ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική εργασία

«Εκτίμηση της αποδοτικότητας λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου με χρήση της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων»

Δημήτριος Καπετανάκης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου στη Σχολή των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ως εκ τούτου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου, Ανάπλ. Καθηγητή ΕΜΠ για την ανάθεση ενός θέματος μελέτης με ιδιαίτερο προσωπικό και επιστημονικό ενδιαφέρον, καθώς και την κ. Ελένη Βλαχογιάννη, Ανάπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ και τον κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή ΕΜΠ για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή της εξέτασης.

Τις θερμότερές μου ευχαριστίες οφείλω στην κ. Τατιάνα Μοσχόβου (ΕΔΙΠ ΕΜΠ), που ήταν δίπλα μου παρέχοντάς μου χρήσιμες συμβουλές και σωστή καθοδήγηση, ενώ αφιέρωσε σημαντικό χρόνο, υποστηρίζοντάς με σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους δικούς μου ανθρώπους για τη συνεχή στήριξη καθώς και την αμέριστη συμπαράσταση που μου προσέφεραν στα χρόνια της ακαδημαϊκής μου σταδιοδρομίας, αλλά και σε κάθε άλλη πτυχή της ζωής μου.

Τίτλος: «Εκτίμηση της αποδοτικότητας λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου με χρήση της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων»

Συγγραφέας Διπλωματικής Εργασίας: Δημήτριος Καπετανάκης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κεπαπτσόγλου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Σύνοψη

Σε έναν διαρκώς αναπτυσσόμενο κόσμο, του οποίου οι αρχές βασίζονται στην παγκοσμιοποίηση, οι θαλάσσιες μεταφορές κατέχουν έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας. Η περιοχή της Μεσογείου κατέχει σημαντική θέση στην παγκόσμια οικονομία, αφού θεωρείται από τις πιο σημαντικές θάλασσες διεξαγωγής εμπορίου. Από τα παλαιότερα χρόνια, αλλά ιδίως τη σημερινή εποχή, οι εμπορικοί, κυρίως, λιμένες αποτελούσαν και αποτελούν τους βασικούς πυλώνες της οικονομίας μιας χώρας. Βασική προϋπόθεση, ώστε οι εμπορικοί λιμένες να συνεισφέρουν ενεργά σε μία οικονομία, αποτελεί η διαχείριση των πόρων και των υποδομών τους με βέλτιστο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή παραγωγικότητα. Με άλλα λόγια, απαιτείται οι λιμένες να είναι αποδοτικοί. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός και η εκτίμηση της αποδοτικότητας δεκατεσσάρων εκ των μεγαλύτερων εμπορικών λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αυτή εξετάζει, με δεδομένα του έτους 2021, τη σχέση μεταξύ των εισροών των λιμένων αυτών, με τις εκροές τους. Μέσω της συλλογής και της επεξεργασίας στοιχείων σχετικών με το θέμα αυτό, ως εργαλείο για την εκτίμηση της αποδοτικότητας επιλέχθηκε η μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA) και, πιο συγκεκριμένα η εφαρμογή των μοντέλων DEA-CCR και DEA-BCC. Με ανάλυση δεδομένων σχετικών με την υποδομή (μήκος κρηπιδώματος, έκταση τερματικών σταθμών) και τον εξοπλισμό (αριθμός γερανογεφυρών προβλήτας, αριθμός γερανογεφυρών στοιβασίας) των λιμένων ως εισροές, καθώς και της παραγωγικότητας (διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων), του συνολικού όγκου φορτίων (συνολική διακίνηση γενικού φορτίου) και των οικονομικών αποτελεσμάτων (ετήσιος τζίρος οργανισμού) ως εκροές, η μέθοδος εξάγει ως αποτέλεσμα την αποδοτικότητα του κάθε λιμένα. Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, αναδεικνύουν τους αποδοτικούς και τους μη-αποδοτικούς λιμένες, και βοηθούν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, με το σημαντικότερο εξ αυτών να είναι ο ρόλος που παίζει η παραγωγικότητα ενός λιμένα στην αποδοτικότητά του. Τα αποτελέσματα της εργασίας, επίσης, σε συνδυασμό με τα συμπεράσματα, μπορούν να αξιοποιηθούν για την εφαρμογή τροποποιήσεων σε πολιτικές διαχείρισης μη-αποδοτικών λιμένων.

Λέξεις-κλειδιά: θαλάσσιο εμπόριο, Μεσόγειος Θάλασσα, εμπορικός λιμένας διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων, διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων, αποδοτικότητα, TEUs, DEA-CCR, DEA-BCC

Title: «Evaluating the efficiency of Mediterranean container ports using Data Envelopment Analysis models»

Thesis Author: Dimitrios Kapetanakis

Supervisor: Konstantinos Kepaptsoglou, Associate Professor at the National Technical University of Athens

Abstract

In a constantly changing world, based on globalization, maritime freight transport plays a major role in the development of the global economy. The Mediterranean territory plays a significant role in the global economy, given the fact that it is considered to be one of the most important trade areas. Especially nowadays, commercial ports are the pillars of a country's economy. The key precondition for a port to effectively contribute in the economy, is that the port's resources should be optimally distributed in order to maximize their productivity. In other words, a port's contribution to the economy depends on its efficiency. The main scope of this thesis is to evaluate the efficiency of fourteen of the largest Mediterranean container ports using the most recent data available (2021). More specifically, this thesis aims to investigate the relationship between the ports' inputs and outputs variables using two of the Data Envelopment Analysis (DEA) models (CCR and BCC). The DEA method extracts each port's efficiency as a result of the comparison of its infrastructure (berth length, terminal area) and equipment (ship to shore cranes, yard cranes) with its productivity (TEUs throughput, total volume throughput) and economic results (annual revenue). The results from the modeling procedure highlight the efficient and non-efficient ports and help to draw useful conclusions, the most important of which is the importance of productivity in the efficiency of the port.

Key words: maritime trade, Mediterranean Sea, container port, cargo throughput, port-efficiency, TEUs, DEA-CCR, DEA-BCC

Περίληψη

Σε ένα κόσμο που συνεχώς εξελίσσεται, με τις χώρες να ανοίγουν τα σύνορά τους και να οδεύουν με συνεχόμενα αυξανόμενους ρυθμούς προς την παγκοσμιοποίηση, το διεθνές εμπόριο και οι εμπορευματικές μεταφορές έχουν εισέλθει και συμβάλλουν με καθοριστικό τρόπο στην οικονομία των σύγχρονων κοινωνιών. Στόχος την παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδειχθεί η σημασία του θαλάσσιου εμπορίου και κατ' επέκτασιν των λιμένων στην οικονομία μίας χώρας, και στη συνέχεια, να αναλυθεί η σχέση των διαθέσιμων πόρων ορισμένων λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων της Μεσογείου (Alexandria Algeciras, Koper, Marseilles, Piraeus, Sines, Tanger Med, Marsaxlokk, Gioia Tauro, Barcelona, Valencia, Mersin, Genova, La Spezia) με την παραγωγικότητα και τα οικονομικά αποτελέσματά τους. Με πιο απλά λόγια, κύριο στόχο της παρούσας εργασίας αποτελεί η εκτίμηση της αποδοτικότητας 14^{ων} εκ των μεγαλύτερων εμπορικών λιμένων της Μεσογείου με εφαρμογή της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis - DEA).

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, εξήχθησαν συμπεράσματα σχετικά με τη επιρροή που ασκεί η ύπαρξη εμπορικών (κυρίως) λιμένων στην οικονομική άνθιση μίας χώρας και αναλύθηκαν εκτενώς οι θετικές επιδράσεις της ύπαρξης αυτών. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν λεπτομερώς οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει η ανάγκη, οι ιδιωτικές επιχειρήσεις να αναμειγνύονται στη διαχείριση των λιμένων και, έτσι, ορίστηκε η έννοια της ιδιωτικοποίησης. Επακόλουθο των παραπάνω ήταν η ταξινόμηση των λιμένων σε τέσσερεις κατηγορίες ανάλογα με το ιδιοκτησιακό καθεστώς και τον τρόπο λειτουργίας τους. Στη συνέχεια, παρουσιάστηκαν έρευνες σχετικές με την εύρεση της αποδοτικότητας των λιμένων με χρήση διαφορετικών μοντέλων επίλυσης της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων. Σημαντικό συμπέρασμα, αποτελεί η έλλειψη ερευνών σχετικών με την αποδοτικότητα λιμένων, χρησιμοποιώντας πρόσφατα δεδομένα, αφού οι έρευνες, οι οποίες βρέθηκαν κατά την αναζήτηση της βιβλιογραφίας περιορίζονται στη χρήση δεδομένων της προηγούμενης δεκαετίας.

Ακολούθησε η περιγραφή της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων με παρουσίαση των διαφορετικών μοντέλων, επίλυσης της μεθόδου αυτής , καθώς και των εξισώσεων τους. Στη συνέχεια αναλύθηκαν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου και, τελικά, επιλέχθηκαν ως κατάλληλα για τις ανάγκες και το σκοπό της παρούσας εργασίας τα εξής μοντέλα: α) DEA-CCR, με προσανατολισμό προς τις εκροές και β) DEA-BCC, με υπόθεση σταθερών αποδόσεων κλίμακας και προσανατολισμό προς τις εκροές.

Συνέχεια των παραπάνω, αποτέλεσε η συλλογή των απαραίτητων και πιο πρόσφατων (έτος 2021) δεδομένων για τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν ως εισροές και εκροές. Η διαδικασία αυτή, έδωσε και τον περιορισμό στον αριθμό των μεταβλητών εισροών και εκροών, οι οποίες τελικά χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική,

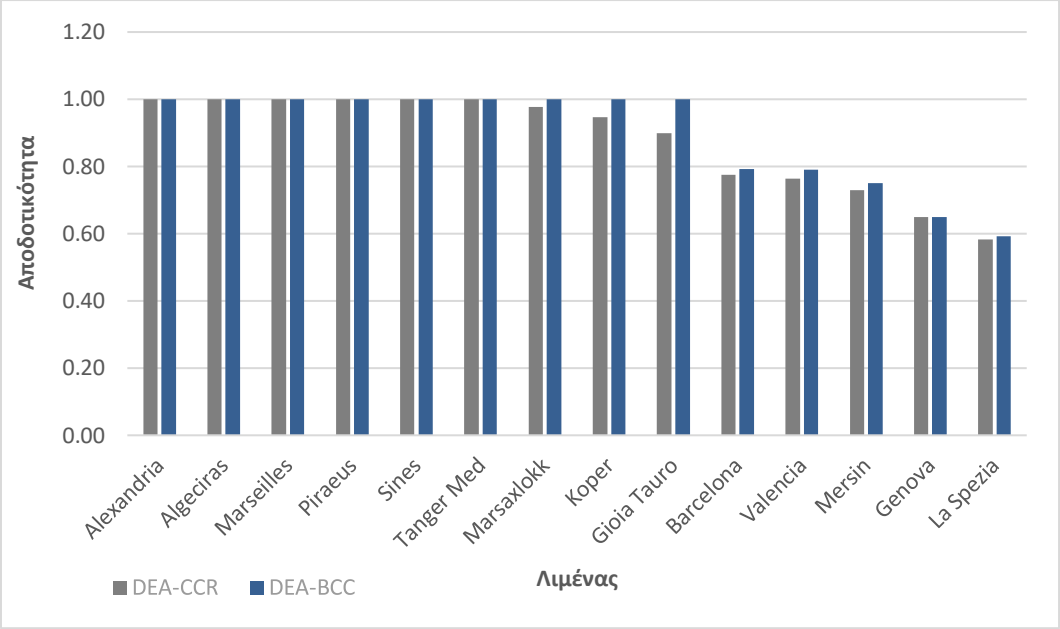
αφού για αρκετές μεταβλητές, οι οποίες επρόκειτο να εισαχθούν στην εφαρμογή των μοντέλων, υπήρχαν ελλιπείς ή αναξιόπιστες πληροφορίες.

Σχετικά με τις εκροές, οι μεταβλητές διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (παραγωγικότητα σε TEUs) και η συνολική διακίνηση γενικού φορτίου (όγκος φορτίου σε Tones), τα δεδομένα βρέθηκαν κυρίως μέσα από την ιστοσελίδα της Eurostat, ενώ τα οικονομικά αποτελέσματα του κάθε λιμένα (τζίρος σε Ευρώ), βρέθηκαν από δημοσιευμένες οικονομικές αναφορές του κάθε ενός ξεχωριστά. Αντίστοιχα, για τις εισροές, δηλαδή τα τεχνικά χαρακτηριστικά (μήκος κρηπιδώματος και έκταση) και τον εξοπλισμό του κάθε λιμένα (γερανοί προβλήτας και γερανοί στοιβασίας), οι πληροφορίες βρέθηκαν στην επίσημη ιστοσελίδα του κάθε ένα από αυτούς.

Διαθέτοντας τα παραπάνω, δημιουργήθηκε ένας τελικός πίνακας, οποίος αποτέλεσε τη βάση δεδομένων προκειμένου να εφαρμοστεί και να επιλυθεί η μέθοδος DEA. Ο πίνακας αυτός διαθέτει 4 στήλες με τις εισροές και 3 στήλες με τις εκροές, μεταβλητές οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω. Με τα δεδομένα, αυτά, πραγματοποιήθηκε μια αρχική στατιστική ανάλυση μέσω του προγράμματος MiniTab.

Επόμενο βήμα, αποτέλεσε η κατασκευή στο πρόγραμμα Excel δύο προγραμμάτων για την εφαρμογή της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων: ένα για το DEA-CCR και ένα για το DEA-BCC. Μετά την κατασκευή των υποδειγμάτων του κάθε προγράμματος, εισήχθησαν στο κάθε ένα αντίστοιχα οι εξισώσεις των δύο μοντέλων και στη συνέχεια, οι πίνακες των δεδομένων και ακολούθησε η επίλυση της μεθόδου με τα δύο μοντέλα.

Τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων, είναι για κάθε λιμένα παραπλήσια, γεγονός, το οποίο επαληθεύει την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Τα μοντέλα (CCR-BCC) ανέδειξαν τους λιμένες, οι οποίοι είναι αποδοτικοί, καθώς και εκείνους, οι οποίοι δεν είναι, με το μοντέλο CCR να καταλήγει σε 6 αποδοτικούς λιμένες και το BCC σε 9 αποδοτικούς από το σύνολο των 14^{ων}. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκάλεσαν τρείς λιμένες (Marsaxlokk, Koper και Gioia Tauro), οι οποίοι κατά τη μέθοδο DEA-CCR, εμφανίζονται ως μη αποδοτικοί (με αποδοτικότητα όμως μεγαλύτερη από 0.90), ενώ κατά τη μέθοδο DEA-BCC εμφανίζονται ως πλήρως αποδοτικοί. Το αποτέλεσμα αυτό προδίδει ότι οι δύο αυτοί λιμένες, χρειάζονται ελάχιστες μεταβολές, ώστε να βελτιστοποιήσουν το συνδυασμό εισροών-εκροών τους και να χαρακτηριστούν ως πλήρως αποδοτικοί. Όσον αφορά τους μη-αποδοτικούς λιμένες, αναγκαία κρίνεται η λήψη μέτρων με σκοπό την επίτευξη αλλαγών στα χαρακτηριστικά τους και τη μετατροπή τους σε αποδοτικούς.



Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής, παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικές με την αποδοτικότητα των μεγαλύτερων εμπορικών λιμένων της Μεσογείου, όπου το θαλάσσιο εμπόριο κυριαρχεί και συνεισφέρει στην άνθηση των εγχώριων οικονομιών, ενώ βοηθούν στη μελέτη και σύγκριση των δύο κυριότερων μοντέλων επίλυσης της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων. Επιπρόσθετα, τονίζεται ότι θα πρέπει, εκτός της αποδοτικότητας, να ληφθούν υπόψιν και άλλοι παράγοντες, όπως είναι η αποτελεσματικότητα, εάν δηλαδή ένας λιμένας (είτε είναι αποδοτικός είτε όχι), παρέχει καλύτερης ποιότητας υπηρεσίες. Η αποτελεσματικότητα, αποτελεί σίγουρα, έναν παράγοντα, ο οποίος θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν στην αξιολόγηση ενός λιμένα. Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά, δίνουν το έναυσμα για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τις πρακτικές, οι οποίες θα πρέπει να ακολουθηθούν από τους μη-αποδοτικούς λιμένες, ώστε να λειτουργήσουν αποδοτικά.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 15

1.1 Γενικά στοιχεία 15

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας 25

1.3 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας 25

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση 27

2.1 Εισαγωγή 27

2.2 Ανάλυση βιβλιογραφίας 27

2.2.1 Επιρροή των λιμένων στην οικονομία 27

2.2.2 Ιδιωτικοποίηση λιμένων 29

2.2.3 Εφαρμογή του μοντέλου DEA για την εκτίμηση της αποδοτικότητας λιμένων 33

2.3 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας 37

3. Μεθοδολογική προσέγγιση 38

3.1 Περιγραφή της διαδικασίας 38

3.2 Θεωρητικό υπόβαθρο 40

3.2.1 Μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis) 40

3.2.2 Συγκριτικό πλεονέκτημα της DEA σχετικά με την εύρεση της Αποδοτικότητας 41

3.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της DEA 42

3.3 Ανάλυση μοντέλων της DEA 43

3.3.1 Μοντέλο σταθερών επιδόσεων κλίμακας (CCR) 44

3.3.2 Μοντέλο μεταβαλλόμενων αποδόσεων κλίμακας (BCC) 47

3.4 Επιλογή μοντέλου 49

4. Ανάλυση και αποτελέσματα 51

4.1 Βάση δεδομένων 51

4.1.1 Επιλογή δεδομένων για την εφαρμογή της μεθόδου 51

4.1.2 Επιλογή μεταβλητών εισροών και εκροών 51

4.1.3 Επιλογή λιμένων 52

4.1.4 Βασικός πίνακας δεδομένων 55

4.2 Ανάπτυξη μοντέλου 60

4.2.1 Επίλυση προβλήματος με το μοντέλο DEA-CCR 60

4.2.2 Επίλυση προβλήματος με το μοντέλο DEA-BCC 66
4.3 Αποτελέσματα 73
4.3.1 Αποτελέσματα μοντέλου DEA-CCR 73
4.3.2 Αποτελέσματα μοντέλου DEA-BCC 77
4.3.3 Σύγκριση και ανάλυση αποτελεσμάτων 78
5. Συμπεράσματα και προτάσεις 85
5.1 Γενικά 85
5.2 Βασικά συμπεράσματα 85
5.3 Προστάσεις για περαιτέρω έρευνα 87
6. Βιβλιογραφία 89
7. Παραρτήματα 92
7.1 Παράρτημα Α 92
7.1.1 Κατασκευή Μοντέλου DEA-CCR 92
7.1.2 Κατασκευή Μοντέλου DEA-BCC 95
7.2 Παράρτημα Β 102
7.2.1 Παράδειγμα επίλυσης λιμένα Πειραιά με το μοντέλο DEA-CCR 102
7.2.2 Παράδειγμα επίλυσης λιμένα Πειραιά με το μοντέλο DEA-BCC 104

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1. Εξέλιξη της παραγωγικότητας (χιλιάδες TEUs) των υπό-μελέτη λιμένων για τη δεκαετία 2011-2021 21
Εικόνα 2. Σύγκριση παραγωγικότητας των υπό-μελέτη λιμένων για τα έτη 2011 και 2021 (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 22
Εικόνα 3. Σύγκριση διακινούμενου όγκου φορτίων των υπό-μελέτη λιμένων μεταξύ 2017 και 2021 (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 24
Εικόνα 4. Διάγραμμα ροής διαδικασίας (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 39
Εικόνα 5. Ποιοτικό διάγραμμα μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 41
Εικόνα 6. Ποιοτικό διάγραμμα μοντέλου DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 48
Εικόνα 7. Άποψη των υπό-εξέταση λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου (Πηγή: Ίδια επεξεργασία μέσω ArcMap 10.5) 59
Εικόνα 8. Υπόδειγμα κατασκευής μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 61
Εικόνα 9. Παράθυρο εισαγωγής Παραμέτρων Επίλυσης (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) .. 63
Εικόνα 10. Τελική μορφή του παραθύρου εισαγωγής Παραμέτρων Επίλυσης (CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 65
Εικόνα 11. Υπόδειγμα κατασκευής μοντέλου DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) ... 67
Εικόνα 12. Παράθυρο εισαγωγής Παραμέτρων Επίλυσης (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 70
Εικόνα 13. Τελική μορφή του παραθύρου Παραμέτρων Επίλυσης – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 72
Εικόνα 14. Γράφημα Αποδοτικότητας για το μοντέλο DEA-CCR, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 76
Εικόνα 15. Γράφημα Αποδοτικότητας για το μοντέλο DEA-BCC, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 78
Εικόνα 16. Γράφημα Σύγκρισης Αποτελεσμάτων μεταξύ των μοντέλων DEA-CCR και DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 80
Εικόνα 17. Γράφημα Παραγωγικότητας (χιλιάδες TEUs) συναρτήσει Όγκου Φορτίων (χιλιάδες τόνοι) (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 82
Εικόνα 18. Γράφημα σχέσης της αποδοτικότητας με την παραγωγικότητα (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 83
Εικόνα 20. Ορισμός στόχου στις παραμέτρους επίλυσης (DEA-CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 92
Εικόνα 21. Υπόδειξη μεταβλητών κελιών στις παραμέτρους επίλυσης (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 93
Εικόνα 22. Περιορισμός 1 – DEA (CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 93
Εικόνα 23. Περιορισμός 2 – DEA (CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 94
Εικόνα 24. Παράδειγμα συμπλήρωσης στήλης ‘’Sumproduct”(-εισροές) – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 95
Εικόνα 25. Παράδειγμα συμπλήρωσης στήλης ‘’BCC” (εισροές) – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 96
Εικόνα 26. Παράδειγμα συμπλήρωσης στήλης BCC (εκροές) – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 97

Εικόνα 27. Συμπλήρωση του περιορισμού ''λ'' – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 98
Εικόνα 28. Ορισμός ''Στόχου'' στο Παράθυρο Παραμέτρων Επίλυσης (DEA-BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 99
Εικόνα 29. Επιλογή κελιών μεταβλητών στο παράθυρο Παραμέτρων Επίλυσης – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 99
Εικόνα 30. Περιορισμός 1 - DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 100
Εικόνα 31. Περιορισμός 2 - DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 100
Εικόνα 32. Περιορισμός 3 - DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 101
Εικόνα 33. Εύρεση αποδοτικότητας λιμένα Πειραιά (DEA-CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 102
Εικόνα 34. Εύρεση αποδοτικότητας λιμένα Πειραιά (DEA-BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 104

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1. Τρόποι διαχείρισης λιμένων με βάση το ιδιοκτησιακό τους καθεστώς (Πηγή: The World Bank, 2007) 17
Πίνακας 2. Λιμένες που εξετάζονται στη διπλωματική εργασία (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 19
Πίνακας 3. Παραγωγικότητα υπό-μελέτη λιμένων για τη δεκαετία 2011-2021, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία δεδομένων από τη Eurostat, mar_go_qm)..... 20
Πίνακας 4. Όγκος φορτίων διακίνησης των υπό-μελέτη λιμένων για τη δεκαετία 2011-2021, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία δεδομένων από τη Eurostat, mar_go_aa)..... 23
Πίνακας 5. Συγκεντρωτικός πίνακας με τα μοντέλα DEA και τα δεδομένα τους (Πηγή: Dasgupta et. al., 2016) 36
Πίνακας 6. Λιμένες που επιλέχθηκαν με βάση τα βασικά κριτήρια και διακίνησή τους το 2021..... 54
Πίνακας 7. Βάση Δεδομένων για εφαρμογή μοντέλου DEA (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία) 56
Πίνακας 8. Στατιστικά των Μεταβλητών (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 57
Πίνακας 9. Συγκεντρωτικός Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 74
Πίνακας 10. Πίνακας Αποδοτικότητας Λιμένων μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 75
Πίνακας 11. Πίνακας Αποδοτικότητας μοντέλου DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)77
Πίνακας 12. Συγκριτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Μοντέλων DEA-CCR και DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 79
Πίνακας 13. Δημιουργία κλάσεων ανάλογα με το μερίδιο αγοράς ως προς το μέγεθος διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων σε TEUs (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)..... 82

Ευρετήριο Εξισώσεων

Εξίσωση (1). Αποδοτικότητα μονάδας με την παραδοχή σταθερών αποδόσεων κλίμακας (DEA-CCR)..... 44
Εξίσωση (2). Περιορισμοί Εξίσωσης (1)..... 44
Εξίσωση (3). Εξίσωση (1) μετά από γραμμικοποίηση (DEA-CCR)..... 45
Εξίσωση (4). Περιορισμοί Εξίσωσης (4)..... 45
Εξίσωση (5). Μοντέλο DEA-CCR με προσανατολισμό προς τις εισροές..... 45
Εξίσωση (6). Περιορισμοί Εξίσωσης (5)..... 46
Εξίσωση (7). Μοντέλο DEA-CCR με προσανατολισμός προς τις εκροές..... 46
Εξίσωση (8). Περιορισμοί Εξίσωσης (7)..... 46
Εξίσωση (9). Μοντέλο DEA-BCC με προσανατολισμό προς τις εισροές..... 48
Εξίσωση (10). Περιορισμοί Εξίσωσης (9)..... 49
Εξίσωση (11). Μοντέλο DEA-BCC με προσανατολισμό στις εκροές..... 49
Εξίσωση (12). Περιορισμοί Εξίσωσης (11)..... 49
Εξίσωση (13). Εύρεση αποδοτικότητας - DEA (CCR)..... 62
Εξίσωση (14). Εύρεση αποδοτικότητας με δεδομένο θ - DEA (BCC)..... 68
Εξίσωση (15). Αναλυτική εξίσωση εισροών του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-CCR..... 103
Εξίσωση (16). Αναλυτική εξίσωση εκροών του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-CCR..... 103
Εξίσωση (17). Εξίσωση αποδοτικότητας του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-CCR..... 103
Εξίσωση (18). Εξίσωση αποδοτικότητας του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-BCC..... 104

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία

Μία από τις σημαντικότερες δραστηριότητες μίας χώρας, η οποία είναι στενά συνδεδεμένη με την οικονομική εξέλιξη και ανάπτυξη είναι η λιμενική, και πιο συγκεκριμένα εκείνη των θαλάσσιων μεταφορών. Έρευνες, έχουν δείξει ότι πάνω από το 80% του παγκοσμίου εμπορίου αγαθών γίνονται μέσω θαλάσσης, ενώ το ποσοστό αυτό τείνει να αυξάνεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια (Munim, 2018). Παρά τις διάφορες κρίσεις, οι οποίες χτυπούν μαζικά όλους τους κλάδους της οικονομίας (οικονομική κρίση, υγειονομική κρίση-Covid-19 κ.λπ.), ο συγκεκριμένος κλάδος δείχνει να ανακάμπτει γρήγορα και οι κρίσεις αυτές να μην αποτελούν τροχοπέδη στην ανάπτυξή του. Αν η παρατήρηση αυτή αναλυθεί λογικά, φαίνεται να δικαιολογείται από το γεγονός ότι οι μεταφορές αυτές παρέχουν τη δυνατότητα σε κράτη παγκοσμίως να εισάγουν πρώτες ύλες και αγαθά, τα οποία έχουν ανάγκη, όπως και τη δυνατότητα, των κρατών, εξαγωγής προϊόντων, τα οποία παράγουν, με αποτέλεσμα, να δημιουργείται μία αλυσίδα οικονομίας και αμφίδρομων οφελών μεταξύ κρατών, με θετικό αντίκτυπο στην κάθε οικονομία. Εκτός της δυνατότητας αυτής, οι θαλάσσιες μεταφορές επιτρέπουν τη μαζική μεταφορά μεγάλου πλήθους αγαθών με ένα μέσο. Τέλος, έχει αποδειχθεί (WWF, 2022) ότι ο τρόπος αυτός της μεταφοράς αγαθών είναι ο λιγότερο ζημιογόνος για το περιβάλλον, χαρακτηριστικό το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως υψίστης σημασίας, ιδίως τη σημερινή εποχή της περιβαλλοντικής κρίσης και της προσπάθειας παύσης της περεταίρω επιβάρυνσης του πλανήτη.

Μέσω της θαλάσσιας οδού, είναι δυνατόν να μεταφερθούν κάθε είδους αγαθά με διαφορετικούς τρόπους. Ο πιο χαρακτηριστικός και διαδεδομένος από τους τρόπους αυτούς, είναι η διακίνηση αγαθών με εμπορευματοκιβώτια (Ε/Κ). Άλλωστε, δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι η μέτρηση του μεγέθους ενός τερματικού σταθμού κάποιου λιμένα είναι η χωρητικότητά του σε εμπορευματοκιβώτια.

Έρευνα στο διαδίκτυο (Shipafreight,2021), αναφέρει την ύπαρξη ενός συνόλου 835 ενεργών εμπορικών λιμένων σε ολόκληρο τον κόσμο. Κάθε εταιρία διακίνησης και αποθήκευσης αγαθών (logistics), δύναται να επιλέξει ανάμεσα σε αυτό το μεγάλο πλήθος λιμένων. Κάποια από τα βασικά κριτήρια επιλογής λιμένα διαχείρισης φορτίων αποτελούν:

- Η καταλληλόλητα και η απαραίτητη ποσότητα και ποιότητα του εξοπλισμού του κάθε λιμένα για τη φόρτωση και την εκφόρτωση εμπορεύματος,
- Το βάθος στο σημείο φόρτωσης-εκφόρτωσης ώστε να μπορεί να δέχεται τα, όλο και μεγαλύτερα, πλοία που κατασκευάζονται,
- Η χωρητικότητα και η έκταση του αποθηκευτικού χώρου,
- Ο χρόνος αναμονής ενός εμπορικού πλοίου στο λιμένα σε περίπτωση αυξημένης κίνησης
- Οι επιπλέον υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας κ.α.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται η αναγκαιότητα κάθε λιμένα για τη διατήρηση της ποιότητας και της ανταγωνιστικότητάς του και κατ' επέκτασιν της διατήρησης του πλεονεκτήματός του έναντι στους υπόλοιπους λιμένες. Για την επίτευξη της αναγκαιότητας αυτής, η οποία εν μέρει οφείλεται στη ραγδαία ανάπτυξη του θαλάσσιου εμπορίου, χρειάζονται διαρκείς επενδύσεις τεραστίων κεφαλαίων με σκοπό τον διαρκή εκσυγχρονισμό των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού. Ένα κράτος, με συγκεκριμένο και περιορισμένο προϋπολογισμό για τις λιμενικές δραστηριότητες, αδυνατεί να υποστηρίξει ένα τέτοιο εγχείρημα, με αποτέλεσμα την προσφορά ιδιωτικών επιχειρήσεων να παρέχουν τα κεφάλαια αυτά με αντάλλαγμα την (μερική ή ολική) ιδιωτικοποίηση των λιμένων αυτών. Με αυτό τον τρόπο, εισέρχονται τα ιδιωτικά συμφέροντα στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών.

Οι τύποι ιδιωτικοποίησης ενός λιμένα σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα (2007) παρουσιάζονται στον Πίνακας 1 (επόμενη σελίδα), ενώ αναλύονται εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Η παρούσα διπλωματική περιορίζεται στην εξέταση και την ενασχόληση με λιμένες της περιοχής της Μεσογείου (με έκταση 2,500,000 km^2), η οποία παρά το γεγονός ότι αποτελεί περίπου το 0.7% της παγκόσμιας θαλάσσιας έκτασης (361,000,000 km^2), το έτος 2021 διεξήγαγε περίπου το 20% του παγκοσμίου εμπορίου αγαθών. Όπως αναφέρει δημοσίευση της Eurostat (2022), οι θαλάσσιοι δρόμοι της Μεσογείου παρέχουν σύνδεση με ισχύ ανάμεσα σε χώρες της Ευρώπης, της Ασίας και της Βόρειας Αφρικής.

Ιδιαίτερη περίπτωση ιδιωτικοποίησης λιμένα της Μεσογείου, αποτελεί εκείνη του Οργανισμού Λιμένα Πειραιώς (Ο.Λ.Π.) από την κινεζική εταιρία COSCO (2016), η οποία αποτελεί μία ιδιαίτερη μορφή ιδιωτικοποίησης, μιας και, εκτός από τη χρήση και διοίκηση των τερματικών σταθμών του λιμένα, η COSCO για πρώτη φορά αναλαμβάνει και τη διοίκησή του (Qianqian & Davarinou, 2019). Ήδη, από προηγούμενα χρόνια, και συγκεκριμένα από το 2009, οι τερματικοί σταθμοί του λιμένα Πειραιά ήταν διαιρεμένοι σε δύο κατηγορίες: α) εκείνους, των οποίων τη διαχείριση είχε αναλάβει η Ο.Λ.Π. Α.Ε. και β) εκείνους, των οποίων τη διαχείριση είχε αναλάβει η Σ.Ε.Π. Α.Ε. (Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων Πειραιά), θυγατρική εταιρία του κινεζικού κολοσσού COSCO.

Πίνακας 1. Τρόποι διαχείρισης λιμένων με βάση το ιδιοκτησιακό τους καθεστώς (Πηγή: The World Bank, 2007)

Ιδιοκτησιακό Καθεστώς	**Υποδομή**	**Ανωδομή**	**Εργασία**	**Άλλα**
Δημόσιος Λιμένας Παροχής Υπηρεσιών	Δημόσιος Τομέας	Δημόσιος Τομέας	Δημόσιος Τομέας	Δημόσιος Τομέας
Λιμένας Παροχής Υποδομών	Δημόσιος Τομέας	Δημόσιος Τομέας	Ιδιωτικός Τομέας	Δημόσιος/ Ιδιωτικός Τομέας
Λιμένας "Ιδιόκτητης Γης"	Δημόσιος Τομέας	Ιδιωτικός Τομέας	Ιδιωτικός Τομέας	Δημόσιος/ Ιδιωτικός Τομέας
Πλήρως Ιδιωτικοποιημένος Λιμένας	Ιδιωτικός Τομέας	Ιδιωτικός Τομέας	Ιδιωτικός Τομέας	Ιδιωτικός Τομέας

Όπως σχολιάζει η Φάλκου (2017), η κίνηση αυτή της κινεζικής εταιρίας, είχε στρατηγική σημασία, καθώς η COSCO διέκρινε στο λιμένα Πειραιά τα εξής κύρια πλεονεκτήματα:

a. Ο λιμένας Πειραιά διαθέτει γεω-στρατηγική θέση καθώς βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από την διώρυγα του Σουέζ και γενικότερα ανάμεσα στους δρόμους εμπορίου Κίνας-Ευρώπης. Η φυσική προφύλαξη και το μεγάλο βάθος προσδίδουν στο λιμένα τη δυνατότητα εισαγωγής μεγάλων πλοίων (π.χ. Ε/Κ, κρουαζιέρας κ.λπ.) χωρίς την ανάγκη εκβάθυνσης, η οποία αποτελεί μία αρκετά χρονοβόρα και κοστοβόρα διαδικασία. Το γεγονός ότι βρίσκεται εντός της Ευρωζώνης και της συμφωνίας Σένγκεν, προδίδει την οικονομική σταθερότητα του λιμένος, όπως επίσης και την έλλειψη τελωνειακής γραφειοκρατίας, μιας και, μετά τον έλεγχο στο τελωνείο του Πειραιά, η διακίνηση εμπορευμάτων στην υπόλοιπη Ευρώπη γίνεται ελεύθερα. Τέλος, όπως ανακοινώθηκε αργότερα, η ένταξη του λιμένος Πειραιά στη συγκεκριμένη συμμαχία, άνοιξε στους Κινέζους το θαλάσσιο δρόμο του μεταξιού.
b. Ο Πειραιάς θεωρείται λιμάνι-δορυφόρος, αφού, εκτός από τη σύνδεση με άλλους λιμένες, και χάριν στην ύπαρξη του Εμπορευματικού Σιδηροδρομικού Κέντρου Θριασίου, υπάρχει σύνδεση με δρόμους (οδικά μέσα), σιδηροδρόμους και το αεροδρόμιο (εναέρια μέσα), γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη συνδυασμένων μεταφορών και υπηρεσιών logistics.
c. Ο λιμένας Πειραιά αποτελεί ναυτιλιακό cluster με παγκόσμιες διασυνδέσεις, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες δυνάμεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και συνδέεται με τη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδος (μεγάλη ενδοχώρα με πολλές ασχολίες), πράγμα που δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να απασχοληθούν μέχρι την αναχώρησή τους και
d. Αποτελεί λιμένα πολλαπλών χρήσεων.

Το παραπάνω, εκτός από ιδιαίτερο παράδειγμα μίας εκ των μορφών ιδιωτικοποίησης, αποτελεί και χαρακτηριστικό παράδειγμα του σκεπτικού, των βλέψεων και των στρατηγικών μίας ιδιωτικής εταιρίας, η οποία επιθυμεί να αναλάβει τη διοίκηση ενός λιμένα.

Ύστερα από την κατανόηση της σημαντικότητας του θαλάσσιου εμπορίου και κατ' επέκτασιν των λιμένων, κρίνεται σημαντικός ο ορισμός της αποδοτικότητας ενός λιμένα. Η αποδοτικότητα ενός λιμένα, εκφράζει στην ουσία την ικανότητά του να παράγει το μέγιστο δυνατό έργο (στην προκειμένη περίπτωση διακίνηση και τζίρος) χρησιμοποιώντας με βέλτιστο τρόπο τα συνολικά της, περιορισμένα παραγωγικά μέσα. Γενικά, για την εύρεση της αποδοτικότητας μίας μονάδας, που στην παρούσα διπλωματική θα αποτελεί ο λιμένας, σημαντική συμβολή έχει η ανάπτυξη μοντέλων, ειδικά κατασκευασμένων για το σκοπό αυτό.

Η παρούσα εργασία, θα ασχοληθεί με την εύρεση της αποδοτικότητας 14^{ων} εκ των μεγαλύτερων λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων της περιοχής της Μεσογείου. Συγκεκριμένα, οι λιμένες, οι οποίοι εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι οι εξής:

Πίνακας 2. Λιμένες που εξετάζονται στη διπλωματική εργασία (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

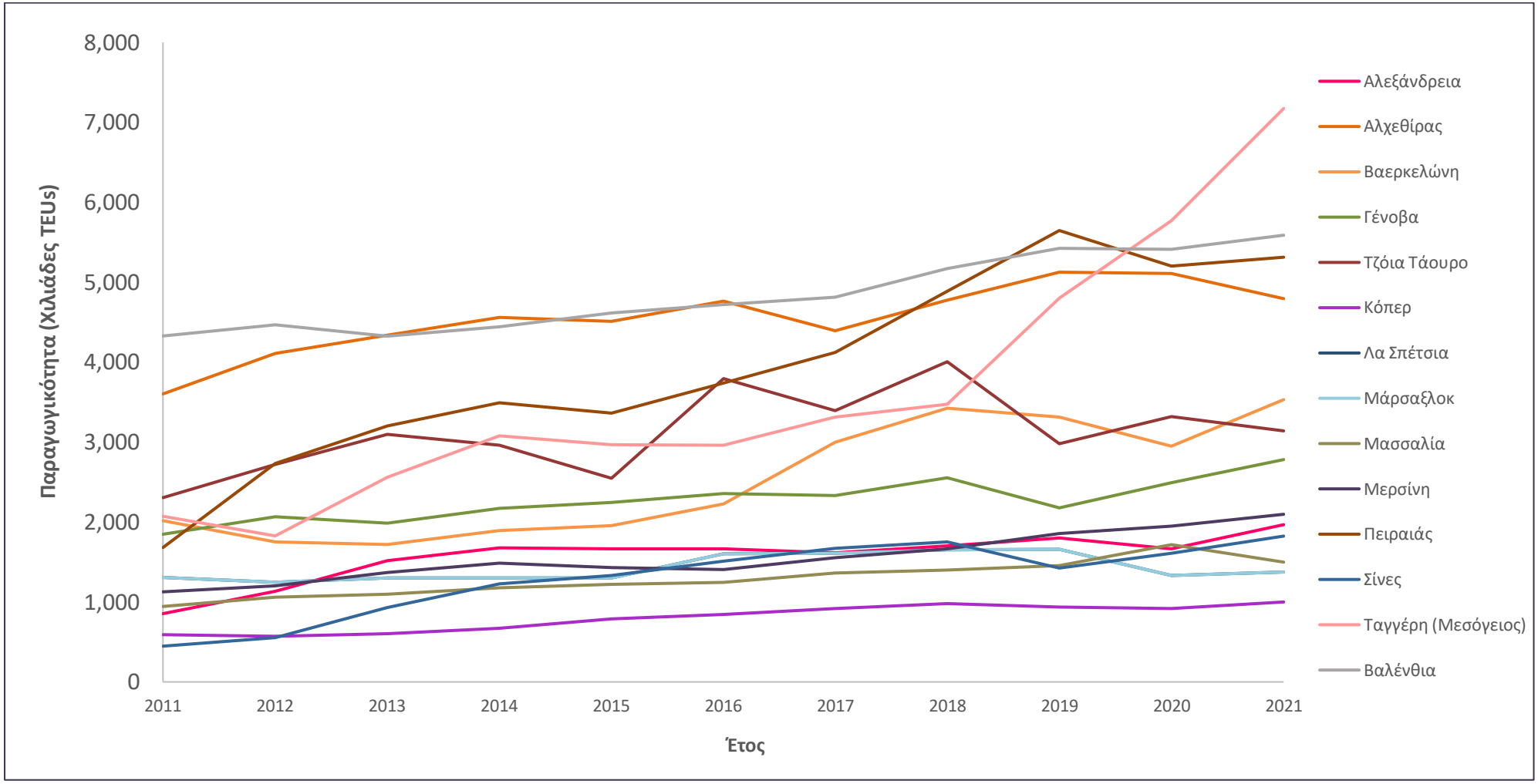
Λιμένας	**Χώρα**
Αλεξάνδρεια	Αίγυπτος
Αλχεθίρας	Ισπανίας
Βαρκελώνη	Ισπανία
Γένοβα	Ιταλία
Τζόια Τάουρο	Ιταλία
Κόπερ	Σλοβενία
Λα Σπέτσια	Ιταλία
Μάρσαξλοκ	Μάλτα
Μασσαλία	Γαλλία
Μερσίνη	Τουρκία
Πειραιάς	Ελλάδα
Σίνες	Πορτογαλία
Ταγγέρη (Μεσόγειος)	Μαρόκο
Βαλένθια	Ισπανία

Οι λιμένες αυτοί επιλέχθηκαν με βάση την παραγωγικότητά τους για το έτος 2021, εκφρασμένη σε ισοδύναμες μονάδες 20 ποδών (Twenty-feet Equivalent Units, TEUs). Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η παραγωγικότητα (χιλιάδες TEUs) των λιμένων αυτών για τη δεκαετία 2011-2021 (Πίνακας 3), ενώ η εξέλιξη της παραγωγικότητάς τους διακρίνεται στο γράφημα που ακολουθεί (Εικόνα 1). Στην Εικόνα 2, γίνεται η σύγκριση της παραγωγικότητας των λιμένων για το έτος 2011 και 2021. Παρατηρείται ραγδαία αύξηση της παραγωγικότητας σε όλους τους λιμένες ανά τα έτη, γεγονός που φανερώνει τη σημασία του θαλάσσιου εμπορίου. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις φαίνεται να σημειώνονται για το Tanger Med και το λιμένα του Πειραιά.

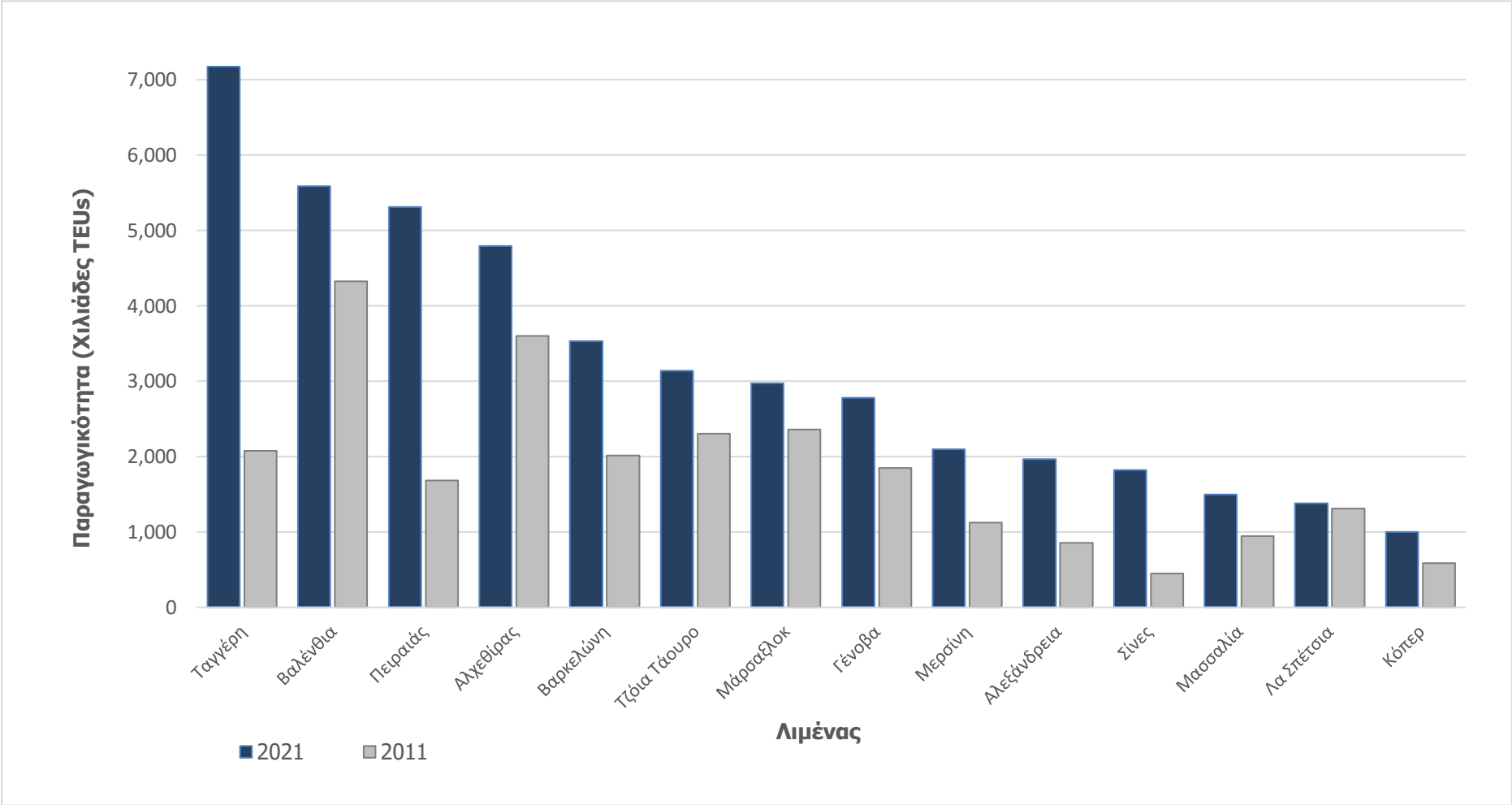
Σημαντικός δείκτης της παραγωγικότητας ενός λιμένα, εκτός από τη μέτρηση των TEUs, είναι και η μέτρηση του όγκου φορτίων (εκφρασμένου σε τόνους) που διακινεί. Παρά την έλλειψη στοιχείων για τον όγκο φορτίων διακίνησης ορισμένων λιμένων, και, για χάριν πληρότητας, παρουσιάζονται επίσης: ο πίνακας με τον όγκο φορτίων διακίνησης των υπό-μελέτη λιμένων για τη δεκαετία 2011-2021 (Πίνακας 4 καθώς και το συγκριτικό διάγραμμα με μπάρες για το έτος 2017 (πρώτη διαθέσιμη μέτρηση για το σύνολο των λιμένων) και το έτος 2021 (Εικόνα 3).

Πίνακας 3. Παραγωγικότητα υπό-μελέτη λιμένων για τη δεκαετία 2011-2021, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία δεδομένων από τη Eurostat, mar_go_qm)

Παραγωγικότητα (χιλιάδες TEUs)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Αλεξάνδρεια	854.00	1,135.44	1,519.19	1,677.99	1,661.92	1,663.60	1,613.00	1,700.00	1,800.39	1,667.02	1,967.00
Αλχεθίρας	3,602.63	4,111.84	4,337.82	4,556.49	4,511.32	4,761.44	4,389.85	4,773.16	5,125.39	5,107.87	4,797.00
Βαρκελώνη	2,013.97	1,749.97	1,718.78	1,893.30	1,953.28	2,228.24	2,998.66	3,422.17	3,313.27	2,949.64	3,531.00
Γένοβα	1,847.10	2,064.81	1,988.01	2,172.94	2,242.90	2,356.49	2,332.50	2,554.20	2,175.62	2,491.25	2,781.00
Τζόια Τάουρο	2,304.99	2,721.11	3,094.25	2,959.80	2,546.81	3,796.31	3,391.14	4,005.46	2,981.89	3,319.60	3,140.00
Κόπερ	589.31	570.74	600.44	674.03	790.74	845.55	919.65	980.20	934.06	918.06	1,000.00
Λα Σπέτσια	1,307.27	1,247.22	1,300.43	1,303.02	1,300.44	1,605.37	1,611.58	1,652.58	1,658.87	1,332.97	1,376.00
Μάρσαξλοκ	2,360.49	2,540.00	2,750.00	2,900.00	3,064.01	3,084.31	3,152.30	3,312.56	2,722.89	2,441.59	2,970.00
Μασσαλία	944.05	1,061.19	1,099.27	1,179.92	1,223.17	1,244.12	1,362.22	1,398.25	1,454.47	1,717.03	1,500.00
Μερσίνη	1,126.87	1,204.82	1,366.50	1,484.00	1,428.00	1,406.40	1,553.84	1,662.36	1,854.31	1,948.70	2,097.00
Πειραιάς	1,681.00	2,734.00	3,199.00	3,493.00	3,360.00	3,735.81	4,120.34	4,886.05	5,646.46	5,201.95	5,311.81
Σίνες	447.50	553.07	931.01	1,228.00	1,332.20	1,513.09	1,669.06	1,750.44	1,423.21	1,611.96	1,824.00
Ταγγέρη (Μεσόγειος)	2,072.95	1,826.31	2,558.43	3,080.00	2,964.32	2,963.65	3,312.41	3,472.45	4,801.71	5,770.00	7,173.00
Βαλένθια	4,327.37	4,469.87	4,327.84	4,441.95	4,615.20	4,719.74	4,813.87	5,168.90	5,420.77	5,413.17	5,588.00



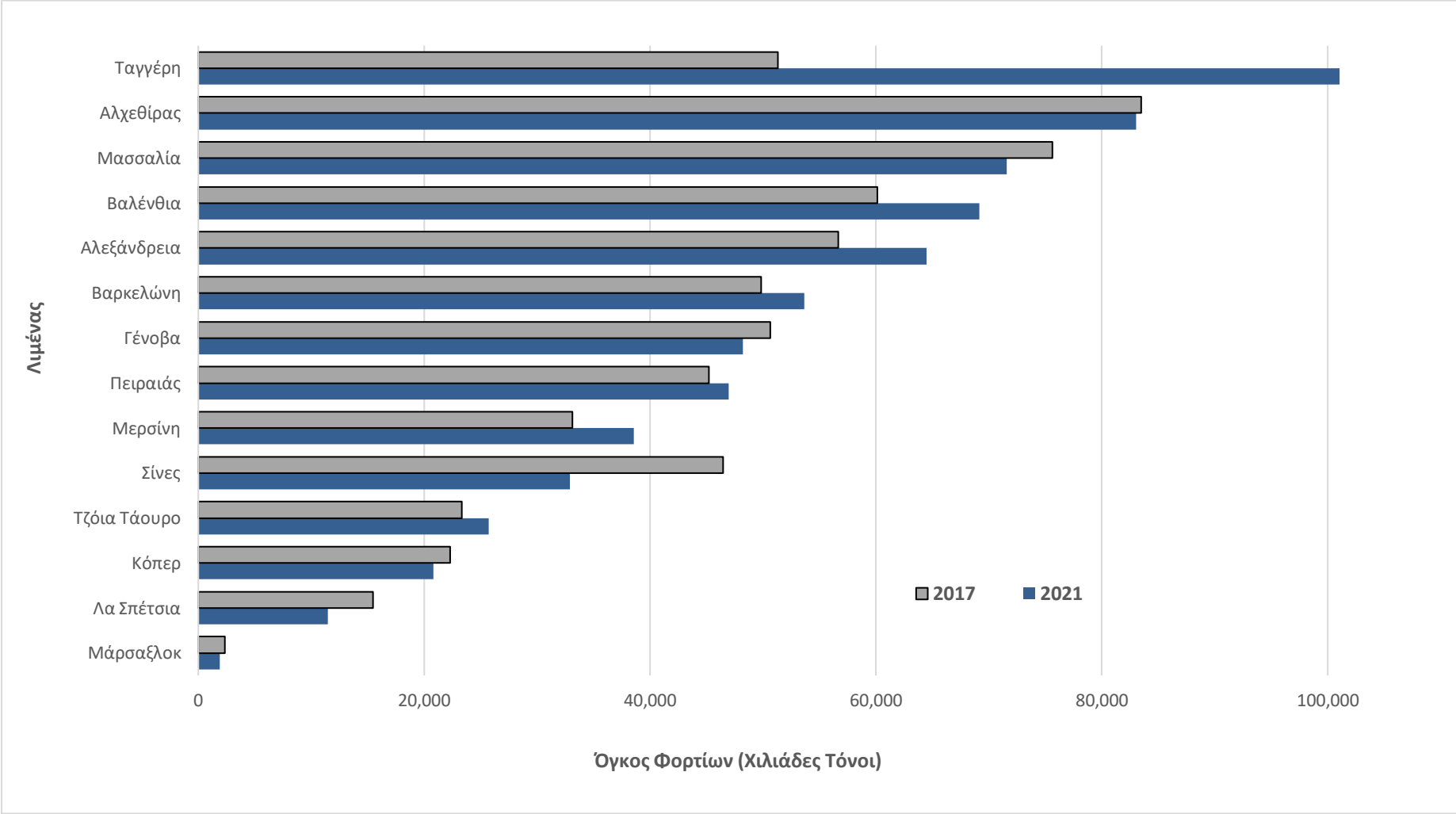
Εικόνα 1. Εξέλιξη της παραγωγικότητας (χιλιάδες TEUs) των υπό-μελέτη λιμένων για τη δεκαετία 2011-2021



Εικόνα 2. Σύγκριση παραγωγικότητας των υπό-μελέτη λιμένων για τα έτη 2011 και 2021 (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Πίνακας 4. Όγκος φορτίων διακίνησης των υπό-μελέτη λιμένων για τη δεκαετία 2011-2021, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία δεδομένων από τη Eurostat, mar_go_aa)

Όγκος Φορτίων (Χιλιάδες Τόνοι)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Αλεξάνδρεια	-	-	-	-	-	-	56,648.66	60,437.10	63,926.15	61,215.63	64,500.00
Αλχεθίρας	68,913.00	72,344.00	67,618.00	75,650.00	79,374.00	83,422.00	83,465.00	88,645.00	89,905.00	88,497.00	83,051.00
Βαρκελώνη	35,222.00	34,342.00	34,372.00	41,182.00	38,047.00	39,142.00	49,825.00	54,560.00	54,709.00	48,783.00	53,642.00
Γένοβα	42,374.00	42,453.00	40,830.00	43,394.00	43,426.00	45,049.00	50,662.00	51,570.00	49,695.00	44,157.00	48,212.00
Τζόια Τάουρο	28,014.00	27,399.00	27,447.00	27,272.00	26,137.00	26,966.00	23,334.00	28,357.00	22,693.00	24,174.00	25,721.00
Κόπερ	16,198.00	16,907.00	17,184.00	18,012.00	19,931.00	21,171.00	22,311.00	23,127.00	22,114.00	18,314.00	20,821.00
Λα Σπέτσια	14,753.00	13,017.00	12,112.00	12,861.00	15,449.00	14,567.00	15,463.00	15,625.00	18,803.00	13,883.00	11,486.00
Μάρσαξλοκ	1,862.00	1,841.00	1,734.00	1,587.00	1,745.00	1,701.00	2,341.00	2,848.00	3,561.00	5,006.00	1,906.00
Μασσαλία	84,461.00	81,846.00	76,248.00	74,426.00	77,479.00	76,427.00	75,617.00	75,672.00	74,051.00	71,590.00	71,590.00
Μερσίνη	25,077.00	26,620.00	31,512.00	31,489.00	31,217.00	30,984.00	33,103.00	32,223.00	35,470.00	36,847.00	38,579.00
Πειραιάς	23,492.00	35,189.00	40,192.00	41,441.00	38,322.00	41,021.00	45,202.00	50,925.00	56,825.00	52,421.00	46,951.00
Σίνες	24,870.00	27,423.00	34,600.00	35,054.00	41,218.00	48,056.00	46,473.00	44,310.00	38,907.00	38,885.00	32,904.00
Ταγγέρη (Μεσόγειος)	-	-	-	-	41,044.94	44,615.85	51,328.15	52,240.81	65,895.54	81,000.00	101,055.00
Βαλένθια	54,213.00	54,217.00	53,470.00	55,047.00	57,557.00	58,321.00	60,116.00	61,972.00	65,308.00	65,628.00	69,131.00



Εικόνα 3. Σύγκριση διακινούμενου όγκου φορτίων των υπό-μελέτη λιμένων μεταξύ 2017 και 2021 (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Συμπερασματικά, οι εμπορικοί (κυρίως) λιμένες αποτελούν ένα μεγάλο και σημαντικό κεφάλαιο για την οικονομία μιας χώρας, και κατ' επέκτασιν για την παγκόσμια οικονομία. Όπως αποδείχθηκε από τα παραπάνω, το αντικείμενο αυτό, προκαλεί ενδιαφέρον τόσο στον ιδιωτικό όσο και στο δημόσιο τομέα και χρίζει ιδιαίτερης και εκτενούς έρευνας, μέρος της οποίας γίνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της αποδοτικότητας 14 λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου με χρήση της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων. Οι λιμένες αυτοί βρίσκονται σε 10 διαφορετικές χώρες (Αίγυπτος, Γαλλία, Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία, Μάλτα, Μαρόκο, Πορτογαλία, Σλοβενία, Τουρκία) ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η έκταση της Μεσογείου. Αντικείμενο της διπλωματικής είναι η διερεύνηση της σχέσης και της επίδρασης που έχουν οι εγκαταστάσεις (μήκος κρηπιδώματος, έκταση τερματικών σταθμών) και ο εξοπλισμός (γερανογέφυρες κριπηδώματος, γερανοί στοιβασίας) που χρησιμοποιεί ένας εμπορικός λιμένας διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων, στα οικονομικά αποτελέσματά του (τζίρος) καθώς και στην παραγωγικότητά του (αριθμός TEUs) και τον όγκο του φορτίου (τόνοι φορτίου) που διακινείται μέσω του λιμένα αυτού. Η εκτίμηση της αποδοτικότητας των λιμένων που εξετάζονται, γίνεται με άντληση δεδομένων των λιμένων για το έτος 2021, ένα κομβικό έτος, το οποίο χαρακτηρίζεται από ανάκαμψη μετά την περίοδο της πανδημίας Covid-19. Τελικός σκοπός, ο οποίος είναι και το αποτέλεσμα της ανάλυσης αυτής, είναι ο χαρακτηρισμός των λιμένων αυτών ως αποδοτικών ή μη-αποδοτικών.

1.3 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας και βοηθάει στην κατανόηση του περιεχομένου της, με την παράθεση γενικών στοιχείων σχετικών με τη σημασία των θαλάσσιων μεταφορών και της προσφοράς τους στην οικονομία, την αναγκαιότητα της ιδιωτικοποίησης των λιμένων με σκοπό το συνεχή εκσυγχρονισμό τους και την εξασφάλιση της ανταγωνιστικότητάς τους σε έναν τομέα με μεγάλη προσφορά. Έπειτα, γίνεται αναφορά στον σκοπό ~~της~~ παρούσας εργασίας, ενώ στο τέλος, περιγράφεται η δομή της διπλωματικής εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση της εργασίας αυτής. Πιο συγκεκριμένα, αναλύονται και παρουσιάζονται μελέτες, διπλωματικές εργασίες και οικονομικά άρθρα από ελληνική και ξένη (διεθνή) βιβλιογραφία, η οποία χωρίζεται σε δύο υπό-ενότητες. Στην πρώτη υπό-ενότητα, αναλύεται η επιρροή των λιμένων και του θαλάσσιου εμπορίου στην οικονομία μίας χώρας, καθώς και η σπουδαιότητα της ιδιωτικοποίησής τους. Στη δεύτερη υπό-ενότητα, παρουσιάζονται μελέτες, στις οποίες έχει εφαρμοστεί η μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων σε όμοιες περιπτώσεις με εκείνη, με την οποία σχετίζεται η διπλωματική εργασία. Στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

Το τρίτο κεφάλαιο, σχετίζεται με τη θεωρητική περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθείται για την εφαρμογή της μεθόδου που επιλέχθηκε για την εύρεση της

αποδοτικότητας κάθε λιμένα. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή περιγράφεται η διαδικασία συλλογής δεδομένων και ο τρόπος επεξεργασίας τους και στη συνέχεια παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου, δηλαδή κάποιες γενικές πληροφορίες, καθώς και γενικοί τύποι και μοντέλα επίλυσής της. Στη συνέχεια, αιτιολογείται η επιλογή των μοντέλων που κρίθηκαν κατάλληλα για τους σκοπούς της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφεται εκτενέστερα ο τρόπος εφαρμογής της μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή περιγράφεται η βασική υπόθεση και στη συνέχεια γίνεται η επιλογή των δεδομένων, των μεταβλητών και των μονάδων λήψης αποφάσεων, δεδομένα που επιλέχθηκαν και κρίθηκαν ως κατάλληλα για τη διεξαγωγή του πειράματος. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής της βάσης δεδομένων και περιγράφεται αναλυτικά η κατασκευή του μοντέλου επίλυσης στο πρόγραμμα επίλυσης που επιλέχθηκε. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται τα αποτελέσματα μετά την εκτέλεση του πειράματος, τα οποία αναλύονται και σχολιάζονται.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση και το σχολιασμό των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, γίνεται αναφορά σε προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και περιέχει έρευνες, τόσο σχετικές με το θέμα της παρούσας εργασίας όσο και με τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται έρευνες μελετητών, διπλωματικές εργασίες και δημοσιευμένα άρθρα οικονομικού περιεχομένου, όπου προέρχονται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Τα παραπάνω, αναλύονται με συνοπτικό τρόπο ως προς το περιεχόμενο και το αντικείμενό τους και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συμπεράσματα του καθενός. Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε 3 επιμέρους μέρη. Στο πρώτο μέρος περιλαμβάνονται μελέτες, οι οποίες σχετίζονται με τη σημαντικότητα των λιμένων στις διεθνείς οικονομίες και παρουσιάζεται η αναγκαιότητα της επέμβασης του ιδιωτικού τομέα στη διαχείρισή τους. Στο δεύτερο επιμέρους μέρος, παρατίθενται μελέτες σχετικές με την εφαρμογή και τη χρησιμότητα του μοντέλου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία. Τέλος, στο τρίτο μέρος, αναλύονται τα συμπεράσματα του κεφαλαίου της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

2.2 Ανάλυση βιβλιογραφίας

Η ιδιωτικοποίηση των λιμένων είναι ένα φαινόμενο το οποίο απασχολεί εδώ και αρκετά χρόνια πληθώρα ανθρώπων και τομέων: από ερευνητές, μελετητές, οικονομολόγους μέχρι εταιρίες (είτε μικρές, είτε κολοσσούς/πολυεθνικές), ακόμη και κυβερνήσεις ολόκληρων χωρών.

Το βασικό ερώτημα, το οποίο για δεκαετίες απασχολούσε τους παραπάνω ενδιαφερόμενους, είναι εάν η ιδιωτικοποίηση ενός λιμένα και η αξιοποίησή του με βάση ιδιωτικά συμφέροντα εταιριών έχει όντως θετικά αποτελέσματα στην οικονομία της χώρας στην οποία ανήκει αυτός και, αν ναι τότε, πώς αυτό αποδεικνύεται. Τα συμπεράσματα ερευνών που συνελέχθησαν από ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία με σκοπό την απάντηση του παραπάνω ερωτήματος παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.2.1 Επιρροή των λιμένων στην οικονομία

Για να δοθεί, λοιπόν, απάντηση στο ερώτημα αυτό είναι σημαντικό να αναλυθεί η γενική επιρροή των λιμένων, ανεξάρτητα από το καθεστώς λειτουργίας τους, στην οικονομία μιας χώρας και κατ' επέκταση στην παγκόσμια οικονομία γενικότερα.

Η Κολιού (2019), χαρακτήρισε τους λιμένες ως ένα πολυσύνθετο σύστημα, το οποίο οφείλει να ικανοποιεί πληθώρα χρηστών ταυτόχρονα. Έρευνα, η οποία διεξήχθη (Munim, 2018), έδειξε ότι το 80% των εμπορικών δραστηριοτήτων ανά τον κόσμο πραγματοποιείται μέσω των λιμένων (θαλάσσιο εμπόριο). Αυτό καθιστά τους λιμένες βασικούς πυλώνες της παραγωγής και της κατανάλωσης.

Ένας από τους κύριους σκοπούς ενός εμπορικού λιμένα (Φάλκου, 2017), αποτελεί η παροχή υπηρεσιών στα πλοία (ρυμούλκηση, πλοήγηση, εφοδιασμός, πρόσδεση/απόδεση, ναυπηγοεπισκευές κ.λπ.), ο χειρισμός των φορτίων (μεταφορά,

διακίνηση, ταξινόμηση) και η προστασία τους από δυνητικές φθορές (π.χ. καιρικές συνθήκες), η παραλαβή και διανομή των φορτίων στην ενδοχώρα, και από εκεί η σύνδεση με επιπλέον προορισμούς, καθώς και οι υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στη διακίνηση (logistics), οι οποίες, πλέον, προσφέρονται σε ολοκληρωμένα πακέτα και όχι μεμονωμένα. Σε έναν ολοκληρωμένο λιμένα πολλαπλών χρήσεων, θα πρέπει, εκτός των παραπάνω, να ληφθούν υπόψιν και οι υπηρεσίες μεταφοράς ανθρώπων και οχημάτων (επιβατηγοί σταθμοί), καθώς και η δυνατότητα πρόσβασης και πρόσδεσης, σε ειδικές προβλήτες, τουριστικών κρουαζιερόπλοιων.

Είναι εμφανές, λοιπόν, ότι το φάσμα δραστηριοποίησης των λιμένων είναι αρκετά ευρύ, γεγονός το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι λιμενικές δραστηριότητες έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν σημαντικά στην οικονομία μίας χώρας, όχι μόνο λόγω της αύξησης των θέσεων εργασίας, η οποία συνεισφέρει στην αύξηση του ΑΕΠ, αλλά και χάρη στην ανάπτυξη, με έμμεσο τρόπο, άλλων δραστηριοτήτων που συνδέονται με τη χρήση τους.

Οι Βέττας κ.α. (2016), ανέφεραν ως βασικές οικονομικές επιδράσεις της ύπαρξης λιμενικής δραστηριότητας, την αύξηση της παραγωγικότητας και της προσφοράς και την αύξηση της εμπορικής ανταγωνιστικότητας της χώρας αφού η ύπαρξη λιμένα δίνει σημαντικό πλεονέκτημα, ειδικά σε συνδυασμό με την ύπαρξη υποδομών για συνδυασμένες και διατροπικές μεταφορές. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψιν και τη διακίνηση επιβατών, τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία επενδυτικού κλίματος (μεταφορές, τουρισμός, παροχή ενέργειας, διαχείριση απορριμμάτων), την αναβάθμιση της ευρύτερης περιοχής του λιμένα χάριν στην κατασκευή ξενοδοχείων, εμπορικών κέντρων και στην επιχειρηματική δραστηριότητα γενικότερα (εταιρίες logistics, χώροι διαχείρισης και αποθήκευσης εμπορευματοκιβωτίων, εταιρίες αξιοποίησης χερσαίων μεταφορών, επιχειρήσεις τουρισμού). Οι προαναφερθείσες επιδράσεις συντελούν στην εισαγωγή και τη ροή χρήματος και κατ' επέκταση στην οικονομική άνθιση και την ανάπτυξη μίας χώρας.

Σχετικά με την επίδραση των λιμένων στην οικονομία τοποθετήθηκαν, επίσης, οι Bottasso et. al. (2014), οι οποίοι ανέφεραν πως για κάθε 10% αύξηση της παραγωγικότητας των λιμένων, το ΑΕΠ της περιοχής αυξάνεται κατά 6-20%, και κατ' επέκταση 5-18% αύξηση του ΑΕΠ στις γειτονικές περιοχές της περιοχής του λιμένα. Την ίδια χρονιά (2014), οι Shan et. al., μετά από σχετική έρευνα σε λιμένες της Κίνας, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως για κάθε 1% αύξηση των διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ), συνεπάγεται αύξηση του κατά κεφαλήν ΑΕΠ κατά 7,6% και θετική οικονομική επίδραση στις γειτονικές οικονομίες. Η διερεύνηση της οικονομικής επιρροής των λιμένων της Νότιας Αφρικής, έδειξε πως μία πτώση της λιμενικής δραστηριότητας κατά 1%, συνεπάγεται 17% οικονομική ζημιά (Chang et. al., 2014).

Τέλος, οι Munim & Schramm (2018), τόνισαν τη μεγάλη συσχέτιση του θαλάσσιου εμπορίου με το ΑΕΠ μίας χώρας και απέδειξαν, πως εξαιτίας της παγκοσμιοποίησης, αυξήθηκε κατά πολύ η σημαντικότητα των λιμένων. Επομένως, πόλεις, οι οποίες διαθέτουν λιμένες παρουσιάζουν συγκριτικό πλεονέκτημα σε σχέση με εκείνες οι οποίες δεν έχουν, πράγμα που είναι εμφανές λόγω της ραγδαίας ανάπτυξή τους. Υποστήριξαν,

επίσης, ότι εκτός από το χειρισμό των Ε/Κ, πλέον σημαντική είναι η σωστή οργάνωση και διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics), ο συντονισμός, δηλαδή, όλων εκείνων των λειτουργιών οι οποίες θα οδηγήσουν στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας του λιμένα.

Οι παραπάνω αναφορές, εστιάζουν στην επιρροή των λιμένων στην οικονομία. Προϋπόθεση, όμως για να συμβαίνουν όλα τα παραπάνω αποτελεί η σωστή διαχείριση των λειτουργιών του λιμένα, καθώς και η διατήρηση της ανταγωνιστικότητάς του ώστε να υπερέχει από τους υπόλοιπους και να αποτελεί πόλο έλξης για όσους ασχολούνται με τις δραστηριότητες που προαναφέρθηκαν. Κύριος στόχος, λοιπόν, ενός οργανισμού λιμένος, είναι η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητάς του, η οποία, σύμφωνα με τους Pagano et. al. (2013), αποτελείται από τρείς κλάδους: α) την Τεχνική Αποδοτικότητα, η οποία σχετίζεται με τη βελτιστοποίηση της χρήσης των μέσων και των χώρων που διαθέτει ο λιμένας, β) την Αποδοτικότητα Διαθεσιμότητας, η οποία έχει να κάνει με την εύρεση του σημείου τομής των καμπυλών της προσφοράς και της ζήτησης και γ) τη Γενική Αποδοτικότητα, η οποία, με δεδομένους τους δύο παραπάνω όρους, εκφράζεται ως συνάρτηση του κέρδους.

Για την επίτευξη της μέγιστης αποδοτικότητας, αναγκαία είναι η συνεχής ενασχόληση με το λιμένα καθώς και η διαρκής αναβάθμισή του, πράγμα που σημαίνει πως είναι αναγκαίες οι συνεχείς επενδύσεις, μέσω των οποίων θα έρθει η ανάπτυξη και οι θετικές επιδράσεις της, οι οποίες αναλύθηκαν προηγουμένως.

2.2.2 Ιδιωτικοποίηση λιμένων

Όπως αναφέρει η Κολιού (2019), τα κράτη δεν έχουν τη δυνατότητα να ανταπεξέλθουν στην αναβάθμιση και τον εκσυγχρονισμό των λιμένων, καθώς αυτή η δραστηριότητα απαιτεί την ύπαρξη μεγάλου επενδυτικού κεφαλαίου, το οποίο κατά κανόνα οι χώρες δεν δύνανται να διαθέσουν. Αποτέλεσμα αυτού, αποτελεί η υπό-λειτουργία των δημοσίων λιμένων, που συνεπάγεται τη δραματικά μειωμένη αποδοτικότητά τους σε σχέση με εκείνη που θεωρητικά θα μπορούσαν να διαθέτουν. Επακόλουθο των παραπάνω, είναι η διαφυγή κερδών και η μειωμένη ανάπτυξη.

Τη λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα έρχεται να δώσει ο ιδιωτικός τομέας, στον οποίο διατίθενται περισσότεροι πόροι για επενδύσεις, με αποτέλεσμα τον εκσυγχρονισμό των λιμένων και, συνεπώς, την αύξηση της αποδοτικότητας. Οι επενδύσεις τις οποίες, κατά κύριο λόγο, αναλαμβάνουν οι ιδιωτικές εταιρίες, σύμφωνα με την Κολιού(2019), είναι εκείνες που αφορούν τα πληροφοριακά συστήματα και την τεχνολογία. Σημαντικές επίσης, είναι οι επενδύσεις της ανωδομής (εκσυγχρονισμός και συντήρηση γερανών, έργα προκυμαίας), της υπερδομής (κτίρια, γραφεία, αποθήκες) καθώς και της υποδομής (οδικά δίκτυα, σιδηρόδρομοι κ.λπ.).

Οι λιμένες, ανάλογα με το ιδιοκτησιακό καθεστώς και τον τρόπο λειτουργίας τους, χωρίζονται σε 4 κατηγορίες, όπως αναφέρει η Κολιού (2019), σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank, 2007), η οποία χρησιμοποίησε ως κριτήρια την ιδιοκτησία της υποδομής, του εξοπλισμού και της ανωδομής, καθώς και τον τρόπο λειτουργίας της διοίκησης και των συνθηκών εργασίας. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

i) Δημόσιος Λιμένας Παροχής Υπηρεσιών (Service Port): Έχει δημόσιο χαρακτήρα, αφού η Λιμενική Αρχή πραγματοποιεί την παροχή υπηρεσιών και ο Δημόσιος Τομέας καθορίζει τις συνθήκες εργασίας (πρόσληψη προσωπικού κ.λπ.) και έχει στην ιδιοκτησία του την υποδομή, τον εξοπλισμό και την ανωδομή.

ii) Λιμένας Παροχής Υποδομών (Tool Port): Οι πρωτοβουλίες αναλαμβάνονται και από τον Ιδιωτικό Τομέα, όμως ο Δημόσιος Τομέας έχει το δικαίωμα παρέμβασης στο χειρισμό και τη λειτουργία, με αποτέλεσμα να δημιουργείται σύγχυση σχετικά με τις ευθύνες και τη διαχείριση του κάθε τομέα. Ο Δημόσιος Τομέας έχει στην ιδιοκτησία του την υποδομή, τον εξοπλισμό και την ανωδομή.

iii) Λιμένας Ιδιόκτητης Γης (Landlord Port): Η υλοποίηση των διαδικασιών των εργασιών γίνεται από ιδιώτες, όμως η ρύθμιση του τρόπου οργάνωσης χρειάζεται την έγκριση της Λιμενικής Αρχής (Δημόσιος Τομέας). Ο Δημόσιος Τομέας έχει στην ιδιοκτησία του μόνον την υποδομή, αφού την ανωδομή και τον εξοπλισμό, καθώς και τη διαχείριση του φορτίου διαθέτει και χειρίζεται ο Ιδιωτικός Τομέας.

iv) Πλήρως Ιδιωτικοποιημένος Λιμένας (Fully Privatized Port): Τα δικαιώματα χρήσης του λιμένα είναι πλήρως εκχωρημένα σε ιδιώτες, με το Δημόσιο Τομέα να μην έχει λόγο στις αποφάσεις, την οργάνωση και τη λειτουργία του λιμένα.

Σύμφωνα με την Παρδάλη (2001), ο πιο συνήθης τρόπος οργάνωσης και λειτουργίας ιδιωτικοποιημένων λιμένων είναι αυτός των Λιμένων Ιδιόκτητης Γης (Landlord Ports), ενώ για τους Πλήρως Ιδιωτικοποιημένους Λιμένες (Fully Privatized Ports) εκφράζονται φόβοι εκδήλωσης μονοπωλιακών τάσεων, αφού δεν υπάρχει δυνατότητα παρέμβασης του Δημοσίου Τομέα για την αποκατάσταση της ισορροπίας. Ο παραπάνω τρόπος διαχωρισμού των λιμένων αμφισβητείται από πολλούς, καθώς υπάρχει η αντίληψη ότι οι τύποι είναι περιορισμένοι και ότι υπάρχουν και άλλοι.

Οι Φάλκου (2017), Munim & Schramm (2018) και Κολιού (2019) κατέγραψαν τα οικονομικά και ποιοτικά οφέλη που προσφέρει η ιδιωτικοποίηση των λιμένων. Τα πιο σημαντικά εξ αυτών είναι η αύξηση των επενδύσεων λόγω ύπαρξης πόρων, η αύξηση της αποτελεσματικότητας και η χρονική βελτίωση των διαδικασιών καθώς και η γενική βελτίωση του τρόπου λειτουργίας, η μείωση του κόστους εργασίας και η καλύτερη διαχείριση. Όλα αυτά, σε συνδυασμό με τη συνεχή αναζήτηση των ιδιωτικών επιχειρήσεων για επιπλέον κέρδος και τη συμμετοχή και την παρέμβαση του δημοσίου τομέα, σε περιπτώσεις αθέμητου ανταγωνισμού, ανάγκης ικανοποίησης ζήτησης ή αποκατάστασης της αγοράς, προσφέρουν στο λιμένα, στις γύρω περιοχές και κατ' επέκταση στη χώρα την οικονομική άνθιση, όπως αυτή περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 2.2.1.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο λιμένας του Rotterdam, ο οποίος, μετά από την ιδιωτικοποίησή του αποτελεί τον τρίτο μεγαλύτερο (από άποψη εξαγωγής Ε/Κ) εμπορικό λιμένα παγκοσμίως. Πρόκειται για ένα λιμάνι τύπου Landlord, το οποίο συνδέεται με περισσότερους από 1000 λιμένες ανά τον κόσμο, αλλά και άλλα μεταφορικά μέσα (συνδυασμένες μεταφορές). Τα πλεονεκτήματα που διαθέτει, είναι ότι έχει την υποδομή να εξυπηρετήσει τα μεγαλύτερα πλοία μεταφοράς Ε/Κ, ότι

διαθέτει 11 τερματικά με υψηλό επίπεδο αυτοματοποίησης και εξυπηρετεί την Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη με ποιότητα και υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας. Τα χαρακτηριστικά αυτά τα απέκτησε μετά την υπογραφή συνεργασίας με την Κίνα, συνεργασία η οποία ανέδειξε το λιμένα σε Παγκόσμιο Λιμένα (World Harbour). Η σύνδεσή του με άλλους λιμένες αποτελεί μία προοπτική ανάπτυξης του λιμένα και διακρίνεται σε συνδέσεις στρατηγικής συνεργασίας, δημιουργώντας κοινοπραξίες, τις οποίες εξυπηρετούν οι μεγαλύτερες εταιρίες μεταφορών, ενέργειας, πετροχημικών και σιδήρου και σε συνδέσεις συμβουλευτικού χαρακτήρα μέσω εκπροσώπων με χώρες στρατηγικής σημασίας για το Rotterdam, ώστε να μεταδοθεί το knowhow και η κουλτούρα με απώτερο σκοπό τη συμμετοχή του λιμένα-δέκτη σε μελλοντική στρατηγική συνεργασία (Dooms et. al., 2013).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην περιοχή της Μεσογείου. Η Μεσόγειος θάλασσα βρίσκεται στο σταυροδρόμι της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής ενώ υπάρχει μεγάλη εγγύτητα στη διώρυγα του Σουέζ. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, καθιστούν τη Μεσόγειο θάλασσα, περιοχή με μεγάλη οικονομική και στρατηγική σημασία. Μόνο στην περιοχή αυτή, ο αριθμός των λιμένων αγγίζει τους 87, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλη προσφορά και πλήθος επιλογών για τις εταιρίες διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων. Με σκοπό τη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας και την προσέλκυση ολοένα και περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων προς διακίνηση, οι λιμένες στοχεύουν στις υψηλές τιμές παραγωγικότητας και αποδοτικότητας (Johnson, 2018). Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, αποτελούν το λόγο, για τον οποίο η πλειοψηφία των λιμένων της Μεσογείου έχει ιδιωτικοποιηθεί. Στη συγκεκριμένη περιοχή, συναντώνται κυρίως λιμένες τύπου 'Ιδιόκτητης Γης" (Landlord Ports), με την υποδομή του κάθε λιμένα να ανήκει με τον ένα ή τον άλλο τρόπο στο Δημόσιο Τομέα, ενώ την ανωδομή, το φορτίο, τον εξοπλισμό και το εργατικό δυναμικό διαχειρίζεται ο Ιδιωτικός Τομέας.

Όσον αφορά το παράδειγμα του λιμένα Πειραιά, που αναφέρθηκε στην εισαγωγή, ο Meunier (2015), σε ανάλυση που έκανε σχετικά με την υπάρχουσα επένδυση της COSCO στο λιμένα, εξέφρασε τους φόβους του σχετικά με το διάβημα αυτό, αφού η κινεζική κουλτούρα εργασίας παρουσιάζει αρκετές διαφορές με εκείνη της Ευρώπης, με αποτέλεσμα να εστιάζει στον κίνδυνο πιθανής καταπάτησης των εργασιακών δικαιωμάτων. Εστίασε επίσης στον υπάρχοντα αθέμητο ανταγωνισμό, αφού η ΣΕΠ Α.Ε. ήδη διαχειριζόταν τεράστιο όγκο φορτίων Ε/Κ συγκριτικά με εκείνον που διαχειριζόταν η ΟΛΠ Α.Ε (μικροί πελάτες). Ο κυριότερος, όμως, φόβος ο οποίος εκφράστηκε, ήταν η πιθανότητα εισχώρησης της Κίνας στα γεωπολιτικά ζητήματα της ΕΕ, καθώς και η απόκτηση σχέσης εξάρτησης ΕΕ- Κίνας (βλ. Ρωσία – φυσικό αέριο).

Οι ανησυχίες δεν παρέμειναν σε τοπικό επίπεδο, αλλά ταξίδεψαν ακόμη και στο εξωτερικό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο λιμένας του Rotterdam, για τον οποίο ο Van der Puten (2014), εξέφρασε το φόβο ότι, επειδή η Ελλάδα είναι πιο δημοφιλής είσοδος, η επένδυση αυτή θα προκαλέσει ζημιά στο λιμένα. Πιο αναλυτικά, ο φόβος αυτός επικεντρώθηκε στη μείωση της δραστηριότητας του Rotterdam στα logistics, και στις δραστηριότητας στην Κεντρική Ευρώπη. Ως παράδειγμα, αναφέρει τη διανομή προϊόντων της εταιρίας Hewlett-Packard (HP) μέσω του Πειραιά,

σιδηροδρομικώς στην Ουγγαρία και την Τσεχία. Υποστηρίζει πως το παράδειγμα αυτό, θα ακολουθήσουν και άλλες πολυεθνικές, με αποτέλεσμα μέρος των Ε/Κ να μη διέρχονται πλέον από το Rotterdam, το Hamburg και το Antwerp. Τέλος, εκφράζει την ανησυχία του για τις σχέσεις μεταξύ των χωρών-ανταγωνιστών καθώς και για την ανάδειξη της Κίνας σε παγκόσμια υπέρ-δύναμη.

Τους παραπάνω φόβους ήρθε να εντείνει η εξαγορά του 67% των μετοχών της ΟΛΠ Α.Ε., από την κινεζική εταιρία COSCO. Σαν αντίλογο σε όσα εκφράστηκαν παραπάνω ο Meunier (2018), γράφει πως, μπορεί τα επίπεδα δραστηριοποίησης της ΟΛΠ Α.Ε. να μειώθηκαν, όμως η ΣΕΠ Α.Ε., άνοιξε νέες θέσεις εργασίας καθώς και έδωσε την ευκαιρία να ανοίξουν άλλες επιχειρήσεις σχετικές με το έργο της COSCO, γεγονός που συνέβαλε στην ενίσχυση των αναπτυξιακών ρυθμών της ελληνικής οικονομίας. Προσέθεσε, επίσης, ότι το διάβημα αυτό θα αποτελέσει ένα ζωντανό παράδειγμα ευκαιριών και φόβων της εισχώρησης της Κίνας στην ευρωπαϊκή αγορά.

Αντίθετοι με τους παραπάνω φόβους, φάνηκε να είναι οι Βέττας κ.α. (2016), οι οποίοι μετά από οικονομική μελέτη και πρόβλεψη για τη δεκαετία 2016-2025, απέδειξαν τη σημασία της επένδυσης συγκρίνοντας τις προβλέψεις τους για την περίπτωση του λιμένα υπό το καθεστώς της ΟΛΠ Α.Ε. και για την περίπτωση της λειτουργίας του υπό το καθεστώς της COSCO. Τα αποτελέσματα της ανάλυσής τους, προδίδουν άνοδο του ΑΕΠ και 0,8%, αύξηση παραγωγικότητας και προσφοράς, αύξηση μισθών, μείωση δημοσίου χρέους, βελτίωση προοπτικών οικονομίας, ενίσχυση αξιοπιστίας της χώρας, αύξηση των επενδύσεων και αναγωγή του λιμένα σε διαμετακομιστικό και τουριστικό κέντρο, με τις επιχειρηματικές δραστηριότητας να ανθίζουν και το αποτέλεσμα να βγάζει θετικό ισοζύγιο και ανάπτυξη.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαίωσαν οι Qianqian & Davarinou (2019), σε άρθρο, στο οποίο ανέλυσαν τη θετική επίδραση της επένδυσης της COSCO στο λιμένα του Πειραιά από το 2016 έως το 2019. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα της επένδυσης αυτής είναι η αναγωγή του λιμένα σε ανταγωνιστικό, πράγμα το οποίο φαίνεται από την κατάταξή του (σε όρους Ε/Κ) σε 2^{ο} μεγαλύτερο στη Μεσόγειο, 7^{ο} μεγαλύτερο στην Ευρώπη και 37^{ο} παγκοσμίως (πριν την επένδυση ήταν 97^{ος} σε κατάταξη), με 55 δρομολόγια ως hub και η επιστροφή του στη διεθνή αγορά. Τα παραπάνω αποτελέσματα συνεισέφεραν στην ελληνική οικονομία, δημιουργώντας 3000 άμεσες θέσεις εργασίας και παραπάνω από 10000 έμμεσες, ενώ η Ελλάδα έγινε ελκυστική για την κινεζική αγορά με εταιρίες μεταφορών, τεχνολογίας και ενέργειας να επενδύουν σημαντικά κεφάλαια στην ελληνική αγορά.

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει, τα θετικά αποτελέσματα δε θα σταματήσουν εκεί, αφού το Master Πlan είναι η αναγωγή του λιμένος Πειραιά σε κέντρο logistics, η δημιουργία τερματικού σταθμού κρουαζιερόπλοιων, η ανέγερση 4 ξενοδοχειακών μονάδων και η κατασκευή εμπορικού κέντρου με σκοπό την απασχόληση όσων βρίσκονται στην περιοχή, είτε για εργασία είτε για ταξίδι.

Η σύνδεση το θαλάσσιου δρόμου του μεταξιού με τον αντίστοιχο χερσαίο μέσω του Πειραιά, συνδέει την Κίνα με την υπόλοιπη Ευρώπη, μειώνοντας το χρόνο παράδοσης Ε/Κ κατά 7-11 ημέρες σε σχέση με την προηγούμενη διαδρομή από τη διώρυγα του

Σουέζ. Μέχρι και σήμερα η συγκεκριμένη επένδυση επευφημείται τον ελληνικό και ξένο τύπο, με πηγές (Naftemporiki.gr, capital.gr) να τονίζουν την τεράστια συμβολή της στην ελληνική οικονομία και τη μελλοντική βιώσιμη ανάπτυξη που θα προσφέρει στο μέλλον, καθώς σύμφωνα με άρθρα οι επενδύσεις συνεχίζονται και επεκτείνονται και στις συνδυασμένες μεταφορές με σκοπό τη βέλτιστη σε χρόνο, κόστος και ποιότητα μεταφορά των εμπορευμάτων.

2.2.3 Εφαρμογή του μοντέλου DEA για την εκτίμηση της αποδοτικότητας λιμένων

Στο υπό-κεφάλαιο της εξειδικευμένης βιβλιογραφίας αναλύονται, περισσότερο στοχευμένες επί του θέματος, δημοσιευμένες μελέτες και άρθρα περιοδικών. Οι συγγραφείς, χρησιμοποιώντας στατιστικά μοντέλα και οικονομικές αναλύσεις και αντλώντας δεδομένα από επίσημες πηγές, κατέληξαν σε συμπεράσματα σχετικά με την αποδοτικότητα λιμένων, συγκριτικά με αυτήν άλλων λιμένων ανά τον κόσμο.

Πιο συγκεκριμένα, το παρόν υπό-κεφάλαιο περιέχει έρευνες σχετικές με εφαρμογή του μοντέλου της Data Envelopment Analysis (DEA), το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στη μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής, στις διάφορες μορφές του. Η αναφορά σε αυτό το κομμάτι της βιβλιογραφίας έχει ως στόχο την παρουσίαση των μεταβλητών εισόδου και εξόδου (inputs – outputs) που χρησιμοποίησαν άλλοι ερευνητές και της ορθότητας της επιλογής αυτών με βάση τα συμπεράσματά τους. Με αυτόν τον τρόπο, στη συνέχεια θα αιτιολογηθεί η επιλογή των πιο σημαντικών, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Πιο αναλυτικά, κυρίως στη διάρκεια της τελευταίας εικοσαετίας, πολλοί ασχολήθηκαν με το να αποδείξουν την μεταβολή της αποδοτικότητας των λιμένων μετά την αλλαγή του καθεστώτος ιδιοκτησίας τους. Για να επιτύχουν αυτό, διερεύνησαν τις παραμέτρους, οι οποίες διαφοροποιούνται μαζί με το καθεστώς λειτουργίας των λιμένων, και στη συνέχεια ξεχώρισαν ποιες από αυτές συσχετίζονται άμεσα (και ποιες όχι) με τη μεταβολή αυτή της αποδοτικότητας.

Οι Roll και Hayuth, (1993), ξεκίνησαν μία έρευνα συγκρίνοντας 20 λιμένες από όλο τον κόσμο. Εφάρμοσαν το μοντέλο DEA-CCR (Charnes, Cooper & Rhodes) και ανήγαγαν τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου (βλ. Συγκεντρωτικό Πίνακα) σε μία τιμή, χρησιμοποιώντας συντελεστές βαρύτητας για την κάθε μεταβλητή. Έτσι, όλες οι μορφές αποδοτικότητας συγκεντρώνονται σε έναν, συνολικό, αριθμό. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές, δεν κατέληξαν σε κάποιο συμπέρασμα για τη συσχέτιση των μεταβλητών εισόδου και εξόδου που χρησιμοποίησαν, αφού πρόκειται περισσότερο για μια αξιολόγηση της μεθόδου. Απέδειξαν, όμως, το γενικό συμπέρασμα ότι το αποτέλεσμα μπορεί να διαφέρει από αναλυτή σε αναλυτή, αφού εξαρτάται άμεσα από τη βαρύτητα που δίδεται σε κάθε μεταβλητή, και η οποία αποτελεί προϊόν υποκειμενικής αντίληψης.

Στα ίδια, περίπου, συμπεράσματα κατέληξαν και οι Cullinane, Ji & Wang (2005) οι οποίοι, διασταυρώνοντας τα αποτελέσματα δύο μοντέλων, DEA-CCR και DEA-BCC (Banker, Charnes & Cooper), υποστήριξαν ότι δεν μπορεί να βγει ξεκάθαρο συμπέρασμα σχετικό με την επιρροή της ιδιωτικοποίησης στην αποδοτικότητα των

λιμένων. Πιο αναλυτικά, μετά τη σύγκριση των 31 μεγαλύτερων ευρωπαϊκών λιμένων με τερματικούς σταθμούς διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ) και κατά κανόνα ιδιωτικό καθεστώς, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ιδιωτικοποίηση δεν αποτελεί πανάκεια, καθώς οι περισσότεροι λιμένες χαρακτηρίστηκαν ως μη αποδοτικοί. Συνιστούν, μάλιστα, την εστίαση των λιμένων στον εσωτερικό και εξωτερικό ανταγωνισμό και τις συνθήκες εργασίας, καθώς το μέγεθος της αποδοτικότητας τείνει να συσχετίζεται περισσότερο με το μέγεθος της παραγωγής.

Ο Tongzon (2001), εφαρμόζοντας τα μοντέλα DEA-CCR και DEA-Additive σε 4 λιμένες της Αυστραλίας και 12 διεθνείς λιμένες Ε/Κ (containers), απέδειξε ότι η αποδοτικότητα δε σχετίζεται κατ' ανάγκη με το μέγεθος και τη λειτουργία του λιμένα. Το συμπέρασμα αυτό, ήρθαν να διαψεύσουν οι Turner, Windler & Dresner (2004), οι οποίοι υποστήριξαν και απέδειξαν, εφαρμόζοντας το μοντέλο DEA-CCR-Tobit σε λιμένες της Βόρειας Αμερικής, ότι το μέγεθος (μήκος κρηπιδώματος, έκταση τερματικού σταθμού κλπ.) του λιμένα παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα. Επιπρόσθετα, τόνισαν τη συσχέτιση της αύξησης της παραγωγικότητας των λιμένων με την ύπαρξη σιδηροδρομικών υποδομών και τις ανάγκες της ενδοχώρας.

Το 2007, οι Cullinane & Wang, εξήγησαν ότι η αποδοτικότητα αυξάνεται όταν οι πόροι (inputs) είναι περιορισμένοι και χρησιμοποιούνται με οικονομικό τρόπο, τέτοιον ώστε να παράγονται τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα (outputs). Εφαρμόζοντας τις DEA-CCR και DEA-BCC-Robit, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η DEA προσφέρει αποτελέσματα σημαντικής ακρίβειας όταν πρόκειται για σύγκριση λιμένων με όμοια χαρακτηριστικά. Αξιοσημείωτο επίσης είναι, ότι εφαρμόζοντας τα μοντέλα CCR και BCC με τα ίδια δεδομένα, τα αποτελέσματα κατά τη διασταύρωση των δύο μεθόδων φαίνεται να διαφέρουν. Συμπερασματικά, καταλήγουν στην άποψη ότι το μοντέλο DEA δίδει σημαντικές πληροφορίες για τη βιομηχανία των λιμένων, πολλές φορές, όμως, τα αποτελέσματα είναι ουτοπικά, ιδανικά και μη πραγματοποιήσιμα. Οι συγγραφείς προτείνουν τη συμπληρωματική έρευνα για κάθε περίπτωση λιμένα ξεχωριστά (case-by-case) για πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Τρία χρόνια αργότερα (2010), οι προαναφερόμενοι (Cullinane & Wang), χρησιμοποίησαν το μοντέλο DEA-Panel Data, με σκοπό τη σύγκριση αποτελεσμάτων για πλήθος λιμένων (οι 25 κυρίαρχοι, ως προς τον αριθμό των TEUs, λιμένες Ε/Κ) με τη διαφορά ότι η σύγκριση τώρα γίνεται και με δεδομένα από πλήθος ετών (όχι ενός μόνο έτους). Ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η προσέγγιση εξαρτάται από το τί θέλει κανείς να βρει εφαρμόζοντας τις παραπάνω μεθόδους, το μοντέλο DEA- Panel Data, κρίνεται αναγκαίο διότι, όπως υποστηρίζεται, τα δεδομένα αλλάζουν με το χρόνο και για μία συνολική εικόνα χρειάζεται διαρκής παρακολούθηση. Ως συμπληρωματικό συμπέρασμα αναφέρεται ότι από την εφαρμογή του παραπάνω μοντέλου φαίνεται ότι η παραγωγή δε σχετίζεται άμεσα με την αποδοτικότητα και, μιας και η αποδοτικότητα αποτελεί την αρχή και όχι το τέλος μιας ανάλυσης, είναι αναγκαίο να γίνει πιο συγκεκριμένη έρευνα για την εξαγωγή σίγουρων αποτελεσμάτων.

Τέλος, τη διαφορά φαίνεται να κάνει ο Yang (2013), αφού ενώ όλες οι παραπάνω εφαρμογές χρησιμοποιούν (με ελάχιστες εξαιρέσεις) σχεδόν τα ίδια inputs και outputs (βλ. Συγκεντρωτικό Πίνακα), η τελευταία χρησιμοποιεί, εκτός των άλλων, και

οικονομικούς όρους, σε μία προσπάθεια να βρεθεί το κόστος ευκαιρίας λόγω των περιβαλλοντικών κανονισμών (Opportunity Cost of Environmental Regulations – OCER), δηλαδή τα χρήματα, τα οποία ξοδεύτηκαν σε περιβαλλοντικά τέλη ενώ θα μπορούσαν να είχαν αξιοποιηθεί προς όφελος του κάθε οργανισμού λιμένος. Πιο συγκεκριμένα, ως inputs, εκτός από το ανθρώπινο δυναμικό του κάθε λιμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι πάγιες και οι ετήσιες δαπάνες και ως outputs χρησιμοποιήθηκαν τα έσοδα του λιμένα, μεταβλητές εκ των οποίων προκύπτει το ζητούμενο OCER. Η μέθοδος αυτή, εφαρμόστηκε για 4 λιμένες (στην Taiwan). Λόγω της έλλειψης επαρκών, για την εφαρμογή του μοντέλου DEA, δεδομένων, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη τεσσάρων (μόνο) λιμένων και χάριν ακριβείας και πληρότητας, αποφασίστηκε η μελέτη των λιμένων αυτών για περίοδο 7 ετών (2001-2007). Κάθε έτος αποτέλεσε μια παραγωγική μονάδα (DMU) με τα inputs που αναφέρθηκαν παραπάνω, να παράγουν τα αντίστοιχα outputs, τα οποία με τη σειρά τους καταλήγουν σε outputs σχετικά με το περιβάλλον. Τα συμπεράσματα και οι προτάσεις στην περίπτωση αυτή, είναι παρόμοια με όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Συγκεντρωτικός Πίνακας, με τα μοντέλα DEA, καθώς και τα δεδομένα inputs και outputs, που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση.

Πίνακας 5. Συγκεντρωτικός πίνακας με τα μοντέλα DEA και τα δεδομένα τους (Πηγή: Dasgupta et. al., 2016)

Συγγραφείς	**Μονάδες Λήψης Αποφάσεων**	**Μοντέλο DEA**	**Εισροές**	**Εκροές**
Roll Y. Hayuth Y. (1993)	Λιμένες Παγκοσμίως	DEA - (CCR)	Ανθρώπινο Δυναμικό	Παραγωγικότητα
			Κεφάλαιο	Αναθέσεις Αποστολών
			Ομοιομορφία Υπηρεσιών	Επίπεδο Εξυπηρέτησης
				Επίπεδο Ικανοποίησης Πελατών
Tongzon J. (2001)	Λιμένες Αυστραλίας και Διεθνείς Λιμένες διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ)	DEA - (CCR) DEA - (Additive)	Αριθμός Γερανογεφυρών	Παραγωγικότητα
			Αριθμός Θέσεων Παραβολής	
			Αριθμός Ρυμουλκών	
			Έκταση Τερματικών	Ρυθμός Εργασίας
			Εργασία	
			Καθυστερήσεις	
Turner H. Windle R. Drenser M. (2003)	Λιμένες Βορείου Αμερικής	DEA - (CCR Tobit)	Έκταση Τερματικών	Παραγωγικότητα (TEUs)
			Αριθμός Γερανογεφυρών	
Cullinane K. Ji P. Wang T. (2005)	Μεγαλύτεροι Λιμένες διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ)	DEA - (CCR - BCC)	Έκταση Τερματικών	Παραγωγικότητα (TEUs)
			Μήκος Θέσεων Παραβολής	
			Αριθμός Γερανογεφυρών Γερανοί Θέσεων Παραβολής	
			Γερανοί Ναυπηγείου	
			Τροχοφόρα Φορεία - Αρπαγές	
Cullinane K. Wang T. (2007)	Ευρωπαϊκοί Λιμένες με Τερματικά διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ)	DEA - (CCR) DEA - (BCC - Robit)	Μήκος Θέσεων Παραβολής	Παραγωγικότητα (TEUs)
			Έκταση Τερματικών	
			Κόστος Εξοπλισμού	
Yang C. (2013)	Διεθνείς Εμπορικοί Λιμένες (Taiwan)	OCER	Εργασία	Έσοδα
			Πάγιες Δαπάνες	
			Ετήσιες Δαπάνες	

2.3 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας

Το θαλάσσιο εμπόριο αποτελεί τον πιο σημαντικό τρόπο διακίνησης αγαθών, με την πλειονότητα των τελευταίων να ταξιδεύουν μέχρι τον τελικό τους προορισμό μέσω των θαλάσσιων δρόμων. Για το λόγο αυτό, οι λιμένες αποτελούν τους βασικούς πυλώνες της οικονομίας ενός κράτους. Μία χώρα, η οποία διαθέτει εμπορικούς λιμένες διαθέτει ταυτόχρονα και το συγκριτικό πλεονέκτημα στο θέμα της οικονομικής άνθισης, έναντι σε χώρες οι οποίες δε διαθέτουν. Αναγκαία συνθήκη τόσο για να διατηρηθεί το πλεονέκτημα αυτό μιας χώρας, όσο και για να υπερέχει συγκριτικά με άλλες χώρες, οι οποίες διαθέτουν εμπορικούς λιμένες, είναι η διαρκής επέκταση αυτών και των υποδομών τους, ο εκσυγχρονισμός και ο πολλαπλασιασμός των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού τους και η απασχόληση αρκετού αριθμού εργαζομένων. Σκοπό αποτελεί η παροχή των καλύτερων δυνατών υπηρεσιών φόρτωσης και εκφόρτωσης, αλλά και των καλύτερων δυνατών υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας (logistics κ.α.). Η συνθήκη αυτή, απαιτεί συνεχείς χρηματοδοτήσεις των λιμένων, πράγμα που σημαίνει χορήγηση υπέρογκων χρηματικών ποσών, τα οποία ένας δημόσιος φορέας δεν δύναται να διαθέσει. Έτσι, το κόστος αυτό αναλαμβάνουν ιδιωτικές εταιρίες, οι οποίες στοχεύουν κυρίως στην αγορά ποσοστών των λιμενικών επιχειρήσεων. Μία από αυτές τις εταιρίες είναι η κινεζική κρατική εταιρία COSCO, η οποία στοχεύει στη δημιουργία του «πλωτού δρόμου του μεταξιού», επεμβαίνοντας και αγοράζοντας μερίδια λιμενικών επιχειρήσεων της Μεσογείου και ευρύτερα της Ευρώπης, με κριτήριο επιλογής τη στρατηγική, για το σχέδιό της, θέση του κάθε λιμένα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της κίνησης αυτής, είναι η αγορά του 67% των μετοχών της εταιρίας του Οργανισμού Λιμένος Πειραιά. Σκοπός των ιδιωτικών αυτών εταιριών, είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας κάθε λιμένα με κάποιο δεδομένο αριθμό υποδομών και εξοπλισμού. Με άλλα λόγια σκοπός της κάθε ιδιωτικής εταιρίας είναι η αύξηση της αποδοτικότητάς του κάθε οργανισμού λιμένα στον οποίο εμπλέκεται. Η αποδοτικότητα ενός λιμένα, αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες της βιωσιμότητάς του και μπορεί να υπολογιστεί με τη μέθοδο της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis – DEA), μέθοδος της οποίας η εφαρμογή δύναται να γίνει με πλήθος διαφορετικών μοντέλων, πολλά από τα οποία μελετήθηκαν κατά τη βιβλιογραφική έρευνα που έγινε στον παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος, από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, διαπιστώθηκε ότι, ενώ υπάρχει μεγάλο πλήθος ερευνών σε σχέση με το θέμα της αποδοτικότητας των λιμένων, η πλειονότητα αυτών περιορίζεται στη χρήση παλαιότερων, χρονολογικά, δεδομένων (κυρίως έως το 2016), γεγονός το οποίο καθιστά τα αποτελέσματα ως μη-επίκαιρα. Αναλογιζόμενοι τις μεταβολές, οι οποίες έχουν επέλθει στην παγκόσμια αγορά από τις μεταβολές της οικονομίας, την υγειονομική κρίση (Covid-19), τις πιθανές αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των λιμένων (π.χ. ιδιωτικοποίηση του Οργανισμού Λιμένα Πειραιά το 2016), διαπιστώνεται η αναγκαιότητα διεξαγωγής εκ νέου ερευνών, με σύγχρονα δεδομένα, με σκοπό την επικαιροποίηση των αποτελεσμάτων αυτών.

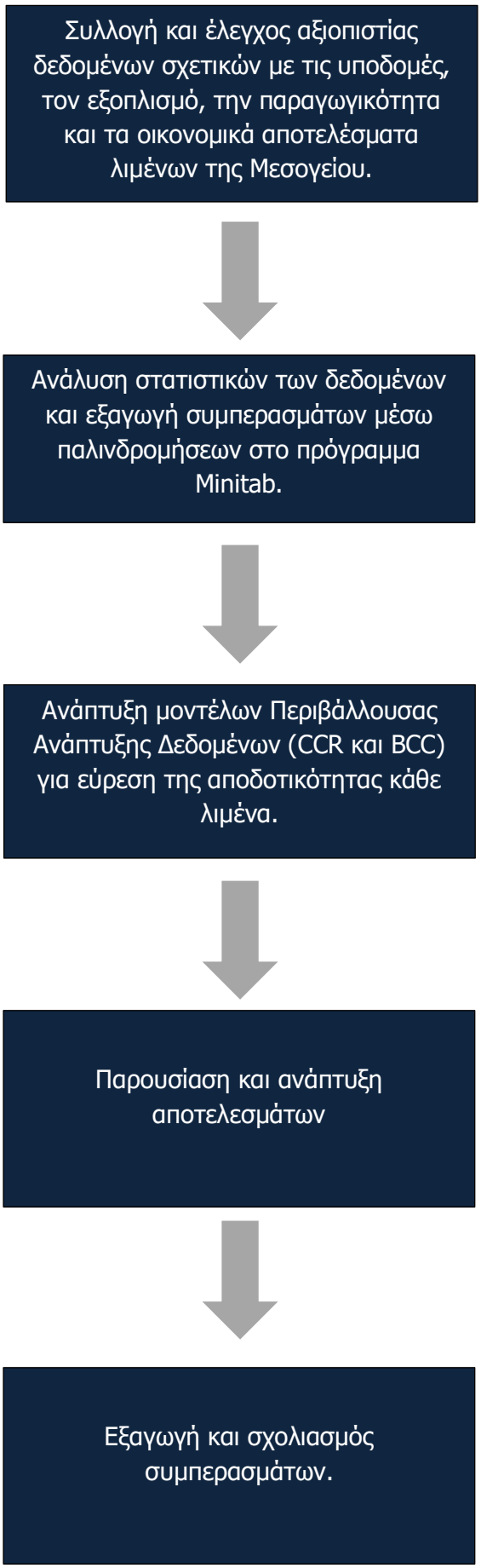
3. Μεθοδολογική προσέγγιση

3.1 Περιγραφή της διαδικασίας

Με σκοπό τη διερεύνηση του σχετικού με την παρούσα διπλωματική εργασία αντικειμένου, αρχικό στάδιο ήταν η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, αφού έγινε αρχικά η συλλογή των δεδομένων από την ιστοσελίδα της Eurostat, επόμενο βήμα αποτέλεσε ο έλεγχος αξιοπιστίας τους, η επαλήθευσή τους δηλαδή ή και η συμπλήρωση τυχόν ελλείψεων από την επίσημη ιστοσελίδα του κάθε λιμένα. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν στην ουσία έχουν να κάνουν με χαρακτηριστικά υποδομών και εξοπλισμού όσον αφορά τις εισροές και όσον αφορά τις εκροές, συλλέχθηκαν στοιχεία σχετικά με την παραγωγικότητα και τα οικονομικά αποτελέσματα κάθε λιμένα. Σκοπός ήταν, τα στοιχεία αυτά να είναι όσο το δυνατόν πιο πρόσφατα (έτος 2021) και αξιόπιστα, ώστε τα αποτελέσματα, στα οποία θα καταλήξει η εφαρμογή της διπλωματικής εργασίας να είναι σύγχρονα και έγκυρα.

Στη συνέχεια, ακολούθησε η διαδικασία κατασκευής μίας βάσης δεδομένων, ώστε τα στοιχεία που βρέθηκαν να βρίσκονται σε τάξη και να είναι πιο εύκολη η εφαρμογή του κάθε μοντέλου που επιλέχθηκε. Από εκεί, τα δεδομένα εισήχθησαν στο πρόγραμμα Minitab, με σκοπό να εξαχθούν τα κυριότερα περιγραφικά στατιστικά.

Επόμενο βήμα, αποτέλεσε η κατασκευή των μοντέλων που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα Excel, τα οποία στην ουσία, θα παίρνουν τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, θα τα επεξεργάζονται με κατάλληλο τρόπο και θα εξάγουν ως αποτέλεσμα την τιμή της αποδοτικότητας κάθε λιμένα, που είναι και ο στόχος της εφαρμογής τους. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων, την κατασκευή των μοντέλων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, αναλύεται εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο, ενώ η διαδικασία για την εφαρμογή της έρευνας σχετικά με την αποδοτικότητα των λιμένων παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Εικόνα 4. Διάγραμμα ροής διαδικασίας (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

3.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

3.2.1 Μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, με σκοπό να γίνει η σύγκριση της αποδοτικότητας των λιμένων, οι οποίοι αναφέρθηκαν παραπάνω, και να οδηγηθούμε στα επιθυμητά συμπεράσματά μας, αναγκαία ήταν η χρήση της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (ΠΑΔ → αγγλ. Data Envelopment Analysis, DEA).

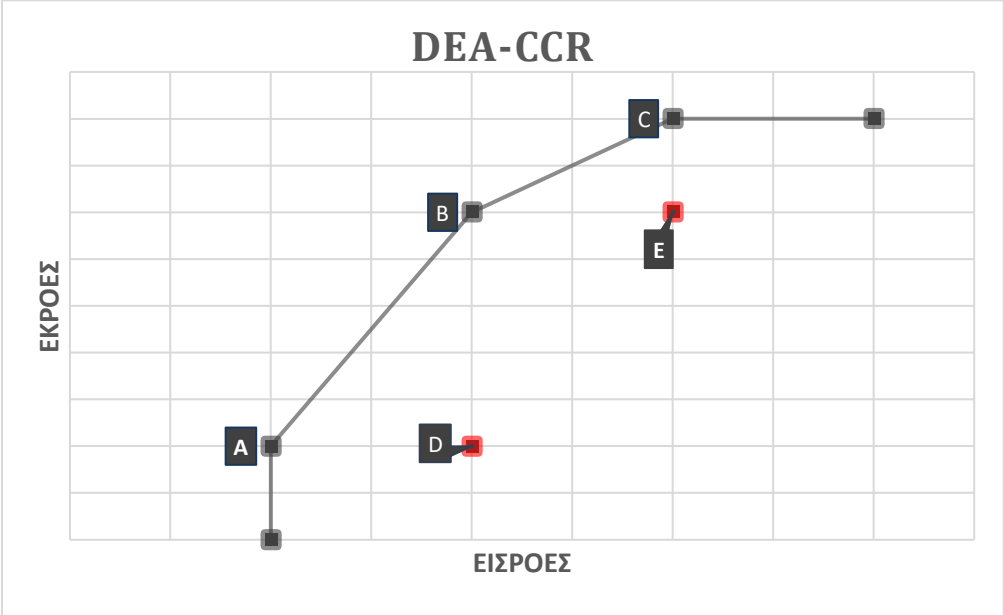
Προτού αναλυθεί η μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, αναγκαία κρίνεται η επεξήγηση κάποιων όρων, ώστε να γίνει κατανοητή η χρησιμότητα της μεθόδου.

1. **Εισροές (Inputs)/Εκροές (Outputs):** Εισροές για μία παραγωγική μονάδα μπορούν να χαρακτηριστούν όλα τα αγαθά (εργατικό δυναμικό, κεφάλαιο, πρώτες ύλες κ.λπ.) τα οποία διατίθενται, ώστε να χρησιμοποιηθούν και τελικά να παραχθούν τα αγαθά εκείνα (προϊόντα, υπηρεσίες κ.λπ.), τα οποία η μονάδα καλείται να παραγάγει.
2. **Μονάδες Παραγωγής** (ή Μονάδες Απόφασης, Decision-Making Units, DMU): Ονομάζονται οι μονάδες, οι οποίες προτείνονται για σύγκριση ως προς τις επιδόσεις τους. Στην ουσία, οι παραγωγικές μονάδες, χρησιμοποιούν ένα σύνολο εισροών (inputs), τις οποίες μετατρέπουν σε εκροές (outputs). (Μαντά, 2016)
3. **Αποδοτικότητα (Efficiency):** Ως αποδοτικότητα ορίζεται η ικανότητα μίας μονάδας παραγωγής να μετασχηματίζει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους, πεπερασμένους, πόρους (εισροές) και να τους μετατρέπει σε προϊόντα/ υπηρεσίες (εκροές) (Σαΐττης, 2015).

Από τις αρχές της δεκαετίας του ’60, εμφανίστηκε η ανάγκη σωστότερης διαχείρισης και προγραμματισμού των έργων που αναλαμβάνει μια επιχείρηση. Πιο συγκεκριμένα, και όσον αφορά στο θέμα της παρούσας διπλωματικής, το 1957, ο Farrel διατύπωσε την ανάγκη εύρεσης μίας μεθόδου, μέσω της οποίας να μπορεί να εκτιμηθεί η αποδοτικότητα των επιχειρήσεων. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1978, οι Charles, Cooper & Rhodes, σε μία μελέτη που διενέργησαν με σκοπό την εύρεση της αποδοτικότητας μη κυβερνητικών οργανώσεων (Μ.Κ.Ο.) συγκριτικά με εκείνη του Δημοσίου Τομέα, χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, μία μέθοδο η οποία παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης της αποδοτικότητας παραγωγικών μονάδων.

Στην ουσία, η μελέτη ξεκινά από ένα σύνολο όμοιων (ώστε να είναι συγκρίσιμες) μονάδων παραγωγής (DMUs), με πολλαπλές εισροές και εκροές. Η μέθοδος DEA βοηθά στη σύγκριση της διαδικασίας, την οποία ακολουθεί κάθε μονάδα παραγωγής, ώστε να μετατρέψει το σύνολο των εισροών της σε εκροές. Από τη στιγμή που η μέθοδος αυτή είναι συγκριτική, το αποτέλεσμα της μεθόδου, δηλαδή η αποδοτικότητα, χαρακτηρίζεται ως σχετική.

Σκοπός της μεθόδου είναι η εύρεση του ορίου της παραγωγικής δυνατότητας μίας μονάδας. Πιο αναλυτικά, δημιουργείται ένας οριοθέτης (frontier ή αποτελεσματικό σύνορο) ο οποίος προσδιορίζει το βέλτιστο συνδυασμό εισροών και εκροών, έναν ιδανικό, δηλαδή, συνδυασμό, κατά τον οποίο, με τις ελάχιστες δυνατές εισροές, επιτυγχάνεται η εξαγωγή των μέγιστων δυνατών εκροών.



Εικόνα 5. Ποιοτικό διάγραμμα μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Στο παραπάνω ποιοτικό διάγραμμα, η τεθλασμένη γραμμή που φαίνεται αποτελεί τον οριοθέτη (frontier), ενώ τα σημεία A,B,C,D,E αποτελούν τις μονάδες λήψης αποφάσεων. Με βάση τα παραπάνω, παρατηρούμε ότι οι μονάδες A,B και C βρίσκονται πάνω στη γραμμή του οριοθέτη, επομένως χαρακτηρίζονται ως αποδοτικές, ενώ οι D και E περιβάλλονται από τον οριοθέτη και χαρακτηρίζονται ως μη-αποδοτικές (κόκκινο χρώμα).

Στην ουσία ο οριοθέτης (frontier), περιβάλλει ένα σύνολο παρατηρήσεων και αποτυπώνεται στο χώρο ως μία καμπύλη, η οποία είναι το μέτρο σύγκρισης, το οποίο χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των επιδόσεων της υπό-μελέτη μονάδας. Οι τιμές (εισροές/εκροές), της υπό μελέτη ομάδας, τοποθετούνται στο ίδιο γράφημα και συγκρίνονται με τον οριοθέτη. Εάν οι τιμές βρίσκονται ψηλότερα από τον οριοθέτη, τότε η μονάδα χαρακτηρίζεται ως αποτελεσματική, ενώ στην περίπτωση, που οι τιμές εσωκλείονται από τον οριοθέτη, τότε η μονάδα χαρακτηρίζεται ως μη αποτελεσματική, σχετικά, πάντα, με την περιβάλλουσα.

3.2.2 Συγκριτικό πλεονέκτημα της DEA σχετικά με την εύρεση της Αποδοτικότητας

Άλλες μέθοδοι υπολογίζουν την αποδοτικότητα σε ένα θεωρητικό επίπεδο, στο οποίο κάποια εισροή (π.χ. κεφάλαιο) έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας εκροής (π.χ. αντίστοιχο προϊόν). Η πραγματικότητα, όμως, είναι πιο σύνθετη. Οι παραγωγικές

μονάδες, συνήθως, σχετίζονται με πολλαπλές και δυσανάλογες μεταβλητές εισροών και εκροών, με την καθεμία να έχει διαφορετική μονάδα μέτρησης (Tselentis et. al., 2019). Συμπερασματικά, δεν υπάρχει κάποια δεδομένη συνάρτηση, η οποία να συνδέει τις εισροές και τις εκροές μεταξύ τους.

Η μέθοδος DEA, αποτελεί μία μαθηματική τεχνική γραμμικού προγραμματισμού, η οποία δε χρησιμοποιεί παραμέτρους, αλλά με δεδομένες εισροές και εκροές, οι οποίες διαφέρουν ως προς την υπόστασή τους, εντοπίζει βέλτιστες πρακτικές. Είναι απλή, εύκολα εφαρμόσιμη και συνδυάζει με καλή προσέγγιση μονάδες, με πολλαπλές μεταβλητές εισροών και εκροών

Έτσι, με βάση τη DEA, δεν εντοπίζεται μόνο η σχετική αποδοτικότητα, η οποία αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλά και η τεχνική αποδοτικότητα, αφού με βάση την κατηγορία (εισροές/εκροές), στην οποία έχουμε τη δυνατότητα παρέμβασης, είναι εφικτός ο υπολογισμός της βέλτιστης πρακτικής.

Έτσι, εάν υπάρχει η δυνατότητα παρέμβασης στις εισροές με δεδομένες εκροές (π.χ. απαιτούμενη παρεχόμενη υπηρεσία ή απαιτούμενη ποσότητα παραγόμενου προϊόντος), τότε είναι εφικτή η εύρεση του βέλτιστου τρόπου λειτουργίας με σκοπό την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων εισροών (προσανατολισμός προς τις εισροές). Αντίστροφα, εάν υπάρχει η δυνατότητα παρέμβασης στις εκροές με δεδομένες εισροές (π.χ. δεδομένος προϋπολογισμός χωρίς δικαίωμα υπέρβασης), τότε είναι εφικτή η εύρεση του βέλτιστου τρόπου διαχείρισης των εισροών με σκοπό τη μεγιστοποίηση των εκροών (προσανατολισμός προς τις εκροές).

Βέβαια, απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι η σωστή περιγραφή και ο ακριβής προσδιορισμός των παραγόντων, αφού η παράλειψη σημαντικής εισροής ή εκροής οδηγεί σε μεροληπτικά αποτελέσματα. (Μαντά, 2016)

Σημαντικό ρόλο στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, παίζει επίσης η επάρκεια δεδομένων. Επέκταση της έρευνας σε σημεία με ανεπάρκεια δεδομένων οδηγεί σε λανθασμένα αποτελέσματα. (Κορφιάτης, 2010)

3.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της DEA

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου, είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού των παραγόντων οι οποίοι καθιστούν μία μονάδα ως μη αποδοτική, με αποτέλεσμα την παρουσίαση προτάσεων βελτίωσής τους, σε αντίθεση με άλλες εξίσου γνωστές μεθόδους, οι οποίες απλώς μετρούν την αποδοτικότητα μονάδων χωρίς τη δυνατότητα σύγκρισης.

Ένα ακόμη βασικό πλεονέκτημα, είναι ότι βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία, τα οποία συλλέγονται από βάσεις δεδομένων, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους οι οποίες βασίζονται σε αποτελέσματα στατιστικών μελετών και εξισώσεων, οι οποίες έχουν ως επακόλουθο την προσεγγιστική φύση των αποτελεσμάτων.

Η DEA αποτελεί μία μέθοδο, η οποία μπορεί να ποσοτικοποιήσει την αποδοτικότητα καθώς και να κατατάξει τις παραγωγικές μονάδες με βάση το βαθμό απόδοσης της

καθεμίας. Σημαντικό χαρακτηριστικό της μεθόδου, είναι ότι βασίζεται στο γραμμικό προγραμματισμό, πράγμα που σημαίνει ότι παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να θέσει κάθε φορά συγκεκριμένους περιορισμούς και να οδηγηθεί στο βέλτιστο αποτέλεσμα είτε αυτό βασίζεται σε προσανατολισμό προς τις εισροές είτε σε προσανατολισμό προς τις εκροές (Κορφιάτης, 2016). Στα μειονεκτήματα της μεθόδου, θα μπορούσε να καταταχθεί η έλλειψη χρήσης συντελεστών βαρύτητας, οι οποίοι προσδίδουν μεγαλύτερη σημασία σε παράγοντες, οι οποίοι όντως παίζουν σημαντικότερο ρόλο στον προσδιορισμό της αποδοτικότητας.

Όπως αναφέρει ο Κορφιάτης (2016), λόγω της μη παραμετρικής της φύσης, δεν είναι εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τις επιδράσεις της τεχνολογίας παραγωγής ή του διοικητικού καθεστώτος και της διαχείρισης καθώς και της επιρροής των παραπάνω στην αποδοτικότητα της μονάδας. Τα τυχαία σφάλματα ή κάποιες αντίξοες συνθήκες, αποτελούν μόνο απόκλιση από τον οριοθέτη, πράγμα που για την DEA ορίζεται ως ένδειξη έλλειψης αποδοτικότητας.

Σε αυτό το σημείο, σημαντικό είναι να αναφερθεί η ανάγκη ύπαρξης μεγάλου μεγέθους δείγματος με σκοπό την εξαγωγή ορθού αποτελέσματος, ειδικά σε περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλος όγκος εισροών και εκροών. Τέλος, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως καλή μέθοδος εκτίμησης της απόλυτης αποδοτικότητας, αφού χρειάζονται υποθετικά δεδομένα για την εξαγωγή αυτού του αποτελέσματος.

Πάντως, αξίζει να αναφερθεί ότι η μέθοδος DEA είναι μια από τις απλούστερες μεθόδους, είναι γόνιμη τόσο στην έρευνα όσο και στην πράξη, με τα αποτελέσματά της να βοηθούν επιχειρήσεις να βελτιώνονται και να προσδίδουν στους χρήστες διορατικότητα μέσα από τη σχετική αποδοτικότητα συγκρίσιμων μονάδων λήψης αποφάσεων. Παρέχουν συντηρητική πρόβλεψη της σχετικής και της τεχνικής αποδοτικότητας, ιδίως στις περιπτώσεις ύπαρξης πολλαπλών δεδομένων εισόδου και εξόδου. Ειδικά τα τελευταία χρόνια, έχει βρει εφαρμογή ως εργαλείο αξιολόγησης των δημοσίων συστημάτων μεταφοράς, δίνοντας έμφαση στην εύρεση μη αποτελεσματικών πηγών και τη βελτίωσή τους. Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η DEA επιλέχθηκε στην παρούσα διπλωματική, ώστε να βρεθεί η αποδοτικότητα του λιμένα του Πειραιά, συγκριτικά με άλλους λιμένες της Μεσογείου και της Ευρώπης γενικότερα.

3.3 Ανάλυση μοντέλων της DEA

Πριν αναλυθούν τα δύο βασικά μοντέλα της DEA, αναγκαία είναι η επεξήγηση των μορφών απόδοσης κλίμακας. Στην οικονομία υπάρχουν τρείς μορφές απόδοσης κλίμακας και παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

1) **<u>Σταθερές αποδόσεις κλίμακας (CRS):</u>** μια σταθερή μεταβολή (k) μιας εισροής x_i, συνεπάγεται ισόποση μεταβολή (k) της εκροής y_i.
2) **<u>Μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας (VRS):</u>**
   <u>i) Φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας (DRS):</u> Μία σταθερή αύξηση (k) μιας εισροής x_i, συνεπάγεται αύξηση της εκροής y_i κατά $m<k$.

ii) Αυξανόμενες αποδόσεις κλίμακας (IRS): Μία σταθερή αύξηση (k) μιας εισροής x_i, συνεπάγεται αύξηση της εκροής y_i κατά n>k.

3.3.1 Μοντέλο σταθερών επιδόσεων κλίμακας (CCR)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το 1978, οι Charnes, Cooper & Rhodes (από τα αρχικά των οποίων ορίστηκε και το όνομα του μοντέλου CCR), ανέπτυξαν το μοντέλο της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA) με σκοπό την ανάλυση της αποδοτικότητας μονάδων λήψης αποφάσεων (DMUs).

Πιο αναλυτικά, υπέθεσαν την ύπαρξη μίας μονάδας j (όπου j=1,…,n). Η κάθε μονάδα, υποτέθηκε, ότι χρησιμοποιεί τις εισροές και εκροές που έχουν επιλεχθεί με διαφορετικό τρόπο και έτσι, οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι για κάθε μία μονάδα οι εισροές και εκροές θα έχουν διαφορετικά βάρη. Έτσι, η κάθε μονάδα, θα χρησιμοποιεί ένα σύνολο βαρών, τα οποία θα χρησιμοποιούνται με τον πιο ευνοϊκό (για τη μονάδα αυτή) τρόπο σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μονάδες.

Στη συνέχεια, υπέθεσαν μία μονάδα-στόχο j_o και έδωσαν το μαθηματικό τύπο της αποδοτικότητας της μονάδας στόχου (r_o), με την παραδοχή σταθερών αποδόσεων κλίμακας, ως εξής:

$$maxh_0 = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{ro}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{io}}$$

Εξίσωση (1). Αποδοτικότητα μονάδας με την παραδοχή σταθερών αποδόσεων κλίμακας (DEA-CCR)

Με τον περιορισμό:

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ij}} \leq 1$$

με j=1,…,n και r=1,…,s.

Εξίσωση (2). Περιορισμοί Εξίσωσης (1)

όπου:

- x_{ij} → εισροή i της μονάδας j
- y_{rj} → εκροή r της μονάδας j
- v_i,u_i → συντελεστές στάθμισης για την εισροή i και την εκροή r, οι οποίοι μεγιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση της μονάδας j, την οποία αξιολογούμε.

u_r,v_i ≥ 0 (ώστε η αποδοτικότητα να έχει πάντοτε θετική τιμή), i=1,…,m και r=1,…,s

Στην ουσία, το ζητούμενο είναι να βρεθούν οι κατάλληλοι συντελεστές στάθμισης ώστε να μεγιστοποιηθεί η τιμή της αποδοτικότητας της j_o.

Πιο αναλυτικά, το μοντέλο CCR υπολογίζει τις μεταβλητές u_r και v_i, ώστε η αποδοτικότητα την μονάδας στόχου j_o να μεγιστοποιείται, πάντα υπό την προϋπόθεση ότι καμία μονάδα j με το ίδιο σύνολο συντελεστών βαρύτητας δε θα έχει αποδοτικότητα μεγαλύτερη της μονάδας (Τσαρουχάς, 2020).

Υπενθυμίζεται εδώ, ότι η DEA βοηθά στον υπολογισμό της αποδοτικότητας μίας μονάδας, πάντα σχετικά με άλλες μονάδες του δείγματος.

Αν η αποδοτικότητα ισούται με τη μονάδα (=1), τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μονάδα j_o, για την οποία γίνεται η μελέτη, είναι αποτελεσματική σε σχέση με τις άλλες μονάδες του δείγματος. Στην περίπτωση που η αποδοτικότητα είναι μικρότερη της μονάδας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι κάποια άλλη μονάδα θα είναι πιο αποτελεσματική από εκείνη την οποία μελετάμε.

Όπως αναφέρουν οι Charnes et. al. (1978), οι σχέσεις που δόθηκαν παραπάνω αποτελούν κλασματικό προγραμματισμό και όχι γραμμικό και γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η μετατροπή των παραπάνω σχέσεων. Η μετατροπή, όπως αναφέρεται μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

1. Είναι δυνατό να βρεθεί τρόπος, ώστε ο παρονομαστής να διατηρηθεί σταθερός και τότε ο σκοπός της μεθόδου θα είναι η μεγιστοποίηση του αριθμητή. Με βάση τον τρόπο αυτό, καταλήγουμε στην παρακάτω εξίσωση:

$$\alpha\pi o\delta o\tau\iota\kappa\acute{o}\tau\eta\tau\alpha = max_{u,v} \sum_{i=1}^{m} u_i^* y_{i,jo}$$

Εξίσωση (3). Εξίσωση (1) μετά από γραμμικοποίηση (DEA-CCR)

Με τους περιορισμούς ότι:

$$-\sum_{i=1}^{s} v_i^* x_{ij} + \sum_{j=1}^{m} u_i^* y_{ij} \leq 0$$

$$\forall\ j=1,\ldots,j_o,\ldots,N$$

$$\sum_{i=1}^{s} v_i^* x_{i,jo} = 1$$

Εξίσωση (4). Περιορισμοί Εξίσωσης (4)

2. Ένας άλλος τρόπος για τη μετατροπή της κλασματικής εξίσωσης σε γραμμική, είναι η επιλογή του προσανατολισμού στις εισροές, δηλαδή με διατήρηση των εκροών στο ίδιο επίπεδο, στοχεύουμε στην ελαχιστοποίηση των εισροών. Για την πραγματοποίηση του παραπάνω τρόπου, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις (Charnes et. al., 1978):

$$\alpha\pi o\delta o\tau\iota\kappa\acute{o}\tau\eta\tau\alpha = minh_0$$

Εξίσωση (5). Μοντέλο DEA-CCR με προσανατολισμό προς τις εισροές

Με τους περιορισμούς:

$$h_0^* x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_i^* x_{ij}$$

i=1,…,m

$$y_{ro} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij}^* y_{rj}$$

r=1,…,s

με λj≥0

Εξίσωση (6). Περιορισμοί Εξίσωσης (5)

3. Τέλος, ο τρόπος, ο οποίος χρησιμοποιείται και στην παρούσα διπλωματική είναι ο προσανατολισμός στις εκροές, δηλαδή με διατήρηση των εισροών στο ίδιο επίπεδο, στοχεύουμε στη μεγιστοποίηση των εκροών. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση αυτή (Charnes et. al., 1978):

$$\alpha\pi o\delta o\tau\iota\kappa\acute{o}\tau\eta\tau\alpha = max h_0$$

Εξίσωση (7). Μοντέλο DEA-CCR με προσανατολισμός προς τις εκροές

Με τους περιορισμούς:

$$x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* x_{ij}$$

$$i = 1, \dots, m$$

$$h_0^* y_{ro} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* y_{rj}$$

$$r = 1, \dots, s$$

$\lambda_j \geq 0$

Εξίσωση (8). Περιορισμοί Εξίσωσης (7)

Η λύση των παραπάνω εξισώσεων γραμμικού προγραμματισμού της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, δίνει ουσιαστικά τη μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα της εκάστοτε μονάδας η οποία εξετάζεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, έως ότου η μονάδα-στόχος, ή μία ή και περισσότερες μονάδες φτάσουν την αποδοτικότητά τους στο ανώτατο όριο (=1).

Τα παραπάνω, οδήγησαν τους Charnes et. al. (1978) στο συμπέρασμα ότι για κάθε μη αποτελεσματική μονάδα, υπάρχει τουλάχιστον μία άλλη, η οποία θα είναι αποτελεσματική με το ίδιο σύνολο βαρών της μη αποτελεσματικής. Με βάση τα αποτελέσματα της εφαρμογής της DEA, ορίζεται ένα σύνολο εισροών και εκροών. Αυτό το σύνολο, υποδεικνύει στην κάθε μονάδα την αναλογική μείωση τον εισροών ή την αντίστοιχη αύξηση των εκροών, που θα πρέπει να θέσει ως στόχο με σκοπό η μονάδα αυτή να μπορέσει να γίνει αποδοτική.

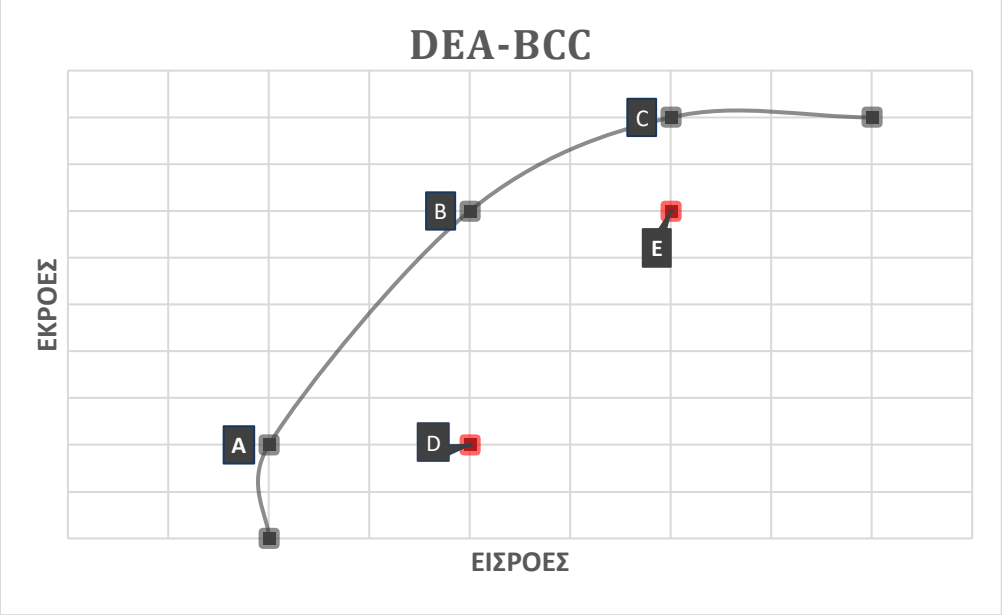
Έτσι, αν βρεθεί η βέλτιστη λύση (της οποία η μεταβολή δεν έχει καμία απολύτως συσχέτιση με τις μονάδες μέτρησης της κάθε μονάδας), κάθε θετικό γινόμενο ή πηλίκο της λύσης αυτής αποτελεί επίσης βέλτιστη λύση.

Το κύριο χαρακτηριστικό του μοντέλου CCR, το οποίο αναλύθηκε προηγουμένως, είναι ότι χρησιμοποιεί σταθερές αποδόσεις κλίμακας. Αποτέλεσμα της υπόθεσης αυτής, είναι ο οριοθέτης (frontier) του μοντέλου να αποτελεί ένα ευθύγραμμο τμήμα με ακμές τις αποδοτικές μονάδες (Τσαρουχάς, 2020). Έτσι, ουσιαστικά ακολουθείται μία διαδικασία γραμμικού προγραμματισμού, ξεχωριστά για κάθε μονάδα, η οποία δίνει άπειρες λύσεις σαν αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα αυτό (αποδοτικότητα), όπως προαναφέρθηκε, δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή που να σχετίζεται με τις μονάδες μέτρησης των μονάδων απόφασης.

Συμπερασματικά, όπως φαίνεται στο ποιοτικό διάγραμμα που παρατέθηκε πιο πάνω (εικόνα 1), κάθε μοντέλο της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, εντοπίζει τις μονάδες (DMUs) εκείνες, οι οποίες είναι παραγωγικές και ορίζουν το σύνορο της αποδοτικότητας και στη συνέχεια παραβάλλει τις μη αποδοτικές μονάδες, υποδεικνύοντας, έτσι τον τρόπο με τον οποίο οι μονάδες αυτές θα μπορούσαν να μετατραπούν σε αποδοτικές.

3.3.2 Μοντέλο μεταβαλλόμενων αποδόσεων κλίμακας (BCC)

Το 1984, οι Banker, Charnes & Cooper (από τα αρχικά των οποίων, το μοντέλο ονομάστηκε BCC), εφάρμοσαν μια παραλλαγή του μοντέλου CCR, με τη διαφορά ότι χρησιμοποίησαν μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας. Έτσι, το σύνορο της αποδοτικότητας του συγκεκριμένου μοντέλου είναι διαφορετικό, και αποτελείται από την κυρτή θήκη των μονάδων απόφασης (Τσαρουχάς, 2020).



Εικόνα 6. Ποιοτικό διάγραμμα μοντέλου DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου αυτού, εισάγεται ένας επιπλέον περιορισμός:

$$\sum \lambda_j = 1$$

Όπου j=1,…,n.

Στην ουσία, η προσθήκη της παραπάνω σχέσης, περιορίζει τις δυνατές πιθανότητες παραγωγής και, με τον τρόπο αυτό είναι εφικτό να ληφθούν υπόψιν οι (σταθερές ή μεταβλητές) αποδόσεις κλίμακας και κατ' επέκταση να δημιουργηθεί η κυρτή καμπύλη που αναφέρθηκε παραπάνω.

Πιο συγκεκριμένα, εάν $\sum \lambda_j = 1$, τότε το μοντέλο υπολογίζει την αποδοτικότητα για σταθερές αποδόσεις κλίμακας, ενώ εάν $\sum \lambda_j \neq 1$, τότε υπολογίζεται η αποδοτικότητα με μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αντίστοιχες εξισώσεις για το μοντέλο BCC:

1. Με προσανατολισμό προς τις εισροές:

$$\alpha\pi o\delta o\tau\iota\kappa\acute{o}\tau\eta\tau\alpha = min h_0$$

Εξίσωση (9). Μοντέλο DEA-BCC με προσανατολισμό προς τις εισροές

Με τους περιορισμούς:

$$h_0^* x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* x_j$$

j=1,…,n

$$y_{jo} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* y_j$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \; \forall \; j = 1, \dots, j_0, \dots, n$$

με $h_0 \geq 0$

Εξίσωση (10). Περιορισμοί Εξίσωσης (9)

2. Με προσανατολισμό προς τις εκροές:

$$\alpha\pi o\delta o\tau\iota\kappa\acute{o}\tau\eta\tau\alpha = max h_0$$

Εξίσωση (11). Μοντέλο DEA-BCC με προσανατολισμό στις εκροές

Με τους περιορισμούς:

$$x_{io} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* x_{ij}$$

$$i = 1, \dots, m$$

$$h_0^* y_{jo} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* y_{ij}$$

$$r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \; \forall \; j = 1, \dots, j_0, \dots, n$$

Εξίσωση (12). Περιορισμοί Εξίσωσης (11)

Ο συγκεκριμένος τύπος του παραπάνω μοντέλου, χρησιμοποιείται και στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Συμπερασματικά, σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή του σωστού μοντέλου με βάση το κριτήριο των αποδόσεων κλίμακας ώστε να υπολογιστεί με κατάλληλο τρόπο ο βαθμός της αποδοτικότητας που αποτελεί και το ζητούμενο της μεθόδου.

3.4 Επιλογή μοντέλου

Ύστερα από την ανάλυση που έγινε παραπάνω σχετικά με τη μέθοδο DEA και τα βασικά μοντέλα της μεθόδου αυτής, ακολούθησε η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου

στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Με αυτά τα δεδομένα, οι λιμένες αποτελούν τις αντίστοιχες μονάδες λήψης αποφάσεων που περιγράφονται παραπάνω. Στην προκειμένη περίπτωση, μεγαλύτερη βαρύτητα δίδεται στην παραγωγικότητα των λιμένων, δηλαδή στη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων και στα οικονομικά τους αποτελέσματα, τα οποία φαίνεται να είναι και τα πιο ευμετάβλητα χαρακτηριστικά τους, καθώς υπάρχει πλήθος παραγόντων που τα επηρεάζουν. Επομένως, δημιουργείται η ανάγκη χρήσης μοντέλων, τα οποία να έχουν προσανατολισμό προς τις εκροές.

Έγινε, λοιπόν, εφαρμογή δύο μοντέλων της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων:

1) το μοντέλο DEA- CCR και

2) το μοντέλο DEA-BCC

4. Ανάλυση και αποτελέσματα

4.1 Βάση δεδομένων

Οι λιμένες με τους οποίους θα ασχοληθεί η παρούσα διπλωματική διαθέτουν προβλήτες διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ). Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει επαρκής διακίνηση μεγάλων όγκων Ε/Κ με σκοπό να καλυφθούν τα σταθερά κόστη της επένδυσης κάθε λιμένα. Με βάση τα παραπάνω, υποθέτουμε ότι ο βασικός σκοπός των λιμένων είναι η ελαχιστοποίηση της χρήσης των εισροών και η μεγιστοποίηση των εκροών.

4.1.1 Επιλογή δεδομένων για την εφαρμογή της μεθόδου

Η συλλογή των δεδομένων, αποτέλεσε μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, καθώς για πολλούς από τους λιμένες δεν υπήρχαν επίσημα δημοσιευμένα δεδομένα σχετικά την υποδομή, τον εξοπλισμό και την αποδοτικότητά τους και έτσι, η έρευνα για τη συλλογή δεδομένων οδηγούνταν είτε σε αναξιόπιστους ιστό-τόπους, είτε σε αδιέξοδο. Για το λόγο αυτό, και με γνώμονα την αναγκαιότητα εύρεσης επαρκών και αξιόπιστων στοιχείων για κάθε λιμένα, αποφασίστηκε να μη ληφθούν υπόψιν οι λιμένες αυτοί και να βρεθούν άλλοι, τα στοιχεία των οποίων προέρχονταν από πιο αξιόπιστες πηγές.

Ο ίδιος ακριβώς λόγος, οδήγησε στον περιορισμό του αριθμού μεταβλητών εισόδου και εξόδου.

4.1.2 Επιλογή μεταβλητών εισροών και εκροών

Οι επιλεγμένες μεταβλητές έπρεπε να αντανακλούν τους σκοπούς και την παραγωγικότητα του λιμένα εμπορευματοκιβωτίων όσο πιο πιστά γίνεται. Μετά από έρευνα και συλλογή δεδομένων από τη βιβλιογραφία και με βάση το συγκεντρωτικό πίνακα του υπό-κεφαλαίου 2.2., έγινε επιλογή των πιο αντιπροσωπευτικών μεταβλητών, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω:

Εκροές

- Παραγωγικότητα σε TEUs (Container Port Throughput): Η πιο σημαντική εκροή ενός λιμανιού. Αποτελεί δείκτη της αποδοτικότητας της παραγωγής ενός λιμένα.
- Παραγωγικότητα σε Tonnes (General Port Throughput): Από τις σημαντικότερες εκροές ενός λιμένα. Συνολικό βάρος αγαθών, τα οποία διακινήθηκαν από το λιμένα σε χρονικό διάστημα ενός έτους.
- Τζίρος σε εκατομμύρια ευρώ MEUR (Turnover): Το ύψος του τζίρου ενός λιμένα σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Παίζει σημαντικό ρόλο, αφού παρέχει πληροφορίες σχετικές με την οικονομική αποδοτικότητα του λιμένα.

Εισροές:

Η αποδοτικότητα ενός λιμένα διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων εξαρτάται από την αποδοτική χρήση της γης, του εξοπλισμού και του εργατικού δυναμικού (Cullinane, 2010). Επομένως,

- το συνολικό μήκος κρηπιδώματος (σε μέτρα m),
- η έκταση του τερματικού σταθμού (σε εκτάρια ha),
- ο αριθμός των γερανογεφυρών αποβάθρας (Quay Cranes, Ship to Shore Cranes, Mobile Cranes) και
- ο αριθμός των γερανογεφυρών στην περιοχή της στοιβασίας (RTGs, RMGs),

αποτελούν κατάλληλους και απαραίτητους δείκτες που πρέπει να ενσωματωθούν στο μοντέλο ως μεταβλητές εισόδου.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας που διεξήχθη για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, εξετάστηκαν και άλλες μεταβλητές εισροής, όπως για παράδειγμα ο αριθμός των οχημάτων πλαισίων (straddle carriers), χρόνος κατάληψης αποβάθρας (berth occupancy), ώρες λειτουργίας γερανών (crane operating hours), διαφορά ταχύτητας χειρισμού γερανογεφυρών προβλήτας και γερανογεφυρών στοιβασίας (different handling speeds of yard and ship-to-shore cranes), παλαιότητα και συντήρηση εξοπλισμού (equipment age and maintenance), κεφάλαιο επένδυσης σε κάποιον τερματικό σταθμό και τον εξοπλισμό του (the capital invested in a terminal and associated equipment), μέσος αριθμός διακινούμενων εμπορευματοκιβωτίων ανά πλοίο (average container interchange per ship) και βάθος νερού στην προκυμαία (quayside water depth). Από αυτά, όμως, δεν υπήρχαν διαθέσιμα αξιόπιστα δεδομένα και γι' αυτό αποφασίστηκε να μην ληφθούν υπόψη στο μοντέλο.

4.1.3 Επιλογή λιμένων

Ερευνητές και χρήστες του μοντέλου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, ανά τα χρόνια, με σκοπό την καλύτερη διάκριση των αποδοτικών και μη-αποδοτικών μονάδων, έθεσαν κάποιους περιορισμούς σχετικά με την επιλογή του αριθμού των μονάδων λήψης αποφάσεων (DMUs), οι οποίες στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής, είναι οι λιμενικές αρχές. Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά οι επικρατέστεροι από τους περιορισμούς αυτούς:

1. Το κατώτατο όριο του αριθμού των Μονάδων Λήψης Αποφάσεων DMU's που θα επιλέγεται θα πρέπει να είναι το γινόμενο του αριθμού των εισροών και του αριθμού των εκροών (Boussofiane, et. al., 1989).
2. Ο κατώτατος αριθμός των Μονάδων Λήψης Αποφάσεων (DMUs) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιος του αθροίσματος των αριθμών εισροών και εκροών (Golany et. al., 1989).
3. Ο κατώτατος αριθμός των Μονάδων Λήψης Αποφάσεων, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον τριπλάσιος του αθροίσματος των αριθμών εισροών και εκροών (Bowlin,1998).
4. Ο κατώτατος αριθμός των Μονάδων Λήψης Αποφάσεων DMUs) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιος του γινομένου των αριθμών εισροών και εκροών (Dyson, et. al., 2001).

Στην παρούσα διπλωματική επιλέχθηκε ο περιορισμός των Golany et. al. (1989), και έτσι αφού έχουμε τέσσερις μεταβλητές εισόδου και μία μεταβλητή εξόδου, έχουμε

$$DMUs \geq (N_{inputs} + N_{outputs}) \times 2 = (4 + 3) \times 2 = 14$$

Επομένως ο ελάχιστος αριθμός των μονάδων που θα χρειαστεί να αναλυθούν είναι 14 λιμένες (DMUs).

Ύστερα από έρευνα που διεξήχθη σε πηγές που αναφέρονται στο επόμενο υπό-κεφάλαιο, τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν οι λιμένες ήταν:

- Να διακινούν εμπορευματοκιβώτια και, μάλιστα, όπως προαναφέρθηκε, σε ικανοποιητικά μεγάλους όγκους. Μέτρο σύγκρισης του όγκου διακίνησης κάθε λιμένα αποτέλεσε η συνολική διακίνηση Ε/Κ σε TEUs (20-feet Equivalent Units)[1].
- Να έχουν διακινήσει, το έτος 2021, το μεγαλύτερο όγκο εμπορευματοκιβωτίων (TEU). Με σκοπό τον περιορισμό της έρευνας, τέθηκε ως κατώτατο όριο διακίνησης τα 1,000,000 TEUs.
- Να βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι λιμένες, τα δεδομένα (εισροές – εκροές) των οποίων συνελέχθησαν με σκοπό τη συμμετοχή τους στο μοντέλο:

[1] TEU (Twenty-feet Equivalent Unit) είναι ισοδύναμη μονάδα είκοσι ποδών ή ένα τυποποιημένο εμπορευματοκιβώτιο αποστολής μήκους 6,1 μέτρων.

Πίνακας 6. Λιμένες που επιλέχθηκαν με βάση τα βασικά κριτήρια και διακίνησή τους το 2021

α/α	Λιμένας	Χώρα	Ετήσια Παραγωγικότητα για το 2021 (TEUs)
1	Tanger Med	Morocco	7,173,870
2	Valencia	Spain	5,588,000
3	Algeciras	Spain	4,797,497
4	Piraeus	Greece	5,311,810
5	Barcelona	Spain	3,531,324
6	Gioia Tauro	Italy	3,140,000
7	Marsaxlokk	Malta	2,970,000
8	Genova	Italy	2,781,112
9	Mersin	Turkey	2,097,000
10	Alexandria	Egypt	1,967,000
11	Marseille	France	1,500,000
12	Sines	Portugal	1,823,767
13	La Spezia	Italy	1,375,626
14	Koper	Slovenia	1,000,000

4.1.4 Βασικός πίνακας δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων, αποτέλεσε μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, καθώς για πολλούς από τους λιμένες δεν υπήρχαν επίσημα δημοσιευμένα δεδομένα σχετικά την υποδομή, τον εξοπλισμό και για την αποδοτικότητά τους και έτσι, η έρευνα για τη συλλογή δεδομένων οδηγούνταν είτε σε αναξιόπιστους ιστό-τόπους, είτε σε αδιέξοδο. Για το λόγο αυτό, και με γνώμονα την αναγκαιότητα εύρεσης επαρκών και αξιόπιστων στοιχείων για κάθε λιμένα, αποφασίστηκε ο παραγκωνισμός των λιμένων αυτών και η εύρεση άλλων, τα στοιχεία των οποίων προέρχονταν από πιο αξιόπιστες πηγές.

Ο ίδιος ακριβώς λόγος, μας οδήγησε στον περιορισμό του αριθμού μεταβλητών εισόδου και εξόδου.

Το μεγαλύτερο μέρος των δεδομένων βρέθηκε από τους αυθεντικούς διαδικτυακούς ιστό-τόπους των λιμένων, είτε από την ιστοσελίδα της Eurostat, πλην ορισμένων εξαιρέσεων, κατά τις οποίες, ελλείψεις όπως η έκταση κάποιου σταθμού ή ο αριθμός των γερανογεφυρών στην περιοχή της στοιβασίας, μετρήθηκαν έστω και με μικρή απόκλιση με τη βοήθεια εφαρμογών χαρτογράφησης (κυρίως Google Earth).

Μετά από αρκετή έρευνα, έγινε η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για τη διεξαγωγή της έρευνας και η εφαρμογή του μοντέλου. Όλα τα δεδομένα, καταγράφονταν σε αρχείο Excel με σημείωση στο κάθε κελί, η οποία αφορούσε την πηγή συλλογής της κάθε πληροφορίας.

Στη συνέχεια, ελέγχθηκε η εγκυρότητα των δεδομένων που βρέθηκαν, ιδίως σε όσα δεδομένα υπήρχαν αμφιβολίες. Αυτό έγινε μέσω ιδίων μετρήσεων των δεδομένων στα οποία υπήρχε δυνατότητα (από το Google Maps), κατά τις οποίες ήταν αποδεκτή μια απόκλιση της τάξεως του 5%.

Έτσι, δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων, ένας πίνακας δηλαδή με γραμμές τα ονόματα των λιμένων και στήλες τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου. Ενώ, όπως προαναφέρθηκε, ο πίνακας αυτός ξεκίνησε με πληθώρα στηλών, η έλλειψη δεδομένων και η αβεβαιότητα για την εγκυρότητα ορισμένων μεταβλητών, έδωσαν στον πίνακα αυτό την τελική του μορφή, η οποία φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 7. Βάση Δεδομένων για εφαρμογή μοντέλου DEA (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Μεταβλητές		Εισροές				Εκροές		
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
α/α	Λιμένας	Μήκος Κριπηδώματος (m)	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	Παραγωγικότητα (Χιλιάδες TEUs)	Όγκος Φορτίων (Χιλιάδες τόνοι)	Τζίρος (MEUR)
1	Tanger Med	4,812.00	212.00	39	113	7,173.00	101,055.00	2,175.46
2	Valencia	4,774.00	225.80	43	110	5,588.00	69,131.00	1,346.89
3	Genova	3,394.00	181.20	25	58	2,781.00	48,212.00	409.00
4	Algeciras	3,400.00	102.80	27	91	4,797.00	83,051.00	309.50
5	Piraeus	3,997.00	86.80	37	75	5,312.00	46,951.00	391.83
6	Barcelona	3,015.00	161.00	26	56	3,531.00	53,642.00	151.40
7	Gioia Tauro	3,385.00	160.00	23	0	3,140.00	25,721.00	123.10
8	Marsaxlokk	1,901.00	77.10	20	60	2,970.00	1,906.00	500.80
9	Mersin	2,000.00	68.80	17	64	2,097.00	38,579.00	316.48
10	La Spezia	2,376.00	50.50	15	20	1,376.00	11,486.00	161.90
11	Alexandria	1,571.00	56.90	14	31	1,967.00	64,500.00	2,766.00
12	Marseille	3,760.00	231.00	14	0	1,500.00	71,590.00	162.00
13	Sines	1,140.00	42.00	12	0	1,824.00	32,904.00	575.04
14	Koper	694.50	27.00	11	31	1,000.00	20,821.00	228.40

Τα στατιστικά των δεδομένων που συλλέχθηκαν για κάθε μεταβλητή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8. Στατιστικά των Μεταβλητών (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

	Μήκος Κρηπιδώματος	**Έκταση**	**Γερανογέφυρες Προβλήτας**	**Γερανογέφυρες Στοιβασίας**	**Παραγωγικότητα**	**Όγκος Φορτίων**	**Τζίρος**
	(m)	(ha)	(Αριθμός)	(Αριθμός)	(Χιλιάδες TEUs)	(Χιλιάδες Τόνοι)	(Εκατομμύρια EUR)
Mean	2,873.00	120.20	23.07	50.60	3,218.00	47,825.00	687.00
SE Mean	345.00	19.40	2.79	10.30	495.00	7,545.00	220.00
StDev	1,291.00	72.50	10.44	38.60	1,851.00	28,231.00	824.00
Sum	40,220.00	1,682.90	323.00	709.00	45,056.00	669,549.00	9,618.00
Minimum	695.00	27.00	11.00	0.00	1,000.00	1,906.00	123.00
Median	3,200.00	94.80	21.50	57.00	2,876.00	47,582.00	354.00
Maximum	4,812.00	231.00	43.00	113.00	7,173.00	101,055.00	2,766.00
Range	4,118.00	204.00	32.00	113.00	6,173.00	99,149.00	2,643.00

Στη συνέχεια, όλα τα παραπάνω δεδομένα εισήχθησαν στο πρόγραμμα ArcMap 10.5, της ArcGIS. Τοποθετήθηκε στο χάρτη κάθε εμπορικός λιμένας διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ), μαζί με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τον εξοπλισμό του, την παραγωγικότητά του (TEUs) και τον όγκο φορτίων, τον οποίο διακίνησε το έτος 2021 και τέλος, τα οικονομικά του αποτελέσματα για το ίδιο έτος. Η διαδικασία που περιεγράφηκε, είχε ως σκοπό την παραβολή των δεδομένων του κάθε λιμένα (τοποθεσία, χαρακτηριστικά γης και εξοπλισμού, παραγωγικότητα, όγκος φορτίων, τζίρος και στο τέλος αποδοτικότητα) σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα. Παρακάτω φαίνεται ο χάρτης με την τοποθεσία του κάθε λιμένα. Το μέγεθος κάθε χρωματισμένης πινέζας (κουκίδας) εκφράζει την παραγωγικότητα κάθε λιμένα, εκφρασμένη σε TEUs, η οποία έχει διαιρεθεί σε τρείς κλάσεις :

- Χαμηλή: $1{,}000{,}000 \leq Παραγωγικότητα\ (TEUs) \leq 2{,}500{,}000$
- Μεσαία: $2{,}500{,}000 < Παραγωγικότητα\ (TEUs) \leq 4{,}500{,}000$
- Υψηλή: $4{,}500{,}000 < Παραγωγικότητα\ (TEUs) \leq 7{,}500{,}000$

Το μέγεθος κάθε πινέζας (κουκίδας) με κόκκινο περίγραμμα εκφράζει τον όγκο των φορτίων που διακινεί ο κάθε λιμένας, εκφρασμένο σε Τόνους, ο οποίος έχει διαιρεθεί σε τρείς κλάσεις:

- Μικρός: $1{,}906{,}000 \leq Όγκος\ Φορτίων\ (Τόνοι) \leq 30{,}000{,}000$
- Μεσαίος: $30{,}000{,}000 < Όγκος\ Φορτίων\ (Τόνοι) \leq 60{,}000{,}000$
- Μεγάλος: $60{,}000{,}000 < Όγκος\ Φορτίων\ (Τόνοι) \leq 120{,}000{,}000$

Εικόνα 7. Άποψη των υπό-εξέταση λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην περιοχή της Μεσογείου (Πηγή: Ίδια επεξεργασία μέσω ArcMap 10.5)

4.2 Ανάπτυξη μοντέλου

Στη βιβλιογραφία, αναδείχθηκε πληθώρα τρόπων επίλυσης μοντέλων DEA. Η μέθοδος η οποία επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι η επίλυση αυτού του είδους μοντέλων με χρήση της επέκτασης ‘’Solver” του προγράμματος Excel.

4.2.1 Επίλυση προβλήματος με το μοντέλο DEA-CCR

I) Κατασκευή υποδείγματος

Η διαδικασία εύρεσης της αποδοτικότητας των λιμένων απαιτεί δοκιμές. Σε κάθε δοκιμή επιλέγεται για μελέτη μία διαφορετική μονάδα, η οποία στην περίπτωση αυτή ονομάζεται μονάδα-στόχος. Με σκοπό τη διευκόλυνση από τη διαδικασία κατασκευής ξεχωριστού αρχείου για την επίλυση κάθε μονάδας-στόχου, αναγκαία κρίθηκε η κατασκευή ενός υποδείγματος, με πίνακες, το οποίο αργότερα θα προσαρμοστεί με απλές εντολές στις ανάγκες της κάθε δοκιμής. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το υπόδειγμα που περιγράφεται παραπάνω

CCR MODEL

Μεταβλητές		Εισροές				Εκροές					Αποδοτικότητα
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3			
α/α	Λιμένας	Μήκος Κριπηδώματος (m)	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	Παραγωγικότητα (Χιλιάδες TEUs)	Όγκος Φορτίων (Χιλιάδες Τόνοι)	Τζίρος (MEUR)	Εισροές	Εκροές	Εκροές/Εισροές
1	Tanger Med										
2	Valencia										
3	Genova										
4	Algeciras										
5	Piraeus										
6	Barcelona										
7	Gioia Tauro										
8	Marsaxlokk										
9	Mersin										
10	La Spezia										
11	Alexandria										
12	Marseilles										
13	Sines										
14	Koper										
	Βάρη	1	1	1	1	1	1	1			

Πίνακας Εισροών

Πίνακας Εκροών

Πίνακας Συνόλων

Πίνακας Αποδοτικότητας

DMU	i
Εισροές	
Εκροές	

= 1

(θ)

Μονάδα-Στόχος

Εικόνα 8. Υπόδειγμα κατασκευής μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

όπου,

1. **<u>Πίνακας Εισροών:</u>** Στον πίνακα αυτό, γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων των εισροών.
2. **<u>Πίνακας Εκροών:</u>** Στον πίνακα αυτό, γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων των εκροών.
3. **<u>Πίνακας DMU:</u>** Εδώ, σε κάθε δοκιμή, αναγράφεται στην κορυφή του πίνακα ο αριθμός της μονάδας, η οποία εξετάζεται κάθε φορά. Με τη βοήθεια της συνάρτησης ''INDEX'', το Excel βρίσκει από τον Πίνακα Συνόλων (που αναλύεται παρακάτω) το σύνολο των εισροών (μετά την εφαρμογή του βάρους) της υπό εξέταση μονάδας και συμπληρώνει το κελί των εισροών. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για τη συμπλήρωση του κελιού των εκροών.
4. **<u>Βάρη:</u>** Στην ουσία, η στήλη αυτή περιέχει το βάρος της κάθε μεταβλητής, το οποίο αποτελεί και το ζητούμενο της μεθόδου. Σε κάθε δοκιμή, για κάθε λιμένα ξεχωριστά, στη στήλη αυτή ορίζεται σαν αρχική τιμή του κάθε βάρους, η μονάδα (=1) και στο τέλος, μετά την εφαρμογή της μεθόδου (κατά την οποία γίνεται επαναληπτική διαδικασία μέχρι τη σύγκλιση), τα κελιά αυτά περιέχουν το τελικό βάρος της κάθε μεταβλητής.
5. **<u>Πίνακας Συνόλων:</u>** Στον πίνακα αυτό, στη στήλη των εισροών, με τη βοήθεια της συνάρτησης ''SUMPRODUCT'', του Excel, τοποθετείται, για κάθε λιμένα, το άθροισμα του γινομένου της κάθε μεταβλητής εισόδου με το αντίστοιχο βάρος της. Αντίστοιχα, τοποθετούνται και οι τιμές στη στήλη των εκροών.
6. **<u>Πίνακας Αποδοτικότητας:</u>** Στον πίνακα αυτό, συμπληρώνεται η αποδοτικότητα του κάθε λιμένα, η οποία σύμφωνα με το μοντέλο CCR της DEA (αφού γίνει η επαναληπτική διαδικασία, η οποία περιγράφεται παρακάτω και βρεθούν τα αντίστοιχα βάρη) δίδεται από τον τύπο:

$$Αποδοτικότητα = \frac{\sum Εκροών}{\sum Εισροών}$$

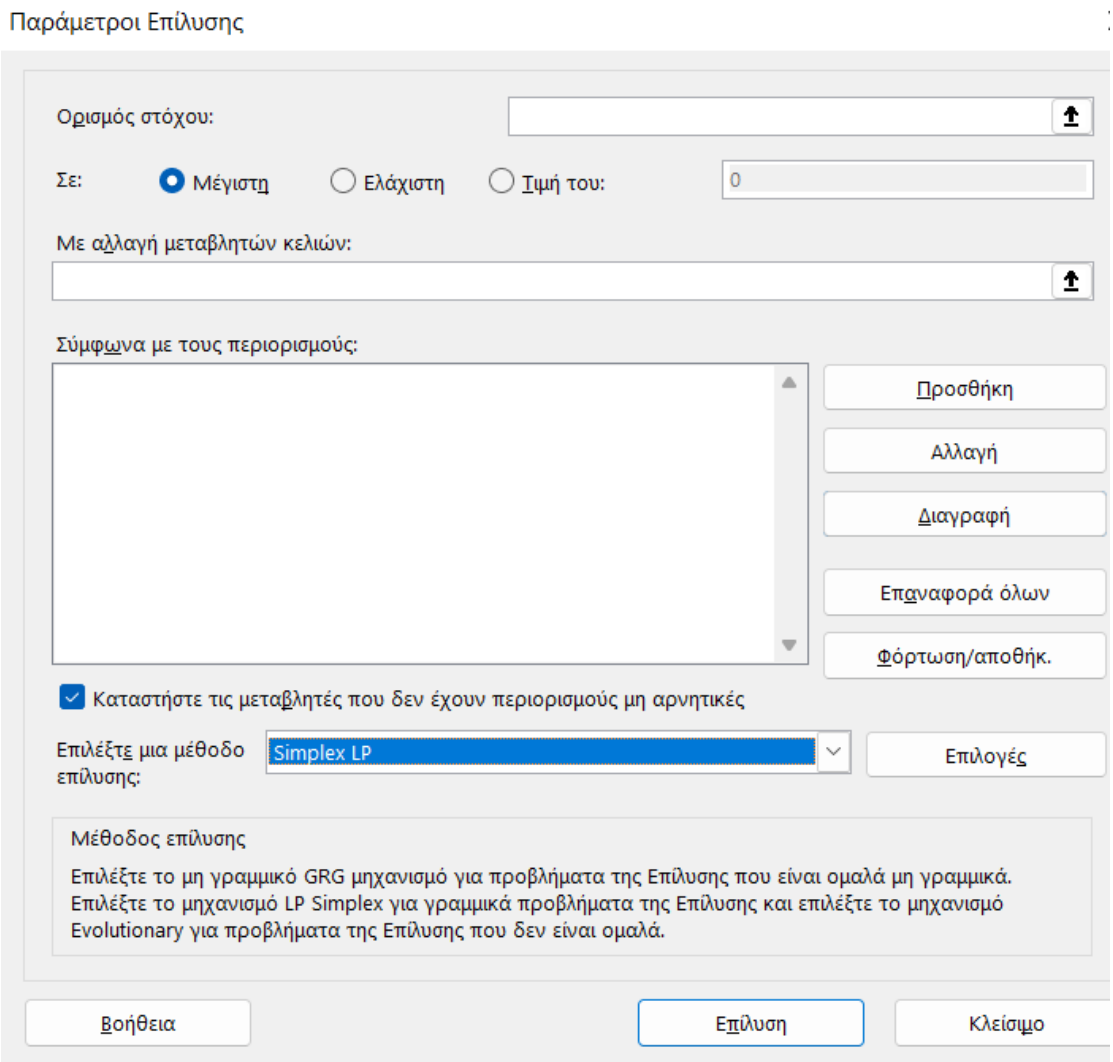
Εξίσωση (13). Εύρεση αποδοτικότητας - DEA (CCR)

όπου οι εισροές και οι εκροές αντλούνται από τον πίνακα των συνόλων.

II) Εφαρμογή του μοντέλου CCR με τη βοήθεια του Solver

Αφού συμπληρωθούν οι παραπάνω πίνακες με τα δεδομένα και δοθεί η αρχική τιμή (μονάδα) στα βάρη, ξεκινάει η διαδικασία της επίλυσης με τη μέθοδο Simplex LP του Excel. Αναλυτικά, η διαδικασία παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

Από τη γραμμή εργαλείων του Excel, επιλέγεται η κατηγορία των ''Δεδομένων'' - ''Επίλυση'' και εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 9. Παράθυρο εισαγωγής Παραμέτρων Επίλυσης (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (3.2.2.), για την εύρεση της αποδοτικότητας των λιμένων, γίνεται χρήση του μοντέλου CCR της DEA, και πιο συγκεκριμένα με προσανατολισμό προς τις εκροές. Υπενθυμίζεται ότι, με βάση τα παραπάνω, στόχος είναι η μεγιστοποίηση των εκροών με χρήση όσων το δυνατόν λιγότερων εισροών.

Επομένως, ως ‘’Στόχος’’, στις παραμέτρους επίλυσης, τίθεται το κελί των εκροών με την επιλογή «Μέγιστη». (Εικόνα 19, Παράρτημα Α)

Στη συνέχεια, εισάγονται στο πρόγραμμα τα κελιά των οποίων οι τιμές θα μεταβάλλονται κατά τις επαναλήψεις, έως ότου υπάρξει σύγκλιση. Τα κελιά αυτά, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι εκείνα, τα οποία περιέχουν τα βάρη, των οποίων, η εύρεση των τιμών είναι και ο λόγος εφαρμογής του μοντέλου. (Εικόνα 20, Παράρτημα Α)

Επόμενο βήμα, αποτελεί η εισαγωγή των περιορισμών της μεθόδου. Υπενθυμίζεται εδώ, πιο απλουστευμένα, πως το μοντέλο CCR, υποδεικνύει ότι:

1. το σύνολο του γινομένου των μεταβλητών των εισροών με τα αντίστοιχα βάρη, της μονάδας-στόχου, θα πρέπει να ισούται με τη μονάδα. (Εικόνα 21, Παράρτημα Α)

Δηλαδή,

$$\sum_{i=1}^{s} v_i^* x_{i,jo} = 1$$

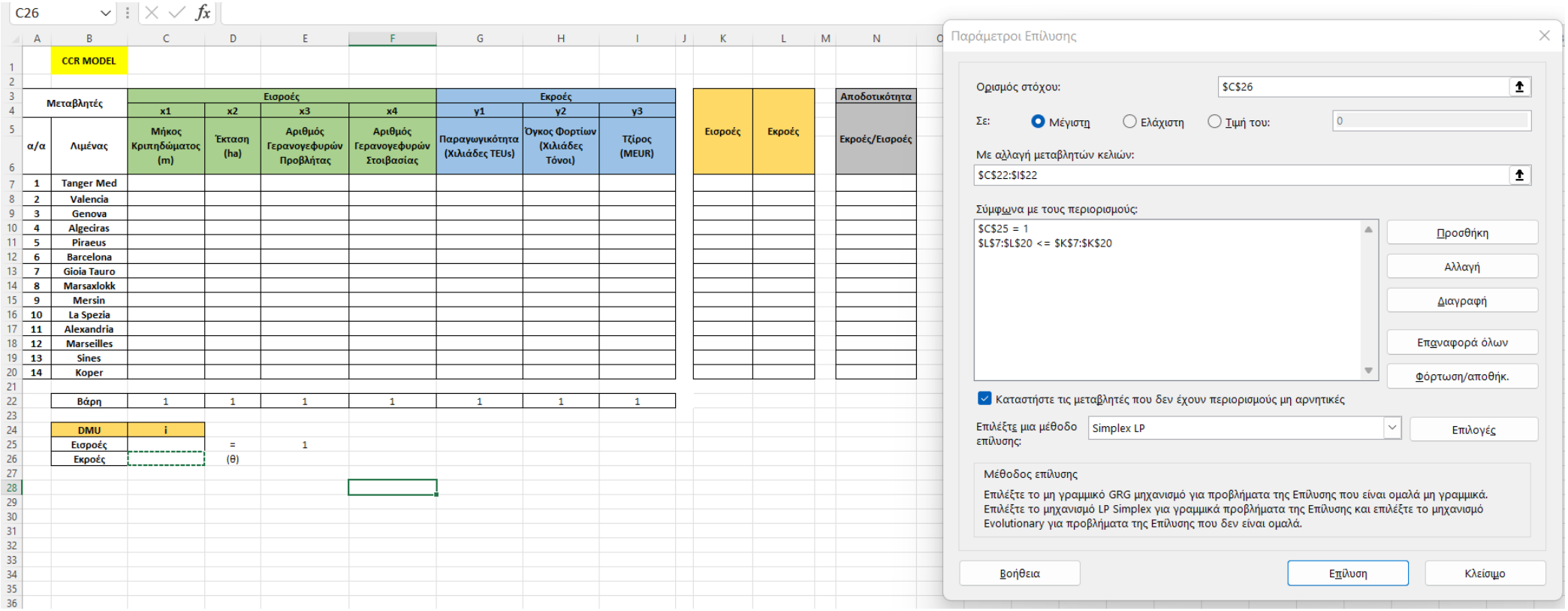
2. το σύνολο των γινομένων των μεταβλητών των εκροών με τα αντίστοιχα βάρη, θα πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο του συνόλου των γινομένων των μεταβλητών των εισροών με τα αντίστοιχα βάρη, για κάθε μονάδα. (Εικόνα 22, Παράρτημα Α)

Δηλαδή,

$$\sum_{j=1}^{m} u_i^* y_{ij} \leq \sum_{i=1}^{s} v_i^* x_{ij}$$

Τελευταίο βήμα, αποτελεί η επιλογή της μεθόδου επίλυσης στο πρόγραμμα του Excel. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο (3.1.2.), η DEA είναι μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού και, επομένως, για αυτού του είδους τα μοντέλα, το Excel προτείνει τη μέθοδο Simplex LP.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τα παραπάνω, το παράθυρο της εισαγωγής παραμέτρων επίλυσης διαμορφώθηκε ως εξής:



Εικόνα 10. Τελική μορφή του παραθύρου εισαγωγής Παραμέτρων Επίλυσης (CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

III) Λειτουργία προγράμματος

Έχοντας εφαρμόσει όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, επιλέγοντας ‘’Επίλυση’’ στο παράθυρο εισαγωγής παραμέτρων επίλυσης, το πρόγραμμα αυτομάτως εφαρμόζει δοκιμές, αλλάζοντας τα βάρη της κάθε εισροής, μέχρις ότου καταλήξει σε σύγκλιση και τότε, ως αποτέλεσμα, δίδονται τα πραγματικά βάρη των μεταβλητών και στον Πίνακα Αποδοτικότητας (βλ. Εικόνα 8), εμφανίζεται η αποδοτικότητα της κάθε μονάδας με βάση τη μονάδα-στόχο που έχει τεθεί.

Έτσι, με σταθερά δεδομένα για κάθε λιμένα, και, απλά, θέτοντας τον αριθμό της, επιθυμητής για μελέτη, μονάδας-στόχου, παρέχεται η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου του μοντέλου CCR της DEA.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής καθώς και ο σχολιασμός τους παρατίθενται σε επόμενη ενότητα.

4.2.2 Επίλυση προβλήματος με το μοντέλο DEA-BCC

I) Κατασκευή υποδείγματος

Με το ίδιο σκεπτικό, που εφαρμόστηκε στην παραπάνω ενότητα, το ίδιο αναγκαία, για τη διευκόλυνση της διαδικασίας, είναι και στην προκειμένη περίπτωση η κατασκευή ενός υποδείγματος με πίνακες, ο οποίος με μικρές αλλαγές να προσαρμόζεται στην επίλυση του προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού της μεθόδου DEA-BCC για την εκάστοτε μονάδα-στόχο. Το υπόδειγμα αυτό παρουσιάζεται παρακάτω:

BCC MODEL

Μεταβλητές		Εισροές				Εκροές			λ
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3	
α/α	Λιμένας	Μήκος Κριτηδώματος	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	Παραγωγικότητα (Thousand TEU)	Όγκος Φορτίων (Thousand Tonnes)	Τζίρος (MEUR)	
1	Tanger Med								0.00
2	Valencia								0.00
3	Genova								0.00
4	Algeciras								0.00
5	Piraeus								0.00
6	Barcelona								0.00
7	Gioia Tauro								0.00
8	Marsaxlokk								0.00
9	Mersin								0.00
10	La Spezia								0.00
11	Alexandria								0.00
12	Marseilles								0.00
13	Sines								0.00
14	Koper								0.00

Πίνακας Εισροών

Πίνακας Εκροών

Πίνακας λ

θ =	1.000
Efficiency=	1.000

Πίνακας Αποτελεσμάτων

DMU (PORT)		i	
	Sumproducts		BCC
x1		<=	
x2		<=	
x3		<=	
x4		<=	
y1		>=	
y2		>=	
y3		>=	
Sum λ		=	

Πίνακας Περιορισμών

Μονάδα-Στόχος

Εικόνα 11. Υπόδειγμα κατασκευής μοντέλου DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

όπου,

- **<u>Πίνακας Εισροών:</u>** Στον πίνακα αυτό, γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων των εισροών.
- **<u>Πίνακας Εκροών:</u>** Στον πίνακα αυτό, γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων των εκροών.
- **<u>Πίνακας λ:</u>** Όπως στη μέθοδο CCR υπήρχε ένας πίνακας βαρών, τα οποία υπολογίζονταν σύμφωνα με τους περιορισμούς της μεθόδου, έτσι και στη μέθοδο BCC, υπάρχει το ''λ'' κάθε μονάδας (DMU), με το οποίο πολλαπλασιάζεται η κάθε μεταβλητή της μονάδας αυτής. Στο ''λ'', κάθε μονάδας δίδεται μία αρχική τιμή (=0) μέχρι η πραγματική τιμή του να υπολογιστεί από το μοντέλο BCC, του οποίου η διαδικασία επίλυσης, περιγράφεται παρακάτω.
- **<u>Πίνακας Αποτελεσμάτων:</u>** Ο στόχος της μεθόδου, ο οποίος θα δώσει στο τέλος τη ζητούμενη αποδοτικότητα κάθε λιμένα είναι η μεταβλητή ''θ'', η οποία υπολογίζεται από το μοντέλο DEA-BCC. Στην ουσία, η ζητούμενη αποδοτικότητα (Efficiency), θα δοθεί από τον τύπο:

$$Αποδοτικότητα = {}^{1}/_{\theta}$$

Εξίσωση (14). Εύρεση αποδοτικότητας με δεδομένο θ - DEA (BCC)

  Η μεταβλητή "θ", παίρνει τιμή αρχικοποίησης τη μονάδα (=1) και η μέθοδος, με δοκιμές καταλήγει στον κατάλληλο αριθμό, για τον οποίο υπάρχει σύγκλιση.
- **<u>Πίνακας Περιορισμών:</u>** Στον πίνακα αυτό, για λόγους διευκόλυνσης της εφαρμογής της μεθόδου, παρατίθενται αναλυτικά οι περιορισμοί τους οποίους επιβάλλει, ώστε να εισαχθούν με μεγαλύτερη ευκολία στο πρόγραμμα επίλυσης.

Κατασκευή του Πίνακα Περιορισμών

Αφού συμπληρωθούν οι πίνακες με τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί, επόμενο στάδιο αποτελεί η κατασκευή του πίνακα των περιορισμών. Στην παρούσα υπό-ενότητα, υπενθυμίζονται οι περιορισμοί του μοντέλου BCC της μεθόδου DEA, με προσανατολισμό στις εκροές, ώστε να αιτιολογηθεί ο τρόπος κατασκευής του Πίνακα Περιορισμών. Αναλυτικά, η διαδικασία παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

1. Περιορισμός μεταβλητών εισροής:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* x_{ij} \leq x_{io}$$

- Με τη βοήθεια της συνάρτησης ''SUMPRODUCT'', του Excel, κατασκευάστηκε το πρώτο μέλος της παραπάνω άνισο-ισότητας. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε κελί της στήλης με τίτλο ''Sumproducts'' του Πίνακα Περιορισμών, τοποθετήθηκε το σύνολο του γινομένου της μεταβλητής ''λ'' κάθε μονάδας με την κάθε μεταβλητή εισόδου αντίστοιχα (Εικόνα 23, Παράρτημα Α).

- Με τη βοήθεια της συνάρτησης ‘’INDEX”, του Excel, κατασκευάστηκε το δεύτερο μέλος της άνισο-ισότητας. Πιο συγκεκριμένα, με τοποθέτηση, στο κελί της μονάδας-στόχου, του αριθμού της μονάδας για την οποία εφαρμόζεται το μοντέλο, σε κάθε κελί των εισροών στη στήλη με τίτλο ‘’BCC”, εισάγεται αυτόματα η αντίστοιχη μεταβλητή εισροής (Εικόνα 24, Παράρτημα Α).

2. Περιορισμός μεταβλητών εκροής:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* y_{ij} \geq \theta y_{jo}$$

- Για το πρώτο μέλος της άνισο-ισότητας, ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία με εκείνη του περιορισμού των μεταβλητών εισροής.
- Για το δεύτερο μέλος της άνισο-ισότητας, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με εκείνη του περιορισμού μεταβλητών εισροής, με τη διαφορά ότι, το αποτέλεσμα, πριν εισαχθεί στο αντίστοιχο κελί, πολλαπλασιάζεται με τη μεταβλητή ‘’θ”. (Εικόνα 25, Παράρτημα Α)

3. Περιορισμός ‘’λ”:

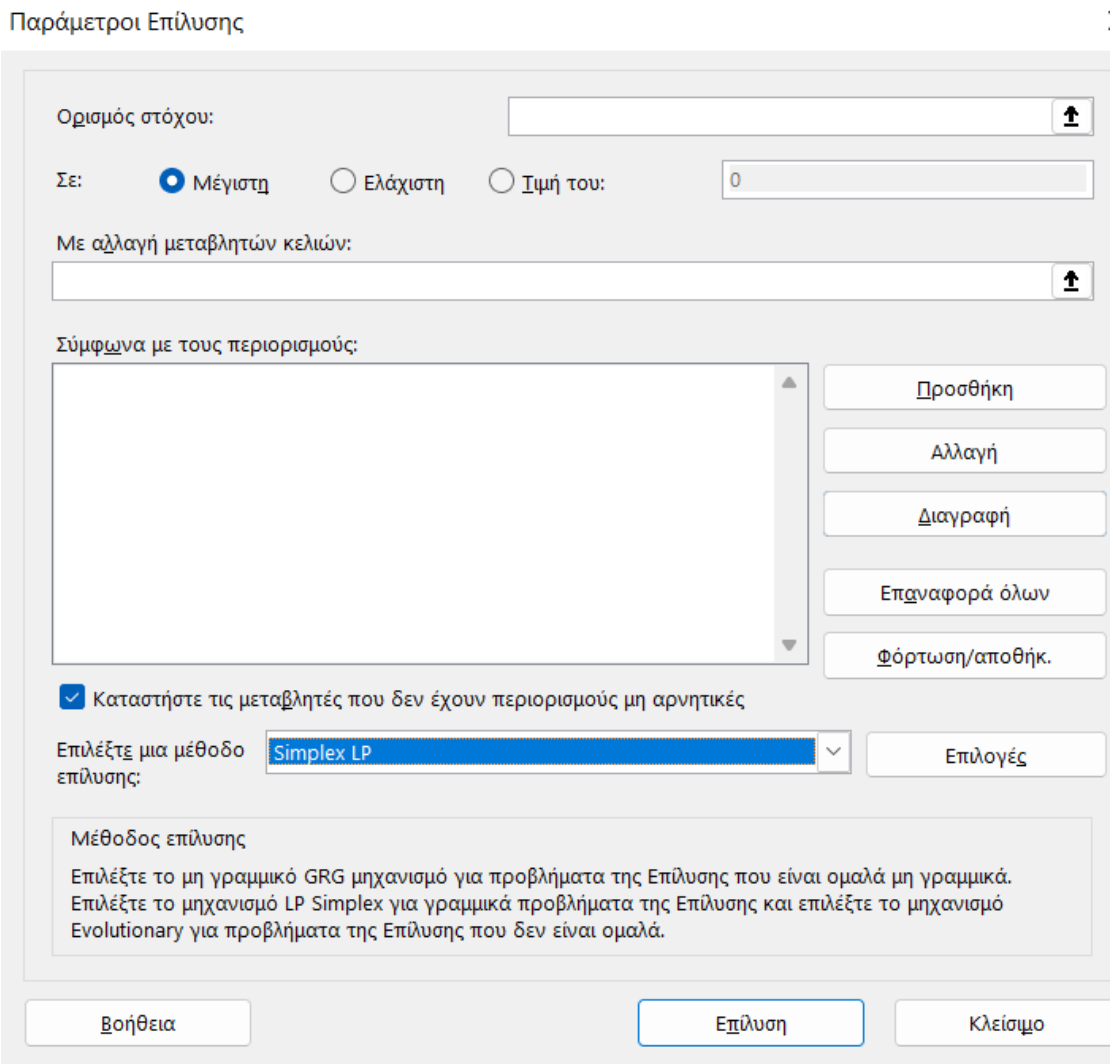
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

Στην τελευταία γραμμή του πίνακα, κάτω από τη στήλη με τίτλο ‘’Sumproduct”, με τη βοήθεια της συνάρτησης ‘’SUM”, του Excel, τοποθετείται το άθροισμα των μεταβλητών ‘’λ”, ενώ κάτω από τη στήλη με τίτλο “BCC”, τοποθετείται ο αριθμός 1 (Εικόνα 26, Παράρτημα Α).

ΙΙ) Εφαρμογή του μοντέλου BCC με τη βοήθεια του Solver

Έχοντας ολοκληρώσει την κατασκευή του υποδείγματος και του Πίνακα Περιορισμών, επόμενο βήμα αποτελεί η επίλυση του προβλήματος με τη βοήθεια του Solver, του προγράμματος Excel.

Από τη γραμμή εργαλείων του Excel, επιλέγεται η κατηγορία των ‘’Δεδομένων” - ‘’Επίλυση” και εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 12. Παράθυρο εισαγωγής Παραμέτρων Επίλυσης (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

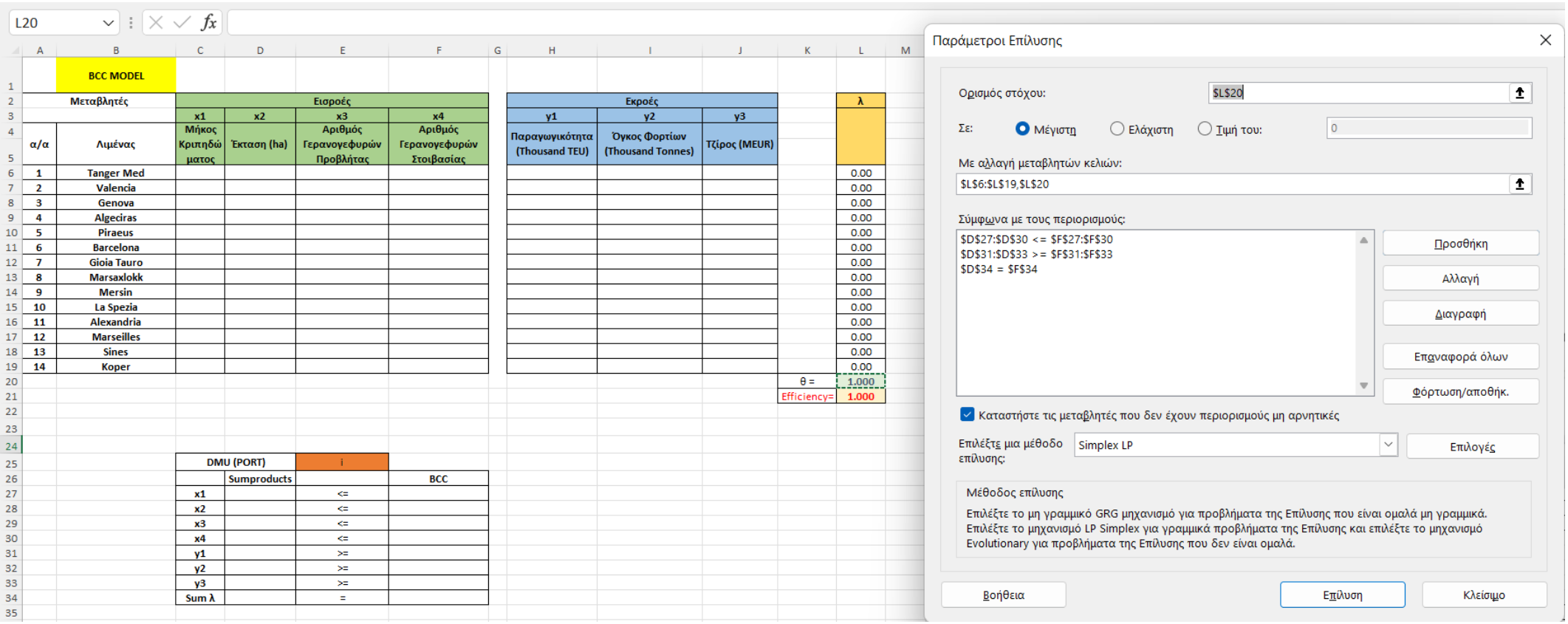
Για την παρούσα διπλωματική, όπως προαναφέρθηκε, κατάλληλο μοντέλο θεωρήθηκε εκείνο της BCC με προσανατολισμό προς τις εκροές. Επομένως, ως στόχος, θεωρείται η μεγιστοποίηση της μεταβλητής ‘’θ” (Εικόνα 27, Παράρτημα Α).

Στη συνέχεια, εισάγονται στο πρόγραμμα τα κελιά των οποίων οι τιμές θα μεταβάλλονται κατά τις επαναλήψεις, έως ότου υπάρξει σύγκλιση. Τα κελιά αυτά, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι εκείνα, τα οποία περιέχουν τις μεταβλητές ‘’λ”, των μονάδων, των οποίων η εύρεση των τιμών είναι και ο λόγος εφαρμογής του μοντέλου, καθώς και το κελί, το οποίο περιέχει τη μεταβλητή ‘’θ” (Εικόνα 28, Παράρτημα Α).

Επόμενο βήμα αποτελεί η εισαγωγή των περιορισμών της μεθόδου, οι οποίοι αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα (Εικόνα 29, Εικόνα 30, Εικόνα 31. Παράρτημα Α).

Τελευταίο βήμα, αποτελεί η επιλογή της μεθόδου επίλυσης στο πρόγραμμα του Excel. Υπενθυμίζεται εδώ, ότι η DEA είναι μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού και, επομένως, όπως και στην επίλυση με τη μέθοδο CCR, το Excel προτείνει τη μέθοδο Simplex LP.

Σύμφωνα, λοιπόν, με τα παραπάνω, το παράθυρο της εισαγωγής παραμέτρων επίλυσης διαμορφώθηκε ως εξής:



L20

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		BCC MODEL											
2	Μεταβλητές		Εισροές					Εκροές				λ	
3			x1	x2	x3	x4		y1	y2	y3			
4	α/α	Λιμένας	Μήκος Κριπηδώματος	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας		Παραγωγικότητα (Thousand TEU)	Όγκος Φορτίων (Thousand Tonnes)	Τζίρος (MEUR)			
6	1	Tanger Med										0.00	
7	2	Valencia										0.00	
8	3	Genova										0.00	
9	4	Algeciras										0.00	
10	5	Piraeus										0.00	
11	6	Barcelona										0.00	
12	7	Gioia Tauro										0.00	
13	8	Marsaxlokk										0.00	
14	9	Mersin										0.00	
15	10	La Spezia										0.00	
16	11	Alexandria										0.00	
17	12	Marseilles										0.00	
18	13	Sines										0.00	
19	14	Koper										0.00	
20											θ =	1.000	
21											Efficiency=	1.000	
22													
23													
24													
25			DMU (PORT)		i								
26				Sumproducts		BCC							
27			x1		<=								
28			x2		<=								
29			x3		<=								
30			x4		<=								
31			y1		>=								
32			y2		>=								
33			y3		>=								
34			Sum λ		=								
35													

Παράμετροι Επίλυσης

Ορισμός στόχου: $L$20

Σε: Μέγιστη Ελάχιστη Τιμή του: 0

Με αλλαγή μεταβλητών κελιών:

$L$6:$L$19,$L$20

Σύμφωνα με τους περιορισμούς:

$D$27:$D$30 <= $F$27:$F$30
$D$31:$D$33 >= $F$31:$F$33
$D$34 = $F$34

Προσθήκη
Αλλαγή
Διαγραφή
Επαναφορά όλων
Φόρτωση/αποθήκ.

Καταστήστε τις μεταβλητές που δεν έχουν περιορισμούς μη αρνητικές

Επιλέξτε μια μέθοδο επίλυσης: Simplex LP

Επιλογές

Μέθοδος επίλυσης

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

Βοήθεια Επίλυση Κλείσιμο

Εικόνα 13. Τελική μορφή του παραθύρου Παραμέτρων Επίλυσης – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

III) Λειτουργία προγράμματος

Έχοντας εφαρμόσει όσα προ-αναφέρθηκαν, επιλέγοντας ‘’Επίλυση’’ στο παράθυρο εισαγωγής παραμέτρων επίλυσης, το πρόγραμμα αυτομάτως εφαρμόζει δοκιμές, αλλάζοντας τα ‘’λ’’ της κάθε μονάδας καθώς και τη μεταβλητή ‘’θ’’, μέχρις ότου καταλήξει σε σύγκλιση, δηλαδή κάλυψη όλων των περιορισμών, και τότε, ως αποτέλεσμα, δίδονται τα πραγματικά ‘’λ’’ των μονάδων και το πραγματικό ‘’θ’’. Στη συνέχεια βρίσκεται η αποδοτικότητα της μονάδας-στόχου, που, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ορίζεται ως ο αντίστροφος αριθμός της μεταβλητής ‘’θ’’ (Εξίσωση (14)).

Έτσι, με σταθερά δεδομένα για κάθε λιμένα, και, απλά, θέτοντας τον αριθμό της, επιθυμητής για μελέτη, μονάδας-στόχου, παρέχεται η δυνατότητα εύρεσης της αποδοτικότητας της κάθε μονάδας με εφαρμογή της μεθόδου του μοντέλου BCC της DEA.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής καθώς και ο σχολιασμός τους παρατίθενται σε επόμενη ενότητα.

4.3 Αποτελέσματα

Μετά από την κατασκευή των δύο προγραμμάτων, η οποία αναλύθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα προγράμματα αυτά τέθηκαν σε εφαρμογή. Για κάθε μία από τις δύο μεθόδους συμπληρώθηκαν στο πρόγραμμα του Excel τα δεδομένα για την κάθε μονάδα (λιμένας), τα οποία συλλέχθηκαν. Στην ουσία, η ανάλυση έγινε 14 φορές για το κάθε μοντέλο, αφού για να βρεθεί η αποδοτικότητα κάθε λιμένα, έπρεπε να εφαρμοστεί το μοντέλο με τον κάθε έναν ως μονάδα-στόχο. Η εφαρμογή διεξήχθη για κάθε ένα μοντέλο ξεχωριστά και δύο παραδείγματα με την εφαρμογή του κάθε μοντέλου για το λιμένα του Πειραιά, παρατίθενται στο Παράρτημα Β.

Το παρόν κεφάλαιο ασχολείται με τα αποτελέσματα της κάθε μεθόδου ξεχωριστά, και τέλος με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων.

4.3.1 Αποτελέσματα μοντέλου DEA-CCR

Κατά την εφαρμογή του μοντέλου DEA-CCR, θεωρώντας κάθε φορά διαφορετικό λιμένα ως μονάδα-στόχο, το πρόγραμμα έδινε ως αποτέλεσμα την αποδοτικότητα του κάθε λιμένα συγκριτικά με εκείνον που είχε τεθεί ως στόχος. Έτσι, δημιουργήθηκε ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 9).

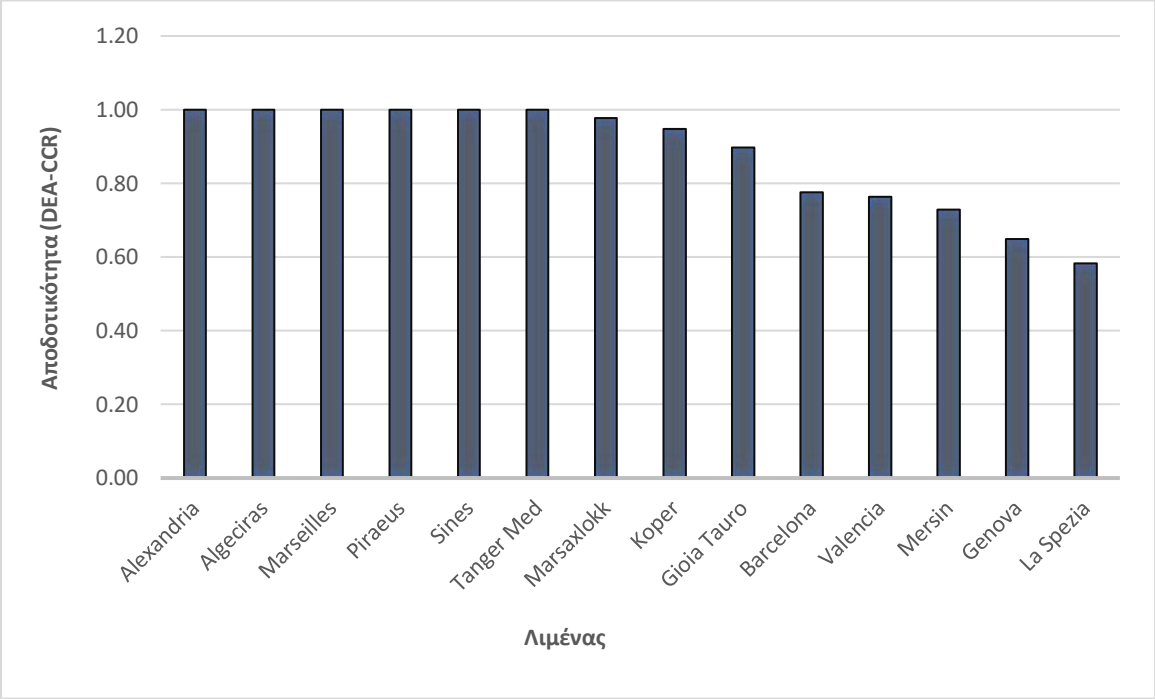
Η αποδοτικότητα του κάθε λιμένα, είναι στην ουσία η αποδοτικότητα που προκύπτει εάν ο ίδιος τεθεί ως μονάδα-στόχος κατά την εφαρμογή του μοντέλου. Επομένως, στον Πίνακας 9, η αποδοτικότητα κάθε λιμένα φαίνεται στη διαγώνιό του. Από τα στοιχεία αυτά, προέκυψε ο Πίνακας 10, ο οποίος εμφανίζει την αποδοτικότητα κάθε λιμένα σύμφωνα με το μοντέλο DEA-CCR.

Πίνακας 9. Συγκεντρωτικός Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

		Μονάδα-Στόχος													
		Tanger Med	Valencia	Genova	Algeciras	Piraeus	Barcelona	Gioia Tauro	Marsaxlokk	Mersin	La Spezia	Alexandria	Marseilles	Sines	Koper
Μονάδες	Tanger Med	*1.00*	1.00	1.00	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.26	0.49	0.86	0.86
	Valencia	0.73	*0.76*	0.70	0.72	0.65	0.73	0.72	0.76	0.73	0.65	0.16	0.33	0.65	0.65
	Genova	0.60	0.56	*0.65*	0.61	0.43	0.60	0.63	0.56	0.59	0.48	0.07	0.39	0.51	0.51
	Algeciras	0.99	0.95	0.99	*1.00*	0.95	0.99	0.94	0.95	1.00	1.00	0.05	0.54	0.87	0.87
	Piraeus	0.78	0.86	0.75	0.77	*1.00*	0.78	0.82	0.86	0.79	1.00	0.06	0.29	0.69	0.69
	Barcelona	0.78	0.77	0.78	0.77	0.62	*0.78*	0.77	0.77	0.77	0.64	0.03	0.45	0.69	0.69
	Gioia Tauro	0.62	0.65	0.78	0.63	0.52	0.62	*0.90*	0.65	0.62	0.64	0.02	0.32	0.47	0.47
	Marsaxlokk	0.77	0.98	0.65	0.73	0.94	0.77	0.80	*0.98*	0.77	0.84	0.15	0.02	0.66	0.66
	Mersin	0.73	0.70	0.69	0.73	0.67	0.73	0.64	0.70	*0.73*	0.67	0.09	0.39	0.66	0.66
	La Spezia	0.40	0.41	0.49	0.41	0.44	0.40	0.55	0.41	0.40	*0.58*	0.04	0.17	0.30	0.30
	Alexandria	1.00	0.82	1.00	1.00	0.79	1.00	0.80	0.82	1.00	0.80	*1.00*	1.00	1.00	1.00
	Marseilles	0.50	0.31	0.99	0.56	0.20	0.50	0.70	0.31	0.50	0.28	0.02	*1.00*	0.39	0.39
	Sines	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.29	1.00	*1.00*	1.00
	Koper	0.75	0.78	0.54	0.68	0.88	0.75	0.50	0.78	0.74	0.61	0.19	0.43	0.95	0.95

Πίνακας 10. Πίνακας Αποδοτικότητας Λιμένων μοντέλου DEA-CCR (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Λιμένας	Αποδοτικότητα (DEA-CCR)
Alexandria	1.00
Algeciras	1.00
Marseilles	1.00
Piraeus	1.00
Sines	1.00
Tanger Med	1.00
Marsaxlokk	0.98
Koper	0.95
Gioia Tauro	0.90
Barcelona	0.78
Valencia	0.76
Mersin	0.73
Genova	0.65
La Spezia	0.58



Εικόνα 14. Γράφημα Αποδοτικότητας για το μοντέλο DEA-CCR, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Με βάση το παραπάνω γράφημα, παρατηρείται ότι λιγότεροι από τους μισούς λιμένες χαρακτηρίζονται ως πλήρως αποδοτικοί. Πιο συγκεκριμένα, οι 6 από τους 14 λιμένες (Alexandria, Algeciras, Marseille, Piraeus, Sines, Tanger Med) βρέθηκαν να είναι πλήρως αποδοτικοί (αποδοτικότητα=1), ενώ πολύ κοντά στην πλήρη αποδοτικότητα βρέθηκαν να είναι οι Marsaxlokk, Koper και Gioia Tauro με αποδοτικότητα ≥ 0.90. Το αποτέλεσμα αυτό φανερώνει ότι, με μικρές αλλαγές (μικρή αύξηση των εκροών με σταθερές εισροές, αφού γίνεται χρήση του μοντέλου με προσανατολισμό προς τις εκροές), η αποδοτικότητα δύναται να αυξηθεί αγγίζοντας τη μέγιστη τιμή της.

Στο ίδιο γράφημα παρατηρείται ακόμη μεγαλύτερη απόκλιση από την αποδοτικότητα για τους λιμένες Barcelona, Valencia και Mersin (με την αποδοτικότητά τους να κυμαίνεται ανάμεσα στο 0.70 και 0.80) οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως μη-αποδοτικοί.

Τη μικρότερη αποδοτικότητα από όλους τους λιμένες που εξετάστηκαν έχουν οι Genova και La Spezia με τιμές κοντά στο 0.60.

Κατά την επίλυση με τη συγκεκριμένη μέθοδο (DEA-CCR), σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμογής της επαναληπτικής διαδικασίας, παρατηρείται ο μηδενισμός κάποιων βαρών. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις κατά τις οποίες κρίνεται από τη μέθοδο ότι για τον υπό εξέταση λιμένα-στόχο, κάποια συγκεκριμένη μεταβλητή δε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό της αποδοτικότητας (βλ. Παράρτημα Β).

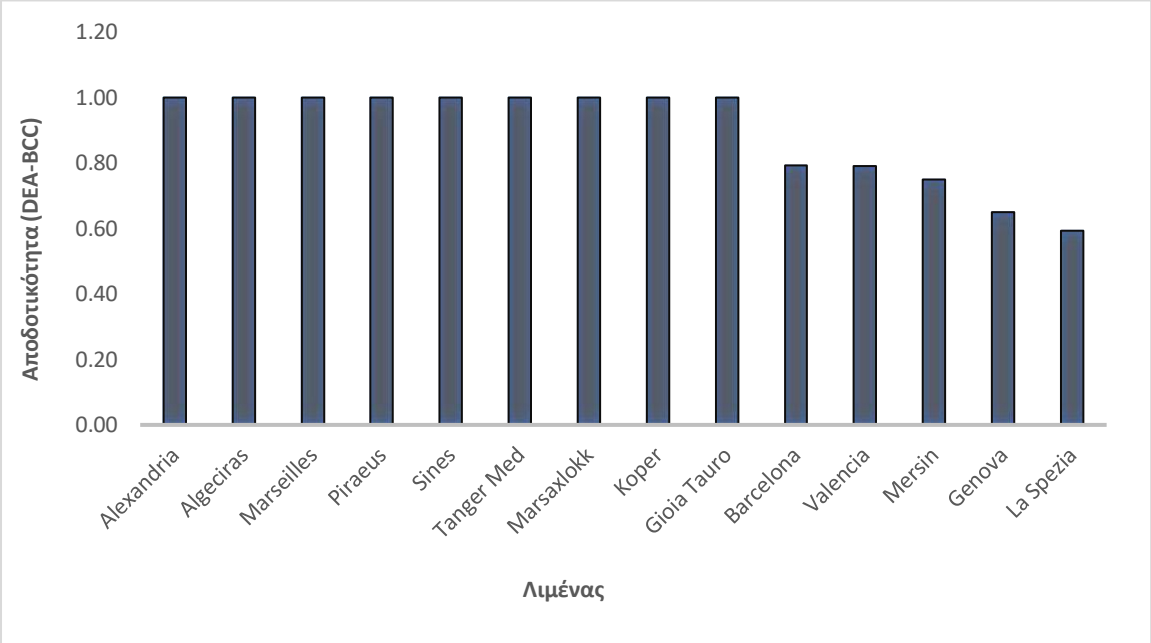
4.3.2 Αποτελέσματα μοντέλου DEA-BCC

Για το μοντέλο BCC δεν υπάρχει συγκεντρωτικό πίνακας αποτελεσμάτων, καθώς, παρά το γεγονός ότι και σε αυτό το μοντέλο γίνονται 14 διαφορετικές εφαρμογές θέτοντας κάθε φορά ως στόχο διαφορετική μονάδα, η μέθοδος δίνει σαν αποτέλεσμα μόνον την αποδοτικότητα της μονάδας-στόχου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αποδοτικότητας του κάθε λιμένα μετά την εφαρμογή του μοντέλου DEA-BCC:

Πίνακας 11. Πίνακας Αποδοτικότητας μοντέλου DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Λιμένας	Αποδοτικότητα - (DEA-BCC)
Alexandria	1.00
Algeciras	1.00
Marseilles	1.00
Piraeus	1.00
Sines	1.00
Tanger Med	1.00
Marsaxlokk	1.00
Koper	1.00
Gioia Tauro	1.00
Barcelona	0.79
Valencia	0.79
Mersin	0.75
Genova	0.65
La Spezia	0.59



Εικόνα 15. Γράφημα Αποδοτικότητας για το μοντέλο DEA-BCC, (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα, οι λιμένες στην πλειοψηφία τους χαρακτηρίζονται ως αποδοτικοί. Πιο συγκεκριμένα, 9 από τους 14 λιμένες (Alexandria, Algeciras, Marseille, Piraeus, Sines, Tanger Med, Marsaxlokk, Koper, Gioia Tauro) αγγίζουν την πλήρη αποδοτικότητα (=1), ενώ σε αυτή την περίπτωση δεν εμφανίζονται λιμένες οι οποίοι να βρίσκονται σε σημείο τέτοιο ώστε να τείνουν να γίνουν πλήρως αποδοτικοί, αφού εκείνοι της μεθόδου DEA-CCR με αυτό το χαρακτηριστικό, τώρα (DEA-BCC) έχουν αποδοτικότητα ίση με τη μονάδα.

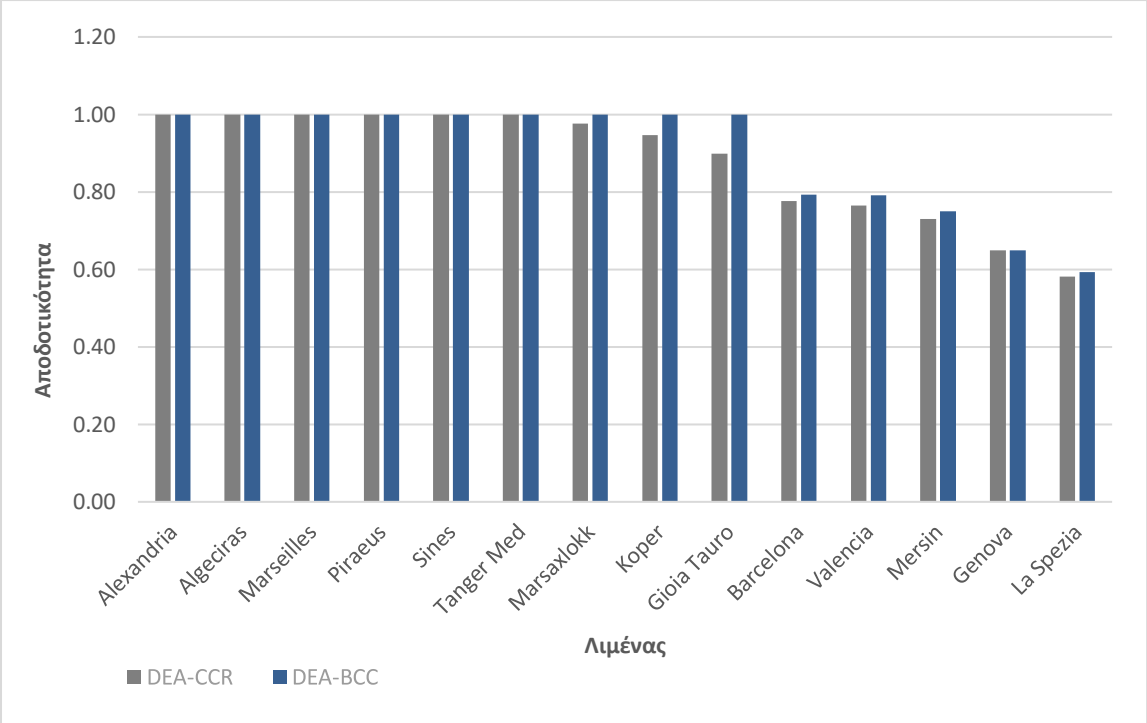
Ξανά παρατηρούνται οι ίδιοι μη-αποδοτικοί λιμένες (Valencia, Barcelona και Mersin) με αποδοτικότητες ανάμεσα στις τιμές 0.75 και 0.80, ενώ και σε αυτή την εφαρμογή της μεθόδου DEA, οι λιμένες Genova και La Spezia συγκεντρώνουν τις μικρότερες τιμές αποδοτικότητας (κοντά στο 0.60).

4.3.3 Σύγκριση και ανάλυση αποτελεσμάτων

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων για διευκόλυνση της σύγκρισής τους:

Πίνακας 12. Συγκριτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Μοντέλων DEA-CCR και DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Λιμένας	DEA-CCR	DEA-BCC	Διαφορά (CCR-BCC)
Alexandria	1.00	1.00	0.00
Algeciras	1.00	1.00	0.00
Marseilles	1.00	1.00	0.00
Piraeus	1.00	1.00	0.00
Sines	1.00	1.00	0.00
Tanger Med	1.00	1.00	0.00
Marsaxlokk	0.98	1.00	-0.02
Koper	0.95	1.00	-0.05
Gioia Tauro	0.90	1.00	-0.10
Barcelona	0.78	0.79	-0.02
Valencia	0.76	0.79	-0.03
Mersin	0.73	0.75	-0.02
Genova	0.65	0.65	0.00
La Spezia	0.58	0.59	-0.01



Εικόνα 16. Γράφημα Σύγκρισης Αποτελεσμάτων μεταξύ των μοντέλων DEA-CCR και DEA-BCC (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Αρχική παρατήρηση σχετικά με τα αποτελέσματα είναι ότι η αποδοτικότητα που προκύπτει από την επίλυση της μεθόδου με το μοντέλο CCR είναι πάντα μικρότερη από εκείνη της επίλυσης με τη μέθοδο BCC. Η παρατήρηση αυτή εξηγείται από το γεγονός ότι το μοντέλο BCC λαμβάνει υπόψιν μόνον την τεχνική αποδοτικότητα ενώ το μοντέλο CCR λαμβάνει την τεχνική αποδοτικότητα σε συνδυασμό με την αποδοτικότητα κλίμακας. Έτσι εξηγείται και ο διαφορετικός αριθμός λιμένων, που χαρακτηρίστηκαν ως πλήρως αποδοτικοί κατά την εφαρμογή των δύο μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα, αφού οι λιμένες Marsaxlokk, Koper και Gioia Tauro, κατά την εφαρμογή του μοντέλου CCR, συγκέντρωσαν αποδοτικότητα μεγαλύτερη ή ίση (≥) της τιμής 0.90, η οποία βρίσκεται πολύ κοντά στη μονάδα, ήταν αναμενόμενο με βάση τα παραπάνω, να βρεθούν πλήρως αποδοτικές (αποδοτικότητα=1) κατά την εφαρμογή του μοντέλου BCC.

Επόμενη παρατήρηση κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι ότι οι τιμές αποδοτικότητας για κάποια μονάδα είναι παραπλήσιες (σχεδόν ίσες) κατά την εφαρμογή των δύο μοντέλων. Αυτό εξηγείται από τον περιορισμό που τέθηκε κατά την εφαρμογή του μοντέλου DEA-BCC. Όπως έχει αναφερθεί, το μοντέλο BCC, λαμβάνει υπόψιν τις μεταβλητές αποδόσεις κλίμακος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της μεταβλητής ''λ'' για κάθε μονάδα. Πιο συγκεκριμένα:

- Όταν $\sum \lambda > 1$, για μία μονάδα (λιμένας), τότε λειτουργεί με φθίνουσες αποδόσεις κλίμακος.
- Όταν $\sum \lambda < 1$, για μία μονάδα (λιμένας) τότε λειτουργεί με αυξανόμενες αποδόσεις κλίμακος.

- Όταν $\sum \lambda = 1$, για μία μονάδα, τότε λειτουργεί με σταθερές αποδόσεις κλίμακος.

Έχοντας εισαγάγει στο πρόγραμμα για την εφαρμογή του μοντέλου DEA-BCC, τον περιορισμό $\sum \lambda = 1$, έγινε η υπόθεση ότι για μεταβολή της τιμής κάποιας εισροής κατά μία τιμή m, τότε η τιμή της αντίστοιχης εκροής μεταβάλλεται ισόποσα, δηλαδή κάθε μονάδα λειτουργεί με σταθερές αποδόσεις κλίμακος.

Όπως έχει προαναφερθεί, το μοντέλο DEA-CCR, λειτουργεί με την υπόθεση σταθερών αποδόσεων κλίμακος. Επομένως, είναι αναμενόμενο οι τιμές της αποδοτικότητας που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους να μην αποκλίνουν κατά πολύ. Σε περίπτωση που ο παραπάνω περιορισμός δεν είχε εισαχθεί, τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων θα είχαν εμφανείς αποκλίσεις. Έτσι, έχοντας λάβει υπόψιν τον παραπάνω περιορισμό, είναι προφανές ότι πρέπει οι δύο μέθοδοι να συγκλίνουν και να επαληθεύουν η μία την άλλη, όπως και συμβαίνει με βάση τα αποτελέσματα.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων, συμπεραίνεται ότι 6 λιμένες είναι πλήρως αποδοτικοί με 3 ακόμα να βρίσκονται ελάχιστα πίσω από πλήρη αποδοτικότητα και να μπορούν να χαρακτηριστούν ως ''οριακά μη-αποδοτικοί''. Όσο για τους υπόλοιπους 5 λιμένες, οι οποίοι εμφάνισαν αρκετά χαμηλή αποδοτικότητα αναγκαίο κρίνεται να γίνουν κάποιες αλλαγές με σκοπό την αύξηση της αποδοτικότητάς τους.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (4.1.4), οι λιμένες διαιρέθηκαν σε τρείς διαφορετικές κλάσεις, ανάλογα με την παραγωγικότητά τους. Συγκεκριμένα υπενθυμίζονται οι κλάσεις της παραγωγικότητας (εκφρασμένης σε TEUs):

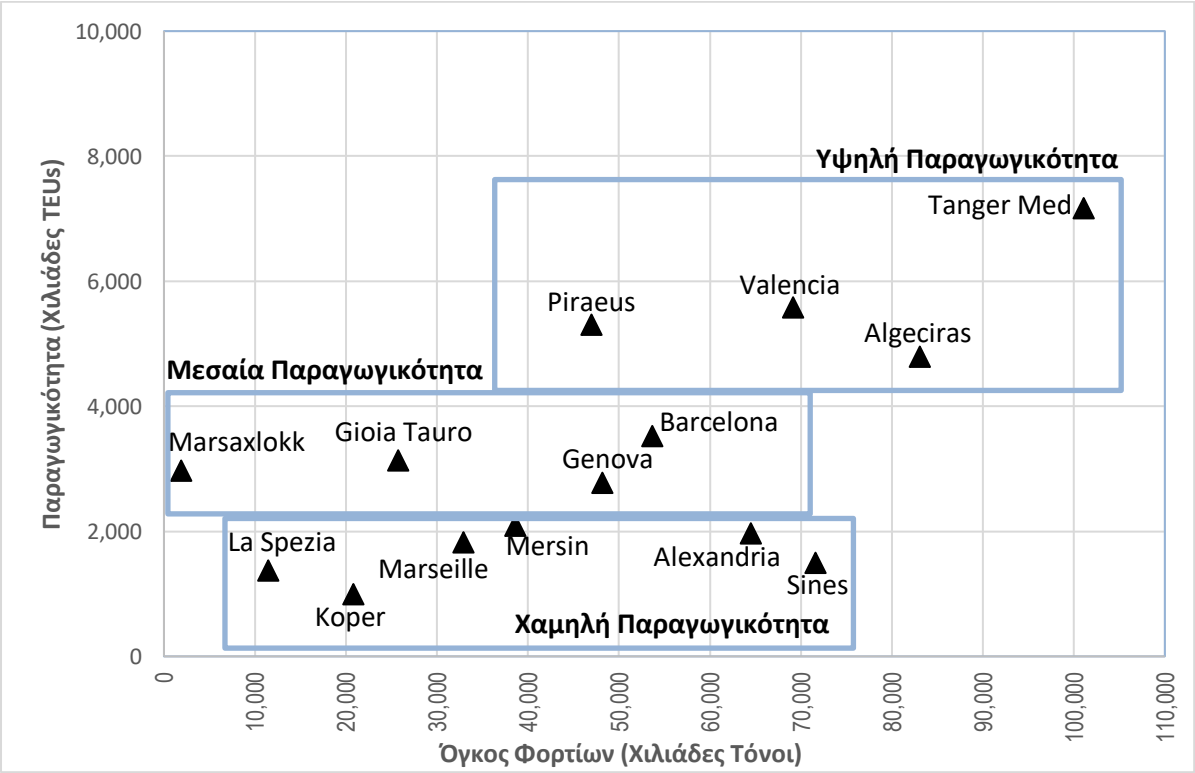
- Χαμηλή: $1{,}000{,}000 \leq Παραγωγικότητα\ (TEUs) \leq 2{,}500{,}000$
- Μεσαία: $2{,}500{,}000 < Παραγωγικότητα\ (TEUs) \leq 4{,}500{,}000$
- Υψηλή: $4{,}500{,}000 < Παραγωγικότητα\ (TEUs) \leq 7{,}500{,}000$

Στον Πίνακας 13 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των κλάσεων, που δημιουργήθηκαν και στη συνέχεια παρουσιάζεται το γράφημα της παραγωγικότητας συναρτήσει του όγκου φορτίων. Στο διάγραμμα έχουν τοποθετηθεί οι τρείς κλάσεις, και φαίνεται σε ποια ανήκει ο κάθε λιμένας.

Ενδιαφέρον προκαλεί, όπως φαίνεται στον Πίνακας 13, ότι οι 4 λιμένες που ανήκουν στην κλάση της υψηλής παραγωγικότητας (Tanger Med, Valencia, Piraeus, Algeciras) πραγματοποιούν σχεδόν το μισό (50,76%) της συνολικής διακίνησης των 14^{ων} λιμένων που μελετήθηκαν, ενώ οι 6 που ανήκουν στην κλάση της χαμηλής παραγωγικότητας πραγματοποιούν μόνον το 21,67% της διακίνησης αυτής.

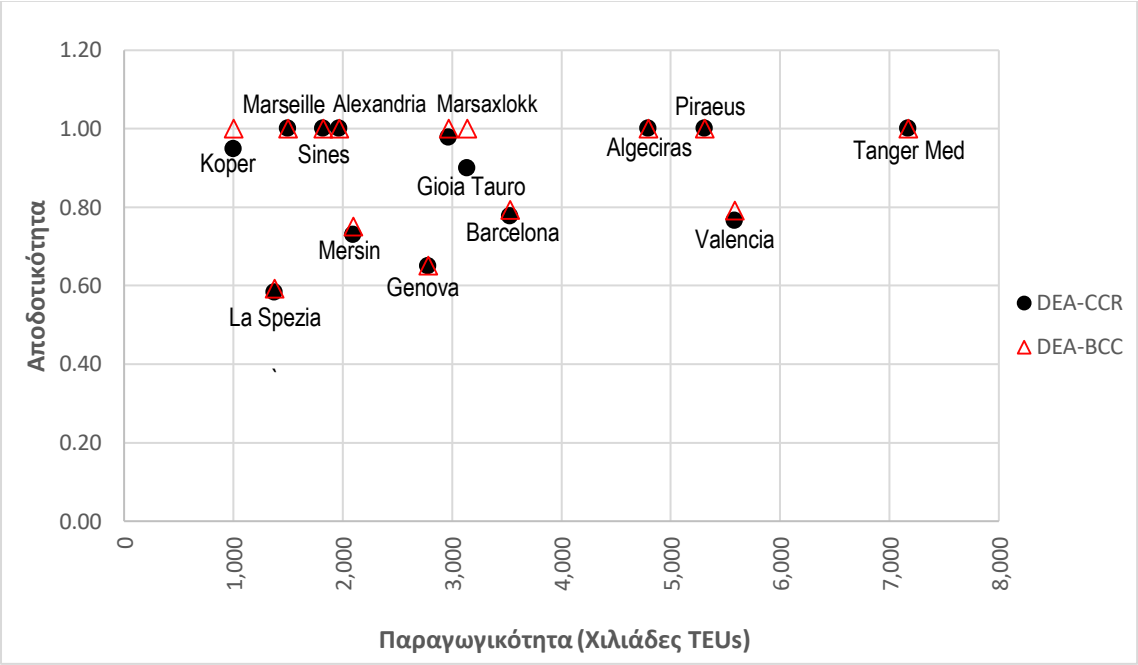
Πίνακας 13. Δημιουργία κλάσεων ανάλογα με το μερίδιο αγοράς ως προς το μέγεθος διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων σε TEUs (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Λιμένας	Όγκος Φορτίων (Χιλιάδες Τόνοι)	Διακίνηση Ε/Κ (Thousand TEU)	Μερίδιο Αγοράς % (Market share %)	Ποσοστό ανά κλάση
Tanger Med	101,055	7,173	15.92%	50.76%
Valencia	69,131	5,588	12.40%	
Piraeus	46,951	5,311	11.79%	
Algeciras	83,051	4,797	10.65%	
Barcelona	53,642	3,531	7.84%	27.57%
Gioia Tauro	25,721	3,140	6.97%	
Marsaxlokk	1,906	2,970	6.59%	
Genova	48,212	2,781	6.17%	
Mersin	38,579	2,097	4.65%	21.67%
Alexandria	64,500	1,967	4.37%	
Marseille	71,590	1,824	4.05%	
Sines	32,904	1,500	3.33%	
La Spezia	11,486	1,376	3.05%	
Koper	20,821	1,000	2.22%	
Άθροισμα		**45,055**	**100.00%**	**100.00%**



Εικόνα 17. Γράφημα Παραγωγικότητας (χιλιάδες TEUs) συναρτήσει Όγκου Φορτίων (χιλιάδες τόνοι) (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Παρακάτω, φαίνεται το γράφημα διασποράς της αποδοτικότητας υπολογισμένης και από τις δύο μεθόδους, με την ετήσια παραγωγικότητα, ώστε να γίνει πιο εύκολα διακριτή η σχέση μεταξύ παραγωγικότητας και αποδοτικότητας.



Εικόνα 18. Γράφημα σχέσης της αποδοτικότητας με την παραγωγικότητα (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των δύο παραπάνω γραφημάτων, συμπεραίνεται ότι η αποδοτικότητα ενός λιμένα δεν έχει να κάνει μόνο με την κλάση της παραγωγικότητας στην οποία ανήκει. Σημαντικό ρόλο παίζουν και οι μεταβλητές της εισροής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο λιμένας της Valencia, ο οποίος, φαίνεται να συγκεντρώνει μεγάλο ποσοστό διακίνησης συγκριτικά με άλλους λιμένες και να βρίσκεται στην υψηλότερη κλάση παραγωγικότητας. Όμως, αναλογιζόμενοι τις πολυάριθμες υποδομές που διαθέτει (μεγάλη έκταση, μεγάλο αριθμό γερανογεφυρών προβλήτας), η αποδοτικότητά του χαρακτηρίζεται ως χαμηλή (όπως φαίνεται και στα αποτελέσματα της εφαρμογής των δύο μοντέλων). Αυτό, πρακτικά, σημαίνει ότι με βάση τις μεταβλητές εισροής του λιμένα, η παραγωγικότητά του (διακίνηση) θα έπρεπε να είναι αρκετά πιο υψηλή ώστε να μπορεί ο λιμένας να θεωρηθεί αποδοτικός.

Υπενθυμίζεται εδώ, ότι τα μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής, ήταν εκείνα της DEA-CCR και DEA-BCC με προσανατολισμό προς τις εκροές. Αυτό σημαίνει, ότι διατηρώντας τις εισροές σε σταθερό επίπεδο, μεταβάλλοντας μόνον τις εκροές, υπάρχει η δυνατότητα μιας μονάδας να καταφέρει να μετατραπεί σε πλήρως αποδοτική. Έτσι, γενικεύοντας το παραπάνω παράδειγμα του λιμένα της Valencia, οι λύσεις που προτείνονται για τη μετατροπή των μη-αποδοτικών λιμένων σε αποδοτικούς, είναι η αύξηση της παραγωγικότητάς τους.

Όπως φαίνεται, βέβαια, και από το γράφημα της Εικόνα 17, η παραγωγικότητα δεν εξαρτάται άμεσα από τον όγκο φορτίου, ο οποίος αποτελεί μεταβλητή εκροής για τους λιμένες. Επομένως, η αύξηση όχι μόνον της παραγωγικότητας, αλλά και του όγκου του γενικού φορτίου, είναι παράγοντες οι οποίοι θα συμβάλλουν και στην αύξηση των οικονομικών αποτελεσμάτων (αύξηση τζίρου), με επακόλουθο τη μεγιστοποίηση των εκροών και επακολούθως, της αποδοτικότητάς τους.

Βέβαια, οι αλλαγές οι οποίες αναφέρθηκαν δεν είναι τόσο απλό να πραγματοποιηθούν, αναλογιζόμενοι ότι κάποιοι λιμένες ίσως έχουν φτάσει στο ανώτατο όριο της παραγωγικότητάς τους, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η επιπλέον αύξηση των εκροών. Αυτό έχει ως επακόλουθο, οι τιμές της αποδοτικότητάς τους να παραμένουν σταθερές και χαμηλές. Στο παρόν πρόβλημα, λύση θα μπορούσε να αποτελέσει η ανακατανομή των ήδη υπαρχόντων πόρων ώστε με τη νέα κατανομή και το νέο τρόπο λειτουργίας τους να επιτύχουν την αύξηση της παραγωγικότητάς τους.

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

5.1 Γενικά

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η εκτίμηση και ο υπολογισμός της αποδοτικότητας κάποιων εκ των μεγαλύτερων εμπορικών λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων της περιοχής της Μεσογείου και συγκεκριμένα στις χώρες της Αιγύπτου, της Γαλλίας, της Ελλάδας, της Ισπανίας, της Ιταλίας, της Μάλτας, του Μαρόκο, της Πορτογαλίας, της Σλοβενίας και της Τουρκίας. Η εκτίμηση αυτή, έγινε με εφαρμογή μοντέλων της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis – DEA). Ουσιαστικά ο υπολογισμός της αποδοτικότητας, είναι μία διερεύνηση που αφορά τη σχέση μεταξύ των μεταβλητών εισροών ενός λιμένα (μήκος κρηπιδώματος, έκταση, αριθμός γερανογεφυρών προβλήτας, αριθμός γερανογεφυρών στοιβασίας) και των μεταβλητών εκροών του (παραγωγικότητα, δηλαδή συνολική διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων και συνολικός όγκος διακινούμενου φορτίου γενικού φορτίου, και τζίρος).

Το ενδιαφέρον της διερεύνησης αυτής, εκτός από την εφαρμογή της μεθόδου, έγκειται στην αναγκαιότητα της ευρύτερης μελέτης των εμπορικών λιμένων, και της σημαντικής οικονομικής τους επίδρασης στις σύγχρονες χώρες. Σημαντικό κριτήριο για να μπορεί ένας λιμένας να συνεισφέρει και να επιδρά στις οικονομίες μέσω του θαλάσσιου εμπορίου, είναι το ποσοστό της αποδοτικότητάς του.

Με την, αρχική, πραγματοποίηση μίας αρκετά εκτενούς βιβλιογραφικής ανασκόπησης, η οποία συσχετιζόταν τόσο με τη συνεισφορά των λιμένων και του θαλάσσιου εμπορίου στην οικονομία μίας χώρας όσο και με τη μεθοδολογία των δύο μοντέλων εφαρμογής της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκαν (DEA-CCR, DEA-BCC), διαπιστώθηκε ότι, ενώ παλαιότερα υπήρχε πλεόνασμα ερευνών σχετικών με το θέμα της παρούσας εργασίας, τα τελευταία χρόνια εκείνες έχουν εκλείψει. Σε μία περίοδο, κατά την οποία η παγκόσμια οικονομία αντιμετωπίζει πληθώρα προκλήσεων (οικονομικές κρίσεις, υγειονομικές κρίσεις κ.λπ.) και τα δεδομένα αλλάζουν διαρκώς, σημαντική είναι η χρήση σύγχρονων δεδομένων για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων. Μία τέτοια προσπάθεια έγινα και κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Για το σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν τα πιο πρόσφατα δεδομένα (έτος 2021), τα οποία διατέθηκαν από τις αυθεντικές ιστοσελίδες οργανισμών λιμένων, καθώς και από την ιστοσελίδα της Eurostat και αναλύθηκαν στατιστικά με το λογισμικό Minitab.

5.2 Βασικά συμπεράσματα

Εισάγοντας τα επεξεργασμένα δεδομένα, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, έγινε εφαρμογή δύο μοντέλων: α) το μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας (DEA-CCR) και β) το μοντέλο μεταβαλλόμενων αποδόσεων κλίμακας (DEA-BCC). Όμως θέτοντας στο μοντέλο DEA-BCC τον περιορισμό ($\sum \lambda = 1$), εκείνο μετατράπηκε σε μοντέλο, το

οποίο λειτουργεί με τη θεώρηση σταθερών αποδόσεων κλίμακας. Αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας, είναι η υπολογιζόμενη, από το μοντέλο CCR, αποδοτικότητα κάθε λιμένα να συμπίπτει (με πολύ μικρή απόκλιση) με την υπολογιζόμενη αποδοτικότητά του από το μοντέλο BCC. Πρώτο συμπέρασμα, λοιπόν, είναι ότι, με τον παραπάνω περιορισμό, το ένα μοντέλο επαληθεύει το άλλο με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη σιγουριά για την ορθότητα των αποτελεσμάτων (βλ. Κεφάλαιο 4.3.3).

Τα δύο μοντέλα, τα οποία εφαρμόστηκαν μέσω ανάπτυξής τους στο πρόγραμμα Excel, υπολόγισαν την αποδοτικότητα του κάθε λιμένα. Η μέθοδος CCR δίνει ως αποτέλεσμα 6 στους 14 λιμένες (Alexandria, Algeciras, Koper, Marseille, Piraeus, Sines και Tanger Med - ποσοστό 42.9%) να έχουν αποδοτικότητα ίση με τη μονάδα και το μοντέλο BCC χαρακτηρίζει 9 από τους 14 (τους ίδιους με τη μέθοδο CCR με επιπλέον τον Marsaxlokk, τον Koper και τον Gioia Tauro - ποσοστό 64.3%) ως αποδοτικούς.

Οι τρείς επιπλέον λιμένες (Marsaxlokk, Koper & Gioia Tauro), οι οποίοι κατά τη μέθοδο CCR (η οποία πάντα δίνει τη χαμηλότερη αποδοτικότητα), έχουν πολύ κοντινές στη μονάδα αποδοτικότητες (0.98, 0.95 και 0.90 αντίστοιχα), ενώ κατά τη μέθοδο BCC χαρακτηρίζονται ως πλήρως αποδοτικοί, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψιν ως αποδοτικοί. Φαίνεται ότι με ελάχιστες βελτιώσεις δύνανται να αγγίξουν την πλήρη αποδοτικότητα.

Οι λιμένες Barcelona, Valencia και Mersin και στις δύο μεθόδους συγκέντρωσαν μικρότερα ποσά αποδοτικότητας (<0.85). Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει, αφού τα μοντέλα με τα οποία έγιναν οι υπολογισμοί έχουν προσανατολισμό προς τις εκροές, να βελτιστοποιήσουν την κατανομή των πόρων που διαθέτουν, ώστε, κρατώντας τους σταθερούς, να αυξήσουν αρκετά την παραγωγικότητά τους.

Τέλος, οι λιμένες Genova και La Spezia συγκέντρωσαν τα μικρότερα ποσά αποδοτικότητας από όλους τους εξεταζόμενους λιμένες (≤0.65), πράγμα το οποίο προδίδει την οριακή τους κατάσταση και ίσως λύση να αποτελεί ο πλήρης ανασχεδιασμός τους και η αναδιάταξη των διαθέσιμων πόρων ή ακόμη και το κλείσιμό τους.

Βασικό συμπέρασμα επίσης, με βάση τα αποτελέσματα, αποτελεί το γεγονός ότι η αποδοτικότητα ενός λιμένα δεν εξαρτάται μόνο από την παραγωγικότητά του, αλλά και από τον τρόπο λειτουργίας και κατανομής των πόρων που διαθέτει. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί ένας λιμένας να διακινεί αρκετά μεγάλες ποσότητες εμπορευματοκιβωτίων, όμως, συγκριτικά με τα μέσα, τα οποία διαθέτει, τελικά οι ποσότητες αυτές να μην είναι αρκετές (βέλτιστες) ώστε ο λιμένας αυτός να μπορεί να χαρακτηριστεί ως αποδοτικός.

Τέλος, σημαντικό ρόλο, εκτός από την αποδοτικότητα παίζει και η αποτελεσματικότητα. Αυτό σημαίνει πως ίσως, λιμένες με μικρότερη αποδοτικότητα (δηλαδή μικρότερη παραγωγικότητα σε σχέση με τα διατιθέμενα μέσα), να προσφέρουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας με μεγαλύτερη ποιότητα, σε σχέση με τους αποδοτικούς λιμένες, και, με αυτό τον τρόπο, το κόστος που φαίνεται να υπάρχει

λόγω της μειωμένης παραγωγικότητας να ισοσταθμίζεται με το κέρδος των υπηρεσιών αυτών και αντιστρόφως. Επομένως, η αξιολόγηση ενός λιμένα δε βασίζεται μόνον στην αποδοτικότητά του.

5.3 Προστάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η παρούσα διπλωματική ανέλυσε την αποδοτικότητα λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων της Μεσογείου με βάση τη μέθοδο DEA και, συγκεκριμένα με χρήση των μοντέλων CCR και BCC. Η αξιολόγηση αυτή των λιμένων θεωρείται αναγκαία για την ορθή διεξαγωγή των διακινήσεων και κατ' επέκτασιν του θαλάσσιου εμπορίου και τη βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας κάθε λιμένα. Παρόλα αυτά, δεν προσφέρει χρήσιμα στοιχεία μόνο η εύρεση της αποδοτικότητας, αλλά και η εκτενέστερη έρευνα και ανάλυση κάθε λιμένα.

Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, θα ήταν χρήσιμο εκτός από την αποδοτικότητα, να βρεθεί και η αποτελεσματικότητα κάθε λιμένα και, έτσι, έχοντας πλέον δύο κριτήρια αξιολόγησης να αλλάξει η κατάταξη των λιμένων.

Εκτός αυτού, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων, κάποιες από τις επιθυμητές μεταβλητές εισροών και εκροών δε λήφθηκαν υπόψιν. Αυτό έγινε με σκοπό την αξιοπιστία και την ορθότητα των αποτελεσμάτων, και ως εκ τούτου, την αποφυγή κατάληξης σε λανθασμένα συμπεράσματα. Επομένως, μία έρευνα με μεγαλύτερη έμφαση και εμβάθυνση στα δεδομένα, με αποτέλεσμα τη χρήση περισσότερων μεταβλητών εισροών και εκροών ίσως να έδινε διαφορετικά αποτελέσματα. Το συμπέρασμα αυτό αιτιολογείται με του εξής τρόπους:

1. Θα μπορούσαν να υπάρξουν μεταβλητές με μεγαλύτερη βαρύτητα, που θα άλλαζαν καθοριστικά το αποτέλεσμα,
2. Με την αύξηση των μεταβλητών εισροής και εκροής, ο περιορισμός που περιεγράφηκε στο κεφάλαιο επιλογής των λιμένων θα οδηγούσε στην ανάγκη εξέτασης μεγαλύτερου αριθμού λιμένων, διαδικασία, η οποία θα οδηγούσε σε πιο τεκμηριωμένα αποτελέσματα.

Ακόμη, χρήσιμο θα ήταν, να αντληθούν στοιχεία για περισσότερα έτη (π.χ. ένας αξιόλογος αριθμός θα μπορούσε να είναι τα 5 έτη) και να γίνει εφαρμογή της μεθόδου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA) με δεδομένα Panel (όπως π.χ. οι Cullinane et. al., 2010) και ακολούθως, να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τις μεταβολές, οι οποίες έχουν προκληθεί από παράγοντες που επηρεάζουν την παγκόσμια οικονομία.

Τέλος, μία ιδέα για περεταίρω έρευνα, θα μπορούσε να αποτελέσει η εισαγωγή των δεδομένων που συλλέχθηκαν, σε ειδικά προγράμματα (π.χ. Rstudio), τα οποία, πέραν του υπολογισμού της αποδοτικότητας, παρέχουν την επιλογή υπολογισμού περιθωρίων (stacks). Τα περιθώρια, στην ουσία είναι υπολογισμοί, που γίνονται από τα

προγράμματα αυτά με σκοπό την εύρεση των επιπρόσθετων ενεργειών, τις οποίες απαιτείται να εκτελέσει μία μονάδα (στην περίπτωσή αυτή, λιμένας), η οποία έχει μικρή αποδοτικότητα, ώστε να μετατραπεί σε πλήρως αποδοτική. Έτσι, εκτός του υπολογισμού της αποδοτικότητας, την εξαγωγή συμπερασμάτων και θεωρητικών λύσεων για τη μετατροπή των μη-αποδοτικών λιμένων σε αποδοτικούς, τα οποία έγιναν στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήταν δυνατή και η πρακτική προσέγγιση τέτοιων λύσεων.

6. Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

[1] Bottasso A., Conti M., Ferrari C. & Tei A. (2014). Ports and regional development: a spatial analysis on a panel of European regions. Transp Res A Policy Pract 65:44–55

[2] Chang Y., Shin S., & Lee W. (2014) Economic impact of port sectors on south African economy: an input–output analysis. Transp Policy 35:333–340

[3] Charnes A., Cooper W. W. & Rhodes E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operational Research, 2, 429–444

[4] Cullinane K., Ji P. & Wang T. (2005). The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry. Journal of Economics and Business, (57), 433-462

[5] Cullinane K. & Wang T. (2007). Data Envelopment Analysis (DEA) and Improving Container Port Efficiency. Research in Transportation Economics, 17(23), 517-566

[6] Cullinane K. & Wang T. (2010). The efficiency analysis of container port production using DEA panel data approaches.

[7] Dooms M., Van der Lugt L. & de Langen P. (2013). International strategies of port authorities: The case of the Port of Rotterdam Authority. Research in Transportation Business & Management, 8, 148-157

[8] Dasgupta, M. K. & Sinha, D. (2016). Impact of Privatization of Ports on Relative Efficiency of Major Ports of India. Foreign Trade Review, 51(3), 1-23

[9] Meunier S. (2015). A Tale of Two Ports: The Epic Story of Chinese Direct Investment in the Greek Port of Piraeus. CritCom, 1-8

[10] Munim Z. & Schramm H. (2018). The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: the mediating role of seaborne trade. Journal of Shipping and Trade, 3(1), 1-19

[11] Pagano A., Wang G., Sánchez O. & Ungo R. (2013) Impact of privatization on port efficiency and effectiveness: results from Panama and US ports. Maritime Policy & Management, 40(2), 100-115

[12] Qianqian L. & Davarinou P. (2019). Sino-Greek Economic Cooperation: COSCO's Investment in the Port of Piraeus. Transforming Development Knowledge, 50(4), 109-124

[13] Roll Y. & Hayuth Y. (1993). Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis. Maritime Policy and Management, 20(2), 153-161

[14] Shan J., Yu M. & Lee C. (2014). An empirical investigation of the seaport's economic impact: evidence from major ports in China. Transport Res E-Log 69: 41–53

[15] Tongzon J. (2001). Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. Transportation Research, Part A (35), 107-122

[16] Tselentis D., Vlahogianni E. & Yannis G. (2019). Driving safety efficiency benchmarking using smartphone data. Transport Research Part C, 109, 343-357
[17] Turner H., Windle R. & Dresner M. (2004). North American containerport productivity: 1984–1997. Transportation Research, Part E (40), 339-356
[18] Van der Putten F. (2014). Chinese Investment in the Port of Piraeus, Greece: The Relevance for the EU and the Netherlands. Clingendael Report, 1-36
[19] The World Bank, (2007). Alternative Port Management Structures and Ownership Models, Port Reform Toolkit, Edition 2, Module 3
[20] Yang C. (2013). A DEA-Based Approach for Evaluating the Opportunity Cost of Environmental Regulations. Asia-Pacific Journal of Operational Research, 30(2), 1250049,1- 1250049-17

Ελληνική Βιβλιογραφία

[1] Βέττας Ν., Ζόνηλος Ν., Κόρρα, Ε., Ντεμιάν Η. & Svetoslav D. (2016). Οικονομικές επιδράσεις από την ιδιωτικοποίηση του Οργανισμού Λιμένος Πειραιώς. Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών (ΙΟΒΕ), 1-56
[2] Κολιού Ε. (2018). Ξένες Επενδύσεις σε Ευρωπαϊκούς Λιμένες Περίοδος : 2008-2018. Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Τ.Ν.Ε.Υ., Χίος. 1-52
[3] Κορφιάτης Μ. (2016). Εκτίμηση της Λειτουργικής Αποδοτικότητας Ναυτιλιακών Επιχειρήσεων στον Κλάδο των Χύδην Υγρών Φορτίων με την Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων. Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Τ.Ν.Σ., Πειραιάς. 1-149
[4] Κούρογλου Ο.Μ. (2019). Μέτρηση της επίδοσης ελληνικών επιχειρήσεων του κλάδου των Ορυχείων-Μεταλλείων-Αλυκών (2015-2017). Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ε.Μ.Π., Αθήνα. 33-49.
[5] Μαντά Σ. (2016). Αξιολόγηση της Απόδοσης Λεωφορειακών Γραμμών με τη Μέθοδο DEA. Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ε.Μ.Π., Αθήνα. 1-104
[6] Παρδάλη Α. (2001). Η Λιμενική Βιομηχανία στις προκλήσεις της παγκοσμιοποιημένης οικονομίας και των ολοκληρωμένων μεταφορικών συστημάτων, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα
[7] Σαΐττης Κ. (2015). Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων – Data Envelopment Analysis (DEA). Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, Πανεπιστήμιο Πατρών. 1-83
[8] Τσαρουχάς Ι. (2020). Συγκριτική Αξιολόγηση της Αποδοτικότητας 6 Χωρών των Βαλκανίων στα Πλαίσια της Πρωτοβουλίας OBOR με Χρήση της Μεθόδου Data Envelopment Analysis. Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, Ε.Μ.Π., Αθήνα. 70-119
[9] Φάλκου Δ. (2017). Η αγορά του ΟΛΠ ως κινητήρια δύναμη μεγάλων επενδύσεων. Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Τ.Ν.Ε.Υ., Χίος. 1-41

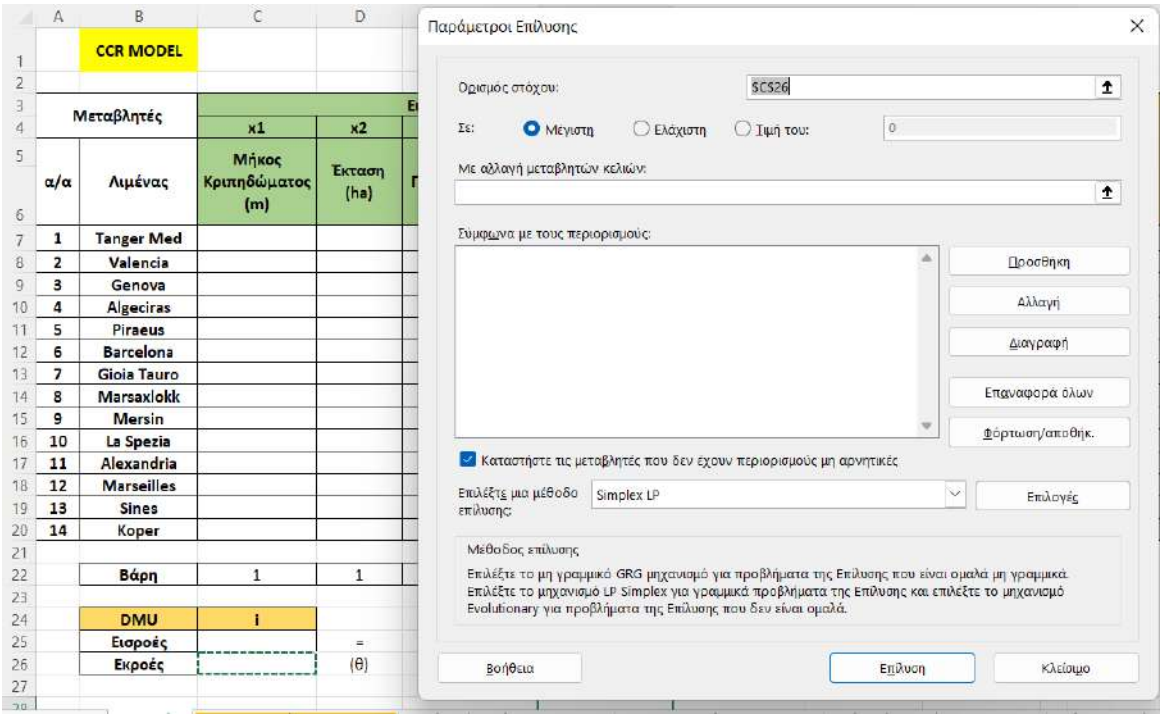
Διαδικτυακή Βιβλιογραφία

[1] Shipafreight.com. (2021). Largest Ports in the World
[2] Γεωργίου Γ. (2021). Αύξηση στις σιδηροδρομικές μεταφορές από τον Πειραιά. Capital.gr
[3] Τζουνσένγκ Σ. (2021). Η COSCO και η αναγέννηση του Πειραιά. Naftemporiki.gr
[4] Τσιμπλάκης Γ., Γεωργίου Γ. & Τσιριγώτης Π. (2022). The Port of Piraeus - A driver of Growth and Sustainability. Naftemporiki.gr

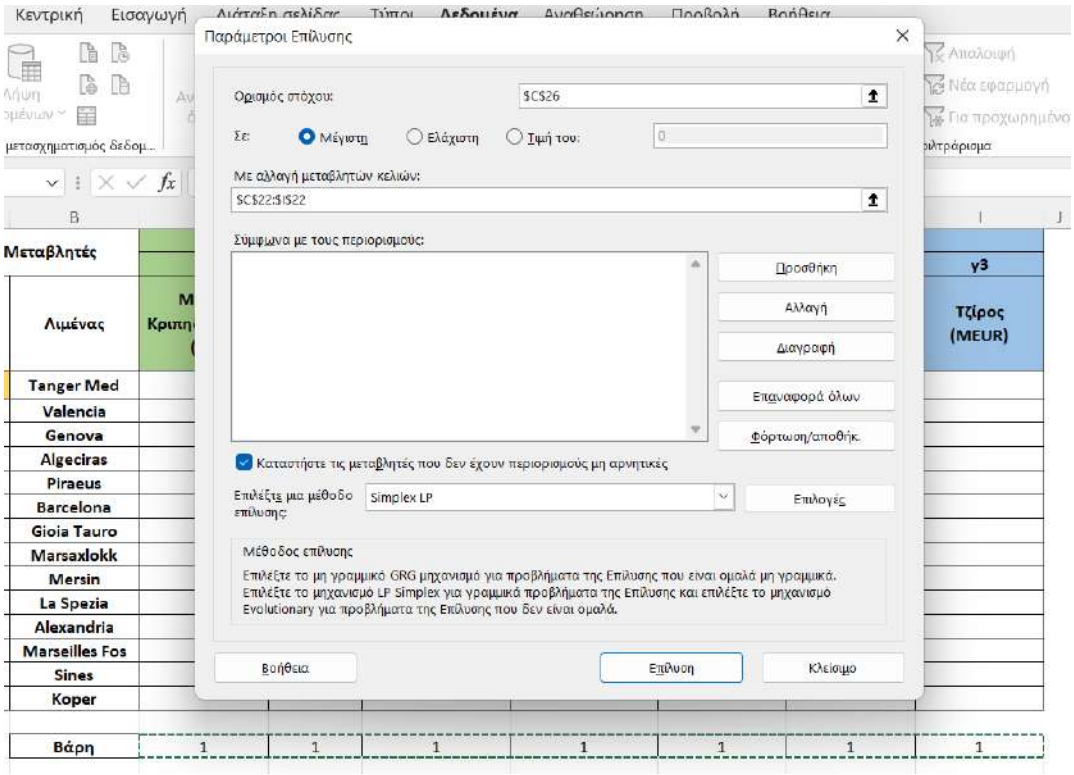
7. Παραρτήματα

7.1 Παράρτημα Α

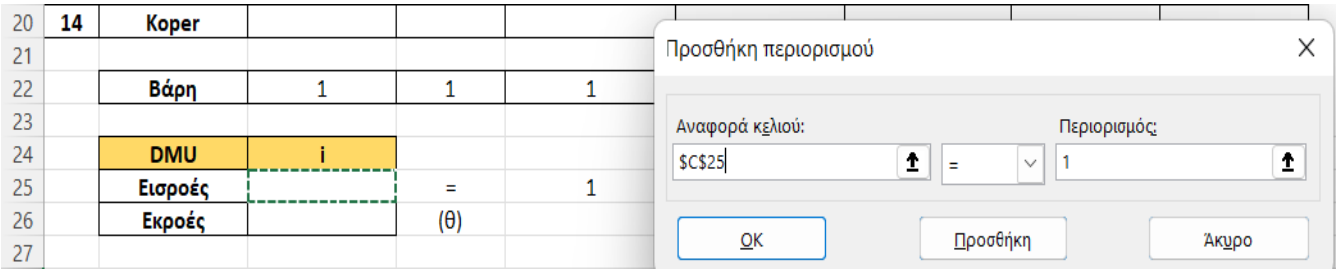
7.1.1 Κατασκευή Μοντέλου DEA-CCR



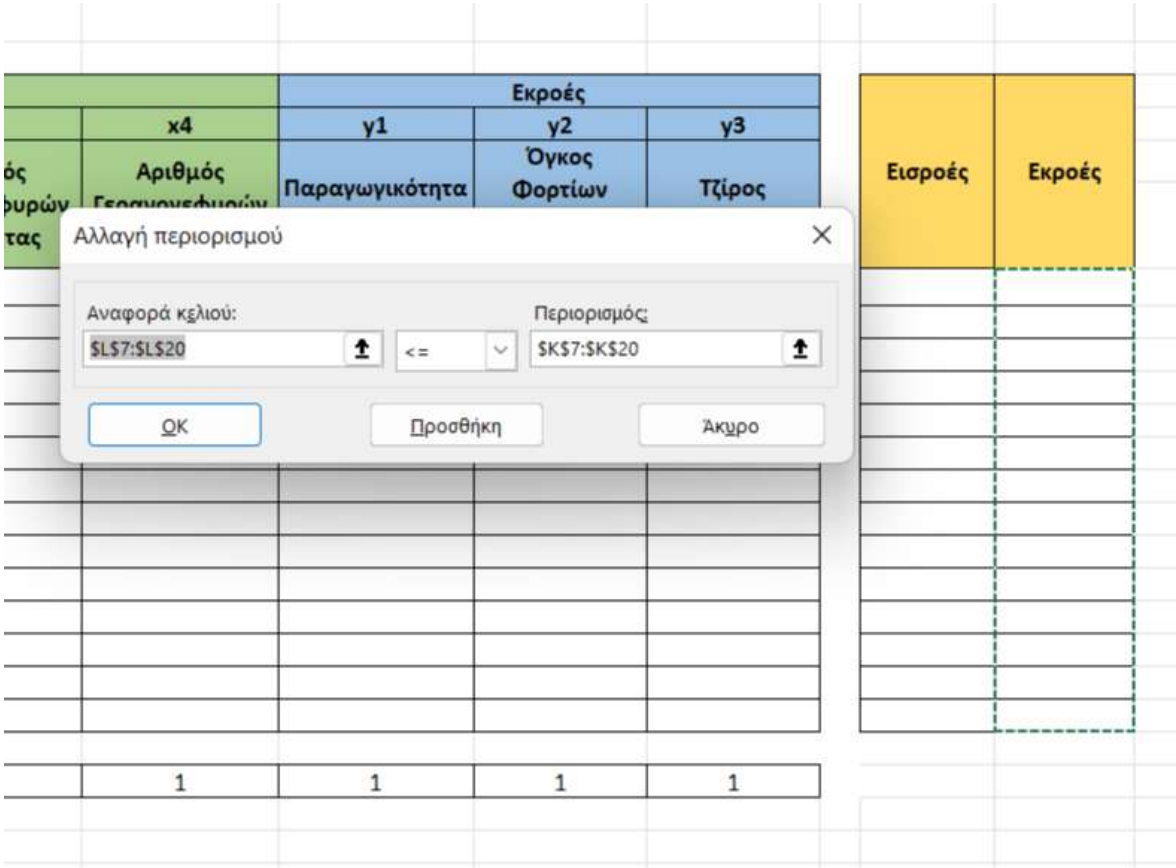
Εικόνα 19. Ορισμός στόχου στις παραμέτρους επίλυσης (DEA-CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)



Εικόνα 20. Υπόδειξη μεταβλητών κελιών στις παραμέτρους επίλυσης (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)



Εικόνα 21. Περιορισμός 1 – DEA (CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)



Εικόνα 22. Περιορισμός 2 – DEA (CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

7.1.2 Κατασκευή Μοντέλου DEA-BCC

D27 =SUMPRODUCT(C6:C19,L6:L19)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		BCC MODEL											
2	Μεταβλητές		Εισροές					Εκροές				λ	
3			x1	x2	x3	x4		y1	y2	y3			
4	α/α	Λιμένας	Μήκος Κριτηδώ ματος	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας		Παραγωγικότητα (Thousand TEU)	Όγκος Φορτίων (Thousand Tonnes)	Τζίρος (MEUR)			
5													
6	1	Tanger Med										0.00	
7	2	Valencia										0.00	
8	3	Genova										0.00	
9	4	Algeciras										0.00	
10	5	Piraeus										0.00	
11	6	Barcelona										0.00	
12	7	Gioia Tauro										0.00	
13	8	Marsaxlokk										0.00	
14	9	Mersin										0.00	
15	10	La Spezia										0.00	
16	11	Alexandria										0.00	
17	12	Marseilles										0.00	
18	13	Sines										0.00	
19	14	Koper										0.00	
20											θ =	1.000	
21											Efficiency=	1.000	
22													
23													
24													
25			DMU (PORT)		i								
26				Sumproducts		BCC							
27			x1	L19)	<=								

Εικόνα 23. Παράδειγμα συμπλήρωσης στήλης "Sumproduct"(-εισροές) – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

F27 =@INDEX(C6:C19,$E$25,1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1		BCC MODEL												
2	Μεταβλητές		Εισροές					Εκροές				λ		
3			x1	x2	x3	x4		y1	y2	y3				
4–5	α/α	Λιμένας	Μήκος Κριτηδώματος	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας		Παραγωγικότητα (Thousand TEU)	Όγκος Φορτίων (Thousand Tonnes)	Τζίρος (MEUR)				
6	1	Tanger Med										0.00		
7	2	Valencia										0.00		
8	3	Genova										0.00		
9	4	Algeciras										0.00		
10	5	Piraeus										0.00		
11	6	Barcelona										0.00		
12	7	Gioia Tauro										0.00		
13	8	Marsaxlokk										0.00		
14	9	Mersin										0.00		
15	10	La Spezia										0.00		
16	11	Alexandria										0.00		
17	12	Marseilles										0.00		
18	13	Sines										0.00		
19	14	Koper										0.00		
20											θ =	1.000		
21											Efficiency=	1.000		
22														
23														
24														
25			DMU (PORT)		i									
26				Sumproducts		BCC								
27			x1		<=	=@INDEX(C6:C19,$E$25,1)								

Εικόνα 24. Παράδειγμα συμπλήρωσης στήλης "BCC" (εισροές) – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

L20 =@INDEX(H6:H19,$E$25,1)*L20

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		BCC MODEL											
2	Μεταβλητές		Εισροές					Εκροές				λ	
3			x1	x2	x3	x4		y1	y2	y3			
4	α/α	Λιμένας	Μήκος Κριτηδώματος	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας		Παραγωγικότητα (Thousand TEU)	Όγκος Φορτίων (Thousand Tonnes)	Τζίρος (MEUR)			
6	1	Tanger Med										0.00	
7	2	Valencia										0.00	
8	3	Genova										0.00	
9	4	Algeciras										0.00	
10	5	Piraeus										0.00	
11	6	Barcelona										0.00	
12	7	Gioia Tauro										0.00	
13	8	Marsaxlokk										0.00	
14	9	Mersin										0.00	
15	10	La Spezia										0.00	
16	11	Alexandria										0.00	
17	12	Marseilles										0.00	
18	13	Sines										0.00	
19	14	Koper										0.00	
20											θ =	1.000	
21											Efficiency=	1.000	
22													
23													
24													
25			DMU (PORT)		i								
26				Sumproducts		BCC							
27			x1		<=								
28			x2		<=								
29			x3		<=								
30			x4		<=								
31			y1		=@INDEX(H6:H19,$E$25,1)*L20								

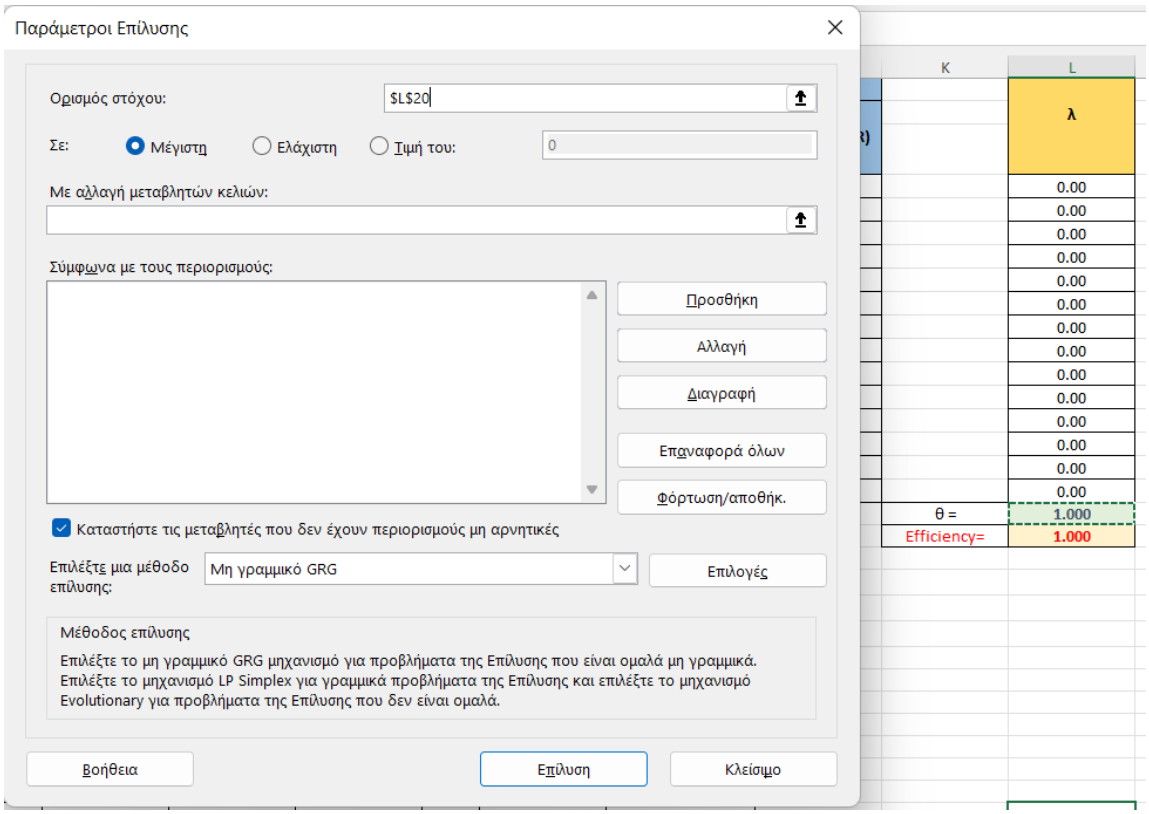
Εικόνα 25. Παράδειγμα συμπλήρωσης στήλης BCC (εκροές) – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

SUM | =SUM(L6:L19)

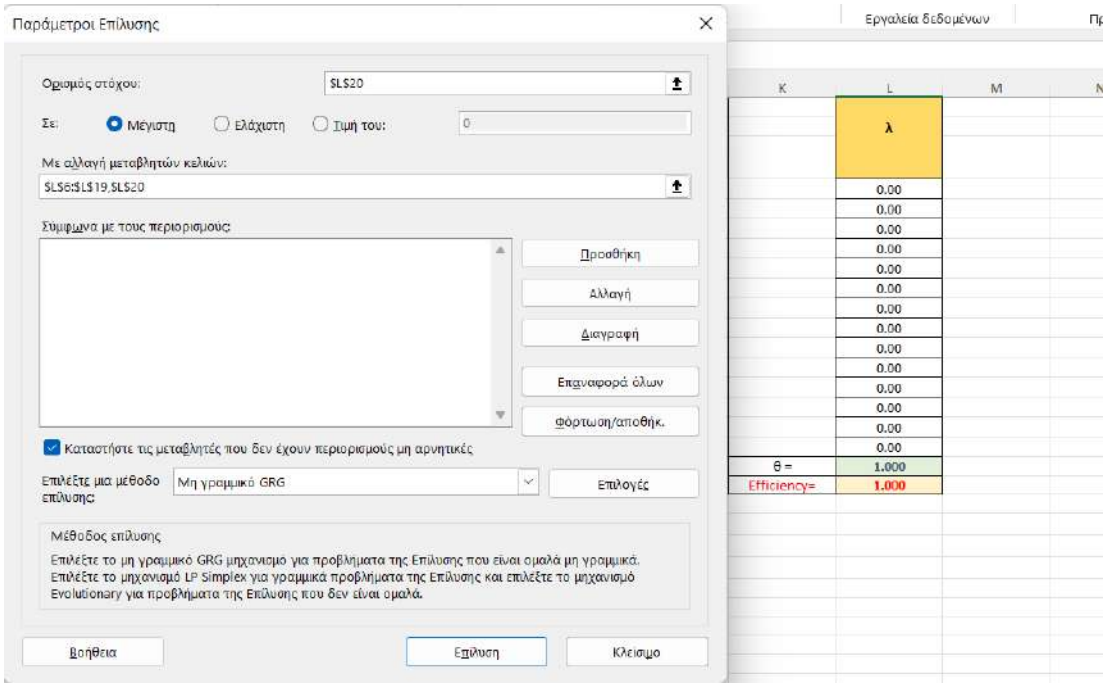
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2	Μεταβλητές		Εισροές					Εκροές				λ	
3			x1	x2	x3	x4		y1	y2	y3			
4–5	α/α	Λιμένας	Μήκος Κριπηδώματος	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας		Παραγωγικότητα (Thousand TEU)	Όγκος Φορτίων (Thousand Tonnes)	Τζίρος (MEUR)			
6	1	Tanger Med										0.00	
7	2	Valencia										0.00	
8	3	Genova										0.00	
9	4	Algeciras										0.00	
10	5	Piraeus										0.00	
11	6	Barcelona										0.00	
12	7	Gioia Tauro										0.00	
13	8	Marsaxlokk										0.00	
14	9	Mersin										0.00	
15	10	La Spezia										0.00	
16	11	Alexandria										0.00	
17	12	Marseilles										0.00	
18	13	Sines										0.00	
19	14	Koper										0.00	
20											θ =	1.000	
21											Efficiency=	1.000	

	C	D	E	F
25	DMU (PORT)		i	
26		Sumproducts		BCC
27	x1		<=	
28	x2		<=	
29	x3		<=	
30	x4		<=	
31	y1		>=	
32	y2		>=	
33	y3		>=	
34	Sum λ	=SUM(L6:L19)	=	

Εικόνα 26. Συμπλήρωση του περιορισμού "λ" – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)



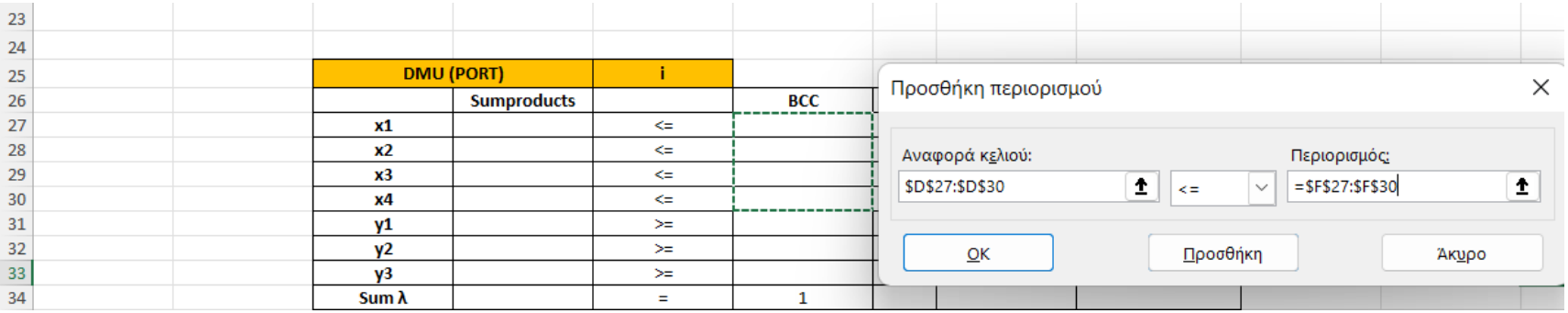
Εικόνα 27. Ορισμός "Στόχου" στο Παράθυρο Παραμέτρων Επίλυσης (DEA-BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)



Εικόνα 28. Επιλογή κελιών μεταβλητών στο παράθυρο Παραμέτρων Επίλυσης – DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

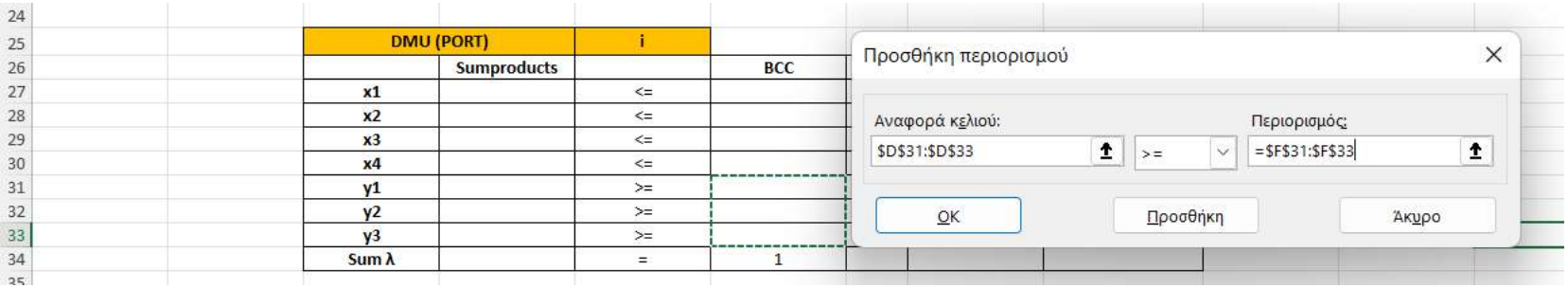
Πιο συγκεκριμένα:

- Περιορισμός μεταβλητών εισροής: Ο περιορισμός αυτός εισάγεται στο πρόγραμμα ως εξής



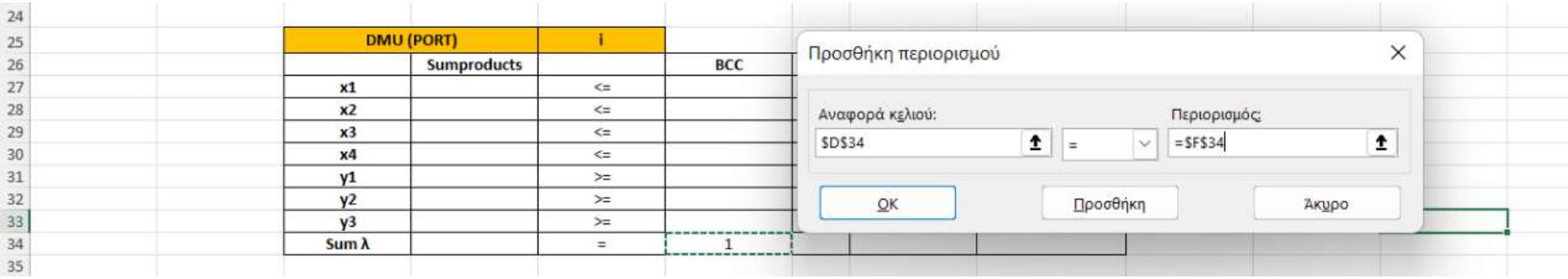
Εικόνα 29. Περιορισμός 1 - DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

- Περιορισμός μεταβλητών εκροής: Ο περιορισμός αυτός εισάγεται στο πρόγραμμα ως εξής:



Εικόνα 30. Περιορισμός 2 - DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

- Περιορισμός ‘’λ”: Ο περιορισμός αυτός εισάγεται στο πρόγραμμα ως εξής:



Εικόνα 31. Περιορισμός 3 - DEA (BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

7.2 Παράρτημα Β

7.2.1 Παράδειγμα επίλυσης λιμένα Πειραιά με το μοντέλο DEA-CCR

Μεταβλητές		Είσοδος				Έξοδος					Αποδοτικότητα
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3			
α/α	Λιμένας	Μήκος Κριπηδώματος (m)	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	Παραγωγικότητα (Χιλιάδες TEUs)	Όγκος Φορτίων (Χιλιάδες τόνοι)	Τζίρος (MEUR)	Εισροές	Εκροές	Εκροές/Εισροές
1	Tanger Med	4,812.00	212.00	39	113	7,173.00	101,055.00	2,175.46	1.57	1.35	0.862
2	Valencia	4,774.00	225.80	43	110	5,588.00	69,131.00	1,346.89	1.61	1.05	0.655
3	Genova	3,394.00	181.20	25	58	2,781.00	48,212.00	409.00	1.21	0.52	0.432
4	Algeciras	3,400.00	102.80	27	91	4,797.00	83,051.00	309.50	0.95	0.90	0.952
5	Piraeus	3,997.00	86.80	37	75	5,312.00	46,951.00	391.83	1.00	1.00	1.000
6	Barcelona	3,015.00	161.00	26	56	3,531.00	53,642.00	151.40	1.08	0.66	0.617
7	Gioia Tauro	3,385.00	160.00	23	0	3,140.00	25,721.00	123.10	1.14	0.59	0.519
8	Marsaxlokk	1,901.00	77.10	20	60	2,970.00	1,906.00	500.80	0.60	0.56	0.937
9	Mersin	2,000.00	68.80	17	64	2,097.00	38,579.00	316.48	0.59	0.39	0.674
10	La Spezia	2,376.00	50.50	15	20	1,376.00	11,486.00	161.90	0.59	0.26	0.438
11	Alexandria	1,571.00	56.90	14	31	1,967.00	64,500.00	2,766.00	0.47	0.37	0.788
12	Marseille	3,760.00	231.00	14	0	1,500.00	71,590.00	162.00	1.44	0.28	0.195
13	Sines	1,140.00	42.00	12	0	1,824.00	32,904.00	575.04	0.34	0.34	1.000
14	Koper	694.50	27.00	11	31	1,000.00	20,821.00	228.40	0.21	0.19	0.880
	Βάρη	0.000176942	0.0033729	0	0	0.000188253	0	0			

DMU	5		
Είσοδος	1.00	=	1
Έξοδος	1.00	(θ)	

Εικόνα 32. Εύρεση αποδοτικότητας λιμένα Πειραιά (DEA-CCR), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Επομένως, με βάση τα παραπάνω, η εξίσωση των εισροών για το παράδειγμα του Πειραιά διαμορφώνεται ως εξής:

$$\sum \boldsymbol{Εισροών} = 0.000177 * 3{,}997.00 + \ 0.003373 * 86.80 + 0.00 * 37.00 + 0.00 * 75.00 = 1.00$$

Εξίσωση (15). Αναλυτική εξίσωση εισροών του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-CCR

$$\sum \boldsymbol{Εκροών} = 0.0001883 * 5{,}312.00 + 0.00 * 46{,}951.00 + 0.00 * 391.83 = 1.00$$

Εξίσωση (16). Αναλυτική εξίσωση εκροών του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-CCR

$$\boldsymbol{Αποδοτικότητα} = \frac{\sum \boldsymbol{Εισροών}}{\sum \boldsymbol{Εκροών}} = \frac{1.00}{1.00} = 1.00$$

Εξίσωση (17). Εξίσωση αποδοτικότητας του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-CCR

Κατά την επίλυση με τη συγκεκριμένη μέθοδο, σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρείται ο μηδενισμός κάποιων βαρών. Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις κατά τις οποίες κρίνεται από τη μέθοδο ότι για τον υπό εξέταση λιμένα-στόχο, κάποια συγκεκριμένη μεταβλητή δε διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή και τον υπολογισμό της αποδοτικότητας.

7.2.2 Παράδειγμα επίλυσης λιμένα Πειραιά με το μοντέλο DEA-BCC

BCC MODEL

Μεταβλητές		Εισροές				Εκροές				λ
		x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3		
α/α	Λιμένας	Μήκος Κριπηδώματος (m)	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	Παραγωγικότητα (Thousand TEU)	Όγκος Φορτίων (Thousand Tonnes)	Τζίρος (MEUR)		
1	Tanger Med	4,812.00	212.00	39	113	7,173.00	101,055.00	2,175.46		0.00
2	Valencia	4,774.00	225.80	43	110	5,588.00	69,131.00	1,346.89		0.00
3	Genova	3,394.00	181.20	25	58	2,781.00	48,212.00	409.00		0.00
4	Algeciras	3,400.00	102.80	27	91	4,797.00	83,051.00	309.50		0.00
5	Piraeus	3,997.00	86.80	37	75	5,312.00	46,951.00	391.83		1.00
6	Barcelona	3,015.00	161.00	26	56	3,531.00	53,642.00	151.40		0.00
7	Gioia Tauro	3,385.00	160.00	23	0	3,140.00	25,721.00	123.10		0.00
8	Marsaxlokk	1,901.00	77.10	20	60	2,970.00	1,906.00	500.80		0.00
9	Mersin	2,000.00	68.80	17	64	2,097.00	38,579.00	316.48		0.00
10	La Spezia	2,376.00	50.50	15	20	1,376.00	11,486.00	161.90		0.00
11	Alexandria	1,571.00	56.90	14	31	1,967.00	64,500.00	2,766.00		0.00
12	Marseille	3,760.00	231.00	14	0	1,500.00	71,590.00	162.00		0.00
13	Sines	1,140.00	42.00	12	0	1,824.00	32,904.00	575.04		0.00
14	Koper	694.50	27.00	11	31	1,000.00	20,821.00	228.40		0.00
									θ =	1.000
									Efficiency=	1.000

DMU (PORT)		5	
	Sumproducts		BCC
x1	3,997.00	<=	3,997.00
x2	86.80	<=	86.80
x3	37.00	<=	37.00
x4	75.00	<=	75.00
y1	5,312.00	>=	5,312.00
y2	46,951.00	>=	46,951.00
y3	391.83	>=	391.83
Sum λ	1.00	=	1.00

Εικόνα 33. Εύρεση αποδοτικότητας λιμένα Πειραιά (DEA-BCC), (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Εδώ το ζητούμενο ''θ'' υπολογίζεται από τη μέθοδο (στην προκειμένη περίπτωση $\theta = 1.00$ και έτσι, η εξίσωση της αποδοτικότητας διαμορφώνεται ως εξής:

$$\boldsymbol{Αποδοτικότητα} = \frac{1.00}{\theta} = \frac{1.00}{1.00} = 1.00$$

Εξίσωση (18). Εξίσωση αποδοτικότητας του λιμένα Πειραιά, με βάση την επίλυση με το μοντέλο DEA-BCC