σχεδίων επενδύσεων (ανάπτυξης) του συστήματος των ΤΕ, γι αυτό και ο πληθυσμός των εφικτών λύσεων που αποτελεί την κάθε γενεά λύσεων είναι μεγαλύτερος από τον αλγόριθμο του κεντρικού συνεργατικού σχεδιασμού. Σημειώνεται ότι η αυξημένη προσπάθεια που απαιτείται για τον προσδιορισμό των βέλτιστων σχεδίων με τα χαρακτηριστικά του συναλλακτικού σχεδιασμού, συνιστά την χρήση και μεγαλύτερου αριθμού γενεών.

Πίνακας 6.2.2.1. Επιλεγέντα χαρακτηριστικά ‘γενετικών’ διαδικασιών

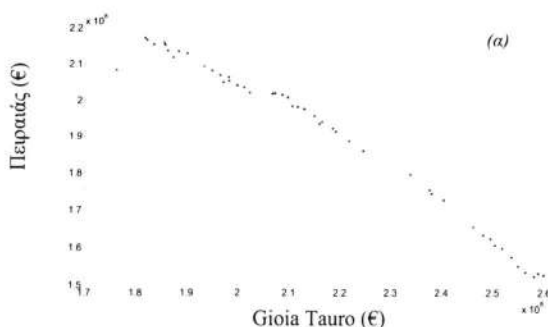
Γενετική Σταθερά	Χαρακτηριστική τιμή
‘Πληθυσμός’	100 ‘Άτομα’
Μέλη ΡΣ (μέγιστο)	50 ‘Άτομα’
Αρχικοποίηση	Τυχαίος πληθυσμός
Επιλογή	Δοκιμή μεταξύ 3 υποψηφίων λύσεων
Διασταύρωση	80% (n -σημείων)
Μετάλλαξη	5%

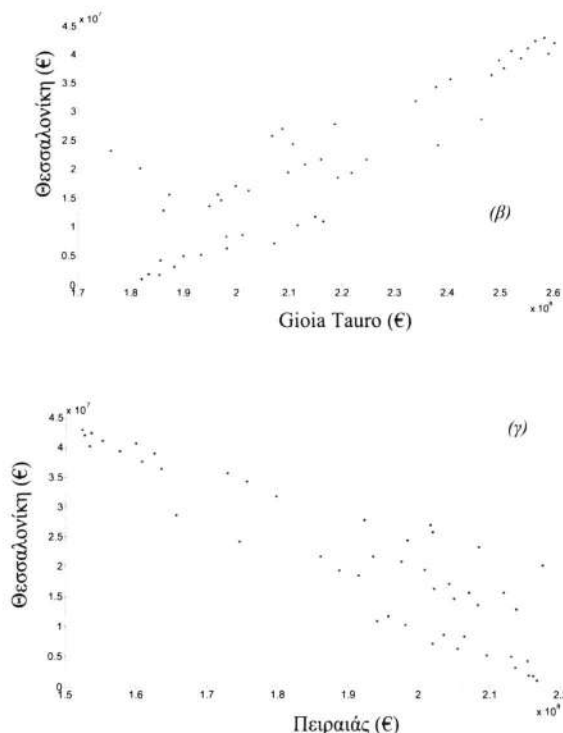
Ελιτική Τροφοδότηση	10%
Κριτήριο Τερματισμού	300 Γενεές

Η εφαρμογή του προτεινόμενου υβριδικού ΓΑ απέδωσε το ΡΣ που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.2.1., ενώ αυτό έχει παρουσιαστεί αναλυτικότερα στις 2-διάστατες απεικονίσεις που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.2.2.1.(α)-(γ). Από τη μορφή του ΡΣ, μπορεί να φανεί ήδη η κυριαρχία των ΤΕ του Πειραιά και του Gioia Tauro έναντι εκείνης της Θεσσαλονίκης, αφού το οικονομικό αποτέλεσμα της τελευταίας είναι σημαντικά μικρότερο από ότι των υπολοίπων παρότι δεν δρουν ανταγωνιστικά. Σημειώνεται ότι οι μη-κυριαρχούμενες λύσεις που αποτελούν το ΡΣ, εξ ορισμού τείνουν να αναδείξουν τις δυνατότητες της κάθε ΤΕ, 'υποχρεώνοντας' τις άλλες (εδώ δύο) να υιοθετήσουν στρατηγικές ανάπτυξης που θα συμβάλουν προς τον σκοπό αυτό.



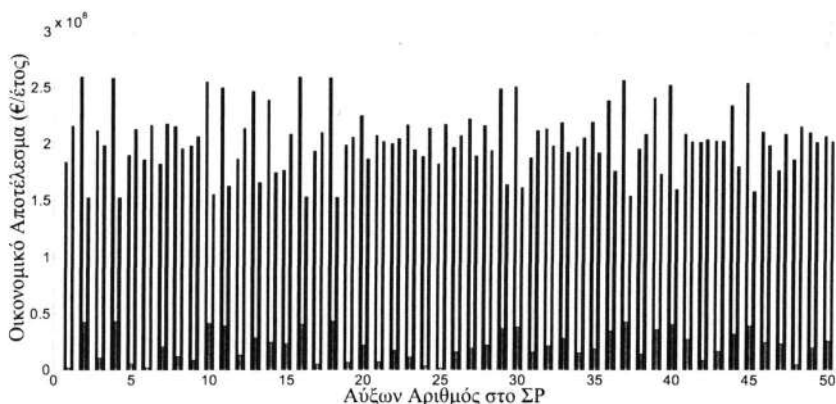
Σχήμα 6.2.2.1. Εκτίμηση του ΡΣ των οικονομικών αποτελεσμάτων (αντικειμενική συνάρτηση) για τις ΤΕ του δειγματικού χώρου





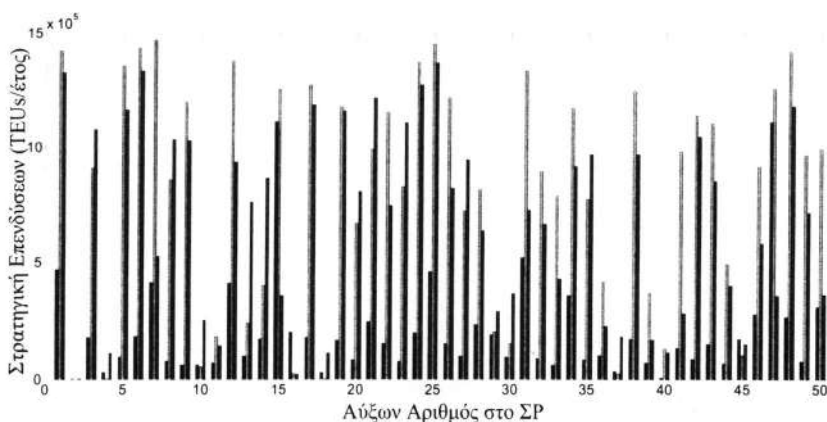
Σχήμα 6.2.2.2. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανυσματικής αντικειμενικής συνάρτησης σε μορφή δυαδικών συνδυασμών για τις 3 υπό ανάλυση TE

Η διασπορά των κατά Pareto βέλτιστων σχεδίων συναλλακτικού σχεδιασμού του υπό εξέταση συστήματος των TE, αποδίδεται και στο ραβδόγραμμα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.2.2.3. Στο σχήμα αυτό επίσης παρουσιάζεται η υπεροχή των TE του Πειραιά και του Gioia Tauro στο σύστημα της λιμενικής εξυπηρέτησης Ε/Κ έναντι της TE της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 6.2.2.3. Παρουσίαση των οικονομικών αποτελεσμάτων του συναλλακτικού σχεδιασμού για την ΤΕ του Πειραιά (κόκκινη ράβδος), του Gioia Tauro (μπλε ράβδος) και της Θεσσαλονίκης (πράσινη ράβδος).

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της επίλυσης, ο συναλλακτικός σχεδιασμός μεταξύ των ΤΕ αποδίδει στρατηγικές επενδύσεων οι οποίες μπορεί να φτάνουν σε σημαντική αύξηση των επενδύσεων, σε βάρος των οικονομικών αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 6.2.2.4. παρουσιάζονται οι στρατηγικές ανάπτυξης του συστήματος, από όπου μπορεί να φανούν οι στρατηγικές έντασης του κεφαλαίου που προκύπτουν σε ορισμένα από τα σημεία που συγκροτούν το ΣΡ. Επισημαίνεται ότι όλες οι λύσεις του ΣΡ περιέχουν την έννοια του βέλτιστου, η επιλογή της καταλληλότερης από αυτές όμως, αποτελεί αντικείμενο χρηματοοικονομικής μετά-ανάλυσης.



Σχήμα 6.2.2.4. Παρουσίαση των στρατηγικών ανάπτυξης (επενδύσεων) του συναλλακτικού σχεδιασμού για την ΤΕ του Πειραιά (κόκκινη ράβδος), του Gioia Tauro (μπλε ράβδος) και της Θεσσαλονίκης (πράσινη ράβδος).

Τέλος, η σύγκλιση του αλγόριθμου επιτυγχάνεται εντός 2 λεπτών για την ίδια υπολογιστική υποδομή που χρησιμοποιήθηκε και στον αλγόριθμο του κεντρικού σχεδιασμού (Core™ 2 Quad CPU, 2.4 GHz, 8 GB RAM).

6.3 Αποτελέσματα αποκεντρωμένου (ανταγωνιστικού) σχεδιασμού

Η επίλυση του αποκεντρωμένου σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ, αφορά στον προσδιορισμό ανύσματος επενδύσεων w^* , $\forall w \in W$ τέτοιου ώστε να ικανοποιείται η παρακάτω διατύπωση των μεταβαλλόμενων ανισοτήτων (τηρουμένων όλων των περιορισμών που δεν επαναλαμβάνονται εδώ-Βλ. 4.4):

$$P(w^*, Ah(w^*))^T (w - w^*) \geq 0, \quad \forall w \in W \quad (6.3-1)$$

όπου το άνυσμα που χρησιμοποιείται στην ως αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από το μέγεθος του οικονομικού αποτελέσματος $P_i(w_i, x_i)$, όπου $P_i(w_i, x_i) = CC_i x_i - \lambda_i w_i$ με CC_i τα τέλη εξυπηρέτησης σε κάθε ΤΕ, x_i ο εξυπηρετούμενος φόρτος σε ΤΕUs/έτος, λ_i ο συντελεστής μετατροπής σε χρηματικές μονάδες της επένδυσης w_i στην αύξηση πρακτικής δυναμικότητας σε ΤΕUs/έτος για κάθε ΤΕ i .

Ο συν-εξελικτικός γενετικός αλγόριθμος που προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε εδώ έχει τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.1. Η εκτίμηση μιας ΕΣΣ, όπως περιγράφηκε και στη παράγραφο 5.4 απαιτεί εκτεταμένο αριθμό προσδιορισμών του SUE. Για τον λόγο αυτό, η εκτέλεση του συν-εξελικτικού αλγόριθμου έχει δεσμευτεί ως προς τον αριθμό των γενεών που θα εκτελεστούν.

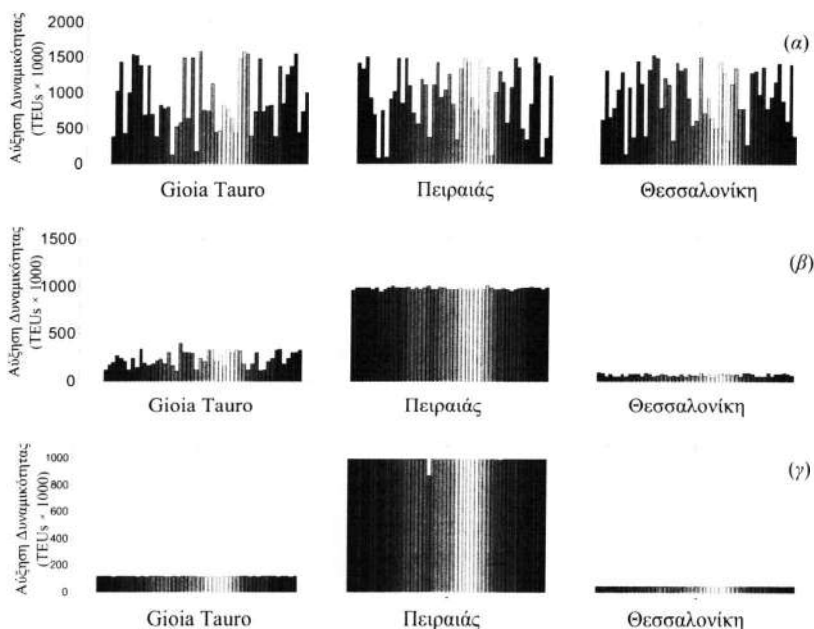
Πίνακας 6.3.1. Επιλεγέντα χαρακτηριστικά ‘γενετικών’ διαδικασιών

Γενετική Σταθερά	Χαρακτηριστική τιμή
‘Πληθυσμός’ για κάθε ΕΠ	50 ‘Άτομα’
Αρχικοποίηση	Τυχαίος πληθυσμός
Επιλογή	Δοκιμή μεταξύ 3 υποψηφίων λύσεων
Διασταύρωση	80% (n -σημείων)

Μετάλλαξη	5%
Ελιτική Τροφοδότηση	10%
Μέγεθος Δείγματος μεταξύ των ΕΠ	30%
Κριτήριο Τερματισμού	300 Γενεές

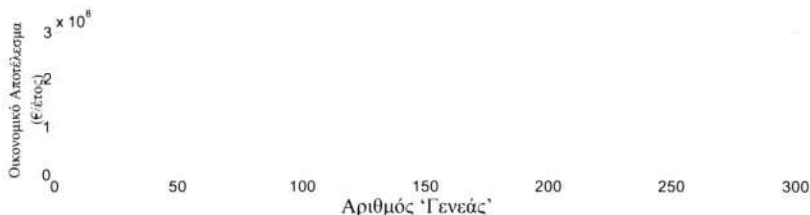
Υπό τα παραπάνω χαρακτηριστικά και με την χρήση ανεξάρτητου επεξεργαστή για την εκτέλεση των υπολογισμών του κάθε ΕΠ, ο χρόνος σύγκλισης είναι 10 ημέρες στην υπολογιστική υποδομή που χρησιμοποιήθηκε και προηγούμενα (Core™ 2 Quad CPU, 2.4 GHz, 8 GB RAM).

Η σύγκλιση του προτεινόμενου συν-εξελικτικού αλγόριθμου που χρησιμοποιήθηκε εδώ, εκ του γεγονότος ότι η απόδοση του κάθε ΕΠ εκτιμάται από δείγμα των στρατηγικών όλων των υπόλοιπων ΕΠ που συγκροτούν το παίγνιο, θα πρέπει να ελέγχεται και ως προς την ομοιογένεια των στρατηγικών όλων των ΕΠ έτσι ώστε να πιστοποιηθεί ότι η τελική λύση αποτελεί πράγματι ΕΣΣ. Για τον λόγο αυτό, στο Σχήμα



Σχήμα 6.3.1. Διασπορά των στρατηγικών ανάπτυξης που ελέγχθησαν στην 1^η (α), 5^η (β) και 300^η (γ) γενεά του συν-εξελικτικού αλγόριθμου.

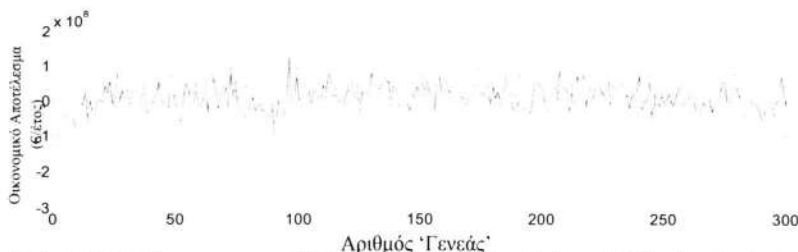
Από το Σχήμα 6.3.1 φαίνεται η σταδιακή σύγκλιση των στρατηγικών ανάπτυξης των ΤΕ. Συγκεκριμένα, εκκινώντας από μια διασπορά εναλλακτικών στρατηγικών καλύπτοντας το πεδίο ορισμού της μεταβλητής της προσθήκης για κάθε ΤΕ (Σχήμα 6.3.1-α), ακόμη και από τις πρώτες ‘γενεές’ του συνεξελικτικού αλγόριθμου (Σχήμα 6.3.1-β) φαίνεται ότι έχουν προσδιοριστεί οι στρατηγικές ανάπτυξης των ΤΕ. Κατά την τελική γενεά (Σχήμα 6.3.1-γ) φαίνεται ότι έχει επιτευχθεί η ΕΣΣ για κάθε ΕΠ που αντιστοιχεί σε ΤΕ.



Σχήμα 6.3.2. Διάγραμμα σύγκλισης του συν-εξελικτικού αλγόριθμου.

Το διάγραμμα σύγκλισης για μία αντιπροσωπευτική εκτέλεση του αποκεντρωμένου συν-εξελικτικού αλγόριθμου παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.3.2., ενώ τα αποτελέσματα στον Πίνακα 6.3.2. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα της σύγκλισης, οι βέλτιστες στρατηγικές ανάπτυξης του ΕΠ που αντιστοιχεί στην ΤΕ του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης προσδιορίζονται από τις πρώτες κιόλας γενεές. Αντίθετα, η στρατηγική ανάπτυξης του ΕΠ που αντιστοιχεί στο Γιοία Ταυρο, καθ'όλη τη διάρκεια της συν-εξέλιξης φαίνεται ότι διερευνάται, στοιχείο που αποδίδει το γεγονός ότι μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές ΕΣΣ για τον συγκεκριμένο ΕΠ.

Σημειώνεται ότι οι συν-εξελικτικοί αλγόριθμοι είναι περισσότερο ‘ευαίσθητοι’ ως προς τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται, μέχρι τον βαθμό που μπορεί να απαιτηθεί μεγάλος αριθμός γενεών για την σύγκλιση. Στο Σχήμα 6.3.3, παρουσιάζεται η απόδοση του αλγόριθμου για με μέγεθος πληθυσμού 20 ‘ατόμων’, μικρό συν-εξελικτικό δείγμα (5%) και υψηλό ποσοστό μετάλλαξης, από όπου μπορεί να γίνει φανερό ότι ο αλγόριθμος δεν επιτυγχάνει την εκτίμηση ΕΣΣ μέχρι την 300 ‘γενεά’.



Σχήμα 6.3.3. Διάγραμμα συν-εξέλιξης για ΕΠ με μέγεθος πληθυσμού 20 ‘ατόμων’, μέγεθος δείγματος 5% και ποσοστό μετάλλαξης 10%

Όπως φάνηκε και από τον συναλλακτικό σχεδιασμό του υπό ανάλυση συστήματος των ΤΕ, ο ανταγωνισμός κυρίως αναπτύσσεται μεταξύ των ΤΕ του Πειραιά και του Gioia Tauro, ενώ φαίνεται ότι για την αντίστοιχη της Θεσσαλονίκης δεν υπάρχει ισχυρό κίνητρο για επενδύσεις. Λόγω της σημασίας των αποτελεσμάτων των εναλλακτικών αρχιτεκτονικών σχεδιασμού του συστήματος των ΤΕ που διερευνήθηκε εδώ, συγκρίσεις μεταξύ των μεγεθών της απόδοσής του θα γίνει στην ακόλουθη παράγραφο

Πίνακας 6.3.2. Συγκριτικά αποτελέσματα ανά κατηγορία σχεδιασμού

Στρατηγική	Gioia Tauro	Τερματικές Εγκαταστάσεις Πειραιάς	Θεσ/νίκη	Σύνολο
Βασικό Σενάριο (χωρίς επενδύσεις)				
Ζήτηση (TEUs/έτος)	2.599.900	1.526.500	420.600	4.547.000
Στρατηγική ανάπτυξης (TEUs/έτος)	0	0	0	0
Οικονομικό αποτέλεσμα - € (Εσοδα - Επενδύσεις)	259.999.000	152.650.000	42.060.000	454.709.000
Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	203,43	218,75	201,64	-
Αποκεντρωμένος Σχεδιασμός				
Ζήτηση (TEUs/έτος)	2.081.900 (-19,9%)	2.173.300 (+42,4%)	291.800 (-30,6%)	4.547.000
Στρατηγική ανάπτυξης (TEUs/έτος)	80.000	1.012.985	33.000	1.126.437
Οικονομικό αποτέλεσμα - € (Εσοδα - Επενδύσεις)	207.390.000	198.130.000	29.190.000	434.710.000
Κόστος Επένδυσης €	8.000.000	141.558.200	3.300.000	152.858.200
Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	200,42 (-1,5%)	209,99 (-4%)	200,10 (-0,8%)	-
Συνολικό Κόστος Συμφόρησης - €	417.254.398	456.371.267	58.389.180	932.014.845

Σημείωση: Οι τιμές στις παρενθέσεις αφορούν στις μεταβολές ως προς την απόδοση του βασικού σεναρίου

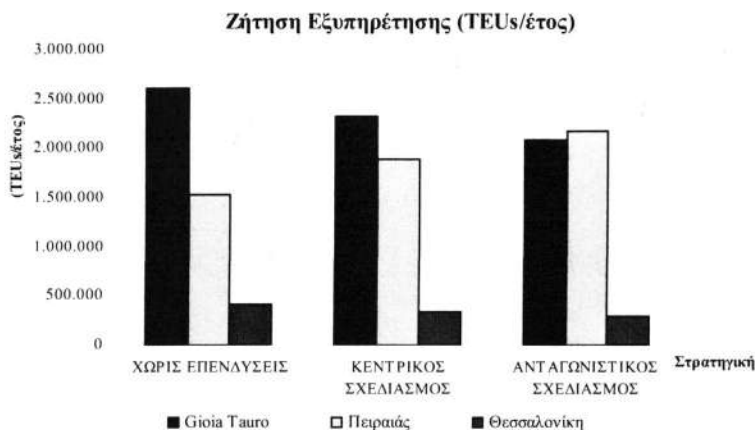
6.4 Συγκρίσεις

Τα αποτελέσματα μεταξύ του Κεντρικού και του Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6.4.1. Η σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών σχημάτων/αρχιτεκτονικών σχεδιασμού (για το υπό εξέταση σύστημα), μπορεί να αναδείξει το αποτέλεσμα της μετακίνησης των αντικειμενικών στόχων, στην απόδοση του συστήματος. Συγκεκριμένα, μπορεί να γίνει φανερή η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων στην στρατηγική των επενδύσεων της κάθε ΤΕ, καθώς και των επιπτώσεων που προκαλούνται στη λειτουργία του συστήματος συνολικά. Στα Σχήματα 6.4.1 έως 6.4.4 εξειδικεύεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 6.4.1. Συγκριτικά αποτελέσματα ανά κατηγορία σχεδιασμού

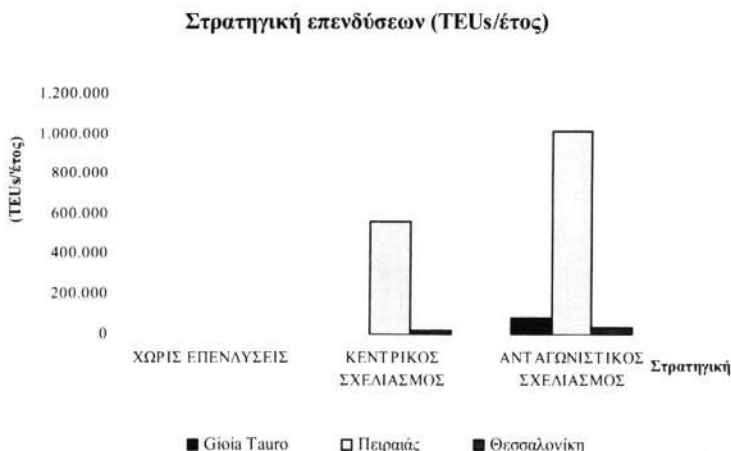
Στρατηγική	Gioia Tauro	Τερματικές Εγκαταστάσεις Πειραιάς	Θεσ/νίκη	Σύνολο
Βασικό Σενάριο (χωρίς επενδύσεις)				
Ζήτηση (TEUs/έτος)	2.599.900	1.526.500	420.600	4.547.000
Στρατηγική ανάπτυξης (TEUs/έτος)	-	-	-	-
Οικονομικό αποτέλεσμα - € (Εσοδα – Επενδύσεις)	259.999.000	152.650.000	42.060.000	454.709.000
Κόστος Επένδυσης €	-	-	-	-
Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	203,43	218,75	201,64	-
Συνολικό Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	528.897.657	333.921.875	84.809.784	947.629.316
Συνεργατικός Κεντρικός Σχεδιασμός				
Ζήτηση (TEUs/έτος)	2.312.700 (-11%)	1.892.800 (+24%)	341.500 (-19%)	4.547.000
Στρατηγική ανάπτυξης (TEUs/έτος)	-	558.985	23.000	581.985
Οικονομικό αποτέλεσμα - € (Εσοδα – Επενδύσεις)	231.271.080	183.690.000	3.415.000	418.376.080
Κόστος Επένδυσης €	-	55.898.500	2.300.000	58.198.500
Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	201,16 (-1%)	213,17 (-2,5%)	200,30 (-0,7%)	-
Συνολικό Κόστος Συμφόρησης - €	465.222.732	403.488.176	68.402.450	937.113.358
Αποκεντρωμένος Σχεδιασμός				
Ζήτηση (TEUs/έτος)	2.081.900 (-19,9%)	2.173.300 (+42,4%)	291.800 (-30,6%)	4.547.000
Στρατηγική ανάπτυξης (TEUs/έτος)	80.000	1.012.985	33.000	1.126.437
Οικονομικό αποτέλεσμα - € (Εσοδα – Επενδύσεις)	207.390.000	198.130.000	29.190.000	434.710.000
Κόστος Επένδυσης €	8.000.000	141.558.200	3.300.000	152.858.200
Κόστος Συμφόρησης/TEU - €	200,42 (-1,5%)	209,99 (-4%)	200,10 (-0,8%)	-
Συνολικό Κόστος Συμφόρησης - €	417.254.398	456.371.267	58.389.180	932.014.845

Σημείωση: Οι τιμές στις παρενθέσεις αφορούν στις μεταβολές ως προς την απόδοση του βασικού σεναρίου



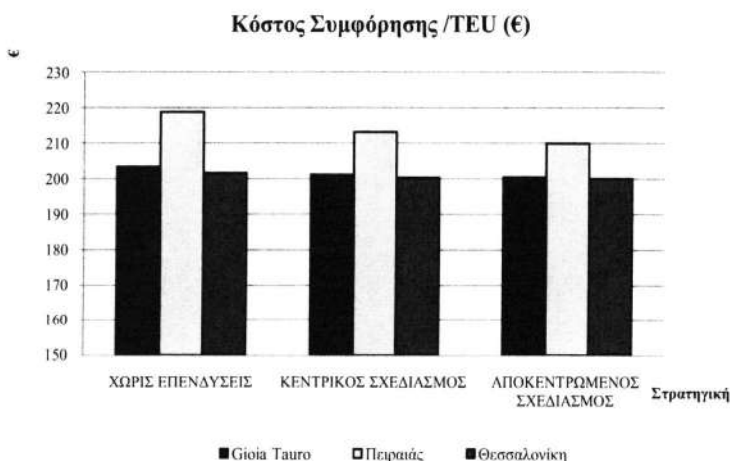
Σχήμα 6.4.1. Συγκριτικά αποτελέσματα ‘καθοδήγησης’ της ζήτησης ανά κατηγορία σχεδιασμού

Εκκινώντας από τον τρόπο με τον οποίο τα εναλλακτικά σχήματα σχεδιασμού επιδρούν στις αποφάσεις των χρηστών, καθοδηγώντας την εκδήλωση της ζήτησης, αυτός μπορεί να φανεί στο Σχήμα 6.4.1. Στο σχήμα αυτό, φαίνεται ότι η αρχική κατάσταση κατά την οποία η TE του Γιοία Ταυρο κυριαρχεί στην προσέλκυση και εξυπηρέτηση φορτίων TEU, μπορεί να μετακινηθεί σε όφελος της TE του Πειραιά σε κάθε περίπτωση σχεδιασμού. Αντίθετα, η TE της Θεσσαλονίκης εμφανίζεται να βρίσκεται σε θέση περισσότερο ευαίσθητη έναντι του ανταγωνισμού της.



Σχήμα 6.4.2. Σύγκριση στρατηγικών ανάπτυξης (επενδύσεων) ανά κατηγορία σχεδιασμού

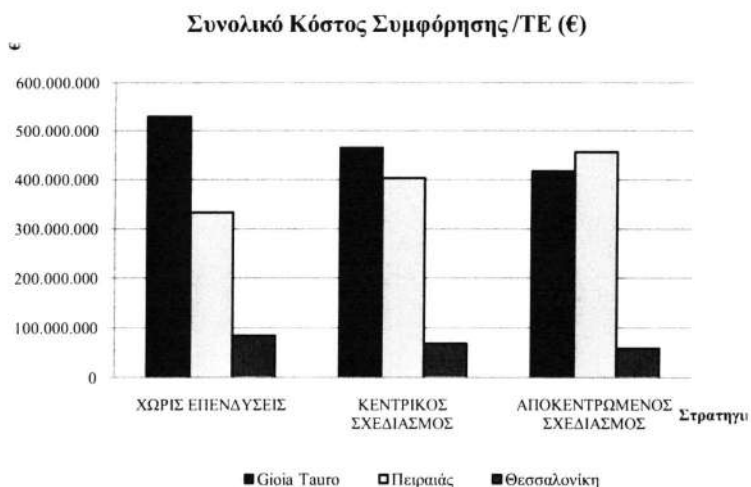
Η καθοδήγηση της εκδήλωσης της ζήτησης, όπως εκτενώς έχει συζητηθεί στα προηγούμενα κεφάλαια (κυρίως στο Κεφ. 4), πραγματοποιείται μέσω των στρατηγικών των επεμβάσεων στο σύστημα. Οι εναλλακτικές στρατηγικές επεμβάσεων στο σύστημα φαίνονται στο Σχήμα 6.4.2. Σε αυτό μπορεί να παρατηρηθεί το αποτέλεσμα της μετακίνησης του στόχου του σχεδιασμού του συγκεκριμένου μεταφορικού συστήματος. Σχετικά με τον Κεντρικό Σχεδιασμό (υπενθυμίζεται επιχειρείται να ελαχιστοποιηθεί η συνιστώσα του κοινωνικού κόστους που αποτελείται από το συνολικό κόστος της συμμόρφωσης και των επενδύσεων), εντοπίζονται οι δραστικότερες ευκαιρίες επεμβάσεων (προσθήκης πρακτικής δυναμικότητας της ΤΕ) μέχρι του σημείου που αυτές δεν είναι πλέον αποδοτικές στη λειτουργία του συστήματος (έχουν μεγαλύτερο κόστος παρά όφελος). Επιπλέον, εμφανίζεται η ΤΕ του Πειραιά να συμβάλει στο συνολικό κόστος της συμμόρφωσης περισσότερο από τις άλλες δύο ΤΕ, γεγονός που δικαιολογεί και την κατεύθυνση του μεγαλύτερου μέρους των επενδύσεων προς αυτή. Από την άλλη πλευρά, κατά το Αποκεντρωμένο Σχήμα σχεδιασμού, φαίνεται ότι γίνεται μεγαλύτερη χρήση επενδύσεων (και συνεπώς κεφαλαίων) από όλες τις ΤΕ. Ειδικότερα, όπως και κατά το σχήμα του Κεντρικού Σχεδιασμού, η ΤΕ του Πειραιά φαίνεται να έχει τις μεγαλύτερες δυνατότητες ανάπτυξης.



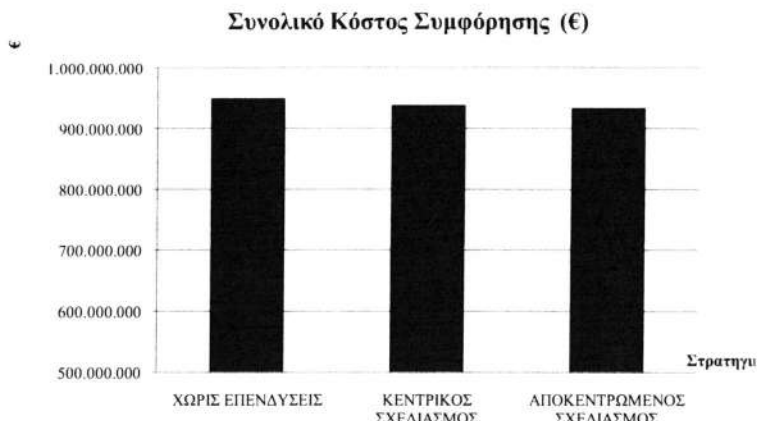
Σχήμα 6.4.3. Συγκριτικά αποτελέσματα του κόστους της συμμόρφωσης ανά ΤΕU και κατηγορία σχεδιασμού

Στο Σχήμα 6.4.3, φαίνεται και το αποτέλεσμα των επεμβάσεων στο σύστημα, σε ό,τι αφορά στην βελτίωση του παρεχόμενου επιπέδου εξυπηρέτησης των ΤΕ, παράγοντας που

καθορίζει και την ελκυστικότητά τους. Είναι εμφανές ότι η ΤΕ του Πειραιά 'έχει κίνητρο' να βελτιώσει τις επιχειρησιακές της επιδόσεις, τόσο για την βελτίωση του συστήματος συνολικά, αλλά επίσης και τα οικονομικά αποτελέσματά της, φαίνεται να δικαιολογούν την λήψη στρατηγικών ανάπτυξης. Επιπλέον, τα αποτελέσματα του κόστους της συμμόρφωσης που παράγεται στην κάθε ΤΕ καθώς και του συνολικού κόστους της συμμόρφωσης στο σύνολο του συστήματος φαίνεται στα Σχήματα 6.4.4 και 6.4.5 αντίστοιχα. Επίσης, μπορεί να παρατηρηθεί ότι εξαιτίας του γεγονότος ότι οι ΤΕ ανταγωνίζονται για την προσέλκυση ζήτηση με την βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης, κατά τον Αποκεντρωμένο Σχεδιασμό προκύπτουν βελτιωμένες συνθήκες λειτουργίας (μειωμένο κόστος συμμόρφωσης- Σχήματα 6.4.4&5).

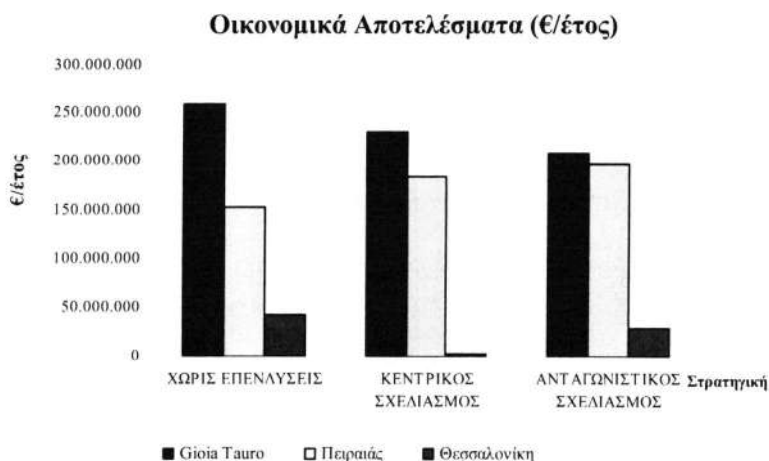


Σχήμα 6.4.4. Συγκριτικά αποτελέσματα του συνολικού κόστους της συμμόρφωσης σε κάθε ΤΕ ανά κατηγορία σχεδιασμού



Σχήμα 6.4.5. Συγκριτικά αποτελέσματα του συνολικού κόστους της συμμόρφωσης ανά κατηγορία σχεδιασμού

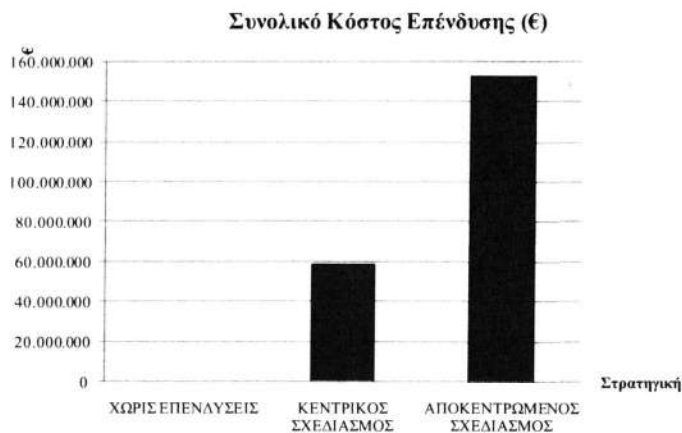
Η παρατήρηση σχετικά με την σκοπιμότητα των επενδύσεων από την πλευρά της ΤΕ του Πειραιά τεκμηριώνεται περαιτέρω από την εξέταση των οικονομικών αποτελεσμάτων των ΤΕ, στοιχεία που παρουσιάζονται στο διάγραμμα 6.4.6. Στο σχήμα αυτό φαίνεται ότι η ΤΕ του Πειραιά μπορεί να αναπτύξει στρατηγικές που να βελτιώνουν τα οικονομικά αποτελέσματά της, σε αντίθεση με του άλλους δύο 'παίκτες' του συστήματος. Ειδικά η ΤΕ της Θεσσαλονίκης, για τις συνθήκες που έχουν προτυποποιηθεί στην παρούσα διατριβή, φαίνεται να μην δρα ανταγωνιστικά ως προς της άλλες δύο ΤΕ.



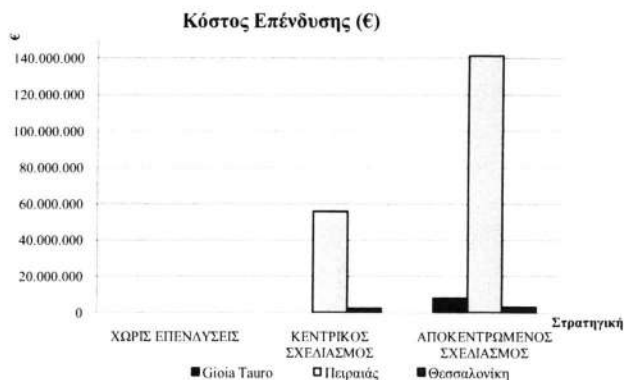
Σχήμα 6.4.6. Σύγκριση οικονομικών αποτελεσμάτων ανά κατηγορία σχεδιασμού

Στο σημείο αυτό αναδεικνύεται ένα από τα φαινόμενα που εμφανίζονται κατά την λήψη και διαχείριση της πληροφορίας σε συστήματα με πολλούς συμμετέχοντες όπως αυτά των μεταφορών, αυτό που ονομάζεται ως 'Τίμημα της Αναρχίας'-ΤτΑ (Price of Anarchy). Συγκεκριμένα, Τίμημα της Αναρχίας ονομάζεται η διαφορά (μείωση) μεταξύ των αποτελεσμάτων/απόδοσης ενός συστήματος μεταξύ της *αποκεντρωμένης συμπεριφοράς* (η οποία αντιστοιχεί στην κατάσταση κατά την οποία κάθε συμμετέχοντας σε ένα σύστημα αλληλεπιδράσεων –παίγνιο- επεξεργάζεται τις πληροφορίες με στόχο την μη-συνεργατική (εγωκεντρική/selfish) απόδοσή του) σε σύγκριση με *καθοδηγούμενη συμπεριφορά* (η οποία αντιστοιχεί στην κατάσταση κατά την οποία κάθε συμμετέχοντας σε ένα σύστημα αλληλεπιδράσεων –παίγνιο- καθοδηγείται (guided) από κεντρικό συντονιστή ο οποίος επεξεργάζεται τις πληροφορίες με στόχο την συνολική απόδοση του συστήματος). Επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως η απόκλιση μεταξύ του ενός καθολικού βέλτιστου έναντι της απόδοσης του συστήματος (για το ίδιο μέγεθος) στην κατά-Nash ισορροπία. Το ΤτΑ, έχει αναδειχθεί (και έχει τυποήσει την χρήση του όρου) κατά την λειτουργία δικτύων, όπως του Internet (στο οποίο αρχικά εισήχθη ο όρος από τον Papadimitriou 2001) και των μεταφορικών δικτύων (Roughgarden 2005).

Στην παρούσα διατριβή, το ΤτΑ αναδύκεται και για την κατάσταση σχεδιασμού συστημάτων μεταφορών. Συγκεκριμένα, κατά τη σύγκριση των στρατηγικών των επενδύσεων μεταξύ του βασικού σεναρίου (σενάριο Χωρίς Επενδύσεις) και του Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού (Σχήμα 6.4.7 και αναλυτικά Σχήμα 6.4.8). Το βασικό σενάριο μπορεί να αντιστοιχηθεί και με το σενάριο μονοπωλίου για την εξυπηρέτηση φορτίων σε μια περιοχή (στο οποίο δεν δικαιολογούνται επενδύσεις στην κατάσταση μεγιστοποίησης των κερδών). Αντίθετα κατά τον Αποκεντρωμένο Σχεδιασμό, οι στρατηγικές του οποίου αποτελούν το σημείο της κατά-Nash ισορροπίας, προτείνονται σημαντικές επενδύσεις. Το ύψος των συνολικών επενδύσεων στην κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στο ΤτΑ, δηλαδή στο τίμημα της μη-συνεργατικότητας των ΤΕ. Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να τεκμηριωθεί και από το Σχήμα 6.4.6. Η ανάδειξη του ΤτΑ κατά τον σχεδιασμό συστημάτων μεταφορών, έχει για πρώτη φορά γίνει στην παρούσα διατριβή.



Σχήμα 6.4.7. Σύγκριση συνολικού κόστους επενδύσεων ανά είδος σχεδιασμού



Σχήμα 6.4.8. Σύγκριση κόστους επενδύσεων σε κάθε ΤΕ ανά είδος σχεδιασμού

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

7.1 Συμπεράσματα

7.1.1 Συμπεράσματα ως προς τη μεθοδολογική προσέγγιση της διατριβής

Η ανάπτυξη του θέματος της παρούσας διατριβής αφορά στην βελτιστοποίηση του στρατηγικού σχεδιασμού ΤΕ Ε/Κ σε μια περιοχή. Σε αντίστιξη με το καθιερωμένο σχήμα σχεδιασμού μιας ΤΕ κατά το οποίο επιχειρείται ο επιχειρησιακός σχεδιασμός της λειτουργίας μιας εγκατάστασης για προδιαγεγραμμένες συνθήκες ζήτησης (δηλαδή θεωρούμενης ως απομονωμένη από το υπόλοιπο μεταφορικό σύστημα), κατά την προτεινόμενη προσέγγιση διερευνάται η ανάπτυξη μιας (ή ενός συνόλου) ΤΕ αναγνωρίζοντας ότι ο σχεδιασμός τους εντάσσεται σε ένα πλέγμα αλληλεπιδράσεων εντός του ευρύτερου συστήματος της αλυσίδας εξυπηρέτησης εμπορευματικών φορτίων. Η εισαγωγή της αντίληψης αυτής σχετικά με τον βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των μεταφορικών υποδομών, οδηγεί στη συστημική προσέγγιση του προβλήματος.

Αναλυτικότερα, κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε και παρουσιάστηκε προέκυψε ότι η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ΤΕ Ε/Κ ιδωμένης ως μονάδα παραγωγής μεταφορικής εξυπηρέτησης, έχει εκτενώς διερευνηθεί τα τελευταία 30 χρόνια, τα αποτελέσματα της οποίας έχουν παρουσιαστεί σε ένα πολύ εκτεταμένο αριθμό επιστημονικών δημοσιεύσεων. Εξαιτίας της φύσης των προβλημάτων βελτιστοποίησης της επιχειρησιακής οργάνωσης και προγραμματισμού των ΤΕ (τα οποία τυπικά είναι προβλήματα ανάθεσης και συνδυαστικών επιλογών), η κωδικοποίησή τους ως προβλήματα μαθηματικού προγραμματισμού καταλήγει σε μορφές προγραμματισμού αυξημένης πολυπλοκότητας (*NP-hard* προβλήματα μικτού-ακέραιου ή συνδυαστικού προγραμματισμού, κλπ), ενώ η επίλυσή τους δεν είναι εφικτή με κλασσικές μεθόδους βελτιστοποίησης. Για τον λόγο αυτό, η ανάπτυξη νέων τεχνικών από τον τομέα της Επιχειρησιακής Έρευνας και συγκεκριμένα των ευρετικών μεθόδων βελτιστοποίησης έδωσε σημαντική ώθηση στην έρευνα προβλημάτων

που αφορούν την οργάνωση και λειτουργία των ΤΕ όπως είναι φανερό τόσο από τον αυξημένο αριθμό των επιστημονικών δημοσιεύσεων στα σχετικά ερευνητικά αντικείμενα αλλά, κυρίως, στην εκτεταμένη εισαγωγή της χρήσης των μεθόδων αυτών σε ρεαλιστικές ΤΕ.

Ωστόσο, η έρευνα της οργάνωσης και λειτουργίας της μεταφορικής υποδομής, αναγνωρίζοντας ότι οι ΤΕ αποτελούν μέρος ενός συνολικότερου συστήματος, δεν αναπτύχθηκε με τον ίδιο ρυθμό. Συγκεκριμένα, αν και η έρευνα της βελτιστοποίησης της οργάνωσης συστημάτων οδικών μεταφορών εκτείνεται (με έμφαση) στα τελευταία 40 έτη, ανάλυση προσπάθεια σχετικά με τα εμπορευματικά συστήματα δεν έχει πραγματοποιηθεί. Επιπλέον, όπως προέκυψε και από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προηγούμενα, η ανάγκη για έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο είναι υπαρκτή, λαμβάνοντας υπόψη τις ουσιώδεις ιδιαιτερότητες των εμπορευματικών συστημάτων έναντι των άλλων συστημάτων (π.χ. των οδικών, επιβατικών κ.α.).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η παρούσα ερευνητική προσπάθεια εκκινεί με την αναγνώριση των χαρακτηριστικών του συστήματος εξυπηρέτησης εμπορευματικών φορτίων και συγκεκριμένα τις λειτουργίες που εκτελούνται σε ένα τέτοιο σύστημα. Η ανάλυση ακολουθεί την προσέγγιση εντοπισμού του προτύπου εκδήλωσης της ζήτησης για εξυπηρέτηση εμπορευματικών φορτίων, των βασικών παραγόντων της προσφοράς για μεταφορική εξυπηρέτηση και, τέλος, του τρόπου αλληλεπίδρασης μεταξύ τους. Η αναγνώριση των παραπάνω αλληλεπιδράσεων οδήγησε στην υιοθέτηση ενοποιημένων προτύπων προσφοράς-ζήτησης για τον βέλτιστο σχεδιασμό του είδους αυτού της μεταφορικής υποδομής. Επιπλέον, η λεπτομερής ανάλυση του συγκεκριμένου συστήματος εξυπηρέτησης βασίστηκε στη θεωρία παιγνίων, η οποία παρέχει το αναλυτικό υπόβαθρο για την διερεύνηση εναλλακτικών πλαισίων/δεσμών αλληλεπίδρασης.

Το αναλυτικό πλαίσιο στο οποίο στηρίχθηκε η ανάπτυξη των ενοποιημένων προτύπων προσφοράς-ζήτησης είναι η κωδικοποίησή τους με βάση την θεωρία των μεταφορικών υπερ-δικτύων. Η προσέγγιση αυτή δίνει την δυνατότητα της υλοποίησης των σχέσεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των μερών του συνολικού συστήματος της εμπορευματικής μεταφορικής εξυπηρέτησης. Έτσι, η εκδήλωση της ζήτησης για μεταφορική εξυπηρέτηση κωδικοποιήθηκε με βάση την διαδικασία φόρτισης των μεταφορικών δικτύων που αναπαράγει την μη-συνεργατική επιλογή διαδρομής εκ μέρους των χρηστών της μεταφορικής υποδομής (αποστολέων/μεταφορέων των εμπορευματικών φορτίων). Η κωδικοποίηση της διαδικασίας επιλογής διαδρομής βασίστηκε στην υπόθεση της περιορισμένης ορθολογικότητας εκ μέρους των χρηστών, υπόθεση η οποία καταλήγει στην εκτίμηση της φόρτισης των δικτύων μέσω του υπολογισμού της στοχαστικής ισορροπίας των χρηστών (SUE) με βάση την αθροιστική χρησιμότητα των εναλλακτικών διαδρομών. Ο τρόπος αυτός κωδικοποίησης της λειτουργίας των εμπορευματικών δικτύων παρέχει την δυνατότητα της απόδοσης των μη-συνεργατικών σχέσεων αλληλεπίδρασης των χρηστών της υποδομής

αφενός, αλλά και της αναγνώρισης του τρόπου επιρροής του συστήματος των ΤΕ μιας περιοχής στην οργάνωση της αλυσίδας εμπορευματικής εξυπηρέτησης.

Στη συνέχεια, η διερεύνηση του βέλτιστου σχεδιασμού των συστημάτων ΤΕ επιχειρήθηκε εκκινώντας με την αναγνώριση εναλλακτικών προτύπων/μορφών επιχειρησιακής οργάνωσης για το είδος αυτό της μεταφορικής υποδομής. Έτσι, αναγνωρίστηκαν τρία θεμελιώδη σχήματα οργάνωσης, από τα οποία μπορούν να συντεθούν και άλλες υβριδικές μορφές οργάνωσης και συγκεκριμένα ο Κεντρικός Σχεδιασμός, ο Κεντρικός-Συναλλακτικός Σχεδιασμός και ο Αποκεντρωμένος Σχεδιασμός των συστημάτων ΤΕ Ε/Κ. Η ανάλυση του σχεδιασμού μεταφορικών συστημάτων και ειδικότερα εμπορευματικών υπό τα τρία προτεινόμενα είδη σχεδιασμού δεν είχε πραγματοποιηθεί στη σχετική βιβλιογραφία ως το παρόν.

Η κωδικοποίηση των παραπάνω παιγνιοθεωρητικών καταστάσεων σχεδιασμού της μεταφορικής υποδομής, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της θεωρίας του ιεραρχικού προγραμματισμού πολλαπλών επιπέδων και ειδικότερα με την διατύπωση και επίλυση προβλημάτων μη-γραμμικού μαθηματικού προγραμματισμού δύο επιπέδων με περιορισμούς ισορροπίας (Mathematical Programming with Equilibrium Constraints-MPEC). Σημειώνεται ότι αν και αυτή η ερευνητική προσέγγιση έχει υιοθετηθεί στον σχεδιασμό οδικών ή επιβατικών μεταφορικών δικτύων, δεν έχει παρουσιαστεί για τον σχεδιασμό εμπορευματικών μεταφορικών συστημάτων όπως συστημάτων ΤΕ Ε/Κ. Επίσης, η εισαγωγή της δυνατότητας της χρήσης της θεωρίας των μεταφορικών δικτύων, αναλυτικό πλαίσιο το οποίο δίδει τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν προηγούμενα. Επιπλέον, η προσέγγιση της κωδικοποίησης της λειτουργίας του υπο-συστήματος των ΤΕ Ε/Κ εντός του ευρύτερου συστήματος της μεταφορικής εξυπηρέτησης και η εκτίμηση βέλτιστων στρατηγικών αποφάσεων ανάπτυξης των συστημάτων αυτών με βάση την προτεινόμενη προσέγγιση αποτελεί και καινοτομία της διατριβής.

Η επίλυση των παραπάνω ειδών στρατηγικής ανάπτυξης των συστημάτων ΤΕ Ε/Κ, εκ του γεγονότος ότι η κωδικοποίησή τους υλοποιείται ως μη-γραμμικά και μη-κυρτά προβλήματα βελτιστοποίησης, προτάθηκε η χρήση κατάλληλων τροποποιημένων ευρετικών αλγόριθμων, οι οποίοι εμπίπτουν στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης. Συγκεκριμένα, οι παιγνιοθεωρητικές καταστάσεις που αναφέρονται στα εναλλακτικά διαχειριστικά 'σχήματα' σχεδιασμού των συστημάτων ΤΕ, επιλέχθηκε να επιλυθούν με την εισαγωγή των αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται, εντός πλαισίου της εξελικτικής θεωρίας παιγνίων. Οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν στην γενετική κωδικοποίηση εξελικτικών διαδικασιών, ενώ κατάλληλες τροποποιήσεις εισήχθησαν έτσι ώστε να γίνει δυνατή η αντιμετώπιση του κάθε εναλλακτικού διαχειριστικού σχήματος. Τα αποτελέσματα της απόδοσης του κάθε αλγόριθμου παρουσιάστηκαν αναλυτικά,

εμβαθύνοντας στη χρήση τέτοιου είδους μεθόδων βελτιστοποίησης σε παρόμοιες καταστάσεις.

7.1.2 Συμπεράσματα εκ των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης προσέγγισης

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα διατριβή και που τεκμηριώνονται από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια κυρίως αφορούν στην αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων προσεγγίσεων. Αρχικά, φαίνεται ότι η χρήση διατυπώσεων με τη χρήση των τεχνικών του ιεραρχικού προγραμματισμού είναι σε θέση να αποδώσει ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την ανάλυση καταστάσεων όπου να παρέχουν την τεκμηρίωση σε σχέδια ανάπτυξης ΤΕ Ε/Κ. Οι προτεινόμενες αρχιτεκτονικές σχεδιασμού όπως κωδικοποιήθηκαν συγκροτούν ένα σύστημα υποστήριξης στρατηγικών αποφάσεων ανάπτυξης τόσο μεμονωμένων ΤΕ όσο και συνασπισμούς/συνεταιρισμούς ΤΕ.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου μπορούν να υποστηρίξουν την εμβάθυνση στην κατανόηση των φαινομένων που ανακύπτουν από μια διαδικασία σχεδιασμού μεταφορικής υποδομής. Συγκεκριμένα, η ποσοτικοποιημένη τεκμηρίωση δίνει την δυνατότητα της ανάδειξης οφελών και ζημιών από την υιοθέτηση εναλλακτικών στρατηγικών σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, εκτός του γεγονότος ότι στην παρούσα διατριβή παρουσιάστηκε ο τρόπος κωδικοποίησης και επίλυσης του κάθε 'σχήματος' σχεδιασμού, έγινε δυνατός ο εντοπισμός τριών χαρακτηριστικών τα οποία μπορούν να εμβαθύνουν στην ανάπτυξη στρατηγικών αποτελεσματικής διαχείρισης εμπορευματικών μεταφορικών συστημάτων όπως των συστημάτων ΤΕ (Κεφάλαιο 6):

- i. Παρουσιάστηκε η διαφορά που προκύπτει μεταξύ της απόδοσης του συνόλου του συστήματος των ΤΕ (αλλά και κάθε μεμονωμένης ΤΕ) μεταξύ του κάθε είδους διαχειριστικού σχήματος. Αξιολογούνται ως σημαντικά τα αποτελέσματα της συγκριμένης ανάλυσης, εφόσον μπορούν να ποσοτικοποιηθεί η επιρροή των στρατηγικών αποφάσεων μεταξύ συνεργασίας και ανταγωνισμού.
- ii. Παρουσιάστηκε η πολυπλοκότητα που ανακύπτει κατά την περίπτωση που αναπτύσσονται συνεργασίες μεταξύ των ΤΕ για την διαχείριση της ζήτησης (και καταμερισμού των οικονομικών αποτελεσμάτων) για μεταφορική εξυπηρέτηση σε μια περιοχή. Συγκεκριμένα, κατά το σχήμα σχεδιασμού με ανάπτυξη συνεργασιών μεταξύ των ΤΕ, η εκτίμηση του ΣΠ των βέλτιστων συναλλακτικών στρατηγικών, αναδεικνύει τα διλήμματα που μέλλεται να

αποτελέσουν σημεία διαπραγμάτευσης μεταξύ των μελών που αποτελούν το σύστημα των ΤΕ, και

- iii. Η επίλυση κάθε είδους σχήματος σχεδιασμού είναι δυνατόν να παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις δυνατότητες ανάπτυξης της κάθε ΤΕ. Ειδικά από τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος του Αποκεντρωμένου Σχεδιασμού μπορεί να τεκμηριωθούν θεμελιώδεις στρατηγικές αποφάσεις ανάπτυξης, όπως της αναζήτησης συνεργασιών ή της αυτόνομης χρηματοδότησης επενδύσεων.

Η ανάλυση που προιγήθηκε καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, κρίνονται ότι καλύπτουν τους στόχους που τέθηκαν στην εισαγωγή της παρούσας διατριβής. Συνολικά, η διδακτορική διατριβή συνέβαλλε στη διερεύνηση ενός προβλήματος το οποίο έχει εξεταστεί σε ιδιαίτερα περιορισμένο βαθμό κατά το παρελθόν, ενώ παρείχε τόσο ένα οργανωμένο σχέδιο στρατηγικής για το σχεδιασμό της αντιμετώπισής του όσο και τα κατάλληλα 'εργαλεία' για την πραγματοποίηση του σχεδιασμού αυτού. Επιπλέον, η ερευνητική προσπάθεια πραγματοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι απαλλαγμένη από δεσμευτικές ιδιαιτερότητες του δειγματικού χώρου, με στόχο την εφικτότητα της εφαρμογής του σε ρεαλιστικές συνθήκες εναλλακτικών επιχειρησιακών συνθηκών, εξασφαλίζοντας την ευρύτητα της προσέγγισης.

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα ανακύπτουν από το πεδίο στο οποίο συνεισέφερε η παρούσα διδακτορική διατριβή. Συγκεκριμένα, δυνατότητες εμβάθυνσης και επέκτασης της έρευνας προτείνεται ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί κυρίως στις ακόλουθες κατευθύνσεις:

- i. Αρχικά προτείνεται η εφαρμογή των προτεινόμενων σχημάτων σχεδιασμού σε διαφορετικά μεταφορικά συστήματα. Οι διατυπώσεις όλων των αρχιτεκτονικών σχεδιασμού έχουν πραγματοποιηθεί στην παρούσα διατριβή με τρόπο που να είναι δυνατή η εφαρμογή τους σε μεταφορικά συστήματα όπου η χρήση ενοποιημένων προτύπων προσφοράς-ζήτησης είναι απαραίτητη. Επίσης, οι συγκρίσεις και η ανάλυση που μπορεί να γίνει μετά την εφαρμογή των προταθέντων αρχιτεκτονικών σχεδιασμού σε ρεαλιστικά συστήματα, σε πρακτικό αλλά και σε θεωρητικό επίπεδο, αναμένεται να βοηθήσει στην κατανόηση των επιπτώσεων της εφαρμογής τους.
- ii. Στην παρούσα διατριβή διερευνήθηκαν οι τακτικές σχεδιασμού συστημάτων ΤΕ Ε/Κ οι οποίες αφενός αποτελούν τις ρεαλιστικότερες περιπτώσεις, αλλά επιπλέον από τις

οποίες μπορούν να συντεθούν και άλλες υβριδικές καταστάσεις/σχήματα ανάπτυξης. Σε επόμενο στάδιο της έρευνας προτείνεται η διερεύνηση μικτών (ή υβριδικών) αρχιτεκτονικών σχεδιασμού, όπου μικτά σχήματα συνεργασίας και ανταγωνισμού μεταξύ των διαχειριστών των ΤΕ αλλά και των ΤΕ/χρηστών οδηγούν στη διαφοροποίηση των αντικειμενικών συναρτήσεων που προτάθηκαν εδώ. Η ανάλυση αυτή προτείνεται να υιοθετήσει ιδέες από εξειδικευμένους τομείς της θεωρίας παιγνίων.

- iii. Στην παρούσα διατριβή έγινε ανάλυση της διαδικασίας καίριας διαχείρισης συστημάτων ΤΕ Ε/Κ με την διερεύνηση του βέλτιστου προγραμματισμού ανάπτυξής τους. Ωστόσο, με βάση τα προτεινόμενα αναλυτικά πρότυπα μπορεί να διερευνηθούν και εναλλακτικές στρατηγικές παρεμβάσεων σε αυτά, όπως η τιμολόγηση της λιμενικής εξυπηρέτησης, η παροχή εξυπηρέτησης κατά προτεραιότητα, καθώς και μικτές/συνδυασμένες δράσεις.
- iv. Η επίλυσης παιγνίων πεπλεγμένων και εκτεταμένων σαν και αυτά που εμφανίζονται κατά τον σχεδιασμό μεταφορικών υποδομών όπως αυτών που αναλύθηκαν στην παρούσα διατριβή, συνιστά την εισαγωγή, ανάπτυξη ή τροποποίηση προωθημένων αλγόριθμων βελτιστοποίησης. Στο πεδίο αυτό τα τελευταία χρόνια γίνεται εντατική ερευνητική προσπάθεια. Συνεπώς κρίνεται ότι υπάρχουν δυνατότητες και ευκαιρίες έρευνας προς την κατεύθυνση αυτή.

Κεφάλαιο 8

Βιβλιογραφία

1. Abdulaal M., and LeBlanc L. J. (1979) Continuous Equilibrium Network Design Models. *Transpn. Res.* 13B, 19-32.
2. Adler, N., 2005. Hub-Spoke network choice under competition with an application to Western Europe. *Transportation Science* Vol. 39, No. 1, pp. 58–72.
3. Adler, N., Smilowitz, K., 2006. Hub-And-Spoke Network Alliances and Mergers: Price-Location Competition in the Airline Industry. *Transportation Research Part B*, Vol 41, No 4, pp. 394-409.
4. Agrawal, B. B., Ziliaskopoulos, A., 2006. A shipper-carrier dynamic freight assignment model using a variational inequality approach. *CD Proceedings of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
5. Allahviranloo, M., Afandizadeh, S., 2008. Investment Optimization on Port's Development by Fuzzy Integer Programming. *European Journal of Operational Research*, 186, pp. 423-434.
6. Altman, E., Wynter, L., 2004. Equilibrium, games, and pricing in transportation and telecommunication networks. *Networks and Spatial Economics*, 4, pp. 7-21.
7. Alvarez, P., Lopez- Rodriguez, F., Canito, J. L., Moral, F. J., Camacho, A., 2007. Development of a Measure Model for Optimal Planning of Maintenance and Improvement of Roads. *Computers and Industrial Engineering*, 52, pp. 327-335.
8. Anandalingam, G., Friesz, T., L., 1992. Hierarchical Optimization: An Introduction. *Annals of Operations Research* 34, pp. 1-11.
9. Ankli, E. R., 1992. Michael Porter's Competitive Advantage and Business History. *Business and Economic History. Second Series*, Vol. 21, ...
10. Arrow, K. J., and Debreu, G., 1954. Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*, Vol. 22, No. 3, pp. 265-290.
11. Arrow, K., J., Hurwicz, L., 1977. *Studies in Resource Allocation Processes*. Cambridge: Cambridge University Press.

12. Ashar, A., 2001. Strategic Pricing in Newly Privatised Ports. *International Journal of Maritime Economics*, 3, pp. 52-78.
13. Axelrod, R., 1984. *The Evolution of Co-operation*. Penguin Books, N.Y.
14. Axelrod, R., 1997. *The Complexity of Cooperation, Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press, New Jersey.
15. Ayala, R., 2006. Price Effects from Increased Competition on a Transportation Network. Course Material, UC Irvine.
16. Ballis A. and Stathopoulos A. (2007) "The Euro - Mediterranean Transport: current status and perspectives for sea-rail intermodal transport in the region", 1st International Scientific Conference: Competitiveness and Complementarity of Transport Modes- Perspective for the Development of Intermodal Transport, University of the Aegean, Chios, Greece.
17. Ballis, A., Dimitriou, L., 2008. "Strategic Planning and Operational Management of Maritime Container Terminals" 20th National Conference of Hellenic Operational Research Society, Spetses, Greece. June 2008.
18. Ballis, A., Dimitriou, L., (to appear in 2010). Issues on Railway Wagon Asset Management Using Advanced Information Systems. *Transportation Research, Part C*.
19. Ballis, A., Dimitriou, L., and J. Paravantis, 2010. Quay to Storage Area Container Transfer: A Critical Review of Modeling Techniques and Practical Outcomes. *Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 89th Annual Meeting Proceedings CD*, Washington DC, USA.
20. Beckmann, M., McGuire C.B., Winsten C.B. (1956) *Studies in the economics of transportation*. Yale University Press, New Haven, Connecticut; also published as Rand-RM-1488-PR, Rand Corporation, Santa Monica, CA, May 12, 1955.
21. Bekhor, S., Prashker, J., N., 1999. Formulations of Extended Logit Stochastic User Equilibrium Assignments. In *Proc., International Symposium on Transportation and Traffic Theory (A. Ceder, ed.)*, Jerusalem, Israel.
22. Bekhor, S., Prashker, J., N., 2001. Stochastic User Equilibrium Formulation for Generalized Nested Logit Model. *Transportation Research Record-journal of the Transportation Research Board*, 1752, pp. 84-90.
23. Bell, M., G., Iida, Y., 1997. *Transportation Network Analysis*. John Wiley & Sons.
24. Ben-Akiva, M., Lerman, S., R., 1985. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. The MIT Press.
25. Ben-Ayed, O., Blair, C. E., 1990. Computational difficulties of bi-level linear programming, *Operations Research*, Vol. 38, pp.556-559.

26. Ben-Ayed, O., Boyce, D., E., Blair, C., E., 1988. A General Bilevel Linear Programming Formulation of the Network Design Problem. *Transportation Research Part B*, Vol. 22B, No 4, pp. 311-318.
27. Benford, H., 1981. A simple approach to fleet deployment. *Maritime Policy & Management* 8 (4), pp. 223-228.
28. Bergantino, A., S., Coppejans, L., 2000. Ship owner Preferences and User Charges: Allocating Port Infrastructure Costs. *Transportation Research Part E*, 36, pp. 97-113.
29. Bergantino, A., S., Veenstra, A., W., 2002. Interconnection And Co- Ordination: An Application Of Network Theory to Liner Shipping. *International Journal Of Maritime Economics*, 4, pp. 231-248.
30. Bertsekas, D., P., Tsitsiklis , J., N. 1989. *Parallel and Distributed Computation: Numerical Methods*. Prentice-Hall.
31. Bichou, K., Gray, R., 2004. A Logistics and Supply Chain Management Approach to Port Performance Measurement. *Maritime Policy Management*, Vol. 31, No 1, pp. 47-67.
32. Bischoff, E.E., Marriott, M. D., 1990. A comparative evaluation of heuristics for container loading. *European Journal of Operations Research*, Vol. 44, pp. 267-276.
33. Blonigen, B, A., Wilson, W., W., 2006. *International Trade, Transportation Networks and Port Choice*. Προσπελάστηκε την 09/02/2010 από:
<http://www.nets.iwr.usace.army.mil/docs/PortDevInternalTransport/PortChoice114.pdf>
34. Bongard, J., C., Lipson, H., 2009. Nonlinear System Identification Using Co-Evolution of Models and Tests. *Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 9, No 4, pp. 361-384.
35. Boyce, D., E., Lanson, B., N., 1980. A Discrete Transportation Network Design Problem with Combined Trip Distribution and Assignment. *Transportation Research Part B*, Vol. 14B, pp. 147-154.
36. Braess D. 1969. Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung. *Unternehmensforschung* 12, 258-268.
37. Braess, D., A. Nagurney and T. Wakolbinger, 2005. On a Paradox of Traffic Planning. *Transportation Science*, Vol. 39, No. 4, pp. 446-450.
38. Brotcorne, L., Labbé, M., Marcotte, P., Savard, G. Joint Design and Pricing on a Network. *Forthcoming in Operations Research*.
39. Brotcorne, L., Labbé, M., Marcotte, P., Savard, G., 2000. A bilevel model and solution algorithm for a freight tariff setting problem. *Transportation Science*, Vol. 34 , Issue 3, pp. 289-302.
40. Brotcorne, L., Marcotte, P., Savard, G., Wiart, M., 2005. Joint pricing and network capacity setting problem. *Advanced OR and AI Methods in Transportation*,

- Jaszkiewicz, Kaczmarek, Zak, Kubiak (Eds), Publishing House of Poznan University of Technology, 304-310.
41. Cariou P., 2002. Strategic Alliances in Liner Shipping: An Analysis of "Operational Synergies". IAME Conference, Panama.
42. Cascetta, E., 2001. Transportation Systems Engineering: Theory and Methods. Kluwer Academic Publishers.
43. Castelli, L., Longo, G., Pesenti, R., Ukovich, W., 2004. Two-player noncooperative games over a freight transportation network. *Transportation Science*, Vol. 38, No. 2, pp. 149-159.
44. Chang, J. S., Mackett, R. L., 2006. A Bi- Level Model of the Relationship Between Transport and Residential Location. *Transportation Research Part B*, 40, pp. 123-146.
45. Chou, C.- C., 2007. A Fuzzy MCDM Method for Solving Marine Transhipment Container Port Selection Problems. *Applied Mathematics and Computation* 186, pp. 435-444.
46. Chow, L. R., 1986. An algorithm and experimental design for the computer control of containers in the port. *International Journal on Policy and Information*, Vol. 10, No 2, pp. 31-42.
47. Chu, C., Huang, W., 2002. Aggregates cranes handling capacity of container terminals: The port of Kaohsiung. *Maritime Policy and Management*, Vol. 29, No 4, pp.341-350.
48. Colson, B., Marcotte, P., Savard, G., 2005. Bilevel Programming: A Survey. *4OR* 3, pp. 87-107.
49. Conley, J., P., Wilkie, S., 1996. An extension of the Nash bargaining solution to nonconvex problems. *Game and Economic Behavior* 13, p.p. 26-38.
50. Côté, J.-P., Marcotte, P., Savard, G., 2003. A bilevel modeling approach to pricing and fare optimization in the airline industry. *Journal of Revenue and Pricing Management* Vol. 2, pp. 23-36.
51. Crainic, G. T, Dejax, P., Delorme, L., 1989. Models for multimode multicommodity location problems with interdepot balancing requirements. *Annals of Operations Research*, 18, pp. 279-302.
52. Crainic, T. G., 2000. Service network design in freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 122, pp. 272-288.
53. Crainic, T. G., 2000. Service Network Design in Freight Transportation. *European Journal of Operational Research* 122, pp. 272-288.
54. Crainic, T. G., Frangioni, A., Gendron, B., 2001. Bundle-based relaxation methods for multicommodity capacitated fixed charge network design. *Discrete Applied Mathematics*, 112, pp. 73-99.

55. Crainic, T. G., Laporte, G., 1997. Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 97, pp.409-438.
56. Cullinane, K., Fei, W. T., Cullinane, S., 2004. Container Terminal Development in Main land China and its Impact on the Competitiveness of the Port of Hong Kong. *Transport Reviews*, Vol. 24, No 1, pp. 33-56.
57. Cullinane, K., Teng, Y., Wong, T.- F., 2005. Port Competition between Shanghai and Ningbo. *Maritime Policy and Management*, Vol. 32, No 4, pp. 331-346.
58. Cullinate, K., Song, D.- W., Wang, T., 2005. The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, 24, pp. 73-92.
59. Czerny, I. A., Mitusch, K., 2005. Cooperation and Competition in the Cargo Liner Shipping Industry, *Internationales Verkehrswesen*, No. 12, pp. 553-557.
60. Dafermos S. and Nagueryn A. 1984. Sensitivity analysis for the general spatial economic equilibrium problem. *Op. Res.* 32, 1069-1086.
61. Dafermos S.C., and Sparrow F.T. 1969. The traffic assignment problem for a general network. *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 73B: 91-118.
62. Dafermos, S., 1986. Isomorphic Multiclass Spatial Price and Multimodal Traffic Network Equilibrium Models. *Regional Science and Urban Economics*, 16, pp. 197-209.
63. Dafermos, S.C. 1968. Traffic Assignment and Resource Allocation in Transportation Networks. Ph.D. Dissertation, John Hopkins University.
64. Daganzo, C. F., 1979. *Multinomial Probit: The Theory and its Application to Demand Forecasting*. Academic Press, New York.
65. Daganzo, C. F., Sheffi, Y. 1977. On Stochastic Models of Ttraffic Assignment. *Transportation Science*, 11 (3), pp. 253-274.
66. Daganzo, F. C., 1989. Crane productivity and ship delay in ports. *Transportation Research Record* 1251, pp. 1-9.
67. Daganzo, F. C., 2004. On the stability of supply chains. *Operations Research*, Vol. 52, No. 6, pp.909-921.
68. Daganzo, F. C., 2005. *Logistics Systems Analysis*. 4th Edition. Springer.
69. Daniele, P., 2006. *Dynamic Networks and Evolutionary Variational Inequalities*. Edward Elgar Publishing, UK.
70. Daskalakis C., A. Mehta, and C., Papadimitriou (2009). A note on approximate Nash equilibria. *Theoretical Computer Science*, Volume 410 , Issue 17, pp. 1581-1588
71. Daskalakis C., P. Goldberg, and C., Papadimitriou (2006). The complexity of computing a Nash equilibrium. *Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, pp. 71 – 78, Seattle, WA, USA

72. Davidsson, P., Henesey, L., Ramstedt, L., Tornquist, J., Wernstedt, F., 2005. An Analysis of Agent- Based Approaches to Transport Logistics. *Transportation Research Part C*, 13, pp. 255-271.
73. Davies, E. J., 1986. Competition, contestability and the liner shipping industry, *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 299-312.
74. Dawkins, R., Krebs, J.R.(1979). Arms races between and within species. *Procs of the Royal Society of London, Series B* 205, pp. 489–511.
75. De Jong, E., 2005. The Maxsolve Algorithm for Coevolution. *GEECO '05*.
76. De Palma, A., Ginsburgh V., Labbé, M., Thisse, J.-F., 1989. Competitive location with random utilities. *Transportation Science*, Vol. 23, No 4, pp. 244-252.
77. De Palma, A., Ginsburgh, V., Labbe, M., Thisse, J.- F., 1989. Competitive Location With Random Utilities. *Transportation Scine*, Vol. 24, No 4, pp. 244-252.
78. De Palma, A., Leruth, R., 1993. Equilibrium in competing networks with differentiated products. *Transportation Science*, Vol. 27, No 1, pp. 73-80.
79. De Palma, A., Thisse, J-F., 1993. Competition on Networks: Some Introductory Notes. *Transportation Science*, Vol. 27, No 1, p.p. 1-3.
80. De Weille, J., Ray, A., 1974. The optimum port capacity. *Journal of Transport Economics and Policy*. Vol. 8 (3), pp. 244-259.
81. Deb, K., 2001. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. UK: Wiley.
82. Defilippi, E., 2004. Intra-port Competition, Regulatory Challenges and the Concession of Gallao Port. *Maritime Economics and Logistics*, 6, pp. 279-311.
83. Dempe, S., 2003. Annotated Bibliography on Bilevel Programming and Mathematical Programs with Equilibrium Constraints. *Optimization*, Vol. 52, (3), 2003 , pp. 333-359.
84. Denicolo, V., Mariotti, M., 2000. Nash bargaining theory, nonconvex problems and social welfare orderings. *Theory and Decision* 48, p.p. 351-358.
85. Dimitriou, L. and A. Stathopoulos, 2009. Agent-Based Evolutionary Game-Theoretic Framework for Optimizing Investment Plans of Competitive Port Facilities. *12th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems*, Redondo Beach, CA, USA.
86. Dimitriou, L., and A. Stathopoulos, "Agent-Based Game-Theoretical Framework for Designing Competitive Transportation Systems", *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, (to appear in Vol. 6, No. 3, 2010).
87. Dimitriou, L., and A. Stathopoulos 2009. "Optimal Co-Evolutionary Strategies for the Competitive Maritime Network Design Problem" *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5484, pp. 818-827, Springer.
88. Dimitriou, L., A. Katsounis, and A. Stathopoulos, 2009. Introducing Transportation-Related Carbon Footprint Considerations in Optimal Urban Road Infrastructure

- Management. *International Journal of Energy and Environment*, Issue 3, Volume 3, pp. 103-111.
89. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, 2009. Joint Pricing and Design of Urban Highways with Spatial and User Group Heterogeneity. *NETNOMICS, Economic Research and Electronic Networking*, Springer US, Vol. 10, No (1), pp. 141-160..
90. Dimitriou, L., Tsekeris, T., Stathopoulos, A., 2007. Competitive Network Design in Short-Sea Liner Markets Using Agent-Based Game-Theoretic Models. *1st International Scientific Conference: Competitiveness and Complementarity of Transport Modes-Perspective for the Development of Intermodal Transport*, University of the Aegean, Chios, Greece.
91. Dimitriou, L., Tsekeris, T., Stathopoulos, A., 2007. Evolutionary Combinatorial Programming for Discrete Road Network Design with Reliability Requirements. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5484, pp. 818-827, Springer, 2009
92. Dowd T. J., Leschine, T. M., 1990. Container terminal productivity: A perspective. *Maritime Policy & Management*, Vol. 17, No 2, pp. 107-112.
93. Dragovic, B., Park, N. K., Radmilovic, Z., Maras, V., 2005. Simulation Modeling of Ship-Berth Link with Priority Service. *Maritime Economics and Logistics*, 7, pp. 316-335.
94. Edmond, E. D., Maggs, R. P., 1976. Container ship turnaround times at UK ports. *Maritime Policy and Management*, Vol.4, pp. 3-19.
95. Edmond, E. D., Maggs, R. P., 1978. How useful are queue models in port investment decisions for container berths? *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 29, No 8, pp. 741-750.
96. Feng, C. M., Tsao, C. H., 2005. How the port operator facing partnering with container carriers. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 851 – 865.
97. Fernandez, A., Ossowski, S., 2009. A Multiagent Approach to the Dynamic Enactment of Semantic Transportation Services. *Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
98. Fisk, C. 1980. Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment. *Transportation Research*, Vol. 14B, pp. 243–255.
99. Fisk, C. S., 1984. Game theory and transportation systems modeling. *Transportation Research* 18-B, pp.301-313.
100. Fisk, C. S., 1987. Spatial, Price Equilibrium on Congested Networks. *Transportation Research B*, Vol. 21B, No 3, pp. 175-182.
101. Fisk, S. C., 1986. A conceptual framework for optimal transportation systems planning with intergrated supply and demand models. *Transportation Science*, Vol. 20, No. 1, pp. 37-47.

102. Fleischmann, B., 1993. Designing distribution systems with transport economies of scale
European Journal of Operational Research 70, pp. 31-42.
103. Fleming, D., K., Baird, A., J., 1999. Some Reflections on Port Competition in the United
States and Western Europe. Maritime Policy and Management, 26, No 4, pp. 383-
394.
104. Fox, R. N., 1994. An oligopoly model of ocean liner shipping. Review of Industrial
Organization 9, pp. 343-355.
105. Frejinger, E., Bierlaire, M., 2007. Capturing Correlation With Subnetworks in Route
Choice Models. Transportation Research Part B, 41, pp. 363-378.
106. Friedman, D., 1998. On economic applications of evolutionary game theory. Journal of
Evolutionary Economics, 8, pp. 15-43.
107. Friesz L. T., Rigdon, A. M., Mookherjee, R., 2006. Differential variational inequalities
and shipper dynamic oligopolistic network competition. Transportation Research Part
B 40, pp. 480–503.
108. Friesz, L. T., Mookherjee, R., Rigdon, A., 2005. An evolutionary game-theoretic model
of network revenue management in oligopolistic competition. Journal of Revenue and
Pricing Management, Vol. 4, No. 2, pp.156-173.
109. Friesz, L. T., Suo, Z-G, Bernstein, H. D., 1998. A dynamic disequilibrium interregional
commodity flow model. Transportation Research B, Vol. 32, No. 7, pp. 467-483.
110. Friesz, T., L., Holguin- Veras, J., Mookherjee, R., Rigdon, M., 2004. Differential
Variational Inequalities and Dynamic Models of Freight Networks.
111. Friesz, T.L. Transportation Network Equilibrium, Design and Aggregation: Key
Developments. Transport Reviews, Vol 18, No3, 1985, pp 257-278.
112. Fudenberg, D., Levine, D., K., 2009. A Long- Run Collaboration on Long- Run Games.
World Scientific.
113. Fudenberg, D., Tirole, J., 1991. Game Theory. Massachusetts Institute of Technology.
114. Fung, K.- F., 2001. Competition between the Ports of Hong Kong and Singapore: a
Structural Vector Error Correction Model to Forecast the Demand For Container
Handling Services. Maritime Policy and Management, Vol. 28, No 1 pp. 3-22.
115. Gao, Z., Wu, J., Sun, H., 2005. Solution Algorithm for The Bilevel Discrete Network
Design Problem. Transportation Research Part B, 39, pp. 479-495.
116. Garrido, A. R., Mahmassani, S. H., 2000. Forecasting freight transportation demand with
the space-time multinomial probit model. Transportation Research Part B 34, pp. 403-
418.
117. Garrido, R., A., Leva, M., 2004. Port of Destination and Carrier Selection for Fruit
Exports: A Multi-Dimensional Space-Time Multi-Nomial Probit Model.
Transportation Research part B 38, pp.657-667.

118. Gaur, P., 2005. Port Planning as a Strategic Tool: A Typology. Institute of Transport and Maritime Management, University of Antwerp.
119. Goldberg D. E., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning* Addison-Wesley Pub. Co.
120. Golob, F. T., Regan, C. A., 2000. Freight industry attitudes towards policies to reduce congestion. *Transportation Research Part E* 36, pp. 55-77.
121. Goss, R., Stevens, H., 2001. Marginal Cost Pricing in Seaports. *International Journal of Maritime Economics*, 3, pp. 128-138.
122. Griffiths, J.D., 1976a. Optimal handling capacity at a berth. *Maritime Studies and Management* 3 (3), pp. 163–167.
123. Günther, H.O. and Kim, K.H. (eds) 2005. *Container Terminals and Automated Transport Systems*. Springer, Heidelberg.
124. Ha, M.- S., 2003. A Comparison of Service Quality at Major Container Ports: Implications for Korean Ports. *Journal of Transport Geography* 11, pp. 131-137.
125. Hamilton, H. J., Thisse, J-F., 1993. Competitive spatial price discrimination with capacity constraints. *Transportation Science*, Vol. 27, No. 1, pp.55-61.
126. Hansen, M., 1990. Airline competition in a hub-dominated environment: An application of non-cooperative game theory. *Transportation Research B*, Vol. 24B, No. 1, pp. 27-43.
127. Hansen, P., Jaumard, B., Savard, G., 1992. New branch-and-bound rules for linear bi-level programming. *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing* 13(5), pp. 1194–1217.
128. Haralambides, H. E, 2002. Competition, excess capacity, and the pricing of port infrastructure. *International Journal of Maritime Economics*, 4, pp. 323-347.
129. Haralambides, H., Cariou, P., Benacchio, M., 2002. Costs, Benefits and Pricing of Dedicated Container Terminals. *International Journal of Maritime Economics*, 4, pp. 21-34.
130. Harker, P., 1988. Multiple Equilibrium Behaviours on Networks. *Transportation Science*, Vol. 22, No 1, pp. 39-46.
131. Hartmann, S., 2004. Generating scenarios for simulation and optimization of container terminal logistics. *OR Spectrum* 26, pp. 171-192.
132. Haugen, K. K, Hevrik, A., 2004. A game theoretic “mode-choice” model for freight transportation. *Annals of Regional Science*, Vol 38, No 3, pp. 469-484.
133. Heaver, T., D., 1995. The Implications of Increased Competition Among Ports for Port Policy and Management. *Maritime Policy & Management*, Vol. 22, No 2, pp. 125-133.

134. Heaver, T., Meersman, H., Moglia, F., Van De Voorde, E., 2000. Do mergers and alliances influence European shipping and port competition? *Maritime Policy & Management*, Vol. 27, No. 4, pp. 363- 373.
135. Heaver, T., Meersman, H., van de Voorde, E., 2001. Co-Operation and Competition in International Container Transport Strategies for Ports. Department of Transport & Regional Economics, Research Paper 2001-002.
136. Henesey, L., Wernstedt, F., Davidsson, P., 2002. A market-based approach to container port terminal management. In *Proceedings of the 15th European Conference on Artificial Intelligence, Workshop - Agent Technologies in Logistics*, Lyon, France.
137. Henesey, L., Wernstedt, F., Davidsson, P., 2003. Market-driven control in container terminal management. *2nd International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*.
138. Higginson, J., K., 1993. Modeling Shipper Costs in Physical Distribution Analysis. *Transportation Research A*, Vol. 27A, No 2, pp. 113-124.
139. Hillis, D., W., 1990. Co-Evolving Parasites Improve Simulated Evolution as an Optimization Procedure. *Physica D42*, pp.228-234.
140. Hofbauer, J., Sigmund, K., 1998. *Evolutionary Games and Population Dynamics*. Cambridge University Press.
141. Holguín-Veras, J., Jara-Díaz, S., 1999. Optimal pricing for priority service and space allocation in container ports *Transportation Research Part B* 33, pp. 81-106.
142. Holguín-Veras, J., Jara-Díaz, S., 2006. Preliminary insights into optimal pricing and space allocation at intermodal terminals with elastic arrivals and capacity constraint. *Netw Spat Econ* Vol. 6, pp. 25–38.
143. Hollander, Y., The applicability of non-cooperative game theory in transport systems analysis. *85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
144. Hoyle, B., Charlier, J., 1995. Inter- port Competition in Developing Countries: An East African Case Study. *Journal of Transport Geography*, Vol. 3, No 2, pp. 87-103.
145. Hurley, J. W., Petersen, R. E., 1994. Nonlinear tariffs and freight network equilibrium. *Transportation Science*, Vol. 28, No 3, pp. 236-245.
146. Hurwicz, L., Radner, R., Reiter, S., 1975. A Stochastic Decentralized Resource Allocation Process: Part I. *Econometrica*, Vol. 43, No 2, pp. 187-221.
147. Imai, A., Nagaiwa, K., Tat, C. W., 1997. Efficient of berth allocation for container terminals in Asia. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 31, No1, pp. 75-94.
148. Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou S., 2001. The dynamic berth allocation problem for a container port. *Transportation Research Part B* 35, pp. 401-417.
149. Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou S., 2003. Berth allocation with service priority. *Transportation Research Part B* 37, pp. 437–457.

150. Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., Lu, M., 2006. The economic viability of container mega-ships. *Transportation Research Part E*, Vol. 42, pp.21-41.
151. Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., Sasaki, K., 2002. The containership loading problem. *International Journal of Maritime Economics*, Vol. 4, pp. 126-148.
152. Imai, A., Sun, X., Nishimura, E., Papadimitriou S., 2005. Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach. *Transportation Research Part B* Vol.39, pp. 199–221.
153. Janić, M., 1997. Liberalisation of European aviation: Analysis and modelling of the airline behaviour. *Journal of Air Transportation Management*, Vol. 3, No 4, pp 167-180.
154. Jankowski, B. W., 1989. Competition, Contestability, and the liner shipping industry. *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 199-208.
155. Jansson, J.O., Shneerson, D., 1978. Economies of scale of general cargo ships. *Review of Economics and Statistics* 60, pp. 287–293.
156. Jara-Diaz, S. R., Martinez- Budria, E., Diaz-Hernandez, J. J., 2006. Multiple outputs in port cost function. *Research in Transportation Economics*, Vol. 16, p.p. 62-84.
157. Jeroslow, R. G., 1985. The polynomial hierarchy and a simple model for competitive analysis. *Mathematical Programming* 32, pp. 146–164.
158. Kanafani, A., Kuroda, K., (Eds.) 2005. *Global Competition in Transportation Markets: Analysis and Policy Making*. Research in Transportation Economics, Vol. 13, Elsevier.
159. Kent, P., E., Ashar, A., 2001. Port Competition Regulation: A Tool for Monitoring for Anti-Competitive Behaviour. *International Journal of Maritime Economics*, 3, pp. 27-51.
160. Kim, J. B., Kim, K-W., 2006. An equilibrium network design model with a social cost function for multimodal networks. *The Annals of Regional Science*, Vol. 40, No 3, pp. 473-491.
161. Kim, K. H., Kim, H. B., 1998. The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 35, (3/4), pp. 427-430.
162. Kim, K. H., Kim, K. Y., 1999. An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminals. *Transportation Science*, Vol. 33, No 1, pp. 17-33.
163. Kinderlehrer, D., Stampacchia, G., 1980. *An Introduction to Variational Inequalities and Their Applications*. Academic Press, New York.
164. Knieps, G., 1993. *Competition, Coordination and Cooperation. A Disaggregated Approach to Transportation Regulation*. Butterworth- Heinemann Ltd (1993).

165. Koh, Y.- K., 2001. Optimal Investment Priority in Container Port Development. *Maritime Policy & Management*. Vol. 28, No 2, pp. 109-123.
166. Konings, R., Ludema, M., 2000. The Competitiveness of the River-Sea Transport System: Market Perspectives on the United Kingdom-Germany Corridor. *Journal of Transport Geography*, 8, pp. 221-228.
167. Kozan, E., 1997. Comparison of analytical and simulation planning models of seaport container terminals. *Transportation Planning and Technology*, Vol.20, pp. 235-248.
168. Lai, F. M., Lo, K. H., 2004. Ferry service network design: optimal fleet size, routing, and scheduling. *Transportation Research Part A* 38, pp. 305-328.
169. Larson, K., Sandholm, T., 2005. Mechanism Design and Deliberative Agents, *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 299-312.
170. Leblanc, L., J., 1975. An Algorithm for the Discrete Network Design Problem. ... ,pp. 183-199.
171. Lederer, J. P., 1993. A competitive network design problem with pricing. *Transportation Science*, Vol. 27, No. 1, pp. 25-38.
172. Le-Griffin, D. H., Murphy, M., 2006. Container terminal productivity: experiences at the ports of Los Angeles and Long Beach. Le Murphy NUF Conference.
173. Lim, T., C., Thanopoulou, H., A., Beynon, M., J., Beresford, A., K., C., 2004. An Application of AHP on Transshipment Port Selection: A Global Perspective. *Maritime Economics & Logistics*, 6, pp. 70-91.
174. Liu, Z, Nagurney, A., 2003. Financial Networks with Intermediation and Transportation Network Equilibria: A Supernetwork Equivalence and Reinterpretation of the Equilibrium Conditions with Computations. *Computational Management Science*, Vol. 4, No 3, pp. 243-281.
175. Lu, C.- S., 2003. Market Segment Evaluation and International Distribution Centers. *Transportation Research Part E*, 39, pp. 49-60.
176. Lu, L., Wang, G., 2008. A Study on Multi- agent Supply Chain Framework based on Network Economy. *Computers and Industrial Engineering*, 54, pp. 288-300.
177. Luo, Z.-Q., J.-S., Pang, and D. Ralph, 1996. *Mathematical Programming with Equilibrium Constraints*. Cambridge University Press.
178. Luce, D., and R., Raiffa, H., 1985. *Games and Decisions: Introduction and Critical Survey*. Dover Publications.
179. Maatsch, S., 2007. Estimating Deep-sea, Short-sea and Transshipment Volumes. ISL 2007.
180. Macharis, C., Bontekoning M. Y., 2004. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review. *European Journal of Operational Research* 153, pp. 400-416.

181. Magnanti, T.L., Wong, R.T.: Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms. Transp. Sci. 18 (1984) 1-55
182. Mailath, G., Samuelson, L., 2006. Repeated Games and Reputations, Long-Run Relationships. Oxford University Press.
183. Malchow, M., B., Kanafani, A., 2004. A Disaggregate Analysis of Port Selection. Transportation Research Part E, 40, pp. 317-337.
184. Manheim, M. L. (1980) Understanding “supply” in transportation systems. Transportation Research A, Vol. 14,(2), p.p. 119-135.
185. Manheim, M. L. 1979. Fundamentals of Transportation Systems Analysis. Volume 1 Basic Concepts. MIT Press, MA, USA.
186. Marcotte, P., Savard, G., Zhu, D., 2009 Mathematical Structure of a Bilevel Strategic Pricing Model. European Journal of Operations Research, Vol 193, (2), pp. 552-566.
187. Marianov, V., Serra, D., ReVelle, C., 1999. Location of Hubs in a Competitive Environment. European Journal of Operational Research, 114, pp. 363-371.
188. Mariotti, M., 1998. NOTE Extending Nash’s axioms to nonconvex problems. Game and Economic Behavior 22, p.p. 377-383.
189. Mayerson, R., B., 1991. Game Theory: Analysis of Conflict. Harvard University Press.
190. Maynard Smith, J., 1982. Evolution and the Theory of Games. Cambridge University Press.
191. McKenzie, L. W. (1959). On the Existence of General Equilibrium for a Competitive Market. Econometrica, Vol. 27, No. 1, pp. 54-71.
192. Medda, F., Carbonaro, G., 2007. The determinants of port competitiveness in the Mediterranean: A Conceptual Framework. TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM.
193. Meersman, H., Van de Voorde, E., Vanelander, T., 2007. Port Congestion Problems: Some Evidence from European and US Ports. 1st International Scientific Conference: Competitiveness and Complementarity of Transport Modes-Perspective for the Development of Intermodal Transport, University of the Aegean, Chios, Greece.
194. Miconi, T., 2009. Why Coevolution Doesn’t “Work” : Superiority and Progress in Coevolution. L. Vanneschi et al. (Eds): EuroGP 2009, LNCS 5481, pp. 49-60.
195. Migdalas, A., 1995. When is a Stackelberg Equilibrium Pareto Optimum? P. M. Pardalos et al. (Eds). *Advances in Multicriteria Analysis*, pp. 175-181.
196. Miller, T., Tobin, L. R., Friesz, L. T., 1992. Network facility-location models in Stackelberg-Nash-Cournot spatial competition. The Journal of the Regional Science Association International, 71, 3, pp. 277-291.
197. Moglia, F., Sanguineri, M., 2003. Port Planning: the Need for a New Approach? Maritime Economics & Logistics, 5, pp. 413-425.

198. Monteiro, F., 2001. The Importance of Measuring Port Performance in Intermodal Supply Chains. European Commission (2001).
199. Motta, M., 2004. Competition Policy, Cambridge University Press.
200. Musso, E., Ferrari, C., Benacchio, M., 1999. On the global optimum size of port terminals. International Journal of Transport Economics, Vol. 26, No 3, pp. 415-437.
201. Nagurney, A., 1999. Network Economics. A variational inequality approach, revised second edition. Kluwer Academic Publishers, Boston.
202. Nagurney, A., Dong, J., 2002. Supernetworks: Decision-making for the Information Age. MA: Edward Elgar.
203. Nagurney, A., Dong, J., Zhang, D., 2002. A supply chain network equilibrium model. Transportation Research Part E 38, pp. 281–303.
204. Nagurney, A., Toyasaki, F., 2003. Supply Chain Supernetworks and Environmental Criteria. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 8, Issue 3, pp. 185-213.
205. Nam, K.-C., Kwak, K.-S., Yu, M.-S., 2002. Simulation Study of Container Terminal Performance. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, pp. 126-132.
206. Nash, J.F., Non-cooperative games. Ph.D. Dissertation, Princeton University, 1950.
207. Nijkamp, P., Reggiani, A., Tsang, W. F., 2004. Comparative Modelling of Interregional Transport Flows: Applications to Multimodal European Freight Transport. European Journal of Operational Research 155, pp. 584-602.
208. Nir, A.- S., Lin, K., Liang, G.- S., 2003. Port Choice Behaviour- From the Perspective of the Shipper. Marit. Pol. Mngt., 30, No 2, pp. 165-173.
209. Nisan, N., Roughgarden, T., Tardos, E., Vazirani, V., V. (Eds), 2007. Algorithmic Game Theory. Cambridge University Press.
210. Noritake, M., Kimura, S., 1983. Optimum number and capacity of seaport berths. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 109 (33), pp. 323-339.
211. Noritake, M., Kimura, S., 1990. Optimum allocation and size of seaports. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 116 (2), pp. 287-299.
212. Notteboom, T., 2008. The Relationship Between Seaports and the Inter-modal Hinterland in Light of Global Supply Chains. European Challenges. Discussion Paper No 2008-10.
213. Notteboom, T., E., 2006. The Time Factor in Liner Shipping Services. Maritime Economics & Logistics, 8, pp. 19-39.
214. Notteboom, T., E., Winkelmans, W., 2001. Structural Changes in Logistics: How Will Port Authorities Face the Challenge? Marit. Pol. Mngt., Vol. 28 No 1, pp. 71-89.

215. Ortúzar, J. de D., and L. G. Willumsen (2002). *Modelling Transport*. 3rd Ed. J. Wiley & Sons International.
216. Osborne, M., J., Rubinstein, A., 1994. *A Course in Game Theory*. Massachusetts Institute of Technology.
217. Osyczka, A., Kundu, S., 1995. A New Method to Solve Generalized Multicriteria Optimization Problems Using the Simple Genetic Algorithm. *Structural Optimization*, 10, pp. 94-99.
218. Oum, H. T., Trethway, W. M., Walters, W. G., 1992. Concepts, methods and purposes of productivity measurement in transportation. *Transportation Research A*, Vol. 26A, No. 6, pp. 493-505.
219. Oum, T. H., Park, J.- H., 2004. Multinational Firms' Location Preference for Regional Distribution Centers: Focus on the Northeast Asian Region. *Transportation Research Part E*, 40, pp. 101-121.
220. Pando, J., Araujo, A., Maqueda, F. J., 2005. Marketing Management at the World's Major Ports. *Marit. Pol. Mngt.* Vol. 32, No 2, pp. 67-87.
221. Papadimitriou, C.H., 2001. Algorithms, games, and the Internet. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC)*. Hersonissos, Greece. ACM Press, New York, NY, pp. 749-753.
222. Parola, F., Sciomachen, A., 2005. Intermodal container flows in a port system network: Analysis of possible growths via simulation models. *International Journal of Production Economics*, Vol. 97, No 1, pp. 75-88.
223. Patriksson, M., 2008. On The Applicability and Solution of Bilevel Optimization Models in Transportation Science: A study on the Existence, Stability and Computation of Optimal Solutions to Stochastic Mathematical programs with Equilibrium Constraints. *Transportation Research part B*, Vol. 42, pp. 843-860.
224. Perakis, A.N., 1985. A second look at fleet deployment. *Maritime Policy & Management* 12 (3), pp. 209-214.
225. Perakis, A.N., Jaramillo, D.I., 1991. Fleet deployment optimization for liner shipping: Part 1. Background, problem formulation, and solution approaches. *Maritime Policy & Management* 18 (3), pp.183-200.
226. Perrot, A., 1993. Compatibility, networks, and competition: A review of recent advances. *Transportation Science*, Vol. 27, No. 2, pp.62-72.
227. Peterkofsky, R. I., Daganzo, C. F., 1990. A branch and bound method for the crane scheduling problem. *Transportation Research B*, Vol. 24, No 3, pp. 159-172.
228. Peters, H., J. F., 2001. Developments in Global Seatrade and Container Shipping Markets: Their Effects on the Port Industry and Private Sector Involvement. *International Journal of Maritime Economics*, 3, pp. 3-26.

229. Porter, E. M., 1980. *Competitive Strategy*. Free Press. NY.
230. Porter, M., E., 1985. *Competitive Advantage*. Free Press.
231. Pracz, M., Tyers, R., 2006. Strategic interaction amongst Australia's east coast ports. *Working Papers in Economics and Econometrics* No. 471.
232. Preston, P., Kozan, E., 2001. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. *Computers & Operations Research* 28, pp. 983-995.
233. Psaraftis, H.N., 2005. "Tariff Reform in the Port of Piraeus: A Practical Approach," *Maritime Economics and Logistics*, Palgrave-McMillan, No. 7, pp. 356-381.
234. Psaraftis, H.N., 2005. EU Ports Policy: Where do we Go from Here? *Maritime Economics and Logistics*, Palgrave-McMillan, No. 7, pp. 73-82.
235. Psaraftis, H.N., M.M Solomon, T.L. Magnanti, T.U. Kim, (1990). "Routing and Scheduling on a Shoreline with Release Times," *Management Science* 36, No.2 212-223.
236. Racunica, I., Wynter, L., 2005. Optimal location of intermodal freight hubs. *Transportation Research Part B* 39, pp. 453-477.
237. Rao, J. R. J., Badhrinath, K., Pakala, R., Mistree, F., 1997. A study of optimal design under conflict using models of multi-player games. *Engineering Optimization*, Vol. 28, No 1-2, pp. 63-94.
238. Rapoport, A., 1966. *Two-Person Game Theory*. Dover Publications, Inc.
239. Rapoport, A., 1970. *N-Person Game Theory: Concepts and Applications*. Dover Publications, Inc.
240. Robinson, R., 2002. Ports as Elements in Value-Driven Chain Systems: The New Paradigm. *Marit. Pol. Mgmt.*, Vol. 29, No 3, pp. 241-255.
241. Roughgarden T. 2005. *The Price of Anarchy*. MIT Press, Cambridge, MA.
242. Roughgarden, T., 2005. *Selfish Routing and the Price of Anarchy*. Massachusetts Institute of Technology.
243. Rutten, B., J., C., M., 1998. The Design of a Terminal Network for Intermodal Transport. *Transport Logistics*, Vol. 1. No 4, pp.279-298.
244. Sahin, B., Yilmaz, H., Ust, Y., Guneri, A. F., Gulsun, B., 2009. An Approach for Analysing Transportation Costs and a Case Study. *European Journal of Operational Research*, 193, pp. 1-11.
245. Schweitzer, F., Ebeling, W., Rose, H., Weiss, O., 1997. Optimization of Road Networks Using Evolutionary Strategies. *Evolutionary Computation*....
246. Sheffi, Y., Daganzo, C., F., 1978. Hypernetworks and Supply Demand Equilibrium with Disaggregate Demand Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, National Academy Press, 673, pp. 113-121.

247. Sheffi, Y., Urban Transportation Networks. Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods. Prentice- Hall Inc. Englewood Cliffs.
248. Sjostrom, W., 2002. Liner shipping: Modelling competition and collusion. *Modelling Competition*,
249. Slack, B., 1993. Pawns in the Game: Ports in a Global Transportation System. *Growth and Change*, Vol. 24, pp. 579-588.
250. Slack, B., Fremont, A., 2005. Transformation of Port Terminal Operations: From The Local to The Global. *Transport Reviews*, Vol. 25, No 1, pp. 117-130.
251. Song, D.- W., 2002. Regional Container Port Competition and Co-operation: The Case of Hong Kong and South China. *Journal of Transport Geography*, 10, pp. 99-110.
252. Song, D.- W., 2003. Port Co-Operation in Concept and Practice. *Marit. Pol. Mngt.*, 30, pp. 29-44.
253. Song, D.- W., Yeo, K.- T., 2004. A Competitive Analysis of Chinese Container Ports Using the Analytic Hierarchy Process. *Maritime Economics & Logistics*, 6, pp. 34-52.
254. Song, D-W., Panayides, M. P., 2002. A conceptual application of cooperative game theory to liner shipping strategic alliances. *Maritime Policy & Management*, Vol. 29., No. 3, pp. 285-301.
255. Song, D-W., Panayides, M. P., 2007. Global supply chain and port/terminal: integration and competitiveness. *International Conference on Logistics, Shipping and Port Management*.
256. Southworth, F., Peterson, B., E., 2000. Intermodal and International Freight Network Modeling. *Transportation Research Part C*, 8, pp. 147-166.
257. Stackelberg, H. Van, 1952. *The Theory of Market Economy*. Oxford University Press, Oxford.
258. Stahl, S., 1999. *A Gentle Introduction to Game Theory*. American Mathematical Society.
259. Stahlbock R., Voss, S., 2008. Operations Research at Container Terminals: a Literature Update. *OR Spectrum*. Vol. 30, pp. 1-52.
260. Stathopoulos A. 1979. Diversion of Traffic to Small Container Ports. Aspects of Evaluation Methods to Establish the New Potential. *Proceedings of Symposium on Unitized Cargo Terminals*. Athens, May 1979.
261. Steeken, D., Voss, S., Stahlbock, R., 2004 Container Terminal Operation and Operations Research - A Classification and Literature Review. *OR Spectrum*. Vol. 26, pp. 3-49.
262. Steenken, D., Vob, S. and Stahlbock, R. 2004. Container terminal operations research – a classification and literature review. *OR Spectrum*, 26, p.p. 3-49.
263. Tamir, A., 1992. On the core of cost allocation games defined on location problems. *Transportation Science*, Vol. 27, No. 1, pp.81-86.

264. Telser, G. L., 2007. Competition, Collusion, and Game Theory. A Division of Transaction Publishers.
265. Theofanis, S., Boile, M., Golias, M., M., 2009. Container Terminal Berth Planning: Research Approaches and Practical Challenges – A Critical Review. Presented at the 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
266. Theofanis, S., Boile, M., 2007. Recent Advances in Global Terminal Operations: The Role of Infrastructure Investors. What is the Next Step? Εξελίξεις και Πρακτικές στην Οργάνωση, Λειτουργία και Διοίκηση των Λιμένων και Λιμενικών Τερματικών Εγκαταστάσεων. Θεσσαλονίκη (2007).
267. Tirole, J., 1988. The Theory of Industrial Organization. Massachusetts Institute of Technology.
268. Tsaboulas, D.A. Development strategies for intermodal transport in Europe. In Konings, R., H. Priemus, and P. Nijkamp (Eds.) *"The Future of Intermodal Freight Transport. Operations, Design and Policy"*. Edward Elgar, 2008, USA.
269. Tsaboulas, D.A. Intermodal Transport Markets and Sustainability in Europe. In Rietveld, P., and R.R. Stough (Eds.) *"Barriers to Sustainable Transport. Institutions, Regulation and Sustainability"*. Spon Press, 2005, London, New York.
270. Van Zuylen, H., J., Taale, H., 2004. Urban Networks with Ring Roads: A two- Level, Three Player Game. Transportation research Board 2004 Annual Meeting.
271. Veldman, J. S., Bückmann, H. E., 2003. A Model on container port competition: An application for the west European container hub-ports. Marine Economics & Logistics, 5, pp. 3-22.
272. Vermeij, G., J., 1994. The Evolutionary Interaction Among Species: Selection, Escalation and Coevolution. Annual Review of Ecology and Systematics, 25, pp. 219-236.
273. Vicente, L. N., Savard, G., Judice, J., J., 1994. Descent approaches for quadratic bi-level programming. Journal of Optimization Theory and Applications 81, pp. 379–399.
274. von Neumann, J. and O. Morgenstern. Theory of Games and Economic behavior. Princeton University Press, 1944.
275. Waidringer, J., 1999. Port Logistics from a Network Perspective. A Generic model for Port Terminal Optimisation. Department of Transportation & Logistics, Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden. Report 41.
276. Wallace, M., D., Wilson, J., M., 1978. Non-linear Arms Race Models. Journal of Peace Research, Vol. 15, No 2, pp. 175-192.
277. Wang, T.-F., Cullinane, K., Song, D.-W., 2005. Container port production and economic efficiency. Palgrave Macmillan, N.Y.

278. Washington, S., Congdon, P., Karlaftis, M., Mannering, F., 2009. The Bayesian Multinomial Logit Model: Theory and Route Choice Example. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, National Academy Press, Washington D.C., In Press.
279. Wei , W., Hansen, M., 2005. Impact of aircraft size and seat availability on airlines' demand and market share in duopoly markets. Transportation Research Part E 41, pp. 315–327.
280. Wei , W., Hansen, M., 2006. An aggregate demand model for air passenger traffic in the hub-and-spoke network Transportation Research Part A 40, pp. 841–885.
281. Wei, T., Deng, G., Wu, P., 2007. Analysis of Network Effect in Port and Shipping System Characterized by Scale-Free Network. International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE 2007).
282. Wei, W., Hansen, M., 2007. Airlines' competition in aircraft size and service frequency in duopoly markets. Transportation Research E, Logistics and Transportation Review Vol. 43, Issue 4, pp. 409-424.
283. Weibull, J., 1995. *Evolutionary Game Theory*. The MIT Press, Cambridge, MA.
284. Weiss, G., Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. MIT Press, London, England.
285. Wen, C.- H., Koppelman, F., S., 2001. The Generalized Nested Logit Model. Transportation Research Part B, 35, pp. 627-641.
286. Williams, H, C. W. L., Abdulaal, J., 1993. Public Transport Services Under Market Arrangements, Part I: A Model Of Competition Between Independent Operators. Transportation Research part B, Vol. 27B, No 5, pp. 369-387.
287. Winston, C., 1981a. A disaggregate model of the demand for intercity freight transportation. Econometrica 49 (4), pp. 981–1006.
288. Winston, C., 1981b. A multinomial probit prediction of the demand for domestic ocean container service. Journal of Transport Economics and Policy 15 (3), pp. 243–252.
289. Xiao, F., Yang, H., 2007. Three- Player Game- Theoretic Model Over A Freight Transportation Network. Transportation Research Part C, 15, pp. 209-217.
290. Yang, H., Bell, M. G. H., 1998. A Capacity Paradox In Network Design and How to Avoid It. Transport Research part A, Vol. 32, No 7, pp. 539-545.
291. Yap, W. Y., Lam, J., S. L., 2004. An Interpretation of Inter- Container Port relationships from the Demand Perspective. Maritime Policy and Management, 31, No 4, pp. 337-355.
292. Yap, W. Y., Lam, J., S. L., 2006. Competition Dynamics Between Container Ports in East Asia. Transportation Research Part A, 40, pp. 35-51.

293. Yap, W. Y., Lam, J., S. L., Notteboom, T., 2006. Developments in Container Port Competition in East Asia. *Transport Reviews*, Vol. 26, No 2, pp. 167-188.
294. Yeo, G.- T., Song, D.- W., 2006. An Application of the Hierarchical Fuzzy Process Container Port Competition Policy and Strategic Implications. *Transportation* 33, pp. 409-422.
295. Yin, Y. (2000) Multiobjective bilevel optimization for transportation planning and management problems. *Journal of Advanced Transportation*, 36, 93-105.
296. Yin, Y. and Lawphongpanich, S. (2006) Internalizing emission externality on road networks. *Transportation Research Part D*, 11, 292-301.
297. Yo, T.- S., de Jong, E., 2007. A Comparison of Evaluation Methods in Coevolution. *Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, London, England.
298. Youssef, W., Hansen, M., 1994. Consequences of strategic alliances between international airlines: The case of Swissair and SAS. *Transportation. Research A*. Vol. 28A, No. 5, pp. 415-431.
299. Zäpfel, G., Wasner, M., 2002. Planning and optimization of hub-and-spoke transportation networks of cooperative third-party logistics providers. *International Journal of Production Economics*, 78, pp. 207-220.
300. Zhang, A., 2008. The Impact of Hinterland Access Conditions on Rivalry Between Ports. Discussion Paper No 2008-8.
301. Zhang, P., Peeta, S., Friesz, T., 2005. Dynamic Game Theoretic Model of Multi-Layer Infrastructure Networks. *Networks and Spatial Economics*, 5, pp. 147-178.
302. Zhou, J., Lam, W., H. K., Heydecker, B., G., 2005. The Generalized Nash Equilibrium Model for Oligopolistic Transit Market with Elastic Demand. *Transportation Research Part B*, 39, pp. 519-544.
303. Zhou, L., 1996. The Nash bargaining theory with nonconvex problems. *Econometrica*, Vol. 65, No 3, p.p. 681-685.
304. Zografos, K., Martinez, W., 1990. Improving the performance of a port system through service demand reallocation. *Transportation Research B*, Vol. 24B, No 2, pp. 79-97.
305. Βαρουφάκης, Γ., 2007. Θεωρία Παγνίων: Η Θεωρία που Φυλοδοξεί να Ενοποιήσει τις Κοινωνικές Επιστήμες, Gutenberg. Αθήνα.

Παράρτημα Α

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

```
function rsIt= Pinit(x)

global a b L
a=50; %Population Length
b=30; %String Length
L=x; %Loops

%matlabpool open -s4
%matlabpool close

pop1=unidrnd(10,a,b);
pop2=unidrnd(10,a,b);
pop3=unidrnd(10,a,b);

for i=1:a;
    for j=1:b ;
        if (pop1(i,j)<5);
            pop1(i,j)=0;
        else
            pop1(i,j)=1;
        end
    end
end

for i=1:a;
    for j=1:b ;
        if (pop2(i,j)<5);
            pop2(i,j)=0;
        else
            pop2(i,j)=1;
        end
    end
end

for i=1:a;
    for j=1:b ;
        if (pop3(i,j)<5);
            pop3(i,j)=0;
        else
            pop3(i,j)=1;
        end
    end
end
```

```

epop=zeros(a,3);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
cnt=0;
for i=1:L
    cnt=cnt+1;
    k=bindec(pop1,pop2,pop3); % Binary-Decimal transformation and adjust
    dpop1=k(:,1); dpop2=k(:,2); dpop3=k(:,3);

    parfor j=1:3
        if(j==1)
            epop1(:,j)=ag1([dpop1 dpop2 dpop3]);
        elseif(j==2)
            epop2(:,j)=ag2([dpop1 dpop2 dpop3]);
        else
            epop3(:,j)=ag3([dpop1 dpop2 dpop3]);
        end
    end
end

epop=[epop1(:,1) epop2(:,2) epop3(:,3)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
only
plotina%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if(cnt==1)
    maxpop=rand(cnt,3);
    maxpop(cnt,1:3)=max(epop);
else
    maxpop(cnt,1:3)=max(epop);
end
maxpop
subplot(2,1,1)
plot(maxpop)

if(cnt>1)
    if ((maxpop(cnt,1)>maxpop(cnt-1,1)) && (maxpop(cnt,2)>maxpop(cnt-1,2)) && ...
        (maxpop(cnt,3)>maxpop(cnt-1,3)) && (maxpop(cnt,1)>bstpop(cnt-1,1)) ...
        && (maxpop(cnt,2)>bstpop(cnt-1,2)) && (maxpop(cnt,3)>bstpop(cnt-1,3)))
        bstpop(cnt,1)=maxpop(cnt,1);
        bstpop(cnt,2)=maxpop(cnt,2);
        bstpop(cnt,3)=maxpop(cnt,3);
    else
        bstpop(cnt,1)=bstpop(cnt-1,1);
        bstpop(cnt,2)=bstpop(cnt-1,2);
        bstpop(cnt,3)=bstpop(cnt-1,3);
    end
end

```

```
else
    bstpop(cnt,1)=maxpop(1,1);
    bstpop(cnt,2)=maxpop(1,2);
    bstpop(cnt,3)=maxpop(1,3);
end

allpop=[maxpop, bstpop];
subplot(3,1,1)
plot(bstpop)
subplot(3,1,3)
plot(allpop)
subplot(2,1,2)
bar(k');
drawnow

%Only
plotting%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

selpop=selectn(epop); Identification of an improved intermediate
population
[npop1, npop2, npop3]=crossover(selpop, pop1, pop2,pop3); Crossover
operation
[mpop1, mpop2, mpop3]=mutation(npop1, npop2, npop3); Mutation
operation
pop1=mpop1;
pop2=mpop2;
pop3=mpop3;

if (cnt==1)
    pause
end

end

k
rslt=maxpop;

fprintf('%15.2f%15.2f%15.2f\n',rslt)
```

```
function sl =coselectn(x)

global a b L

epop=x;

%Tournament selection among 3 candidates

%Subsum for co-evolutionary selection
for i=1:a
    Aepop(i)=epop(i,2)+epop(i,3);
    Bepop(i)=epop(i,1)+epop(i,3);
    Cepop(i)=epop(i,1)+epop(i,2);
end

mcm=0.75; %Main component multiplier
scm=0.25; %Secondary components multiplier

for i=1:a
    cepop(a,1)=mcm.*epop(a,1)+scm.*Aepop(i)./2;
    cepop(a,2)=mcm.*epop(a,2)+scm.*Bepop(i)./2;
    cepop(a,3)=mcm.*epop(a,3)+scm.*Cepop(i)./2;
end

%Selection of the A's population

rmtx=unidrnd(a,1,a+1);
rmtx=int32(rmtx);

for i=1:a
    if ((cepop(i,1)>cepop(rmtx(i),1)) & (cepop(i,1)>cepop(rmtx(i+1),1)))
        parl(i)=i;
    elseif ((cepop(rmtx(i),1)>cepop(i,1)) & (cepop(rmtx(i),1)>cepop(rmtx(i+1),1)))
        parl(i)=rmtx(i);
    else
        parl(i)=rmtx(i+1);
    end
end
parl;

%Selection of the B's population

rmtx=unidrnd(a,1,a+1);
rmtx=int32(rmtx);

for i=1:a
    if ((cepop(i,2)>cepop(rmtx(i),2)) & (cepop(i,2)>cepop(rmtx(i+1),2)))
```



```
        par2(i)=i;

elseif ((cepop(rmtx(i),2)>cepop(i,2)) & (cepop(rmtx(i),2)>cepop(rmtx(i+1),2)))
        par2(i)=rmtx(i);
    else
        par2(i)=rmtx(i+1);
    end
end

par2;

%Selection of the C's population

rmtx=unidrnd(a,1,a+1);
rmtx=int32(rmtx);

for i=1:a
    if ((cepop(i,3)>cepop(rmtx(i),3)) & (cepop(i,3)>cepop(rmtx(i+1),3)))
        par3(i)=i;

elseif ((cepop(rmtx(i),3)>cepop(i,3)) & (cepop(rmtx(i),3)>cepop(rmtx(i+1),3)))
        par3(i)=rmtx(i);
    else
        par3(i)=rmtx(i+1);
    end
end

par3;

s1=[par1' par2' par3'];

end
```

```

function z= SUE(x)

fg=50;

dem=4547;
theta=1;
Cap=[ (4000+x(1)) (2000+x(2)) (700+x(3))]

dem=[0 0 0 0 0.7470 0.4700 1.2791 1.4314 0.5987 0.1291;
      0 0 0 0 0.6496 1.1573 0.4343 0.4329 1.4146 0.0919;
      0 0 0 0 1.3034 1.1154 0.8614 1.3864 0.9965 0.9037;
      0 0 0 0 1.3539 0.2769 1.1902 0.4146 0.9360 1.3266;
      1.0766 1.3625 1.1556 0.1654 0 0.2026 0 0 0 0;
      0.1661 0.2416 1.2901 1.4020 0.8339 0 0 0 0 0;
      0.4742 0.7181 1.2652 1.1830 0 0 0 0 0 0;
      0.9311 1.5591 0.6678 0.5399 0 0 0 0 0 0;
      1.6302 1.3488 1.1160 1.6178 0 0 0 0 0 0;
      1.6428 1.6336 0.2915 0.0586 0 0 0 0 0 0];

dem= 1.0e+005 *.dem;

p=[dem./2 dem./2 0];
Lcst=ones(1,9);
Lcst(4:9)=10.*[5 5 5 50 49 52];

Im=zeros(10, 10, 6, 36);

Im(1,5,1,8)=1; Im(1,5,1,3)=1;

Im(1,6,1,9)=1; Im(1,6,1,5)=1;

Im(1,7,1,7)=1; Im(1,7,1,1)=1; Im(1,7,1,19)=1;
Im(1,7,2,8)=1; Im(1,7,2,1)=1; Im(1,7,2,20)=1;

Im(1,8,1,7)=1; Im(1,8,1,1)=1; Im(1,8,1,21)=1;
Im(1,8,2,7)=1; Im(1,8,2,1)=1; Im(1,8,2,22)=1;
Im(1,8,3,8)=1; Im(1,8,3,3)=1; Im(1,8,3,25)=1;
Im(1,8,4,8)=1; Im(1,8,4,3)=1; Im(1,8,4,26)=1;
Im(1,8,5,9)=1; Im(1,8,5,5)=1; Im(1,8,5,31)=1;
Im(1,8,6,9)=1; Im(1,8,6,5)=1; Im(1,8,6,32)=1;

Im(1,9,1,7)=1; Im(1,9,1,1)=1; Im(1,9,1,23)=1;
Im(1,9,2,7)=1; Im(1,9,2,1)=1; Im(1,9,2,24)=1;
Im(1,9,3,8)=1; Im(1,9,3,3)=1; Im(1,9,3,27)=1;
Im(1,9,4,8)=1; Im(1,9,4,3)=1; Im(1,9,4,28)=1;
Im(1,9,5,9)=1; Im(1,9,5,5)=1; Im(1,9,5,33)=1;
Im(1,9,6,9)=1; Im(1,9,6,5)=1; Im(1,9,6,34)=1;

Im(3,10,1,8)=1; Im(3,10,1,3)=1; Im(3,10,1,29)=1;
Im(3,10,2,8)=1; Im(3,10,2,3)=1; Im(3,10,2,30)=1;

```

```
Im(3,10,3,9)=1; Im(3,10,3,5)=1; Im(3,10,3,35)=1;
Im(3,10,4,9)=1; Im(3,10,4,5)=1; Im(3,10,4,36)=1;
```

```
Im(2,5,1,11)=1; Im(2,5,1,3)=1;
```

```
Im(2,6,1,12)=1; Im(2,6,1,5)=1;
```

```
Im(2,7,3,10)=1; Im(2,7,1,1)=1; Im(2,7,1,19)=1;
Im(2,7,2,10)=1; Im(2,7,2,1)=1; Im(2,7,2,20)=1;
```

```
Im(2,8,1,10)=1; Im(2,8,1,1)=1; Im(2,8,1,21)=1;
Im(2,8,2,10)=1; Im(2,8,2,1)=1; Im(2,8,2,22)=1;
Im(2,8,3,11)=1; Im(2,8,3,3)=1; Im(2,8,3,25)=1;
Im(2,8,4,11)=1; Im(2,8,4,3)=1; Im(2,8,4,26)=1;
Im(2,8,5,12)=1; Im(2,8,5,5)=1; Im(2,8,5,31)=1;
```

```
im=[1 0 0 ; 0 1 0 ; 0 0 1 ; 1 0 0 ; 0 1 0 ; ...
    0 0 1 ; 1 0 0 ; 0 1 0 ; 0 0 1 ];
```

```
w1=0.0002;
w2=15;
```

```
%MGA starts
for jj=1:fg
```

```
vtc=zeros(1,3);
for i=1:3
    flow1(:,i)=im(:,i).*p(i);
end
flow1;
```

```
for i=1:3
    Lc(:,i)=im(:,i).*Lcst(:);
end
Lc;
```

```
%Calculates the flow in each capacitor
vtc(1)=flow1(1,1)./Cap(1);
vtc(2)=flow1(2,2)./Cap(2);
vtc(3)=flow1(3,3)./Cap(3);
```

```
Lc(1,1)=200+w1.*exp(w2.*(vtc(1)));
Lc(2,2)=200+w1.*exp(w2.*(vtc(2)));
Lc(3,3)=200+w1.*exp(w2.*(vtc(3)));
```

```
Lc
%Calculates the power consumed by the capacitors
```

```
pcst=sum(Lc);
```

```
expn(1)=exp(-theta.*pcst(1)./10);
expn(2)=exp(-theta.*pcst(2)./10);
expn(3)=exp(-theta.*pcst(3)./10);
expn;
```

```

%expn
%sum(expn)

for k=1:3
    assg(k)=expn(k) ./sum(expn);
end
assg;
%sum(assg)

for f=1:3
    p(f)=(1./2).*dem.*assg(f)+(1-1./2).*e(f);      %Halt MSA Step
    p(f)=(1./jj).*dem.*assg(f)+(1-1./jj).*p(f);      %MSA Step
    %p(f)=dem.*assg(f);                             %Full Step
end
sum(p);
p;

Tcost=p.*pcst;
TTCost(jj)=sum(Tcost);

for w=1:3
    ppm(jj+1,w)=p(w);
end

end
%plot(ppm)

%figure
p
%plot(TTCost)
Cong=1000.*(p(1).*Lc(1,1)+p(2).*Lc(2,2)+p(3).*Lc(3,3))

for i=1:3
    if (x(i)<600)
        L(i)=10.*x(i).*1000;
    elseif (x(i)>600 & x(i)<1000)
        L(i)=12.*x(i).*1000+2000000
    else
        L(i)=15.*x(i).*1000+4000000
    end
end
end

Invt=sum(L)
Trf=100;
prof=Trf.*p.*1000-L

%z=Cong+Invt;
z=-prof;

```

```

function [newpop1, newpop2, newpop3] =crossover(x,y,z,k)

global a b L

selpop=x;
pop1=y;
pop2=z;
pop3=k;

for i=1:a
    for j=1:b
        parpop1(i,j)=pop1(selpop(i,1),j);
        parpop2(i,j)=pop2(selpop(i,2),j);
        parpop3(i,j)=pop3(selpop(i,3),j);
    end
end

%Random permutation
pr1=randperm(a);
pr2=randperm(a);
pr3=randperm(a);

for i=1:a
    for j=1:b
        parpop1(i,j)=parpop1(pr1(i),j);
        parpop2(i,j)=parpop2(pr2(i),j);
        parpop3(i,j)=parpop3(pr3(i),j);
    end
end

%Crossover Operation
crr=0.8; %Crossover rate

for i=1:a
    mate1(i)=int16(rand(1).*a);
    if (mate1(i)==0)
        mate1(i)=1;
    end
    mate2(i)=int16(rand(1).*a);
    if (mate2(i)==0)
        mate2(i)=1;
    end
    mate3(i)=int16(rand(1).*a);
    if (mate3(i)==0)
        mate3(i)=1;
    end
end

end

%The actual action...
%Population A
for i=1:a
    luck=rand(1);
    if (luck<crr)
        for j=1:b
            chance=rand(1);
            if (chance>0.5)

```

```
        newpop1(i,j)=parpop1(i,j);
    else
        newpop1(i,j)=parpop1(mate1(i),j);
    end
end
else
    for j=1:b
        newpop1(i,j)=parpop1(i,j);
    end
end
end
end
```

```
%Population B
for i=1:a
    luck=rand(1);
    if(luck<crr)
        for j=1:b
            chance=rand(1);
            if(chance>0.5)
                newpop2(i,j)=parpop2(i,j);
            else
                newpop2(i,j)=parpop2(mate2(i),j);
            end
        end
    else
        for j=1:b
            newpop2(i,j)=parpop2(i,j);
        end
    end
end
end
```

```
%Population C
for i=1:a
    luck=rand(1);
    if(luck<crr)
        for j=1:b
            chance=rand(1);
            if(chance>0.5)
                newpop3(i,j)=parpop3(i,j);
            else
                newpop3(i,j)=parpop3(mate2(i),j);
            end
        end
    else
        for j=1:b
            newpop3(i,j)=parpop3(i,j);
        end
    end
end
end
end
```

```
function [mpop1, mpop2, mpop3]=mutation(x,y,z)

global a b L

npop1=x; npop2=y; npop3=z;

mr=0.1; %Mutation rate

%Mutation operation
%Mutation of population A
for i=1:a
    for j=1:b
        chance=rand(1);
        if(chance>mr)
            mpop1(i,j)=npop1(i,j);
        elseif (npop1(i,j)==1)
            mpop1(i,j)=0;
        else
            mpop1(i,j)=1;
        end
    end
end

mpop1;

%Mutation of population B
for i=1:a
    for j=1:b
        chance=rand(1);
        if(chance>mr)
            mpop2(i,j)=npop2(i,j);
        elseif (npop2(i,j)==1)
            mpop2(i,j)=0;
        else
            mpop2(i,j)=1;
        end
    end
end

mpop2;

%Mutation of population C
for i=1:a
    for j=1:b
        chance=rand(1);
        if(chance>mr)
            mpop3(i,j)=npop3(i,j);
        elseif (npop3(i,j)==1)
            mpop3(i,j)=0;
        else
            mpop3(i,j)=1;
        end
    end
end

mpop3;

end
```

```
function zs = bindec(x,y,z)

global a b L

g=10; Allels per variable

dpop1=zeros(1,a);
for i=1:a
    for j=1:g
        if (j==1 & x(i,j)==1);
            dpop1(i)=1;
        else
            if (j==1 & x(i,j)==0);
                dpop1(i)=0;
            end
            if (j>1 & x(i,j)==1)
                dpop1(i)=dpop1(i)+2.^(j-1);
            else
                dpop1(i)=dpop1(i)+1;
            end
        end
    end
end
'pop1'

dpop2=zeros(1,a);
for i=1:a
    for j=1:g
        if (j==1 & y(i,j)==1);
            dpop2(i)=1;
        else
            if (j==1 & y(i,j)==0);
                dpop2(i)=0;
            end
            if (j>1 & y(i,j)==1)
                dpop2(i)=dpop2(i)+2.^(j-1);
            else
                dpop2(i)=dpop2(i)+1;
            end
        end
    end
end

dpop3=zeros(1,a);
for i=1:a
    for j=1:g
        if (j==1 & z(i,j)==1);
            dpop3(i)=1;
        else
            if (j==1 & z(i,j)==0);
                dpop3(i)=0;
            end
            if (j>1 & z(i,j)==1)
                dpop3(i)=dpop3(i)+2.^(j-1);
            else
                dpop3(i)=dpop3(i)+1;
            end
        end
    end
end
```



```
end

dpop1(2:3);
dpop2(2:3);
max(max(dpop1));
min(min(dpop1));
max(max(dpop2));
min(min(dpop2));

addi=1500; %max TEU Additions

v=3; %No. of variables

dd=1;
for i=1:a
    dpop1(i)=80+addi.*dpop1(i)./1023;
end

dpop1=int64(dpop1);

dd=1;
for i=1:a
    dpop2(i)=addi.*dpop2(i)./1023;
end

dpop2=int32(dpop2);

dd=1;
for i=1:a
    dpop3(i)=33+addi.*dpop3(i)./1023;
end

dpop3=int32(dpop3);

zs=[dpop1' dpop2' dpop3'];
zz=[dpop1, dpop2, dpop3];
```

Παράρτημα Β

ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΛΟΥΚΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΝΕΪΓΥ 7

ΑΝΩ ΠΑΤΗΣΙΑ, Τ.Κ. 111 44

ΑΘΗΝΑ

ΤΗΛ/ΦΑΧ: +30 210 2020905

Κιν: +30 6974 70 61 70

E-mail: luedimit@central.ntua.gr

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Ημερομηνία Γέννησης : 26 Φεβρουαρίου 1975

Τόπος Γέννησης : Αθήνα

Τόπος Κατοικίας : Αθήνα

Υπηκοότητα : Ελληνική

Οικογενειακή Κατάσταση : Άγαμος

ΤΙΤΛΟΣ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

- Υποψήφιος Διδάκτορας στον Τομέα Μεταφορών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ιούνιος 2006 -).
Θέμα Διατριβής: *«Βελτιστοποίηση του Σχεδιασμού Ανάπτυξης Συστήματος Λιμενικών Τερματικών Εγκαταστάσεων-Προσέγγιση με Βάση την Εξελικτική Θεωρία Παγνίων».*
- Απόφοιτος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Έτος αποφοίτησης 2003.

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΒΙΒΛΙΑ ΜΕ ΚΡΙΣΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ:

1. Dimitriou, L., and A. Stathopoulos, "Optimal Co-Evolutionary Strategies for the Competitive Maritime Network Design Problem" *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5484, pp. 818-827, Springer, 2009.
2. Dimitriou, L. and T. Tsekeris, "Fixed and Variable Toll Pricing in Road Networks with Direct Search Meta-Heuristics", in *Metaheuristics in the Service Industry, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Geiger, M.J., Habenicht, W., M. Sevaux and K. Sörensen (Eds.), pp. 45-61, Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 2009.
3. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Genetic Computation of Road Network Design and Pricing Stackelberg Games with Multi-Class Users", *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Vol. 4974, pp. 669-678, 2008.
4. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Genetically Optimized Infrastructure Design Strategies in Degradable Transport Networks", *Advances in Computational Intelligence in Transportation and Logistics*, Fink, A. and Rothlauf, F. (Eds.), Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 2008.
5. Tsekeris, T., L. Dimitriou, and A. Stathopoulos, "Combined Genetic Computation of Microscopic Trip Demand in Urban Networks", *Advances in Computational Intelligence in Transportation and Logistics*, Fink, A. and Rothlauf, F. (Eds.), Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 2008.
6. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Evolutionary Combinatorial Programming for Discrete Road Network Design with Reliability Requirements", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4448, pp. 678-687, Springer, 2007.
7. Tsekeris, T., L. Dimitriou, and A. Stathopoulos, "Simultaneous Origin-Destination Matrix Estimation in Dynamic Traffic Networks with Evolutionary Computing", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4448, pp. 668-677, Springer, 2007.

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΜΕ ΚΡΙΣΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ:

8. Ballis, A. and L. Dimitriou, "Issues on Railway Wagon Asset Management Using Advanced Information Systems", *Transportation Research Part-C*, Elsevier (to appear in 2010).
9. Dimitriou, L., and A. Stathopoulos, "Agent-Based Game-Theoretical Framework for Designing Competitive Transportation Systems", *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, (to appear in Vol. 6, No. 3, 2010).
10. Dimitriou, L., A. Kaltsounis, and A. Stathopoulos, "Introducing Transportation-Related Carbon Footprint Considerations in Optimal Urban Road Infrastructure Management", *International Journal of Energy and Environment*, Issue 3, Volume 3, 2009, pp. 103-111.
11. Καλτσούνης, Α., Α. Γαβαθάς και Λ. Δημητρίου, "Προσδιορισμός Επιπέδου Εξυπηρέτησης και Αξιολόγησης Τυπικής Διατομής Αττικής Οδού", *Τεχνικά Χρονικά-Επιστημονικές Εκδόσεις ΤΕΕ*, (δημοσίευση εντός του 2009).
12. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Joint Pricing and Design of Urban Highways with Spatial and User Group Heterogeneity" *NETNOMICS, Economic Research and Electronic Networking*, Springer US, Vol. 10, No (1), pp. 141-160, 2009.
13. Dimitriou, L., and T. Tsekeris, "Evolutionary Game-Theoretic Model for Dynamic Congestion Pricing", *NETNOMICS, Economic Research and Electronic Networking*, Springer US, Vol. 10, No (1), pp. Vol. 10, No (1), pp. 103-121, 2009.
14. Tsekeris, T. and L. Dimitriou, "Modeling participation and consumption in the Greek inter-urban public transportation market", *Journal of Public Transportation*, Volume 11, No. 2, pp. 85-104, 2008.
15. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Reliable Stochastic Design of Road Network Systems", *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. 3, No. 5, pp. 549-574, 2008.
16. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Adaptive hybrid fuzzy rule-based system approach for modeling and predicting urban traffic flow", *Transportation Research Part-C*, Elsevier, Vol. 16 (5), pp. 554-573, 2008.

17. Stathopoulos, A., Dimitriou, L. and T. Tsekeris, "Fuzzy modeling approach for combined forecasting of urban traffic flow", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Blackwell Publishing, Vol 23 (7), pp. 521-535, 2008.

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΣΗ ΠΛΗΡΟΥΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ:

18. Ballis, A., L., Dimitriou, and J. Paravantis "Quay to Storage Container Transfer: A Critical Review of Modeling Techniques and Practical Outcomes", *89th TRB Annual Meeting Proceedings CD*, Washington DC, 2010.
19. Stathopoulos, A., M. Karlaftis, and L. Dimitriou, "A Fuzzy Rule-Based System Approach for Adaptively Combining Traffic Count Forecasts", *89th TRB Annual Meeting Proceedings CD*, Washington DC, 2010.
20. Dimitriou, L., A. Kaltsounis, and A. Stathopoulos "Evolutionary Revealed Social Dilemmas in Optimal Joint Decisions Regarding Carbon Footprint in Urban Road Networks", *89th TRB Annual Meeting Proceedings CD*, Washington DC, 2010.
21. Dimitriou, L. and A. Stathopoulos, "Emerging Social Dilemmas in Managing Transportation-Related Carbon Footprint in Optimal Urban Infrastructure Development", *World Multiconference on APPLIED ECONOMICS, BUSINESS AND DEVELOPMENT (AEBD'09)*, Tenerife, Canary Islands, Spain, 2009.
22. Dimitriou, L. and A. Stathopoulos, "Agent-Based Evolutionary Game-Theoretic Framework for Optimizing Investment Plans of Competitive Port Facilities", *12th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems*, Redondo Beach, CA, USA, 2009.
23. Stathopoulos, A., M.G. Karlaftis and L. Dimitriou, "An Information Fusion Framework of Traffic Counts Forecasts Based on Concepts from Fuzzy Set Theory", *12th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems*, Redondo Beach, CA, USA, 2009.
24. Spyropoulou, I. and L. Dimitriou, "A microscopic traffic model for incorporating motorcycle movement in urban areas", *88th TRB Annual Meeting Proceedings CD*, Washington DC, 2009.
25. Ballis, A. and L. Dimitriou, "Strategic Planning and Operational Management of Maritime Container Terminals" *20th National Conference of Hellenic Operational Research Society*, Spetses, Greece, June 2008.
26. Dimitriou, L. and A. Stathopoulos, "An Auction Theory Perception on Dynamic Congestion Pricing Strategies", *10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation*, Athens, Greece, 2008.
27. Ballis, A. and L. Dimitriou, "Optimal Railway Wagon Asset Management Using Advanced Information Systems", *10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation*, Athens, Greece, 2008.
28. Dimitriou, L., D. Alexandropoulou, N. Papachristou, and A. Stathopoulos, "Performance Criteria of Urban Transit Systems in Middle-Size Cities", *3rd International Conference on Transportation Research (ICTR)*, Athens, Greece, 2008.
29. Dimitriou, L. and A. Stathopoulos, "Modelling Dynamic Urban Road Networks Performance under Congestion Pricing Strategies", *17th IFAC World Congress*, Seoul, Korea, 2008.
30. Dimitriou, L. and T. Tsekeris, "Elastic multi-user stochastic equilibrium toll design with direct search meta-heuristics", *Proceedings of the 8th EU/MEETING on Metaheuristics in the Service Industry*, Geiger, M.J., and Habenicht, W. (eds.), University of Hohenheim, Stuttgart, Germany, 2007, pp. 9-16.
31. Dimitriou, L. and T. Tsekeris, "Dynamic congestion pricing based on user-optimal stochastic learning models", *Proceedings of the 4th International Kuhmo-Nectar Conference on Pricing, Financing, Regulating Transport Infrastructures and Services*, University of Urbino, Italy, 2007.
32. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Evolutionary game-theoretic model for performance reliability assessment of road networks", *3rd International Symposium on*

- Transportation Network Reliability* (INSTR2007), Technical University Delft, The Netherlands, 19-20 July 2007.
33. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Competitive network design in short-sea liner markets using agent-based game-theoretic models", *1^o Διεθνές Συνέδριο «Ανταγωνιστικότητα και Συμπληρωματικότητα των Μεταφορικών Μέσων: Προοπτικές για τις Συνδυασμένες Μεταφορές*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος, Μάιος 2007.
 34. Tsekeris, T. and Dimitriou, L., "Discrete choice modeling of the inter-urban public transportation demand of Greek households", *1^o Διεθνές Συνέδριο «Ανταγωνιστικότητα και Συμπληρωματικότητα των Μεταφορικών Μέσων: Προοπτικές για τις Συνδυασμένες Μεταφορές*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Χίος, Μάιος 2007.
 35. Dimitriou, L. and A. Stathopoulos, "Continuous Network Design Problem with Reliability Constraints: a Genetic Stochastic System Design Approach", *86th TRB Annual Meeting Proceedings CD*, Washington DC, 2007.
 36. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Genetic-Algorithm-Based Micro-Simulation Approach for Estimating Turning Proportions at Signalized Intersections", *IFAC Conference*, Delft, 2006.
 37. Δημητρίου Α. και Αντ. Σταθόπουλος, "Διερεύνηση της λειτουργίας μιας τερματικής εγκατάστασης εμπορευματοκιβωτίων με εφαρμογή της θεωρίας των ασαφών συνόλων", *2^o Διεθνές Συνέδριο για την Έρευνα στις Μεταφορές στην Ελλάδα, Σύλλογος Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων – Ελληνικό Ινστιτούτο Μεταφορών*, Αθήνα 26-27 Φεβρουαρίου 2004.
 38. Stefanis, B., D. Dimitriou, and L. Dimitriou, "Principles of planning a tramway system in an urban environment and its applications at the city of Athens", *7th International Conference on Urban Transport and the Environment for the 21st Century*, Wessex Institute of Technology, Lemnos 14–16 May 2001.

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΣΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗΣ:

39. Alexandropoulou, D., Dimitriou, L., N. Papachristou, and A. Stathopoulos, "Developing a Successful High Quality Public Transport System", *Proceedings of the International Symposium: "Quality Public Transport Systems in small and Medium size Cities: Socio - Economic Development and Urban Regeneration Impacts, Funding and Implementation Advances"*, Volos, Greece, 8-9 November 2007.
40. Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Road pricing and congestion pricing in urban freeways", *Proceedings of the International Conference "Roads of the Future"*, Greek Road Federation, Athens, 2007.
41. Tsekeris T., L. Dimitriou and A. Stathopoulos, "Telematics Systems Architecture and Decision Support in Urban Transportation Networks", *Proceedings of the International Conference "Roads of the Future"*, Greek Road Federation, Athens, 2007.
42. Δημητρίου Α. και Αντ. Σταθόπουλος, "Οι προοπτικές των εμπορευματικών αερομεταφορών στην Ελλάδα". *Διεθνές Συνέδριο: Αεροπορικές Μεταφορές και Αεροδρόμια – Εξελίξεις στον 21 Αιώνα*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 3-4 Δεκεμβρίου 2001.

ΚΡΙΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ:

Διεθνή Περιοδικά:

1. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Elsevier Publishing.
2. *Transactions on Intelligent Transportation Systems* (IEEE).
3. *Journal of Transportation Engineering*. Journal of American Society of Civil Engineers (ASCE).

4. Journal of Infrastructure Systems. Journal of American Society of Civil Engineers (ASCE).
5. Physica Part A: Statistical Mechanics and its Applications.
6. International Journal of Modern Physics, Part B: Condensed Matter Physics; Statistical Physics; Applied Physics.
7. International Journal of Modern Physics, Part C: Computational Physics and Physical Computation
8. Asia-Pacific Journal of Operational Research

Διεθνή Συνέδρια:

9. Transportation Research Board Annual Meeting (TRB). Committee AD30.
10. IEEE, Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, The Netherlands, June, 2008.
11. 17th IFAC World Congress, Seoul, Korea, 2008
12. 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation. American Society of Civil Engineers, National Technical University of Athens, Transportation Research Board, Athens, Greece, 2008.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΡΙΤΩΝ

Η εργασία: Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, "Evolutionary Combinatorial Programming for Discrete Road Network Design with Reliability Requirements", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4448, pp. 678–687, Springer, 2007.

Έχει τις εξής αναφορές:

Gen, M., and R., Cheng. Evolutionary Network Design: Hybrid Genetic Algorithms Approach. *Int. J. of Computational Intelligence and Applications*, Vol. 3, (4), 2008.

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΕΣ ΕΠΙΤΡΟΠΕΣ ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ

1. 4th European Event on Evolutionary Computation in Transportation and Logistics - EVOTRANSLOG 2010, 7-9 Απριλίου, 2010 (Επιστημονική Επιτροπή)
2. Ημερίδα: "Εφαρμογές της Ανακύκλωσης στα Οδοστρώματα". Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ιούνιος, 2007.
3. 10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation. American Society of Civil Engineers, National Technical University of Athens, Transportation Research Board, Athens, Greece, 2008.

ΣΥΜΜΕΤΟΧΕΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ:

Πλην των παραπάνω συνεδρίων έχω παρακολουθήσει και τα εξής:

1. International Workshop: Low-Noise Pavement and Road Surfaces. National Technical University of Athens, National Forum of European Highway Research Laboratories Group (FEHRL) and Hellenic Society for Pavement Engineering Research (HESPER). March 2008.

2. Ημερίδα Εναλλακτικής Αυτοκίνησης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάιος 2005
3. Ημερίδα TUC. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2005
4. Ημερίδα Ολυμπιακών Μετακινήσεων- Η Επόμενη Μέρα. Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα 26 Οκτωβρίου 2004.
5. 1st International Conference on Traffic Signals – Recent Developments. Transport Telematics, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 17 - 18 Μαΐου 2004.
6. 2^o Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 28-30 Νοεμβρίου 2001.
7. Διεθνές Συνέδριο: Αερομεταφορές και Αεροδρόμια. Σύλλογος Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων, 3-4 Δεκεμβρίου 1998.
8. 2^o Πανελλήνιο Συνέδριο Οδικής Ασφάλειας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 20-22 Μαΐου 1998.
9. 2^η Ημερίδα Οικονομικής των Μεταφορών. Ακτοπλοία και Αερομεταφορές: Ανταγωνισμός και Συμπληρωματικότητα. Πανεπιστήμιο Πειραιά, 5 Νοεμβρίου 1996.
10. Διεθνές Συνέδριο: Εκσυγχρονισμός Σιδηροδρομικών και Αεροπορικών Μεταφορών – Οι επιπτώσεις της Απελευθέρωσης. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Μάιος 1994.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

1. PROCEED: Principles of successful high quality public transport operation and development. Project of Directorate General for Energy and Transport, 6th FP (2006-2009).
2. CREAM: Customer-driven Rail-freight services on a European mega-corridor based on Advanced business and operating Models (2007-2009).
3. Ερευνητικό Πρόγραμμα “Διερεύνηση της Καταναλωτικής Ζήτησης για Μεταφορές στην Ελλάδα”. Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών (ΚΕΠΕ), Έμμισθος Επιστημονικός Συνεργάτης.
4. Ερευνητικό Πρόγραμμα “Σύστημα Κυκλοφοριακής Πληροφόρησης (e-TRAFFIC)”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάιος 2003 - Απρίλιος 2005 (Βασικός Ερευνητής). Επιστημονικός Υπεύθυνος Αντ. Σταθόπουλος, Καθ. ΕΜΠ. Βραβείο Περιβαλλοντικής Ευαισθησίας ΟΙΚΟΠΟΛΙΣ 2006.
5. Ερευνητικό Έργο “Σχέδιο Πρότυπης Αστικής Συγκοινωνιακής Διαχείρισης με Στόχο τη Βελτίωση της Οδικής Ασφάλειας-Εφαρμογή στην Πόλη του Άργους”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούνιος 2001 - Ιούνιος 2002 (Βασικός Ερευνητής). Επιστημονικός Υπεύθυνος Αντ. Σταθόπουλος, Καθ. ΕΜΠ.
6. Ερευνητικό Πρόγραμμα “Διερεύνηση των Προβλημάτων του Συστήματος Μεταφοράς Αγροτικών Προϊόντων: Διάγνωση, Προτάσεις, Μέτρα”. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Απρίλιος 2000 - Μάρτιος 2001 (Βασικός Ερευνητής). Επιστημονικός Υπεύθυνος Αντ. Σταθόπουλος, Καθ. ΕΜΠ.
7. Στα πλαίσια του προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ απασχολήθηκα στην ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε. και συγκεκριμένα στη Διεύθυνση Σιδηροδρομικών Έργων, τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο του 1998. Συγκεκριμένα τα αντικείμενα με τα οποία κυρίως ασχολήθηκα ήταν:
 - Η δημιουργία Μητρώου Σιδηροδρομικών Ατυχημάτων για τα έτη 1995-1997
 - Η καταγραφή των διαδικασιών ελέγχου ποιότητας, και
 - Η επεξεργασία στοιχείων που αφορούν στις συνδυασμένες μεταφορές στην Ελλάδα και καταγραφή των ήδη υφιστάμενων μελετών στο συγκεκριμένο αντικείμενο.
8. *Διπλωματική Εργασία:*
Εκπόνησα Διπλωματική Εργασία στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής και στο μάθημα των Συνδυασμένων Μεταφορών – Ειδικά Συστήματα, με επιβλέποντα τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Αντώνη Σταθόπουλο. Ο τίτλος της εργασίας ήταν “*Μέθοδοι Πρόβλεψης Μελλοντικών Ροών Εμπορευματοκιβωτίων που Διακινούνται Διαμέσου Τεματιικών Αιμενικής Εγκατάστασης*”. Η εργασία αυτή παρουσιάστηκε τον Δεκέμβριο του 2003 και βαθμολογήθηκε με Δέκα (10).

ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Υποβοήθηση στη Διδασκαλία Μαθημάτων:

1. Υποβοήθηση στην διδασκαλία του μαθήματος: “*Ποσοτικές Μέθοδοι στις Μεταφορές*”. 9^ο Εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2007-2009.
2. Υποβοήθηση στην διδασκαλία του μαθήματος: “*Συνδυασμένες Μεταφορές-Ειδικά Συστήματα*”. 9^ο Εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2007-2009.
3. Υποβοήθηση στην διδασκαλία του μαθήματος: “*Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*”. 6^ο Εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2007-2008.

Υποβοήθηση στη Παρακολούθηση Διπλωματικών Εργασιών:

4. Υποβοήθηση στην επίβλεψη της Διπλωματικής Εργασίας: “*Εκτίμηση της Ζήτησης νέου Μεταφορικού Μέσου - Το Τραμ της Αθήνας*”, εκπονηθείσα υπό Κατερίνα Ζυγογιάννη, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2007-2008.
5. Υποβοήθηση στην επίβλεψη της Διπλωματικής Εργασίας: “*Εκτίμηση της Αξιοπιστίας σε Αστικά Σηματοδοτούμενα Δίκτυα*”, εκπονηθείσα υπό Ιωάννη Ρούση, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, 2006-2007.

Διδασκαλία Σεμιναρίων:

6. Εκπαιδευτής στο Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα του ΙΕΚΕΜ-ΤΕΕ Α.Ε. “*Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων-Ειδικά Περιβαλλοντικά Θέματα*”. Σεπτέμβριος 2006-Οκτώβριος 2006.
7. Εκπαιδευτής στο Εκπαιδευτικό Πρόγραμμα του ΙΕΚΕΜ-ΤΕΕ Α.Ε. “*Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων-Ειδικά Περιβαλλοντικά Θέματα*”. Σεπτέμβριος 2005-Οκτώβριος 2005.

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Έχω συμμετάσχει ως μελετητής στα ακόλουθα έργα:

1. Ως εξωτερικός συνεργάτης στο ‘Γενικό Σχέδιο Μεταφορών Αττικής’. Μάρτιος 2008 -. IBI Group (UK) Limited και NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε.
2. Ως υπεύθυνος μελέτης: “Μελέτη Ατυχημάτων Οδικού Τμήματος ΠΑΘΕ από Χ.Θ. 9+000 έως και 181+480”. Νέα Οδός, Ανώνυμη Εταιρία Παραχώρησης. Δεκέμβριος 2007.
3. Ως υπεύθυνος μελέτης στη “Αναθεώρηση Μελέτης Κυκλοφοριακών Επιπτώσεων από την λειτουργία σταθμού αυτοκινήτων 450 θέσεων, που εξυπηρετεί το κτίριο καταστημάτων και γραφείων ιδιοκτησίας Δρομέας Αργυρούπολης ΑΕ”. Δεκέμβριος 2007.
4. Ως υπεύθυνος μελέτης στη “Μελέτη Κυκλοφοριακών Επιπτώσεων από την λειτουργία σταθμού αυτοκινήτων 450 θέσεων, που εξυπηρετεί το κτίριο καταστημάτων και γραφείων ιδιοκτησίας Δρομέας Αργυρούπολης ΑΕ”. Δεκέμβριος 2006.
5. Ως συνεργάτης μελετητής στη “Μελέτη Οργάνωσης της Κυκλοφορίας και Στάθμευσης Δήμου Κερκυραίων”. Φεβρουάριος 2006- Φεβρουάριος 2007.
6. Ως συνεργάτης μελετητής στη “Μελέτη Κυκλοφοριακής Διευθέτησης Δήμου Σπάτων Αττικής”. Αύγουστος 2005-Μάρτιος 2006.
7. Ως εξωτερικός συνεργάτης στην εταιρία Χρ. Δ. Κωνσταντινίδης Α.Ε. για την κατάρτιση της Συγκοινωνιακής Τεχνικής Προσφοράς του έργου «Ίδρυση Σταθμού Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων Αθήνας και Όμορων Δήμων». Μάρτιος – Απρίλιος 2005.
8. Ως εξωτερικός συνεργάτης της «NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε.» στη “Συγκοινωνιακή Μελέτη Φωτεινής Σηματοδότησης Οριστικού Έργου για τον Σύγχρονο

Τροχιόδρομο". Η μελέτη αυτή ήταν μέρος του έργου που κατασκευάστηκε από τις εταιρίες ΤΕΡΝΑ Α.Ε. – IMPREGILO S.p.A. με τίτλο «Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού, Προμήθεια, Εγκατάσταση και Θέση σε Λειτουργία των Η/Μ Συστημάτων για τον σύγχρονο Τροχιόδρομο (Τραμ) και Μελέτες Εφαρμογής τους στην Μείζονα Περιοχή της Αθήνας». Ιανουάριος 2004 – Ιούνιος 2004.

9. Ως εξωτερικός συνεργάτης στην εταιρία Χρ. Δ. Κωνσταντινίδης Α.Ε. για την κατάρτιση της Συγκοινωνιακής Τεχνικής Προσφοράς του έργου «Μίσθωση Υπηρεσιών για την Λειτουργία του Αποτεφρωτήρα Νοσοκομειακών Αποβλήτων». Δεκέμβριος 2003 – Ιανουάριος 2004.
10. Ως εξωτερικός συνεργάτης στην εταιρία Χρ. Δ. Κωνσταντινίδης Α.Ε. για την κατάρτιση της Συγκοινωνιακής Τεχνικής Προσφοράς του έργου «Ίδρυση Σταθμού Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων Αθήνας και Ομορων Δήμων». Μάιος - Αύγουστος 2004.

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΕΠΙΤΡΟΠΕΣ

1. Επιμελητής στην Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Συγκοινωνιακών Έργων του ΤΕΕ. Ιούνιος 2005-.
2. Συμμετοχή στην Επιτροπή Διαγωνισμού του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (ΟΑΣΑ) για το έργο "Παροχή Τεχνικής Υποστήριξης για την Σύνταξη Τευχών Δημοπράτησης του Έργου «Επιστημονική Υποστήριξη Ερευνών και Μελέτης Μετακινήσεων»", εκπροσωπώντας το ΤΕΕ. Νοέμβριος 2005.
3. Συμμετοχή στην Επιτροπή Διαγωνισμών του ΥΠΕΧΩΔΕ για τα έργα:
 - α) "Βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις για την βελτίωση του επιπέδου της Οδικής Ασφάλειας στις επικίνδυνες θέσεις στο Βόρειο οδικό άξονα Κρήτης".
Προϋπολογισμός Έργου 4.860.000,00 €. Δεκέμβριος 2005, και
 - β) "Βραχυπρόθεσμες παρεμβάσεις για την βελτίωση του επιπέδου της Οδικής Ασφάλειας στις επικίνδυνες θέσεις στον οδικό άξονα Αντίρριο-Ιωάννινα".
Προϋπολογισμός Έργου 3.660.000,00 €. Ιανουάριος 2006,
 εκπροσωπώντας το ΤΕΕ.

ΜΕΛΟΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΛΛΟΓΩΝ - ΔΙΕΘΝΩΝ ΕΝΩΣΕΩΝ

Ελλάδα

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ)

Σύλλογος Πολιτικών Μηχανικών Ελλάδος (ΣΠΜΕ)

Σύλλογος Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων (ΣΕΣ)

Ελληνική Εταιρία Επιχειρησιακών Ερευνών (ΕΕΕΕ)

Hellenic Society for Pavement Engineering Research (HESPER)

Εξωτερικό

International Game Theory Society

International Federation of Automatic Control (IFAC).

Institute for the Operations Research and Management Sciences (INFORMS).

ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ

Έχω εκπληρώσει τις στρατιωτικές μου υποχρεώσεις στην Πολεμική Αεροπορία (13/05/2002 – 13/09/2003)

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

Αγγλικά : Άριστα

Γαλλικά : Μέτρια

Ιταλικά : Μέτρια

ΓΝΩΣΕΙΣ Η/Υ

Είμαι άριστος γνώστης τριών γλωσσών προγραμματισμού:

- FORTRAN (MS Visual FORTRAN Developer Kit, Compaq FORTRAN)
- Visual C++
- Visual Basic / .VB

Είμαι γνώστης επίσης μεγάλου πλήθους λογισμικών, τα κυριότερα των οποίων είναι τα εξής:

Microsoft:

Windows, Office, Explorer, Project, Auto route, Publisher, FrontPage

Λογισμικό Διοίκησης και Παρακολούθησης Έργων:

Primavera, Project Management

AutoDesk:

AutoCAD, Architectural Desktop, 3Dstudio VIS-MAX

Λογισμικό Συγκοινωνιακών:

TSIS – NETSIM – TRAVFLU, AIMSUN, Integrated Traffic Assignment, SATURN, TRANSIT, SYNCRO, TransCAD, VISUM, VISIM.

Λογισμικό Μαθηματικών:

Mat lab, Mathematica, MathCAD, Lingo

Λογισμικό Στατιστικής Επεξεργασίας Δεδομένων:

SPSS, Minitab, Best Fit, @Risk

Επεξεργασίας Εικόνας:

Photoshop, Corel, Adobe Illustrator.

Λογισμικό Ανάλυσης Κατασκευών:

ANSYS, Space II, STRAD 2004, STEEL 2004, Wall, M-Study, Timber, Fedra, StruCad

ΑΛΛΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Σεμινάρια της Επιστήμης των Συγκοινωνιακών:

1. Συμμετοχή στο 19^ο Summer School Jerusalem Summer School in Economic Theory, Institute for Advanced Studies, Hebrew University, Jerusalem, 27 June - 8 July 2008.

Εισηγητές:

Prof. Kenneth Arrow, Stanford University (Nobel Laureate 1972)

Prof. Robert Lucas, University Of Chicago (Nobel Laureate 1995)

Prof. Sir James Mirrlees, University Of Cambridge (Nobel Laureate 1996)

Prof. Amartya Sen, Harvard University (Nobel Laureate 1998)

Prof. Robert Aumann, The Hebrew University (Nobel Laureate 2000)

Prof. Eric Maskin, IAS Princeton University (Nobel Laureate 2007)

Prof. Roger Myerson, University Of Chicago (Nobel Laureate 2007)

Prof. Herbert Scarf, Yale University

Prof. Sir Partha Dasgupta, University Of Cambridge

Prof. Mark Machina, University Of California, San Diego

Prof. John Genakoplos, Yale University

Prof. Sergiu Hart, The Hebrew University

Prof. Eytan Sheshinski, The Hebrew University

Prof. Eyal Winter, The Hebrew University

Prof. Menachem Yaari, The Hebrew University

2. Συμμετοχή στο σεμινάριο Advanced Transport Modeling and Tools με την οργάνωση του Hellenic Institute of Transport με εισηγητές (5-9 Σεπτ. 2005, Χαλκιδική). Εισηγητές:

Prof. David Boyce, Northwestern University, (University of Illinois at Chicago)

Prof. Frank Koppelman, Northwestern University

Prof. Hani Mahmassani, University of Maryland

Prof. Laurie Garrow, Georgia Institute of Technology

Prof. George Giannopoulos, Head HIT and Aristotle University of Thessaloniki

Prof. Antony Stathopoulos, National Technical University of Athens

Prof. Athanasios Ziliaskopoulos, senior researcher HIT and Northwestern University

3. Συμμετοχή στο 6th Short Course on Dynamic Traffic Flow Modeling and Control, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 20 - 24 Σεπτεμβρίου με εισηγητή τον Καθηγητή Μάρκο Παπαγεωργίου, Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΑΘΗΝΑ, 05/03/2010

ΛΟΥΚΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ

