ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική εργασία

«Εκτίμηση της αποδοτικότητας λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων μέσω Ανάλυσης Στοχαστικού Συνόρου: Διερεύνηση της επίδρασης της αυτοματοποίησης και της σιδηροδρομικής σύνδεσης»

Σπυρίδων Σπίνος Κλόγκερης

Επιβλέπουσα: Τατιάνα Π. Μοσχόβου - ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2026

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION PLANNING AND ENGINEERING

Diploma Thesis

« Estimation of container port efficiency using Stochastic Frontier Analysis: Investigating the impact of automation and rail connectivity »

Spyridon Spinos Klogkeris

Supervisor: Tatiana P. Moschovou

Athens, July 2026

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική εργασία και τις σπουδές μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου από το ξεκίνημα, αλλά και εκείνους που ενίσχυσαν τη προσπάθειά μου στην πορεία.

Ευχαριστώ θερμά την κ. Τατιάνα Μοσχόβου - ΕΔΙΠ ΕΜΠ που με καθοδήγησε με συνέπεια, σαφήνεια και επαγγελματισμό στο να συγγράψω τη διπλωματική μου εργασία και να γνωρίσω σε βάθος το αντικείμενο των Συνδυασμένων Μεταφορών. Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Γιαννή και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Γκιοτσαλίτη, για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην επιτροπή, καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν στην αξιολόγηση της εργασίας μου.

Ευχαριστώ την οικογένεια μου · τον πατέρα μου Θοδωρή που μου μετέδωσε την αγάπη για το διάβασμα, τη μητέρα μου Σοφία που με έμαθε να μην τα παρατάω ποτέ, την αδερφή μου και συγκάτοικο Διονυσία που με μύησε στο να αναζητώ την ποιότητα και την αγαπημένη-θεία Κατερίνα που με δίδαξε να βρίσκομαι στη πρώτη γραμμή και στην αιχμή της τεχνολογίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου για την συντροφιά και που δεν έπαψαν να πιστεύουν σε εμένα. Οι φίλοι μου από την Ζάκυνθο έδιναν πάντα μια ζεστή νότα στην καθημερινότητά μου, θυμίζοντάς μου παράλληλα τα όνειρα που κάναμε ερχόμενοι στην Αθήνα για σπουδές. Οι νέοι φίλοι-συμφοιτητές που γνώρισα στην Αθήνα στάθηκαν δίπλα μου με γενναιοδωρία και αλληλεγγύη κάνοντας τις απαιτητικές περιόδους των σπουδών ευκολότερα διαχειρίσιμες.

Τίτλος: «Εκτίμηση της αποδοτικότητας λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων μέσω Ανάλυσης Στοχαστικού Συνόρου: Διερεύνηση της επίδρασης της αυτοματοποίησης και της σιδηροδρομικής σύνδεσης»

Συγγραφέας Διπλωματικής Εργασίας: Σπυρίδων Σπίνος Κλόγκερης

Επιβλέπουσα: Τατιάνα Π. Μοσχόβου

Σύνοψη

Η αυξανόμενη ανάγκη για βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας στους λιμένες διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων έχει στρέψει το ενδιαφέρον της λιμενικής βιομηχανίας στην αναζήτηση προηγμένων οικονομετρικών εργαλείων. Οι σύγχρονοι λιμένες λειτουργούν σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, όπου η βέλτιστη αξιοποίηση των υποδομών, του εξοπλισμού και της σύνδεσης με την ενδοχώρα καθίστανται κρίσιμες παράμετροι βιωσιμότητας. Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην εκτίμηση της τεχνικής αποδοτικότητας ενός δείγματος 42 λιμένων της Μεσογείου και της Ευρώπης για το έτος 2024, καθώς και στη διερεύνηση της επίδρασης της αυτοματοποίησης και της σιδηροδρομικής σύνδεσης στις επιδόσεις αυτές.

Η μεθοδολογική προσέγγιση διαρθρώνεται σε δύο διακριτά στάδια. Σε αρχικό στάδιο, εφαρμόζεται η Ανάλυση Στοχαστικού Συνόρου (Stochastic Frontier Analysis - SFA) με δύο εναλλακτικά μοντέλα (Μοντέλο Μήκους και Μοντέλο Έκτασης) για την αντιμετώπιση της πολυσυγγραμμικότητας, ενσωματώνοντας τη σιδηροδρομική σύνδεση στον όρο της αναποτελεσματικότητας. Σε δεύτερο στάδιο, οι τιμές της αποδοτικότητας αναλύονται μέσω Παλινδρόμησης με Αποκοπή (Truncated Regression) στη μονάδα, με σκοπό να αποτιμηθεί η επίδραση του επιπέδου αυτοματοποίησης, της περιοχής και του μέσου φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου (TEUs per Call).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι γερανογέφυρες προβλήτας (STS) και η χερσαία έκταση αποτελούν τους πλέον κρίσιμους παράγοντες παραγωγικότητας, με τους λιμένες να παρουσιάζουν μεγαλύτερα περιθώρια βελτίωσης στην οργάνωση των χερσαίων εκτάσεών τους. Επιπλέον, διαπιστώνεται ότι το επίπεδο αυτοματοποίησης και η περιοχή δεν ασκούν στατιστικά σημαντική επίδραση. Αντίθετα, η μεταβλητή TEUs per Call αναδεικνύεται σε σημαντικό λειτουργικό παράγοντα, επιβεβαιώνοντας ότι η εκμετάλλευση οικονομιών κλίμακας ενισχύει την αποδοτικότητα αξιοποίησης των υποδομών, ενώ η συνολική λιμενική αποδοτικότητα διατηρεί έναν έντονα ιδιοσυγκρασιακό χαρακτήρα.

Λέξεις-κλειδιά: Εμπορευματοκιβώτια, Εμπορικοί Λιμένες, Σιδηροδρομική Σύνδεση, Αυτοματοποίηση, Απόδοση, Αποδοτικότητα, Αποτελεσματικότητα, μοντέλο SFA, μοντέλο Truncated Regression

Title: «**Estimation of container port efficiency using Stochastic Frontier Analysis: Investigating the impact of automation and rail connectivity**»

Thesis Author: Spyridon Spinos Klogkeris

Supervisor: Tatiana P. Moschovou

Abstract

The growing need for efficiency optimization in container ports has shifted the port industry's focus toward advanced econometric tools. Modern ports operate in a highly competitive environment, where the optimal utilization of infrastructure, equipment, and hinterland connectivity become critical sustainability parameters. This diploma thesis aims to estimate the technical efficiency of a sample of 42 Mediterranean and European container ports for the year 2024, while investigating the impact of automation and railway connectivity on these performance scores.

The methodological approach is structured into two distinct stages. In the first stage, Stochastic Frontier Analysis (SFA) is applied using two alternative specifications (the Length Model and the Area Model) to address multicollinearity, integrating railway connectivity into the inefficiency component. In the second stage, the resulting efficiency scores are analyzed via Truncated Regression with a right-truncation at one, to assess the impact of automation levels, geographical regions, and cargo intensity per vessel call (TEUs per Call).

The results indicate that ship-to-shore (STS) quay cranes and land area constitute the most critical productivity drivers, with ports exhibiting greater room for improvement in the organization of their container yards. Furthermore, it is found that automation levels and regional location do not exert a statistically significant effect. Conversely, the TEUs per Call variable emerges as a significant operational driver, confirming that leveraging economies of scale enhances the efficiency of yard infrastructure utilization, while overall port efficiency maintains a highly idiosyncratic character.

Key words: Containers, Container Port, Railway Connection, Automation, Performance, Efficiency, Effectiveness, SFA Model, Truncated Regression Model

Περίληψη

Οι ευρωπαϊκοί και μεσογειακοί λιμένες διαδραματίζουν καθοριστικό στρατηγικό ρόλο στο παγκόσμιο εμπορικό στερέωμα, αποτελώντας τη φυσική και λειτουργική γέφυρα σύνδεσης μεταξύ Ασίας, Ευρώπης και Αφρικής. Στη σύγχρονη εποχή των πλοίων μαζικής μεταφοράς (mega-carriers), οι παραδοσιακές δομές των λιμένων έχουν αναδιαμορφωθεί ριζικά. Από απλές εθνικές πύλες εισόδου αγαθών έχουν μετεξελιχθεί σε διεθνείς διαμετακομιστικούς κόμβους (transshipment hubs) και "έξυπνα" κέντρα εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ραγδαία υιοθέτηση των τεχνολογιών εμπορευματοκιβωτίων και των πολυτροπικών μεταφορών επέφερε τη μετάβαση από ένα προηγουμένως μονοπωλιακό καθεστώς σε ένα περιβάλλον οξύτατου ανταγωνισμού. Ο ανταγωνισμός αυτός δεν εντοπίζεται μόνο μεταξύ γειτονικών τερματικών σταθμών, αλλά αντανακλά τη διαρκή λειτουργική αντιπαράθεση ανάμεσα στο αναπτυσσόμενο λιμενικό σύστημα της Μεσογείου και στους παραδοσιακούς λιμενικούς γίγαντες της Βόρειας Ευρώπης (Northern Range).Τα λιμάνια δεν μπορούν πλέον να θεωρούν δεδομένη τη διακίνηση φορτίων από τη γεωγραφική τους ενδοχώρα, καθώς οι περιοχές επιρροής τους επικαλύπτονται διαρκώς. Στο πλαίσιο αυτό, η διοίκηση των λιμένων, οι επενδυτές και οι δημόσιοι φορείς στρέφουν το ενδιαφέρον τους στη μέτρηση και βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας (efficiency), η οποία ορίζεται ως η ικανότητα επίτευξης της μέγιστης εκροής με τη λιγότερη δυνατή σπατάλη πόρων («doing things right»), διαφοροποιούμενη από την αποτελεσματικότητα (effectiveness) που αφορά την επίτευξη των ορθών στρατηγικών στόχων («doing the right things»).

Κεντρικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ποσοτική εκτίμηση της τεχνικής αποδοτικότητας ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος 42 εμπορευματικών λιμένων (εστιάζοντας στη Μεσόγειο και σε μεγάλους ευρωπαϊκούς κόμβους αναφοράς) με χρήση των πιο πρόσφατων δεδομένων. Η έρευνα εξειδικεύεται μέσω των εξής επιμέρους στόχων:

● Αναγνώριση Κρίσιμων Παραγόντων: Προσδιορισμός του βαθμού επίδρασης των βασικών υποδομών (μήκος κρηπιδώματος, έκταση terminal, εξοπλισμός STS και RTG/RMG) αλλά και των συνολικών προσεγγίσεων πλοίων στη μεγιστοποίηση της διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (TEUs).

● Αξιολόγηση της Διατροπικότητας: Διερεύνηση του κατά πόσο η πρόσβαση στο σιδηροδρομικό δίκτυο της ενδοχώρας συμβάλλει στη μείωση της τεχνικής αναποτελεσματικότητας των λιμενικών σταθμών.

● Συγκριτική Αξιολόγηση (Benchmarking): Εντοπισμός των λιμένων που λειτουργούν ως πρότυπα βέλτιστης πρακτικής επί του παραγωγικού συνόρου και εκείνων που παρουσιάζουν υστέρηση.

● Αποτίμηση Λειτουργικών και Θεσμικών Παραγόντων: Έλεγχος της επίδρασης του επιπέδου αυτοματοποίησης, της γεωγραφικής περιφέρειας, καθώς και του Μέσου

φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου (TEUs per Call) στη διαμόρφωση των επιδόσεων των λιμένων σε ένα δεύτερο στάδιο ανάλυσης.

Η μέτρηση της αποδοτικότητας λιμένων αποτελεί διαχρονικά ένα πολυδιάστατο πεδίο. Μέσω της εξαντλητικής ανασκόπησης των προτύπων διεθνών οργανισμών (UNCTAD 1976, 2016, 2023) και ευρωπαϊκών προγραμμάτων (Docks The Future 2020), καταγράφηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν 151 Βασικοί Δείκτες Απόδοσης (KPIs). Η κατανομή τους αναδεικνύει την παραδοσιακή έμφαση στην «Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα» (31,79%), αλλά και τη σύγχρονη στροφή προς το «Περιβάλλον & Ενέργεια» (15,89%), την «Εταιρική Διακυβέρνηση» (11,92%) και την «Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια» (7,95%).

Όσον αφορά τις μεθοδολογίες μαθηματικής αποτίμησης, η βιβλιογραφία κυριαρχείται από τη μη-παραμετρική μέθοδο της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA). Η DEA παρουσιάζει το πλεονέκτημα της διαχείρισης πολλαπλών εισροών-εκροών χωρίς την ανάγκη ορισμού συναρτησιακής μορφής, ωστόσο χαρακτηρίζεται από αδυναμία ενσωμάτωσης του στατιστικού θορύβου, με αποτέλεσμα κάθε τυχαία απόκλιση ή ακραία τιμή (outlier) να μεταφράζεται εσφαλμένα ως αναποτελεσματικότητα. Αντίθετα, η Ανάλυση Στοχαστικού Συνόρου (SFA), αν και απαιτεί τον αυστηρό προκαθορισμό μιας συνάρτησης παραγωγής, εισάγει ένα σύνθετο σφάλμα (composed error term) που διαχωρίζει επιτυχώς τον εξωγενή τυχαίο θόρυβο από την πραγματική εσωτερική αναποτελεσματικότητα.

Για τις ανάγκες της εμπειρικής ανάλυσης συγκεντρώθηκαν πρωτογενή και δευτερογενή δεδομένα για 42 λιμένες, χρησιμοποιώντας πηγές όπως η Eurostat, η Lloyd's List, ετήσιες εκθέσεις λιμενικών αρχών και δορυφορικές απεικονίσεις.

Λόγω του φαινομένου της έντονης πολυσυγγραμμικότητας (multicollinearity) που επαληθεύτηκε μέσω του πίνακα συσχετίσεων Pearson (όπου οι συσχετίσεις μεταξύ ορισμένων εισροών υποδομής ξεπερνούσαν το 0,90), η ταυτόχρονη εισαγωγή όλων των μεταβλητών σε ένα ενιαίο μοντέλο OLS ή SFA θα οδηγούσε σε ασταθείς και αναξιόπιστες εκτιμήσεις. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, η μεθοδολογία SFA Cobb-Douglas λογαριθμικής-γραμμικής (log-linear) μορφής εξειδικεύτηκε σε δύο ξεχωριστά μοντέλα:

- Μοντέλο 1 (Προσανατολισμένο στο Μήκος Κρηπιδώματος):

$$\log(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 \log(X_{1i}) + \beta_3 \log(X_{3i}) + \beta_4 \log(X_{4i} + 1) + \beta_5 \log(X_{5i}) + v_i - u_i$$

- Μοντέλο 2 (Προσανατολισμένο στην Έκταση):

$$\log(Y_i) = \beta_0 + \beta_2 \log(X_{2i}) + \beta_3 \log(X_{3i}) + \beta_4 \log(X_{4i} + 1) + \beta_5 \log(X_{5i}) + v_i - u_i$$

Όπου ο όρος u_i αντιπροσωπεύει την τεχνική αναποτελεσματικότητα (Technical Inefficiency component), η οποία ακολουθεί τη δομή του υποδείγματος Battese & Coelli (1995) και επηρεάζεται στο επίπεδο του στοχαστικού ορίου από την επεξηγηματική μεταβλητή Z (σιδηροδρομική σύνδεση - Rail).

Στο δεύτερο στάδιο, οι βαθμολογίες αποδοτικότητας (SFA Efficiencies) που προέκυψαν από τα δύο μοντέλα αναλύονται ανεξάρτητα μέσω Παλινδρόμησης με Δεξιά Αποκοπή (Truncated Regression) στο ανώτατο όριο 1 (100%), με τη χρήση των επεξηγηματικών μεταβλητών της Αυτοματοποίησης (Auto) και της Γεωγραφικής Περιφέρειας (Region).

Η οικονομετρική εκτίμηση μέσω του πακέτου "frontier" στην R απέδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα. Και στα δύο υποδείγματα, ο εξοπλισμός των γερανογεφυρών προβλήτας ($\log(X_{3i})$) αναδείχθηκε σε σημαντικό παράγοντα παραγωγικής λειτουργίας, εμφανίζοντας πολύ υψηλούς και στατιστικά σημαντικούς συντελεστές ελαστικότητας: 1,007 στο Μοντέλο Μήκους ($p < 0.001$) και 0,866 στο Μοντέλο Έκτασης ($p < 0.001$). Αυτό επιβεβαιώνει ότι μια αύξηση των γερανογεφυρών προβλήτας κατά 1% επιφέρει σχεδόν αναλογική αύξηση στη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων (TEUs).

Η μεταβλητή των συνολικών προσεγγίσεων ($\log(X_{5i})$) παρουσίασε επίσης θετική και οριακά σημαντική επίδραση (σε επίπεδο σημαντικότητας 10%) και στα δύο μοντέλα, με ελαστικότητες 0,199 ($p = 0.0533$) και 0,181 ($p = 0.0772$) αντίστοιχα, γεγονός που αποδεικνύει ότι η ναυτιλιακή ζήτηση επηρεάζει άμεσα τα επίπεδα εκροής των λιμένων.

Αναφορικά με τις κύριες υποδομές, η χερσαία έκταση του τερματικού σταθμού ($\log(X_{2i})$) παρουσίασε στατιστικά σημαντική θετική ελαστικότητα 0,114 ($p = 0.0466 < 0.05$), υπογραμμίζοντας ότι η αύξηση των αποθηκευτικών χώρων ενισχύει τη αποδοτικότητα. Αντίθετα, το μήκος κρηπιδώματος ($\log(X_{1i})$) δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντικό ($p = 0.721$).

Στο επίπεδο της αναποτελεσματικότητας, η παράμετρος γ (gamma) εκτιμήθηκε στο 0,917 στο Μοντέλο Μήκους και στο 0,878 στο Μοντέλο Έκτασης, υποδεικνύοντας ότι το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής διακύμανσης των καταλοίπων οφείλεται στην τεχνική αναποτελεσματικότητα. Ωστόσο, η περιβαλλοντική μεταβλητή του σιδηροδρόμου (Z_{Rail}) δεν κατέγραψε στατιστικά σημαντική γραμμική επίδραση στη διαμόρφωση της αναποτελεσματικότητας ($p > 0.10$).

Ο Έλεγχος Λόγου Πιθανοφανειών (LR Test) για τη σημαντικότητα της μεταβλητής Rail έναντι του απλού μοντέλου απέδωσε στατιστική τιμή 1,625 ($p = 0.2023$), υποδηλώνοντας ότι η επίδραση του σιδηροδρόμου δεν είναι γραμμικά ομοιόμορφη για το σύνολο του δείγματος.

Οι δείκτες τεχνικής αποδοτικότητας κατέγραψαν μέση τιμή 92,89% για το Μοντέλο Μήκους και 83,57% για το Μοντέλο Έκτασης, οι οποίες θεωρούνται αναμενόμενες

αφού οι λιμένες που εξετάστηκαν συγκαταλάγονται στους σημαντικότερους και ανεπτυγμένους της Ευρώπης και της Μεσογείου. Η απόκλιση αυτή αναδεικνύει ότι οι 42 λιμένες του δείγματος διαχειρίζονται με μεγαλύτερη αποδοτικότητα το μήκος των κρηπιδωμάτων τους, ενώ παρουσιάζουν σημαντικότερα περιθώρια βελτίωσης και ανάγκη ανακατανομής πόρων στην οργάνωση των χερσαίων εκτάσεών τους.

Στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης (Truncated Regression), εξετάστηκε η επίδραση της Αυτοματοποίησης (Auto), της Γεωγραφικής Περιφέρειας (Region) και του Μέσου φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου (TEUs per Call) πάνω στους δείκτες αποδοτικότητας. Αν και η μεταβλητή της αυτοματοποίησης κατέγραψε θετικούς συντελεστές (+0,120 για το μοντέλο μήκους και +0,049 για το μοντέλο έκτασης), υποδηλώνοντας μια θετική τάση των τεχνολογικών επενδύσεων προς τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης, καμία από τις δύο μεταβλητές (Auto και Region) δεν πέτυχε στατιστική σημαντικότητα ($p > 0.10$). Αυτό σημαίνει, ότι για το συγκεκριμένο δείγμα λιμένων, η αποδοτικότητα φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε τερματικού σταθμού παρά από το επίπεδο αυτοματοποίησης ή τη γεωγραφική περιοχή στην οποία ανήκουν. Αντίθετα, η λειτουργική μεταβλητή Μέσου φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου (TEUs per Call) κατέγραψε θετικό συντελεστή και στα δύο υποδείγματα, ενώ στο μοντέλο προσανατολισμού στη Χερσαία Έκταση αναδείχθηκε στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 10% ($+5{,}05 \cdot 10^{-6}$ με $p = 0{,}0868$). Το εύρημα αυτό καταδεικνύει ότι η ικανότητα ενός τερματικού σταθμού να συγκεντρώνει και να διαχειρίζεται μεγαλύτερο όγκο φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα που βελτιώνει στατιστικά την αποδοτικότητα αξιοποίησης των χερσαίων υποδομών του. Η μη σημαντικότητα στις υπόλοιπες μεταβλητές επιβεβαιώνει ότι η αποδοτικότητα στο συγκεκριμένο δείγμα των 42 λιμένων έχει έντονα ιδιοσυγκρασιακό χαρακτήρα και εξαρτάται από εξειδικευμένους λειτουργικούς παράγοντες και διαχειριστικές πρακτικές.

Η παρούσα εργασία υπογραμμίζει ότι η αύξηση του μήκους των κρηπιδωμάτων από μόνη της δεν συνδέεται με στατιστικά σημαντική αύξηση της διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων αλλά θα μπορούσε να συνοδεύεται από στοχευμένες επενδύσεις σε εξειδικευμένο εξοπλισμό (STS γερανογέφυρες) και ορθολογική οργάνωση της χερσαίας ζώνης.

Ως βασικοί περιορισμοί της εργασίας αφορά τη διερεύνηση (cross-sectional) για ένα μόνο έτος και το περιορισμένο μέγεθος του δείγματος (N=42) για την εκτίμηση Μέγιστης Πιθανοφάνειας (MLE).

Για τη μελλοντική επέκταση της επιστημονικής γνώσης προτείνονται:

1. Χρήση Δεδομένων Πάνελ (Panel Data): Εξέταση των λιμένων σε βάθος χρόνου (π.χ. δεκαετία) για την ασφαλέστερη αποτύπωση της διαχρονικής δυναμικής των επενδύσεων.

2. Συνδυαστική Εφαρμογή DEA-SFA: Παράλληλη χρήση της Μη Παραμετρικής Μεθόδου DEA, η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη εισαγωγή πολλαπλών εκροών (π.χ. TEUs και Ship Calls μαζί ως outputs) χωρίς τους περιορισμούς της πολυσυγγραμμικότητας.

3. Ενσωμάτωση περιβαλλοντικών και ψηφιακών μεταβλητών: Εισαγωγή περιβαλλοντικών μεταβλητών (όπως το αποτύπωμα άνθρακα) ως ανεπιθύμητων εκροών (undesirable outputs), καθώς και δεικτών ψηφιακής ωριμότητας, εναρμονίζοντας τα οικονομετρικά μοντέλα με τις σύγχρονες επιτάσσεις της έξυπνης και πράσινης ναυτιλίας.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή 17

1.1 Γενικά στοιχεία 17

1.2 Οι έννοιες της απόδοσης (performance), της αποδοτικότητας (efficiency) και της αποτελεσματικότητας (effectiveness) 19

1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας 20

1.4 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας 21

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση 23

2.1 Εισαγωγή 23

2.2 Οι δείκτες KPI για εκτίμηση της απόδοσης 23

2.3 Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (DEA) για εκτίμηση της αποδοτικότητας 28

2.4 Η Ανάλυση Στοχαστικού Συνόρου (SFA) για εκτίμηση της αποδοτικότητας 33

2.5 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας 33

3 Μεθοδολογική προσέγγιση 35

3.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας 35

3.2 Θεωρητικό Υπόβαθρο 36

3.2.1 Μοντέλο Στοχαστικής Ανάλυσης Συνόρου (SFA) 36

3.2.2 Μοντέλο Παλινδρόμησης με Αποκοπή (Truncated Regression) με Δεξιά Αποκοπή στο 1 42

4 Ανάλυση και αποτελέσματα 46

4.1 Ανάπτυξη μοντέλων SFA 46

4.1.1 Επιλογή μεταβλητών και συλλογή δεδομένων 46

4.2 Ανάπτυξη μοντέλων Παλινδρόμησης Truncated Regression 56

4.2.1 Ορισμός Μεταβλητών του Υποδείγματος 56

4.2.2 Μαθηματική Διατύπωση 57

4.3 Αποτελέσματα 58

4.3.1 Αποτελέσματα Πρώτου Σταδίου (Stochastic Frontier Analysis) 58

4.3.2 Αποτελέσματα Δευτέρου Σταδίου (Truncated Regression) 62

4.3.3 Συγκριτική Αξιολόγηση και Ομαδοποίηση Λιμένων (Benchmarking) .. 64

4.3.4 Οικονομική Ερμηνεία του Πίνακα Αποδοτικότητας – Ζήτησης 66

5 Συμπεράσματα και προτάσεις 68

5.1 Γενικά 68
5.2 Βασικά συμπεράσματα 68
5.3 Περιορισμοί της Έρευνας 69
5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα 70
6 Βιβλιογραφία 71
7 Παραρτήματα 74

Ευρετήριο εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1: Κατηγοριοποίηση δεικτών απόδοσης

ΕΙΚΟΝΑ 2: Διάγραμμα Αποδοτικότητας vs. Ζήτησης

Ευρετήριο πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : Κατηγοριοποίηση Δεικτών Απόδοσης

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : Εξεταζόμενοι Λιμένες

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Βάση Δεδομένων

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : Περιγραφική Στατιστική Μεταβλητών Δείγματος

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Πίνακας Συσχετίσεων Μεταβλητών

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 : Εκτιμήσεις SFA για το Μοντέλο 1 (Προσανατολισμένο στο Μήκος Κρηπιδώματος)

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 : Εκτιμήσεις SFA για το Μοντέλο 2 (Προσανατολισμένο στην Έκταση)

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Επεξήγηση των Συμβολισμών (Κλίμακα Σημαντικότητας)

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Αποτελέσματα Truncated Regression

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 : Αποδοτικότητες 42 λιμένων

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Ομαδοποίηση Λιμένων

ΠΙΝΑΚΑΣ 12 : Δείκτες Απόδοσης Λιμένων (KPIs)

Ευρετήριο Εξισώσεων

ΕΞΙΣΩΣΗ 1: Γενική Μαθηματική Μορφή Συνάρτησης Παραγωγής

ΕΞΙΣΩΣΗ 2: Στοχαστική Συνάρτηση Παραγωγής με λογαριθμο-γραμμική Cobb-Douglas μορφή

ΕΞΙΣΩΣΗ 3: Κλασσική Συνάρτηση Παραγωγής Cobb-Douglas

ΕΞΙΣΩΣΗ 4: Λογαριθμο-γραμμική συνάρτηση παραγωγής Stochastic Frontier Cobb-Douglas

ΕΞΙΣΩΣΗ 5 : Σύνθετος όρος σφάλματος SFA

ΕΞΙΣΩΣΗ 6 : Δείκτης Διακύμανσης Αναποτελεσματικότητας

ΕΞΙΣΩΣΗ 7: Δείκτης Τεχνικής Αποδοτικότητας

ΕΞΙΣΩΣΗ 8: Εκτιμητής JLMS για την τεχνική αποδοτικότητα

ΕΞΙΣΩΣΗ 9: Συνάρτηση Λανθάνουσας Αποδοτικότητας Λιμένων

ΕΞΙΣΩΣΗ 10: Συνθήκη δεξιάς αποκοπή στο 1

ΕΞΙΣΩΣΗ 11: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας με δεξιά αποκοπή στο 1

ΕΞΙΣΩΣΗ 12: Συνάρτηση Λογαριθμικής Πιθανοφάνειας για δεξιά αποκοπή

ΕΞΙΣΩΣΗ 13: Συνάρτηση Δεσμευμένης Αναμενόμενης Τιμής Υποδείγματος Αποκοπής

ΕΞΙΣΩΣΗ 14: Οριακή επίδραση μεταβλητών στο μοντέλο αποκοπής

ΕΞΙΣΩΣΗ 15: Συνάρτηση Παραγωγής Λιμενικής Αποδοτικότητας (Μοντέλο Μήκους Κρηπιδωμάτων)

ΕΞΙΣΩΣΗ 16: Συνάρτηση Παραγωγής Λιμενικής Αποδοτικότητας (Μοντέλο Έκτασης)

ΕΞΙΣΩΣΗ 17: Γραμμικό Μοντέλο Αποκοπής για το Μοντέλο Μήκους Κρηπιδώματος

ΕΞΙΣΩΣΗ 18: Γραμμικό Μοντέλο Αποκοπής για το Μοντέλο Χερσαίας Έκτασης

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία

Οι ευρωπαϊκοί λιμένες, με ιδιαίτερη έμφαση στο δυναμικό περιβάλλον της Μεσογείου, διαδραματίζουν καθοριστικό, στρατηγικό ρόλο στο διεθνές εμπόριο. Το ευρωπαϊκό λιμενικό σύστημα χαρακτηρίζεται πλέον από μια διπολική δομή: από τη μία πλευρά κυριαρχούν οι καθιερωμένοι λιμένες του Βορρά (όπως το Ρότερνταμ και η Αμβέρσα) που εξυπηρετούν την οικονομική καρδιά της ηπείρου, και από την άλλη, οι λιμένες της Μεσογείου, οι οποίοι αποτελούν το ιστορικό και σύγχρονο σημείο σύνδεσης μεταξύ Ασίας, Ευρώπης και Αφρικής. Στην εποχή των μεγάλων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (mega-carriers), οι λιμένες αυτοί έχουν μετεξελιχθεί από απλές εθνικές πύλες σε κρίσιμους κόμβους (hubs) και δίκτυα μεταφόρτωσης που αναδιαμορφώνουν τον εμπορικό χάρτη, εξυπηρετώντας ανάγκες περιοχών που βρίσκονται ακόμη και μακριά από την κύρια διαδρομή Σουέζ-Γιβραλτάρ. Η σημασία τους υπογραμμίζεται από το γεγονός ότι περισσότεροι από 250 εκατομμύρια καταναλωτές ζουν σε απόσταση μικρότερη των 150 χλμ. από την ακτογραμμή της Μεσογείου, προσφέροντας μια τεράστια και διαρκώς αυξανόμενη εμπορική δυναμική. Επιπλέον, καθώς η Μεσόγειος γίνεται ένας ολοένα και πιο ενοποιημένος και «χωρίς σύνορα» χώρος, οι λιμένες της καλούνται να λειτουργήσουν ως «έξυπνα» διεθνή σημεία εφοδιαστικής, προσφέροντας υψηλή συνδεσιμότητα με την ενδοχώρα και προηγμένες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας για να παραμείνουν ανταγωνιστικοί έναντι των λιμένων της Βόρειας Ευρώπης (Schinas, 2001).

Ένας λιμένας είναι ένας τόπος μεταφοράς φορτίου ή/και επιβατών μεταξύ υδάτινων οδών και ακτών. Εναλλακτικά, αποτελεί έναν διατροπικό κόμβο (intermodal node) στο δίκτυο μεταφορών, όπου το φορτίο ή/και οι επιβάτες αλλάζουν μεταφορικό μέσο (π.χ. από πλοίο σε τρένο και αντίστροφα). Τα εμπορικά λιμάνια διαχειρίζονται γενικά φορτία (general cargoes) και φορτία χύδην (bulk cargoes). Τα γενικά φορτία είναι είτε αγαθά διαφόρων μεγεθών και βαρών που αποστέλλονται ως συσκευασμένο φορτίο, είτε αγαθά ομοιόμορφων μεγεθών και βαρών που αποστέλλονται ως μη συσκευασμένο φορτίο. Τα πρώτα μπορεί να είναι φορτία εμπορευματοκιβωτίων (container) ή φορτία breakbulk, ενώ τα δεύτερα μπορεί να είναι φορτία neobulk. Το φορτίο εμπορευματοκιβωτίων αποθηκεύεται σε τυποποιημένα κιβώτια (containers), συνήθως μήκους 20 ή 40 ποδιών – δηλαδή, ως μία μονάδα ισοδύναμη με είκοσι πόδια (TEU) ή ως μία μονάδα ισοδύναμη με σαράντα πόδια (FEU). Το φορτίο breakbulk είναι γενικό φορτίο που συσκευάζεται σε παλέτες ή σε αρτάνες (slings) από σύρμα ή σχοινί για τη φόρτωση εκφόρτωση από το πλοίο. Το φορτίο neobulk περιλαμβάνει, για παράδειγμα, αυτοκίνητα, χάλυβα και ξυλεία. Τα φορτία χύδην (ξηρά και υγρά) περιλαμβάνουν αγαθά που δεν είναι ούτε συσκευασμένα ούτε έχουν ομοιόμορφα μεγέθη και βάρη. Το ξηρό φορτίο χύδην (drybulk), για παράδειγμα, περιλαμβάνει τον άνθρακα και τα σιτηρά. Το αργό πετρέλαιο και τα διυλισμένα προϊόντα πετρελαίου είναι παραδείγματα υγρού φορτίου χύδην (liquidbulk). Ο λιμένας, λοιπόν, διαχειρίζεται δύο τύπους

φορτίου, χύδην και εμπορευματοκιβώτια, και έχει ως οικονομικό στόχο τη μεγιστοποίηση της ετήσιας διακίνησης (throughput) των εν λόγω φορτίων, υπό τον περιορισμό ενός ελάχιστου κέρδους. (Talley,2006)

Η παγκοσμιοποίηση της παραγωγής και της κατανάλωσης, καθώς και ο αντίκτυπος που αυτή είχε στα πρότυπα του διεθνούς εμπορίου, έχουν ενισχύσει τη σημασία των μεταφορών με εμπορευματοκιβώτια. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα πολυάριθμα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτή η μέθοδος μεταφοράς φορτίων σε σύγκριση με τις πιο παραδοσιακές μεθόδους. Ως κρίσιμοι κόμβοι και πιθανά σημεία συμφόρησης στα διεθνή δίκτυα εφοδιαστικής (logistics), τα λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία μεταφοράς, ιδιαίτερα ως δίαυλοι για τη διευκόλυνση των πολυτροπικών μεταφορών στη διεπαφή μεταξύ των θαλάσσιων και των χερσαίων συστημάτων μεταφοράς.

Ένα από τα διακριτικά χαρακτηριστικά της σημερινής βιομηχανίας λιμένων εμπορευματοκιβωτίων είναι ότι ο ανταγωνισμός είναι πιο έντονος από ό,τι στο παρελθόν. Λόγω της σταθερής γεωγραφικής θέσης των λιμένων και της συγκέντρωσης φορτίων σε αυτές τις τοποθεσίες, οι λιμενικές αγορές θεωρούνταν παλαιότερα μονοπωλιακές στη φύση τους. Ωστόσο, η ραγδαία ανάπτυξη και υιοθέτηση των τεχνολογιών εμπορευματοκιβωτίων και των πολυτροπικών μεταφορών έχουν μεταβάλει ριζικά τη δομή των λιμενικών αγορών από καθεστώς μονοπωλίου σε ένα περιβάλλον όπου επικρατεί σφοδρός ανταγωνισμός σε πολλά μέρη του κόσμου. Ως εκ τούτου, τα λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων δεν μπορούν πλέον να θεωρούν δεδομένη τη διακίνηση φορτίων από την ενδοχώρα τους. Αντίθετα, η ενδοχώρα ενός λιμένα επικαλύπτεται όλο και περισσότερο με εκείνες των ανταγωνιστικών λιμένων, σε μια κατάσταση όπου όσοι λαμβάνουν την απόφαση επιλογής λιμένα έχουν πλέον μια πολύ μεγαλύτερη γκάμα βιώσιμων εναλλακτικών λύσεων.

Ως προφανές επακόλουθο του αυξανόμενου διεθνούς εμπορίου και της ραγδαίας αύξησης του όγκου των θαλάσσιων φορτίων, τα λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων αποτελούν την πλατφόρμα πάνω στην οποία θεμελιώνεται η εθνική και περιφερειακή οικονομική ανάπτυξη εντός και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτός ο έντονος ανταγωνισμός έχει διεγείρει ένα έκδηλο ενδιαφέρον για την αποδοτικότητα με την οποία ο τομέας αξιοποιεί τους πόρους του. Δεδομένου ότι η απόδοση κάθε μεμονωμένου λιμένα (ή τερματικού σταθμού) συμβάλλει σημαντικά στις προοπτικές επιβίωσης και στην ανταγωνιστικότητα του κλάδου συνολικά, ο λόγος ύπαρξης αυτού του ενδιαφέροντος είναι προφανής. Διεξάγοντας μια επίσημη ανάλυση της αποδοτικότητας, όχι μόνο παρέχεται στη διοίκηση των λιμένων μια ορθολογική βάση για τη λήψη αποφάσεων, αλλά προκύπτει επίσης ένα σημαντικό δεδομένο για τον περιφερειακό και εθνικό λιμενικό σχεδιασμό και τις λειτουργίες. (Cullinane,2006).

1.2 Οι έννοιες της απόδοσης (performance), της αποδοτικότητας (efficiency) και της αποτελεσματικότητας (effectiveness)

Η αποδοτικότητα (efficiency) περιγράφεται ως 'κάνοντας τα πράγματα σωστά' ('doing things right'), ενώ η αποτελεσματικότητα (effectiveness) ως 'κάνοντας τα σωστά πράγματα' ('doing the right things'). Ο προσδιορισμός της αποδοτικότητας είναι ευκολότερος από τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας, καθώς η διοίκηση μπορεί να κάνει σωστές κινήσεις οι οποίες όμως να μην οδηγούν στο επιθυμητό (βέλτιστο) αποτέλεσμα (Drucker, 1973).

Τα λιμάνια έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές τα τελευταία χρόνια, με την αύξηση του ανταγωνισμού και την ανάγκη για βελτιωμένη αποδοτικότητα. Η εκτίμηση της αποδοτικότητας των λιμένων έχει καταστεί κρίσιμη για τη λήψη αποφάσεων και την προσέλκυση των ενδιαφερομένων μερών (stakeholders). Η διοίκηση των λιμένων εστιάζει στην παροχή βέλτιστων υπηρεσιών και υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας για την ενίσχυση της συνολικής αποδοτικότητας. Η εκτίμηση της αποδοτικότητας εκτείνεται πέρα από τις διαδικασίες των τερματικών σταθμών, περιλαμβάνοντας ολόκληρη τη λιμενική περιοχή. Βασικοί δείκτες απόδοσης (KPIs) χρησιμοποιούνται για την καθιέρωση μιας κοινής κατανόησης και την υποβοήθηση της λήψης αποφάσεων.

Η μέτρηση της αποτελεσματικότητας και η συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) διαδραματίζουν ουσιαστικούς ρόλους στους τερματικούς σταθμούς λιμένων, συμβάλλοντας στην ανταγωνιστικότητά τους και στην προσέλκυση νέων χρηστών. Η συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) είναι μια κρίσιμη διαδικασία που περιλαμβάνει τη σύγκριση της απόδοσης μιας επιχείρησης με τους ηγέτες του κλάδου για την ενίσχυση της αποδοτικότητας. Τα λιμάνια συμμετέχουν σε διαδικασίες αυτοαξιολόγησης και συγκριτικής αξιολόγησης για να θέσουν στόχους και να επιτύχουν μια ισορροπημένη πολιτική συμβιβασμών (trade-off policy). Η αποδοτικότητα στα λιμάνια περιλαμβάνει πολλαπλές διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένων των χρηματοοικονομικών, περιβαλλοντικών, εργασιακών και τεχνολογικών πτυχών, καθώς και της ικανοποίησης των πελατών. Κάθε διάσταση συμβάλλει στη συνολική αποδοτικότητα και επηρεάζει διάφορες πτυχές των λιμενικών λειτουργιών και των γύρω περιοχών τους.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα των λιμένων κυμαίνονται από τις εσωτερικές λειτουργίες έως εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι μεταρρυθμίσεις και οι κανονισμοί. Η αξιολόγηση και η βελτίωση της αποδοτικότητας στα λιμάνια απαιτεί μια ολοκληρωμένη κατανόηση αυτών των παραγόντων και διαστάσεων. Η μέτρηση της αποδοτικότητας των λιμένων δίνει παραδοσιακά έμφαση σε οικονομικές και λειτουργικές πτυχές, ιδίως σε σχέση με τη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων (container throughput). Ωστόσο, πρόσφατη έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της εξέτασης της αποτελεσματικότητας παράλληλα με την αποδοτικότητα. Η αποτελεσματικότητα περιλαμβάνει την ικανοποίηση των χρηστών, δεοντολογικά ζητήματα και την ορθή εκτέλεση των δραστηριοτήτων, υπερβαίνοντας τους οικονομικούς δείκτες και μόνο.

Αναγνωρίζει τις διαφορετικές ανάγκες και προτεραιότητες των πολλαπλών χρηστών του λιμένα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αποδοτικότητα δεν εγγυάται την αποτελεσματικότητα, καθώς ένα λιμάνι μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτικό (cost-effective), αλλά παρόλα αυτά να αποτυγχάνει να παρέχει ικανοποιητικές εμπειρίες στους πελάτες ή να αντιμετωπίζει καθυστερήσεις. Επομένως, μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση τόσο της αποδοτικότητας όσο και της αποτελεσματικότητας είναι απαραίτητη για την ακριβή εκτίμηση της απόδοσης του λιμένα.

Στη βιβλιογραφία, οι έννοιες της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας είναι συχνά αλληλένδετες αλλά έχουν διακριτές σημασίες. Η παραγωγικότητα περιλαμβάνει την αποτελεσματική αξιοποίηση των εισροών για την παροχή υπηρεσιών, ενώ η αποδοτικότητα εστιάζει στην προσέγγιση των βέλτιστων επιπέδων. Η αυξημένη αποδοτικότητα οδηγεί σε αυξημένη παραγωγικότητα. Η τεχνολογική καινοτομία μπορεί να ενισχύσει την παραγωγικότητα, ενώ η αποδοτικότητα περιλαμβάνει την αποτελεσματική αξιοποίηση της νέας τεχνολογίας μέσω της εκπαίδευσης του προσωπικού. Οι αλλαγές στην τεχνολογία και την παραγωγικότητα μπορούν να παρατηρηθούν ως μια ανοδική μετατόπιση του ορίου παραγωγικότητας (productivity frontier). Η συγκριτική αξιολόγηση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο συγκρίνοντας την πραγματική παραγωγή ενός λιμένα με τη δυνητική του παραγωγή, είτε συγκρίνοντας βαθμολογίες αποδοτικότητας ή KPIs με άλλα συγκρίσιμα λιμάνια, είτε μέσω εσωτερικής συγκριτικής αξιολόγησης σε σχέση με τις προηγούμενες επιδόσεις του ίδιου του λιμένα. (Apostolopoulos, 2023).

1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση και αξιολόγηση της τεχνικής αποδοτικότητας (technical efficiency) ενός δείγματος 42 εμπορευματικών λιμένων της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου και της Βόρειας/Δυτικής Ευρώπης, για το έτος 2024. Μέσα από την εφαρμογή οικονομετρικών εργαλείων, και συγκεκριμένα της Στοχαστικής Ανάλυσης Συνόρων (Stochastic Frontier Analysis - SFA), η εργασία επιδιώκει να αποτυπώσει τη σχέση μεταξύ των λιμενικών υποδομών (εισροές) και του παραγόμενου έργου (εκροές), διαχωρίζοντας την πραγματική διαχειριστική αναποτελεσματικότητα από τον στατιστικό θόρυβο.

Για την επίτευξη του κεντρικού αυτού σκοπού, τίθενται και διερευνώνται τα ακόλουθα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα (sub-objectives):

- Αναγνώριση Κρίσιμων Παραγόντων: Ποιος είναι ο βαθμός επίδρασης των βασικών υποδομών (συνολικός εξοπλισμός γερανογεφυρών, έκταση τερματικού σταθμού, μήκος κρηπιδώματος) στη μεγιστοποίηση της διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (TEUs),

- Αξιολόγηση Ενδοχώρας (Hinterland): Σε ποιο βαθμό η ύπαρξη διατροπικής σύνδεσης, και συγκεκριμένα η πρόσβαση στο σιδηροδρομικό δίκτυο, συμβάλλει στη μείωση της αναποτελεσματικότητας ενός τερματικού σταθμού,

- Συγκριτική Αξιολόγηση (Benchmarking): Ποιοι λιμένες της Μεσογείου λειτουργούν επί του βέλτιστου παραγωγικού συνόρου και ποιοι παρουσιάζουν περιθώρια βελτίωσης ως προς τη διαχείριση των πόρων τους,

- Συστηματοποίηση Δεικτών Απόδοσης: Η συγκέντρωση, κατηγοριοποίηση και ανάλυση των σύγχρονων Βασικών Δεικτών Απόδοσης (KPIs), με σκοπό τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου πλαισίου θεωρητικής αξιολόγησης της λιμενικής βιομηχανίας.

Η επιστημονική και πρακτική συνεισφορά της παρούσας εργασίας έγκειται στο γεγονός ότι επικεντρώνεται σε ένα εξαιρετικά ανταγωνιστικό και διαρκώς μεταβαλλόμενο γεωγραφικό περιβάλλον (Μεσόγειος Θάλασσα). Τα συμπεράσματα που εξάγονται φιλοδοξούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο λήψης αποφάσεων (decision-making tool) για λιμενικές αρχές, επενδυτές και φορείς χάραξης πολιτικής, υποδεικνύοντας τις αναγκαίες στρατηγικές βελτιστοποίησης των λιμενικών πόρων.

1.4 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο της λιμενικής βιομηχανίας στη Μεσόγειο, αποσαφηνίζονται οι έννοιες της απόδοσης, της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας και τίθεται ο σκοπός της έρευνας.

Το Κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει την εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση. Παρουσιάζεται η εξέλιξη των δεικτών απόδοσης (KPIs), καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο των μεθόδων DEA και SFA, με έμφαση στα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η μεθοδολογική προσέγγιση της έρευνας. Επεξηγείται η μαθηματική δομή της συνάρτησης Cobb-Douglas και η εξειδίκευση του στοχαστικού μοντέλου και του μοντέλου παλινδρόμησης αποκοπής που επιλέχθηκε.

Το Κεφάλαιο 4 αποτελεί τον πυρήνα της εμπειρικής ανάλυσης. Περιγράφεται η διαδικασία συλλογής δεδομένων, παρουσιάζεται η τελική βάση των 42 λιμένων και παρατίθενται τα οικονομετρικά αποτελέσματα (ελαστικότητες εισροών, επίδραση περιβαλλοντικής μεταβλητής, δείκτες αποδοτικότητας κλπ.) μέσω του στατιστικού λογισμικού R.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα βασικά ευρήματα της μελέτης, επισημαίνονται οι ερευνητικοί περιορισμοί και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική ακαδημαϊκή έρευνα.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η εκτίμηση της απόδοσης (performance), και των επιμέρους συνιστωσών της όπως η αποδοτικότητα (efficiency) και η αποτελεσματικότητα (effectiveness), εμπορικών λιμένων απασχολεί φορείς και άλλους ενδιαφερόμενους που επηρεάζονται από την επίδραση της λειτουργίας του λιμανιού στην οικονομία, τις μεταφορές, το εμπόριο και τις επενδύσεις. Παράδειγμα αποτελούν οι οργανισμοί λιμένων, οι ναυτιλιακές εταιρίες, οι εταιρίες εφοδιαστικής αλυσίδας, οι επενδυτές, τα αρμόδια υπουργεία αλλά και ερευνητές και ακαδημαϊκοί. Δεδομένου ότι η απόδοση των λιμένων απασχολεί πλήθος ενδιαφερομένων αλλά και ολόκληρων τοπικών κοινωνιών που επηρεάζονται από τα κοντινά τους λιμάνια έχουν γίνει κατά το παρελθόν έρευνες που αξίζει να αναφερθούν και μας δείχνουν τους υφιστάμενους συνήθεις τρόπους εκτίμησης της απόδοσης των λιμένων εμπορευματοκιβωτίων, αποτελέσματα που έχουν προκύψει από προηγούμενες έρευνες και προτάσεις για βελτίωση των υφιστάμενων μοντέλων ή για περαιτέρω έρευνα.

2.2 Οι δείκτες KPI για εκτίμηση της απόδοσης

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας είναι ξεκάθαρη η έμφαση που δίνεται στην χρήση των κρίσιμων δεικτών απόδοσης (KPIs) για τη στοχευμένη παρακολούθηση της απόδοσης των λιμένων εμπορευματοκιβωτίων. Χρήση των κρίσιμων δεικτών απόδοσης πραγματοποιείται για την συγκριτική αξιολόγηση λιμένων (benchmarking), την βελτιστοποίηση του χρονικού προγραμματισμού του λιμένα, την λήψη επενδυτικών αποφάσεων και τις προσπάθειες για βελτίωση της εξυπηρέτησης των χρηστών των παρεχόμενων από τον λιμένα υπηρεσιών. Απαραίτητη προϋπόθεση για να δώσουν χρήσιμα αποτελέσματα οι εν λόγω δείκτες είναι να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά του πλαισίου SMART όπως περιγράφονται από τον Doran, 1981 αι εφαρμόζονται στη σύγχρονη διοίκηση επιχειρήσεων και λιμένων::

1) Να είναι συγκεκριμένοι (Specific): Να ορίζεται σαφώς το τι μετρούν και ποιες μονάδες μέτρησης χρησιμοποιούνται

2) Να είναι μετρήσιμοι (Measurable): Να μπορούν να περιγραφούν ως αριθμοί, ποσοστά, χρόνοι κλπ.

3) Να είναι αναθέσιμοι (Assignable) (παλαιότερη εκδοχή): Να προσδιορίζεται ποιος θα τους μετρήσει,

ή

Να είναι επιτεύξιμοι (Achievable) (σύγχρονη αντίληψη): Να είναι εφικτή η μέτρηση τους

4) Να είναι ρεαλιστικοί (Realistic) (παλαιότερη εκδοχή): Να προσδιορίζουν τα αποτελέσματα που μπορούν να επιτευχθούν ρεαλιστικά, δεδομένων των διαθέσιμων πόρων

ή

Να σχετίζονται με στόχους (Relevant) (σύγχρονη αντίληψη): Να μετρούν κρίσιμες για την επίτευξη επιχειρησιακών στόχων ποσότητες

5) Να είναι χρονικά ορισμένοι (Time-bound): Να περιγράφονται για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα όπως μήνας, τρίμηνο, χρόνος κλπ.

Ακολουθούν οι δείκτες που προτείνονται για χρήση από άλλες έρευνες και συγκεντρωτικός πίνακας με τα προτεινόμενα KPIs, τις μονάδες μέτρησης τους και τους ερευνητές/οργανισμούς που τους προτείνουν ώστε μελλοντικά να μπορούν να αναζητηθούν ευκολότερα από τους ενδιαφερομένους.

Ο Chung (1993) μελετώντας τη λειτουργική αποτελεσματικότητα λιμένων κατέληξε σε 16 δείκτες για τη μέτρησή της. Συγκεκριμένα οι κρίσιμοι δείκτες απόδοσης που αναφέρει είναι ο μέσος χρόνος παραμονής πλοίου στο λιμάνι, το μέσο φορτίο (σε τόνους) πλοίου ανά ημέρα (ή ώρα), ο μέσος χρόνος παραμονής πλοίου στο κρηπίδωμα, ο μέσος χρόνος παραμονής πλοίου εκτός λιμένα, ο μέσος χρόνος αναμονής για πρόσδεση/λόγω βροχής/για άλλα αίτια, ο μέσος δείκτης αναμονής, οι τόνοι ανά εργατοώρα λιμενεργατών, τα TEUs ανά ώρα λειτουργίας γερανογεφυρών, ο χρόνος παραμονής φορτίου στον τερματικό σταθμό, ο όγκος φορτίου ανά θέση πρόσδεσης, ο όγκος φορτίου ανά τρέχον μέτρο κρηπιδώματος, το ποσοστό κατάληψης κρηπιδώματος, το ποσοστό εκμετάλλευσης κρηπιδώματος, τα έσοδα ανά ολική ή καθαρή χωρητικότητα πλοίου, το λειτουργικό κέρδος ανά τόνο φορτίου που διακινήθηκε και η κερδοφορία επί του κύκλου εργασιών.

Σύμφωνα με το έργο Docks The Future (2020) που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στα πλαίσια του προγράμματος Horizon 2020 και εστιάζοντας στην διαμόρφωση ενός πλήρους οράματος για το λιμάνι του μέλλοντος έως το 2030 κρίθηκε σκόπιμο να αναπτυχθεί ένα σετ 14 κύριων KPIs που είναι κατάλληλοι για να αξιολογήσουν τη δυνητική συμβολή των έργων (ψηφιοποίησης, περιβαλλοντικής αναβάθμισης, βελτίωσης υποδομών λιμένα, καινοτομίας και logistics, διασύνδεσης λιμένα-πόλης, έρευνας & ανάπτυξης) σε σχέση με τις πτυχές που θεωρούνται σημαντικές για το Λιμάνι του Μέλλοντος. Οι δείκτες που προτάθηκαν είναι η μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σχετιζόμενων με το λιμάνι, η μείωση σπατάλης

(πλαστικού, υλικών εκβάθυνσης λιμένα), η αποδοχή του λιμανιού (από τον πληθυσμό της γύρω περιοχής), ο περιορισμός των εκπομπών στο λιμάνι (θορύβου, αέρα, νερού), η ανάπτυξη εισοδήματος σε θέσεις εργασίας που σχετίζονται με το λιμάνι, ο βαθμός διαφάνειας στη διακυβέρνηση του λιμένα, το ποσοστό γυναικών στη ανώτερη διοίκηση επιχειρήσεων που εδρεύουν ή δραστηριοποιούνται στο λιμάνι, η προσβασιμότητα του λιμένα σε τρίτους φορείς εκμετάλλευσης, το ποσοστό ατόμων που βίωσαν τουλάχιστον ένα περιστατικό απόπειρας δωροδοκίας κατά το τελευταίο έτος, η συμμόρφωση με το πρότυπο ISO 14001, η ανάπτυξη των δυνατοτήτων διακίνησης φορτίου του λιμένα, η εξοικονόμηση λόγω βελτιστοποίησης, οι εκτιμώμενες απώλειες που αποτράπηκαν και η μείωση θανατηφόρων και μη θανατηφόρων επαγγελματικών τραυματισμών.

Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UN Trade and Development) - UNCTAD σε τρεις εκδόσεις της (1976, 2016, 2023) εστιάζει στην χρήση των KPIs για την εκτίμηση της απόδοσης εμπορευματικών λιμένων. Η πρώτη έκδοση (UNCTAD, 1976) η οποία ήταν πολύ πρωτοποριακή για την εποχή της, προτείνει 2 κατηγορίες δεικτών, τους οικονομικούς και τους λειτουργικούς, τους οποίους χαρακτηρίζει και ως τους σημαντικότερους. Από την εξέλιξη των δεικτών που προτείνει κατά την πάροδο των χρόνων μπορεί κανείς να αντιληφθεί την πρόοδο που έχει συντελεστεί τα τελευταία 50 χρόνια στον τομέα της αξιολόγησης της απόδοσης των λιμένων. Παράλληλα στις τελευταίες εκδόσεις εντοπίζεται μια τάση κατηγοριοποίησης των δεικτών και αντιστοίχισής τους με συγκεκριμένους στόχους. Πιο συγκεκριμένα το δεύτερο κεφάλαιο της τελευταίας έκδοσης (UNCTAD, 2023) προτείνει κρίσιμους δείκτες απόδοσης που εντάσσονται σε 7 κατηγορίες: Δείκτες Διακυβέρνησης, Δείκτες Ανθρώπινου Δυναμικού, Οικονομικοί Δείκτες, Δείκτες Ανθεκτικότητας, Δείκτες Λειτουργίας Πλοίων, Δείκτες Διακίνησης Φορτίου, Δείκτες Περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας. Συγκρίνοντας με την προηγούμενη έκδοση (UNCTAD, 2016) που περιελάμβανε 5 κατηγορίες κρίσιμων δεικτών απόδοσης, παρατηρείται η προσθήκη δύο νέων κατηγοριών, των Δεικτών Ανθεκτικότητας και των Δεικτών Περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας. Η προσθήκη αυτών των κατηγοριών δεικτών έρχεται ως αποτέλεσμα της πανδημίας COVID-19 και της νέας στρατηγικής της πράσινης μετάβασης.

Οι δείκτες που προτείνει προς χρήση η UNCTAD το 1976 είναι το διακινηθέν φορτίο, τα έσοδα από την κατάληψη θέσης πρόσδεσης ανά τόνο φορτίου, τα έσοδα φορτοεκφόρτωσης ανά τόνο φορτίου, το κόστος εργασίας ανά τόνο φορτίου, το κόστος κεφαλαιουχικού εξοπλισμού ανά τόνο φορτίου, η συνεισφορά κέρδους ανά τόνο φορτίου, η συνολική συνεισφορά κέρδους, οι αφίξεις με καθυστέρηση, ο χρόνος αναμονής, ο χρόνος εξυπηρέτησης, ο χρόνος παραμονής πλοίου στο λιμάνι, το φορτίο (σε τόνους) ανά πλοίο, το ποσοστό χρόνου απασχόλησης των πλοίων στο κρηπίδωμα, ο αριθμός ομάδων λιμενεργατών που απασχολούνται ανά πλοίο ανά βάρδια, οι τόνοι ανά ώρα παραμονής στο λιμάνι, οι τόνοι ανά ώρα παραμονής στο κρηπίδωμα, οι τόνοι ανά λιμενεργατοώρα και το ποσοστό χρόνου αδράνειας των συνεργείων.

Το 2016 οι προτεινόμενοι από την UNCTAD δείκτες είναι οι πόροι που δαπανώνται για εκπαίδευση και κατάρτιση σε σχέση με τους μισθούς, ο μέσος μισθός, η

παραγωγικότητα ανά εργαζόμενο, το μικτό λειτουργικό κέρδος ανά εργαζόμενο, τα έσοδα ανά εργαζόμενο, το κόστος εργασίας ανά εργαζόμενο, το μικτό λειτουργικό κέρδος, τα κέρδη προ τόκων και φόρων (EBIT), τα έσοδα ανά μονάδα φορτίου, τα έσοδα από λιμενικά τέλη σε σχέση με τα συνολικά έσοδα του λιμένα, τα έσοδα από παραχωρήσεις/μίσθωση λιμενικής γης, το μικτό λειτουργικό κέρδος σε σχέση με τα συνολικά έσοδα, ο μέσος χρόνος αγκυροβολίας, ο μέσος χρόνος αδράνειας ανά βάρδια, το μέγιστο βύθισμα κρηπιδώματος, το μέσο μήκος πλοίου, τη μέση ολική χωρητικότητα (GT), ο συνολικός διακινηθείς όγκος φορτίου, η παραγωγικότητα ανά γραμμή πρόσδεσης, ο μέσος χρόνος παραμονής εμπορευματοκιβωτίων στον τερματικό σταθμό και οι τόνοι ανά εκτάριο.

Τέλος το 2023 διατηρεί τους δείκτες που πρότεινε το 2016 και τους εμπλουτίζει με τους δείκτες υπό τη μορφή ερωτήματος, αν η λιμενική αρχή διαθέτει δική της νομική υπόσταση, αν η λιμενική αρχή αναπτύσσει το δικό της master plan, αν η λιμενική αρχή μπορεί να αναθέτει την παροχή λιμενικών υπηρεσιών σε τρίτους αν η λιμενική αρχή είναι δημόσιος φορέας, αν η λιμενική αρχή δημοσιεύει ετήσιες οικονομικές καταστάσεις, αν ο έλεγχος των ετήσιων οικονομικών καταστάσεων πραγματοποιείται από εξωτερικό ελεγκτή, αν τα λιμενικά τέλη είναι δημόσια διαθέσιμα, αν τα στοιχεία λιμενικής κίνησης δημοσιεύονται σε τακτική μηνιαία/τριμηνιαία βάση, αν η λιμενική αρχή συμμετέχει σε κλαδικές συνεργασίες με άλλους φορείς διαχείρισης, αν η λιμενική αρχή ηγείται κλαδικών συνεργασιών που περιλαμβάνουν άλλους φορείς διαχείρισης, αν η λιμενική αρχή συμμετέχει σε κοινά έργα με άλλους λιμενικούς φορείς, αν η λιμενική αρχή υλοποιεί κοινά έργα με άλλους φορείς διαχείρισης, αν η λιμενική αρχή διαθέτει σχέδιο επιχειρησιακής συνέχειας, αν η λιμενική αρχή συμβάλλει ή εποπτεύει την επίλυση λειτουργικών/παραγωγικών φραγμών στην πρόσβαση από τη θάλασσα, καθώς και διοικητικών εμποδίων, αν η λιμενική αρχή διαχειρίζεται ένα σύστημα Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ICT) προς όφελος της λιμενικής κοινότητας, αν υπάρχει Κέντρο Λιμένα ανοικτό στους κατοίκους που επιθυμούν να ενημερωθούν για τον τρόπο λειτουργίας του και τα έργα που υλοποιούνται, αν η λιμενική αρχή προάγει πολιτιστικές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες για τους πολίτες, αν η λιμενική αρχή παρέχει λιμενικούς χώρους για δημόσια χρήση, αν η λιμενική αρχή αναλαμβάνει δράσεις για την ενίσχυση των σχέσεων με τις γειτονικές κοινότητες και ακόμα προτείνει ως δείκτες την ισοτιμία φύλων ανά επαγγελματική κατηγορία, την ισοτιμία φύλων ανά τύπο σύμβασης, την κατανομή προσωπικού ανά επαγγελματική κατηγορία, τον δείκτη αποχώρησης και πρόσληψης προσωπικού των οργανισμών διαχείρισης λιμένων, τον δείκτη πολιτικής συμπερίληψης, το ποσοστό προσωρινής απασχόλησης, το επίπεδο σταθερότητας απασχόλησης, τον όγκο δημιουργούμενων άμεσων θέσεων εργασίας, τον όγκο δημιουργούμενων έμμεσων θέσεων εργασίας, την εκπαίδευση ανθρώπινου δυναμικού, την αύξηση μισθών, τη διαθεσιμότητα ψηφιακών εργαλείων για προχωρημένη εκπαίδευση, τα έξοδα ανά μονάδα φορτίου, το καθαρό κέρδος της οικονομικής χρήσης ανά μονάδα φορτίου, τη συνολική επένδυση από τη λιμενική αρχή, τη συνολική επένδυση από ιδιώτες διαχειριστές λιμένων, την ιδιωτική επένδυση σε σχέση με τη συνολική λιμενική επένδυση, την απόδοση ενεργητικού, την απόδοση ιδίων κεφαλαίων,

τον δείκτη χρέους, τις ασκήσεις ασφαλείας, τον αριθμό ωρών εκπαίδευσης ανά υπάλληλο, την ετήσια συχνότητα ατυχημάτων, την ύπαρξη επιτροπής υγείας και ασφάλειας, τις δαπάνες για ασφάλεια και προστασία, την ενεργοποίηση σχεδίων έκτακτης ανάγκης, την ύπαρξη συστήματος ασφαλείας στην εφοδιαστική αλυσίδα, την πιστοποίηση κυβερνοασφάλειας, την ύπαρξη συστήματος διαχείρισης ασφάλειας πληροφοριών, την ύπαρξη κυβερνοεπιθέσεων, την εκπαίδευση σε θέματα κυβερνοασφάλειας, τον μέσο συνολικό χρόνο στο Λιμάνι, τον μέσο μεικτό χρόνο πρόσδεσης, τον μέσο καθαρό χρόνο πρόσδεσης, τον μέσο συντελεστή Πληρότητας Θέσεων πρόσδεσης, το συνολικό αριθμό επιβατών (Ακτοπλοΐα), το συνολικό αριθμό επιβατών κρουαζιέρας, την μεικτή παραγωγικότητα, τον καθαρό χρόνο εργασίας/γερανού, τον καθαρό-καθαρό χρόνο εργασίας/γερανού, την μέση παραγωγικότητα πρόσδεσης, τη σχετική αναμονή, τον μέσο χρόνο κύκλου φορτηγών, το αποτύπωμα Άνθρακα: Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το διακινούμενο φορτίο , την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, την ποιότητα αέρα, την ποιότητα υδάτων, την ηχορύπανση, την κατανάλωση ενέργειας, το ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, την κατανάλωση ύδατος, τον χαρακτηρισμό αποβλήτων που παράγονται στον λιμένα (πλην MARPOL), τον χαρακτηρισμό αποβλήτων MARPOL (απόβλητα που παράγονται στα πλοία), το ποσοστό λιμενικών αποβλήτων ανά μέθοδο διαχείρισης αποβλήτων, τα απόβλητα που συλλέγονται από τα επιφανειακά ύδατα του λιμένα (Ανθρωπογενή Απόβλητα), τον ετήσιο όγκο βυθοκορούμενων ιζημάτων, τις λιμενικές δραστηριότητες μέσα ή γύρω από προστατευόμενες περιοχές ή περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας, την ύπαρξη νερού (Ballast Water), την περιβαλλοντική εκπαίδευση λιμενικών υπαλλήλων, την εφαρμογή του συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης, το κόστος σημαντικών προστίμων και τον αριθμό μη χρηματικών κυρώσεων λόγω μη συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, τις περιβαλλοντικές καταγγελίες που ελήφθησαν και επιλύθηκαν και τους ετήσιους πόρους που διατίθενται για την περιβαλλοντική προστασία.

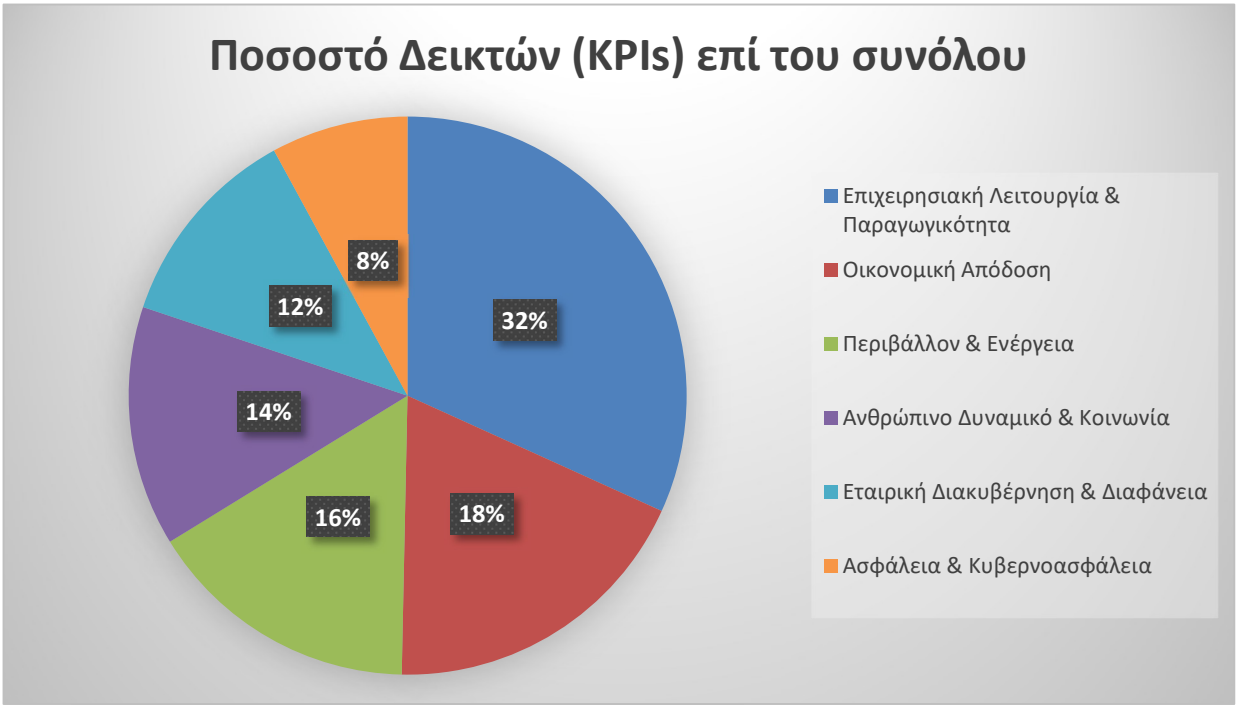
Στο Παράρτημα παρουσιάζονται οι 151 δείκτες απόδοσης που εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία χωρισμένοι σε 6 κατηγορίες (Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία, Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια, Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα, Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια, Οικονομική Απόδοση, Περιβάλλον & Ενέργεια).

Από την κατηγοριοποίηση των δεικτών απόδοσης προκύπτουν ο παρακάτω πίνακας και η εικόνα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : Κατηγοριοποίηση Δεικτών Απόδοσης (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Κατηγορία	Πλήθος Δεικτών (KPIs)	Ποσοστό Δεικτών (KPIs) επί του συνόλου
Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα	48	31,79%
Οικονομική Απόδοση	28	18,54%

Περιβάλλον & Ενέργεια	24	15,89%
Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία	21	13,91%
Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια	18	11,92%
Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια	12	7,95%
ΣΥΝΟΛΟ	**151**	100,00%



ΕΙΚΟΝΑ 1: Κατηγοριοποίηση δεικτών απόδοσης (Πηγή: Ίδια επεξεργασία)

Από τα παραπάνω δεδομένα διακρίνουμε την εστίαση των δεικτών διαχρονικά στην Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα, αλλά και τη στροφή των τελευταίων ετών σε θέματα όπως το Περιβάλλον, η Ενέργεια, η Ασφάλεια και η Κυβερνοασφάλεια που οδήγησε στο να προταθούν σχετικοί δείκτες απόδοσης.

2.3 Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (DEA) για εκτίμηση της αποδοτικότητας

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας παρατηρείται ότι η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων είναι η συνηθέστερη μέθοδος για την εκτίμηση της αποδοτικότητας των εμπορικών λιμένων. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και κάποια μειονεκτήματα τα οποία κατέγραψε στην έρευνα του ο Stolp (1990) και παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Πλεονεκτήματα της DEA σύμφωνα με τον Stolp (1990):

- Διαχείριση πολλαπλών εισροών και εκροών: Μπορεί να ενσωματώσει σχέσεις παραγωγής που περιλαμβάνουν πολλαπλές εισροές και πολλαπλές εκροές μέσω της κατασκευής "εικονικών εισροών" και "εικονικών εκροών".

- Μη-Παραμετρική Εκτίμηση του Συνόρου: Η DEA εκτιμά το σύνορο (frontier) της τεχνικής αποδοτικότητας αντί να συνοψίζει την κεντρική τάση του δείγματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιβολή μόνο ασθενών υποθέσεων (μονοτονία και κοιλότητα) σχετικά με τη διαδικασία παραγωγής.

- Δεν Απαιτεί Τιμές (prices): Λειτουργεί χωρίς να απαιτεί τις τιμές που απαιτεί η νεοκλασική θεωρία παραγωγής, καθιστώντας την κατάλληλη για μη-αγοραστικά περιβάλλοντα (nonmarket settings).

- Αναγνώριση Αποδοτικών Μονάδων Αναφοράς (referent DMUs): Για κάθε μη αποδοτική Μονάδα Λήψης Αποφάσεων (DMU), η DEA εντοπίζει ένα σύνολο σχετικά αποδοτικών DMUs με παρόμοια δομή παραγωγής που βρίσκονται στο σύνορο. Αυτές οι μονάδες "βέλτιστης πρακτικής" καθιστούν δυνατή στους επιστήμονες διαχείρισης τη διάκριση των DMUs σε ομάδες (clusters) που μοιράζονται παρόμοια επίπεδα και συνδυασμούς εισροών/εκροών.

- Προτάσεις για Ανακατανομή Εισροών/Εκροών: Μπορεί να υποδείξει τρόπους με τους οποίους μια μη αποδοτική DMU μπορεί να μετακινηθεί προς το σύνορο παραγωγής (production frontier) τροποποιώντας το μείγμα εισροών/εκροών.

- Αξιολόγηση των Τοπικών Αποδόσεων Κλίμακας (returns to scale): Η τροποποίηση BCC (Banker, Charnes, Cooper) της DEA καθιστά δυνατή την εξέταση της τοπικής φύσης των αποδόσεων κλίμακας για κάθε αποδοτική DMU.

Μειονεκτήματα της DEA σύμφωνα με τον Stolp (1990):

- Μη-Στοχαστική Φύση και Έλλειψη Χρήσης Πληροφορίας:

    - Είναι ένα "εργαλείο στατιστικής με λιγότερες από πλήρεις πληροφορίες" ("less-than-full-information statistical tool") επειδή το σχήμα του εκτιμώμενου συνόρου καθορίζεται μόνο από τις πιο αποδοτικές (εξωτερικές) παρατηρήσεις.

    - Οι αναποτελεσματικές DMUs δεν συμβάλλουν στον εντοπισμό ή στο σχήμα της τελικής εκτίμησης του συνόρου. Αυτή η παράλειψη χρήσης της διαθέσιμης πληροφορίας μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά συμπεράσματα σχετικά με τις τοπικές αποδόσεις κλίμακας.

    - Διατηρεί μια ουσιαστικά μη-στοχαστική (non-stochastic) θεώρηση για το πώς οι εισροές μετατρέπονται σε εκροές. Αυτό δεν λαμβάνει υπόψη τον στατιστικό

θόρυβο (random noise), ο οποίος μπορεί να παρερμηνευθεί ως αναποτελεσματικότητα.

- Ευαισθησία σε Ακραίες Παρατηρήσεις (outliers):
  - Η DEA δεν είναι μια στιβαρή διαδικασία (robust procedure). Μια εξωτερική παρατήρηση (outlying DMU) μπορεί εύκολα να καθορίσει ένα εσφαλμένο σύνορο αποδοτικότητας (efficiency frontier) ως σημείο αναφοράς.
- Ευαισθησία στην Εξειδίκευση (specification) του Μοντέλου:
  - Η αβεβαιότητα ως προς την επιλογή των εισροών και εκροών μπορεί να επηρεάσει την αξιολόγηση της αποδοτικότητας.
  - Η προσθήκη μιας νέας εισροής ή εκροής μπορεί να μετακινήσει μια DMU που ήταν προηγουμένως αναποτελεσματική στο σύνορο του χώρου υψηλότερης διάστασης.
  - Υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των εισροών και εκροών που μπορούν να καθοριστούν σε σχέση με τον αριθμό των DMUs που αξιολογούνται (ένας εμπειρικός κανόνας είναι $n > 3(m+s)$, όπου n είναι οι DMUs, m οι εισροές και s οι εκροές).
- Θέματα Εφαρμογής (practical issues):
  - Ομοιογένεια DMUs: Η DEA απαιτεί ελάχιστες υποθέσεις σχετικά με την ομοιογένεια της τεχνολογίας μεταξύ των DMUs. Αν η τεχνολογία διαφέρει, θα πρέπει να μοντελοποιηθούν ως ξεχωριστές ομάδες.
  - Εναλλακτικά Άριστα (alternate optima): Ως εργαλείο μαθηματικού προγραμματισμού, η DEA είναι ευάλωτη στο πρόβλημα των εναλλακτικών άριστων λύσεων, το οποίο μπορεί να δυσκολέψει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
  - Λογισμικό: Η έλλειψη εξειδικευμένου λογισμικού DEA καθιστά την εφαρμογή της χρονοβόρα, καθώς απαιτείται η εκτέλεση τόσων γραμμικών προγραμμάτων όσες είναι οι DMUs.

Σύμφωνα με τον Talley (2007) τα στατιστικά μοντέλα frontier που χρησιμοποιούνται σε τεχνικές αξιολογήσεις απόδοσης πολλαπλών λιμένων χρησιμοποιούν γενικά τεχνικές ανάλυσης περιβάλλουσας δεδομένων (DEA) - μη παραμετρικές τεχνικές μαθηματικού προγραμματισμού - για την παραγωγή της προδιαγραφής του μοντέλου συνόρων. Οι τεχνικές DEA παράγουν σχετικές βαθμολογίες αποδοτικότητας για τους λιμένες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση. Έτσι, η ανάπτυξη προτύπων έναντι των οποίων μπορεί να μετρηθεί η αποδοτικότητα δεν απαιτείται, αν και τέτοια πρότυπα μπορούν να ενσωματωθούν στην ανάλυση DEA. Οι τεχνικές DEA δεν κάνουν καμία υπόθεση

σχετικά με τις στοχαστικές ιδιότητες των δεδομένων. Όταν γίνονται τέτοιες υποθέσεις, το στατιστικό μοντέλο συνόρων αναφέρεται ως στοχαστικό μοντέλο συνόρων.

Στη μελέτη του Tongzon (2001), η DEA χρησιμοποιείται για να διερευνήσει τη σχετική τεχνική αποδοτικότητα 16 διεθνών (συμπεριλαμβανομένων τεσσάρων αυστραλιανών) λιμένων εμπορευματοκιβωτίων για το έτος 1996. Αρχικά, η διερεύνηση εξέτασε μεταβλητές εκροών δύο λιμένων και έξι εισροών. Οι μεταβλητές εκροής είναι ο συνολικός αριθμός εμπορευματοκιβωτίων σε TEU που φορτώθηκαν και εκφορτώθηκαν (διακίνηση φορτίου) και ο αριθμός των εμπορευματοκιβωτίων που μετακινήθηκαν ανά ώρα εργασίας (ρυθμός εργασίας πλοίου). Οι μεταβλητές εισροής περιλαμβάνουν: (α) αριθμό γερανών, (β) αριθμό θέσεων ελλιμενισμού εμπορευματοκιβωτίων, (γ) αριθμό ρυμουλκών, (δ) χρόνο καθυστέρησης (η διαφορά μεταξύ του συνολικού χρόνου ελλιμενισμού συν τον χρόνο αναμονής για ελλιμενισμό και τον χρόνο μεταξύ της έναρξης και της λήξης της εργασίας σε ένα πλοίο), (ε) περιοχή τερματικού σταθμού και (στ) τον αριθμό των υπαλλήλων της λιμενικής αρχής. Δύο εκδόσεις του μοντέλου DEA χρησιμοποιήθηκαν στη διερεύνηση: η έκδοση CCR που υποθέτει σταθερές αποδόσεις κλίμακας στην παραγωγή και η Προσθετική (Additive) έκδοση που επιτρέπει μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας. Βλέπε Cullinane (2002) για μια συζήτηση αυτών των δύο εκδόσεων DEA. Δεδομένου του μικρού μεγέθους δείγματος στη μελέτη του Tongzon (2001), μόνο μία εκροή – η διακίνηση φορτίου – χρησιμοποιήθηκε στην τελική ανάλυση. Περισσότεροι λιμένες βρέθηκαν να είναι τεχνικά μη αποδοτικοί βάσει της έκδοσης CCR παρά για την Προσθετική έκδοση. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη, καθώς η έκδοση CCR έχει τον περιοριστικό ισχυρισμό των σταθερών αποδόσεων κλίμακας. Και για τις δύο εκδόσεις DEA, οι λιμένες της Μελβούρνης, του Ρότερνταμ, της Γιοκοχάμα και της Οσάκα προσδιορίστηκαν ως τεχνικά μη αποδοτικοί και οι λιμένες του Χονγκ Κονγκ, της Σιγκαπούρης, του Αμβούργου, του Keelung, του Zeebrugge και του Tanjung Priok προσδιορίστηκαν ως τεχνικά αποδοτικοί. Δεδομένου ότι αρκετοί από τους λιμένες εντός κάθε ομάδας είναι αρκετά διαφορετικοί όσον αφορά το μέγεθος και τη λειτουργία (π.χ. κόμβος έναντι μη κόμβου λιμένα εμπορευματοκιβωτίων), τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι η τεχνική αποδοτικότητα των λιμένων δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος ή τη λειτουργία του λιμένα. Για παράδειγμα, στην τεχνικά μη αποδοτική ομάδα, το Ρότερνταμ είναι μεγάλο σε σχέση με το λιμάνι της Μελβούρνης και είναι ένας λιμένας εμπορευματοκιβωτίων κόμβος σε αντίθεση με τα λιμάνια της Μελβούρνης, της Γιοκοχάμα και της Οσάκα.

Το κεντρικό θέμα της διπλωματικής εργασίας Kapetanakis (2022) είναι η αξιολόγηση της αποδοτικότητας 14 μεγάλων εμπορικών λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στη Μεσόγειο, με βάση δεδομένα του έτους 2021, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA). Ουσιαστικά, η μελέτη εξετάζει τη σχέση μεταξύ των διαθέσιμων πόρων των λιμένων, δηλαδή των υποδομών και του εξοπλισμού τους (εισροές), και του παραγόμενου έργου τους, όπως είναι η διακίνηση φορτίων και ο ετήσιος οικονομικός τζίρος (εκροές). Αναφορικά με τα αποτελέσματα, η εφαρμογή του μοντέλου DEA-CCR έδειξε ότι έξι από τους δεκατέσσερις λιμένες (Alexandria, Algeciras, Marseille-Fos, Piraeus, Sines, Tanger Med) λειτουργούν πλήρως

αποδοτικά. Παράλληλα, η χρήση του δεύτερου μοντέλου (DEA-BCC) ανέδειξε ως πλήρως αποδοτικούς επιπλέον τρεις λιμένες (Marsaxlokk, Koper και Gioia Tauro), οι οποίοι με ελάχιστες βελτιώσεις μπορούν να αγγίξουν την απόλυτη βελτιστοποίηση, ανεβάζοντας το σύνολο των αποδοτικών λιμένων στους εννέα. Στον αντίποδα, λιμένες όπως η Barcelona, η Valencia και η Mersin καταγράφηκαν ως μη αποδοτικοί, ενώ τις χαμηλότερες επιδόσεις συνολικά σημείωσαν η Genoa και η La Spezia. Το πιο κρίσιμο συμπέρασμα της εργασίας είναι ότι ο μεγάλος όγκος διακίνησης δεν συνεπάγεται αυτόματα και υψηλή αποδοτικότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο λιμένας της Valencia, ο οποίος αν και ανήκει στην υψηλότερη κλάση παραγωγικότητας, θεωρείται μη αποδοτικός επειδή διαθέτει πολυάριθμες υποδομές και μέσα που δεν αξιοποιούνται στο βέλτιστο βαθμό. Τέλος, για να καταστούν αποδοτικοί οι λιμένες που υστερούν, προτείνεται είτε η αύξηση της παραγωγικότητας και του τζίρου τους διατηρώντας την ίδια βάση υποδομών (σταθερές εισροές με αυξημένες εκροές), είτε η ανακατανομή και αναδιάταξη των ήδη υπαρχόντων πόρων τους.

Στη διπλωματική εργασία του Tsagkaris (2025) διερευνάται η επίδραση της αυτοματοποίησης στην αποδοτικότητα 20 μεγάλων λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, χρησιμοποιώντας μια καινοτόμο μεθοδολογία δύο σταδίων με τα μοντέλα DEA (Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων) και παλινδρόμησης Tobit. Στο πρώτο στάδιο, η μελέτη εξετάζει την τεχνική αποδοτικότητα των λιμένων αξιολογώντας τη σχέση μεταξύ των υποδομών/εξοπλισμού τους (εισροές) και του παραγόμενου έργου σε διακίνηση TEUs (εκροές), αναδεικνύοντας λιμένες όπως Gioia Tauro, Sines και Port Said ως πλήρως αποδοτικούς, ενώ αντίθετα η Valencia και η Genoa καταγράφουν τις χαμηλότερες επιδόσεις. Στο δεύτερο στάδιο, η εφαρμογή του μοντέλου Tobit οδήγησε στο πιο κρίσιμο συμπέρασμα της εργασίας, το οποίο καταδεικνύει ότι η εισαγωγή της αυτοματοποίησης δεν συνεπάγεται αυτόματα και αυξημένη αποδοτικότητα, παρουσιάζοντας μάλιστα αρχικά μια οριακά αρνητική συσχέτιση. Το εύρημα αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι η απλή υιοθέτηση τεχνολογιών αιχμής (όπως ψηφιακά συστήματα και αυτοματοποιημένος εξοπλισμός), χωρίς την κατάλληλη ενσωμάτωσή τους στις καθημερινές λειτουργίες και χωρίς την αναγκαία εκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού, δεν μπορεί να εγγυηθεί άμεσα βέλτιστα αποτελέσματα. Αντιθέτως, η ένταση του φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου (TEUS/Call) βρέθηκε να επιδρά σημαντικά και θετικά, υπογραμμίζοντας τη σημασία της συγκέντρωσης φορτίου και της αποτελεσματικής αξιοποίησης των υφιστάμενων λιμενικών υποδομών. Τέλος, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η πλειονότητα των εξεταζόμενων λιμένων εμφανίζει αυξανόμενες αποδόσεις κλίμακας, γεγονός που αποδεικνύει ότι υπάρχουν τεράστια περιθώρια περαιτέρω βελτίωσης της αποδοτικότητάς τους μέσω ορθολογικών στρατηγικών επενδύσεων και αύξησης του διακινούμενου όγκου εμπορευματοκιβωτίων.

2.4 Η Ανάλυση Στοχαστικού Συνόρου (SFA) για εκτίμηση της αποδοτικότητας

Σύμφωνα με τους Cullinane και Donk-Wook Song (2006) η βιβλιογραφία για τα μοντέλα συνόρου (frontier models) πηγάζει από το έργο του Farrell (1957), ο οποίος όρισε ένα μέτρο της οικονομικής αποτελεσματικότητας που αποτελείται από δύο συνιστώσες: την τεχνική αποδοτικότητα και την αποδοτικότητα κατανομής (ή τιμολόγησης).

Η τεχνική αποδοτικότητα αντικατοπτρίζει την ικανότητα μιας επιχείρησης να παράγει το μέγιστο δυνατό προϊόν από ένα δεδομένο σύνολο εισροών. Αντίθετα, η αποδοτικότητα κατανομής αντικατοπτρίζει την ικανότητα μιας επιχείρησης να χρησιμοποιεί τις εισροές σε βέλτιστες αναλογίες, δεδομένων των αντίστοιχων τιμών τους. Αυτά τα δύο μέτρα συνδυάζονται για να παρέχουν ένα μέτρο της συνολικής οικονομικής αποδοτικότητας. Αν και ο Farrell παρείχε την αρχική διορατικότητα, η θεωρία του δεν προσδιόρισε πώς θα έπρεπε να υπολογιστούν τα διάφορα μέτρα αποδοτικότητας. Ωστόσο, το έργο του έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη της Ανάλυσης Περιβάλλουσας Δεδομένων (Data Envelopment Analysis - DEA) και της Στοχαστικής Ανάλυσης Μετώπου (Stochastic Frontier Analysis- SFA). Οι οικονομετρικές προσεγγίσεις έχουν έναν ισχυρό προσανατολισμό πολιτικής, ειδικά όταν εφαρμόζονται στην ανάλυση της αποτελεσματικότητας του δημόσιου τομέα, όπου τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση χρησιμοποιούνται συχνά για να βοηθήσουν στον καθορισμό της μελλοντικής κατεύθυνσης της κυβερνητικής πολιτικής ή για την παρακολούθηση της απόδοσης των δημόσιων υπηρεσιών. Σε αντίθεση με τη μη παραμετρική προσέγγιση DEA, η SFA απαιτεί τον προσδιορισμό μιας συγκεκριμένης συναρτησιακής μορφής για τη συνάρτηση παραγωγής. Επιπλέον, η SFA επιχειρεί να διακρίνει τις επιδράσεις του θορύβου (τυχαία σφάλματα) από τις επιδράσεις της αναποτελεσματικότητας.

2.5 Συμπεράσματα βιβλιογραφίας

Μια σειρά από προσεγγίσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της απόδοσης των λιμένων. Στο παρελθόν, αυτές περιλάμβαναν τον υπολογισμό της παραγωγικότητας διακίνησης φορτίου στην αποβάθρα, τη μέτρηση της παραγωγικότητας ενός παράγοντα (single factor productivity), τη σύγκριση της πραγματικής με τη βέλτιστη διακίνηση (throughput) σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, την εκτίμηση μιας συνάρτησης λιμενικού κόστους, τον υπολογισμό της συνολικής παραγωγικότητας των παραγόντων ενός λιμένα και τη δημιουργία ενός μοντέλου λιμενικής απόδοσης και αποτελεσματικότητας με χρήση πολλαπλής ανάλυσης παλινδρόμησης. Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στη μέτρηση του βαθμού σχετικής αποτελεσματικότητας στις παραγωγικές δραστηριότητες. Για το σκοπό αυτό, δύο πιο σύνθετες, αλλά καταλληλότερες, ολιστικές προσεγγίσεις - η Ανάλυση Περιβάλλουσας Δεδομένων (DEA) και η Στοχαστική Ανάλυση Ορίων (SFA) - χρησιμοποιούνται ολοένα

και περισσότερο σε προσπάθειες ανάλυσης της λιμενικής παραγωγής και απόδοσης. (Cullinane & Song, 2006).

Από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας προκύπτει ότι η μέτρηση της αποδοτικότητας των λιμένων αποτελεί έναν δυναμικό ερευνητικό τομέα. Ενώ η μέθοδος DEA κυριαρχεί ιστορικά, η Στοχαστική Ανάλυση Συνόρων (SFA) κερδίζει έδαφος λόγω της ικανότητάς της να διαχωρίζει τον στατιστικό θόρυβο από την πραγματική αναποτελεσματικότητα. Παράλληλα, η διαχρονική εξέλιξη των δεικτών απόδοσης (KPIs), όπως αποτυπώθηκε από τους διεθνείς οργανισμούς, δείχνει μια διεύρυνση της έννοιας της απόδοσης σε πολλαπλά πεδία.

Από την εξαντλητική καταγραφή των KPIs καθίσταται σαφές ότι η λιμενική απόδοση είναι μια πολυδιάστατη έννοια. Ωστόσο, η ενσωμάτωση του συνόλου αυτών των δεικτών σε ένα ενιαίο οικονομετρικό μοντέλο είναι πρακτικά και μαθηματικά αδύνατη, αφενός λόγω της έλλειψης δημόσια διαθέσιμων, ποσοτικών δεδομένων για το σύνολο των λιμένων, και αφετέρου λόγω των περιορισμών στους βαθμούς ελευθερίας (degrees of freedom) των στατιστικών μοντέλων. Για τον λόγο αυτό, η παρούσα έρευνα, ακολουθώντας την κλασική λιμενική βιβλιογραφία, απομονώνει την κατηγορία «Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα» (η οποία καλύπτει και το 31,79% των δεικτών απόδοσης), εστιάζοντας στις απολύτως κρίσιμες εισροές (υποδομές/εξοπλισμός) και εκροές (TEUs) για τη μέτρηση της Τεχνικής Αποδοτικότητας.

Στη βάση αυτών των βιβλιογραφικών συμπερασμάτων, το επόμενο κεφάλαιο αναλύει διεξοδικά τη μεθοδολογική προσέγγιση που υιοθετήθηκε, περιγράφοντας τα εργαλεία και τη μαθηματική εξειδίκευση του μοντέλου που εφαρμόστηκε στο δείγμα των μεσογειακών λιμένων.

3 Μεθοδολογική προσέγγιση

3.1 Περιγραφή της μεθοδολογίας

Το αρχικό στάδιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρώθηκε στη συστηματική συλλογή δεδομένων για ένα δείγμα 42 λιμένων εμπορευματοκιβωτίων. Αρχικά, αντλήθηκαν στοιχεία από επίσημες βάσεις δεδομένων (όπως η Eurostat) και εξειδικευμένες εκδόσεις του ναυτιλιακού κλάδου (π.χ. Lloyd's List), καθώς και από την πρόσφατη σχετική βιβλιογραφία. Ακολούθησε ο έλεγχος αξιοπιστίας, η επαλήθευση και η συμπλήρωση τυχόν ελλείψεων μέσω της άντλησης πρωτογενών στοιχείων από τις επίσημες ιστοσελίδες των επιμέρους λιμενικών αρχών (Annual Reports), αλλά και μέσω χωρικής ανάλυσης δορυφορικών απεικονίσεων (Google Earth/Maps). Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν στα χαρακτηριστικά της γης, των υποδομών και του εξοπλισμού των λιμένων (εισροές) και στοιχεία σχετικά με την παραγωγικότητα και τα οικονομικά αποτελέσματα κάθε λιμένα (εκροές). Στόχος ήταν τα δεδομένα αυτά να είναι όσο το δυνατόν πιο πρόσφατα και αξιόπιστα, προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας να χαρακτηρίζονται από εγκυρότητα και αξιοπιστία.

Η εστίαση στην άντληση των πλέον επικαιροποιημένων (έτος αναφοράς 2024) και αξιόπιστων δεδομένων, αποτέλεσε θεμελιώδη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων. Τα συλλεχθέντα δεδομένα οργανώθηκαν σε ψηφιακή βάση δεδομένων (Microsoft Excel) και, ακολούθως, εξήχθησαν σε μορφή .csv για την εισαγωγή τους στο στατιστικό λογισμικό R, μέσω του οποίου διενεργήθηκε η οικονομετρική ανάλυση.

Όσον αφορά την αναλυτική μεθοδολογία, εφαρμόστηκε μια διαδικασία δύο σταδίων:

1) Στο πρώτο στάδιο υιοθετήθηκε η λογαριθμο-γραμμική μορφή της συνάρτησης παραγωγής Cobb-Douglas για το σύνολο των μεταβλητών εισροών και εκροών. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το εξειδικευμένο πακέτο "frontier" της γλώσσας R και υποθέτοντας ημι-κανονική κατανομή (half-normal distribution) για τον όρο της αναποτελεσματικότητας, εφαρμόστηκε το μοντέλο Στοχαστικής Ανάλυσης Συνόρων (SFA) για την εκτίμηση της σχετικής αποδοτικότητας του κάθε λιμένα. Τέλος, για την επιβεβαίωση της συνολικής στατιστικής σημαντικότητας του μοντέλου, διενεργήθηκε Έλεγχος Λόγου Πιθανοφανειών (Likelihood Ratio Test - LR Test).
2) Στο δεύτερο στάδιο, αξιοποιώντας τις αποδοτικότητες που προέκυψαν από το πρώτο στάδιο και με επιπλέον δεδομένα για την αυτοματοποίηση και την περιοχή που βρίσκονται τα εξεταζόμενα λιμάνια, διενεργήθηκε Παλινδρόμηση με Αποκοπή (Truncated Regression) με δεξιά αποκοπή στη μονάδα.

Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται αναλυτικά το θεωρητικό υπόβαθρο των δύο μοντέλων που εφαρμόζονται, αρχικά για το μοντέλο SFA και στη συνέχεια για το μοντέλο Truncated Regression.

3.2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

3.2.1 Μοντέλο Στοχαστικής Ανάλυσης Συνόρου (SFA)

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με στόχο τη σύγκριση της αποδοτικότητας των λιμένων και την εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων, επιλέχθηκε η εφαρμογή της μεθόδου της Στοχαστικής Ανάλυσης Συνόρου – Stochastic Frontier Analysis, ή συνοπτικά SFA. Πριν από την αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου και των εξισώσεών της, κρίνεται σκόπιμη η αποσαφήνιση βασικών εννοιών, προκειμένου να καταστεί σαφής η λειτουργία και η χρησιμότητα της SFA στο πλαίσιο της παρούσας ερευνητικής προσέγγισης.

1. Εισροές (Inputs) / Εκροές (Outputs): Εισροές για μία παραγωγική μονάδα μπορούν να χαρακτηριστούν όλα τα αγαθά (εργατικό δυναμικό, κεφάλαιο, υποδομές, πρώτες ύλες κ.λπ.) τα οποία διατίθενται, ώστε να χρησιμοποιηθούν και τελικά να παραχθούν τα αγαθά εκείνα (προϊόντα, διακινούμενο φορτίο, υπηρεσίες κ.λπ.), τα οποία η μονάδα καλείται να παραγάγει.

2. Μονάδες Παραγωγής (Production Units): Οι οντότητες οι οποίες αξιολογούνται και συγκρίνονται ως προς την αποδοτικότητά τους. Στην παρούσα εργασία, ως μονάδες παραγωγής θεωρούνται οι επιμέρους λιμένες εμπορευματοκιβωτίων, οι οποίοι συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς την αποτελεσματικότητα αξιοποίησης των υποδομών και του εξοπλισμού τους.

3. Τεχνική Αποδοτικότητα (Technical Efficiency): Η ικανότητα μιας παραγωγικής μονάδας να επιτυγχάνει τη μέγιστη δυνατή εκροή με βάση ένα δεδομένο σύνολο εισροών και μια συγκεκριμένη τεχνολογία. Η SFA επιτρέπει τον διαχωρισμό της τυχαίας επίδρασης (θορύβου) από την πραγματική τεχνική αναποτελεσματικότητα της μονάδας.

Η μέθοδος SFA προτάθηκε ανεξάρτητα το 1977 από τους Aigner, Lovell και Schmidt, καθώς και από τους Meeusen και van den Broeck. Σε αντίθεση με μη παραμετρικές μεθόδους (όπως η DEA), η SFA είναι μια οικονομετρική μέθοδος που ορίζει εκ των προτέρων μια συγκεκριμένη συναρτησιακή μορφή για το σύνορο παραγωγής και ενσωματώνει ένα σύνθετο σφάλμα (composed error term). Το σφάλμα αυτό επιτρέπει στο μοντέλο να διακρίνει αν η απόκλιση μιας μονάδας από το ιδανικό σύνορο οφείλεται σε παράγοντες που βρίσκονται υπό τον έλεγχό της (αναποτελεσματικότητα) ή σε εξωγενείς, τυχαίους παράγοντες (π.χ. καιρικές συνθήκες, απεργίες, οικονομικές κρίσεις).

Σκοπός της μεθόδου είναι η εκτίμηση του στοχαστικού ορίου της παραγωγικής δυνατότητας (stochastic production frontier), το οποίο προσδιορίζει τη μέγιστη δυνατή εκροή για κάθε δεδομένο επίπεδο εισροών, λαμβάνοντας υπόψη τη στοχαστική φύση της παραγωγικής διαδικασίας.

Στην οικονομική επιστήμη, η Συνάρτηση Παραγωγής (Production Function) αποτελεί το μαθηματικό υπόδειγμα που περιγράφει την τεχνολογική σχέση ανάμεσα στις ποσότητες των φυσικών εισροών (συντελεστές παραγωγής, όπως εργασία, κεφάλαιο, γη, εξοπλισμός) που χρησιμοποιεί μια επιχείρηση και στη μέγιστη δυνατή ποσότητα εκροής (προϊόντος ή υπηρεσίας) που μπορεί να παραχθεί σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, με δεδομένο το επίπεδο της διαθέσιμης τεχνολογίας (Varian, 2010).

Στην κλασική μικροοικονομική θεωρία, η συνάρτηση παραγωγής εκφράζει την έννοια της αποτελεσματικής παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι οι μονάδες απόφασης θεωρείται ότι λειτουργούν στο μέγιστο των δυνατοτήτων τους, εξαλείφοντας κάθε σπατάλη πόρων. Η γενική μαθηματική της μορφή ορίζεται ως:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m)$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 1: Γενική Μαθηματική Μορφή Συνάρτησης Παραγωγής

Όπου Y είναι το επίπεδο της παραγόμενης εκροής και X_i οι χρησιμοποιούμενες εισροές.

Η συνάρτηση αυτή διέπεται από ορισμένες βασικές ιδιότητες:

1. Θετική αλλά Φθίνουσα Οριακή Παραγωγικότητα (Law of Diminishing Marginal Returns): Η προσθήκη επιπλέον μονάδων μίας εισροής (π.χ. περισσότεροι γερανοί σε έναν λιμένα), ενώ όλες οι άλλες εισροές παραμένουν σταθερές, αυξάνει τη συνολική εκροή, αλλά με φθίνοντα ρυθμό. Μαθηματικά, η πρώτη παράγωγος ως προς την εισροή X_i είναι θετική $\left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} > 0\right)$, ενώ η δεύτερη παράγωγος είναι αρνητική $\left(\frac{\partial^2 Y}{\partial X_i^2} < 0\right)$.

2. Ελαστικότητα Παραγωγής (Production Elasticity): Μετρά την ποσοστιαία μεταβολή της εκροής που προκαλείται από μια ποσοστιαία μεταβολή σε μια συγκεκριμένη εισροή, κρατώντας τις υπόλοιπες σταθερές:

$$\eta_i = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot \frac{X_i}{Y}$$

Στην παραδοσιακή οικονομετρική ανάλυση (π.χ. μέσω της μεθόδου OLS), η συνάρτηση παραγωγής υποθέτει ότι οι αποκλίσεις των πραγματικών δεδομένων από τη γραμμή παλινδρόμησης οφείλονται αποκλειστικά σε τυχαία σφάλματα. Η γραμμή αυτή αντιπροσωπεύει τη «μέση» παραγωγική συμπεριφορά του δείγματος.

Αντίθετα, στην ανάλυση SFA, η συνάρτηση παραγωγής μετατρέπεται σε Συνάρτηση Συνόρου (Frontier Production Function). Δεν αποτυπώνει τον μέσο όρο, αλλά το ανώτατο θεωρητικό όριο (border) των παραγωγικών δυνατοτήτων του κλάδου.

Με την εισαγωγή της Cobb-Douglas log-linear μορφής, η στοχαστική συνάρτηση παραγωγής διαμορφώνεται ως:

$$\ln Y_j = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m} \beta_i \ln X_{ij} + v_j + u_j$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 2: Στοχαστική Συνάρτηση Παραγωγής με λογαριθμο-γραμμική Cobb-Douglas μορφή

Στο πλαίσιο αυτό, η οικονομική ερμηνεία της συνάρτησης παραγωγής αποκτά διττή σημασία:

- Το ντετερμινιστικό και τυχαίο τμήμα $\beta_0 + \sum_{i=1}^{m} \beta_i \ln X_{ij} + v_j$ προσδιορίζει τη θέση του στοχαστικού ορίου, δηλαδή το τι *θα μπορούσε* να επιτύχει ο λιμένας αν λειτουργούσε με τέλεια αποδοτικότητα κάτω από τις τρέχουσες τυχαίες συνθήκες v_j.

- Ο όρος u_j μετρά την απόσταση της πραγματικής παραγωγής από αυτό το βέλτιστο όριο, προσφέροντας το μέτρο της οικονομικής και τεχνικής αποτυχίας ή επιτυχίας της διοίκησης του λιμένα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η μοντελοποίηση της συνάρτησης παραγωγής επιτρέπει να κατανοήσουμε όχι μόνο ποιοι λιμένες διακινούν τα περισσότερα εμπορευματοκιβώτια, αλλά ποιοι από αυτούς αξιοποιούν με τον βέλτιστο (οικονομικά και τεχνολογικά) τρόπο τις υποδομές τους (κρηπιδώματα, έκταση terminal) και τον εξοπλισμό τους (γερανογέφυρες).

Αναλυτικότερα χρησιμοποιήθηκε η κλασική συνάρτηση παραγωγής Cobb-Douglas, η οποία αποτελεί την πιο διαδεδομένη και εύχρηστη μορφή στην παραγωγική ανάλυση. Η γενική της μορφή για m εισροές ορίζεται ως:

$$Y_j = A \prod_{i=1}^{m} X_{ij}^{\beta i} e^{v_j - u_j}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 3: Κλασική Συνάρτηση Παραγωγής Cobb-Douglas

Όπου:

- Y_j: Η εκροή της παραγωγικής μονάδας (λιμένα) j, (όπου $j = 1, 2, \dots, n$).
- X_{ij}: Η ποσότητα της εισροής i που χρησιμοποιείται από τη μονάδα j.
- A, βi: Οι προς εκτίμηση παράμετροι της τεχνολογίας παραγωγής.
- $v_j - u_j$: Το σύνθετο σφάλμα της στοχαστικής προσέγγισης.

Για τη διευκόλυνση της οικονομετρικής εκτίμησης με τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Estimation - MLE), η ανωτέρω σχέση μετασχηματίζεται μέσω της χρήσης φυσικών λογαρίθμων ($\ln$) στη λογαριθμο-γραμμική (log-linear) μορφή της:

$$\ln Y_j = \beta_0 + \sum_{i=1}^{m} \beta_i \ln X_{ij} + v_j - u_j$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 4: Λογαριθμο-γραμμική συνάρτηση παραγωγής Stochastic Frontier Cobb-Douglas

Όπου $\beta_0 = \ln A$ είναι ο σταθερός όρος του μοντέλου.

Οι συντελεστές β_i αντιπροσωπεύουν τις ελαστικότητες παραγωγής (production elasticities) ως προς την αντίστοιχη εισροή i, υποδεικνύοντας την ποσοστιαία μεταβολή της εκροής σε μια ποσοστιαία μεταβολή της εισροής.

Στο πλαίσιο της συνάρτησης Cobb-Douglas, οι αποδόσεις κλίμακας προσδιορίζονται άμεσα από το άθροισμα των συντελεστών β_i:

- Αν $\sum_{i=1}^{m} \beta_i = 1$: Σταθερές αποδόσεις κλίμακας (Constant Returns to Scale - CRS).
- Αν $\sum_{i=1}^{m} \beta_i < 1$: Φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας (Decreasing Returns to Scale - DRS).
- Αν $\sum_{i=1}^{m} \beta_i > 1$: Αυξανόμενες αποδόσεις κλίμακας (Increasing Returns to Scale - IRS).

Η καινοτομία του μοντέλου SFA έγκειται στη διάσπαση του συνολικού σφάλματος σε δύο ανεξάρτητα τμήματα, v_j και u_j:

$$\varepsilon_j = v_j - u_j$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 5 : Σύνθετος όρος σφάλματος SFA

Πιο αναλυτικά:

1. Το σφάλμα v_j αντιπροσωπεύει τον τυχαίο θόρυβο (stochastic noise). Αφορά εξωγενείς παράγοντες, ανακρίβειες στα δεδομένα ή παραλειφθείσες μεταβλητές που δεν ελέγχονται από τον λιμένα. Υποτίθεται ότι ακολουθεί την κανονική κατανομή, είναι συμμετρικό γύρω από το μηδέν και ανεξάρτητο από το u_j:

$$v_j \sim N(0, \sigma_v^2)$$

2. Το σφάλμα u_j αντιπροσωπεύει την τεχνική αναποτελεσματικότητα (technical inefficiency) της μονάδας. Καθώς η αναποτελεσματικότητα μπορεί μόνο να μειώσει την παραγωγή κάτω από το μέγιστο δυνατό σύνορο, ο όρος u_j πρέπει να λαμβάνει μόνο μη αρνητικές τιμές ($u_j \geq 0$). Στην κλασική της μορφή, υποτίθεται ότι ακολουθεί την ημι-κανονική κατανομή (half-normal distribution):

$$u_j \sim N^+(0, \sigma_u^2)$$

Για την αξιολόγηση της συνεισφοράς της αναποτελεσματικότητας στη συνολική διακύμανση του μοντέλου, χρησιμοποιείται η παράμετρος γ (gamma) κατά Battese και Coelli (1992):

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma v^2 + \sigma_u^2}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 6 : Δείκτης Διακύμανσης Αναποτελεσματικότητας

Όπου:

- Αν $\gamma \to 0$, οι αποκλίσεις από το σύνορο οφείλονται αποκλειστικά σε τυχαίο θόρυβο, υποδεικνύοντας ότι το μοντέλο μπορεί να εκτιμηθεί με την απλή μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων (OLS).
- Αν $\gamma \to 1$, οι αποκλίσεις οφείλονται εξ ολοκλήρου στην τεχνική αναποτελεσματικότητα των μονάδων.

Μετά την οικονομετρική εκτίμηση των παραμέτρων $\beta_{0,}\, \beta_i, \sigma v^2\ \kappa\alpha\iota\ \sigma_u^2$ μέσω της μεθόδου Μέγιστης Πιθανοφάνειας, η Τεχνική Αποδοτικότητα (TE_j) για κάθε επιμέρους λιμένα υπολογίζεται ως ο λόγος της παρατηρηθείσας εκροής προς τη μέγιστη στοχαστική δυνατή εκροή:

$$TE_j = \frac{Y_j}{A\prod_{i=1}^{m} X_{ij}^{\beta i} e^{v_j}} = e^{-u_j}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 7: Δείκτης Τεχνικής Αποδοτικότητας Μονάδας

Επειδή ο όρος u_j δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμος, η εκτίμησή του πραγματοποιείται μέσω της δεσμευμένης προσδοκώμενης τιμής του u_j με δεδομένο το συνολικό σφάλμα ε_j, χρησιμοποιώντας τον predictor των Jondrow, Lovell, Materov και Schmidt (JLMS, 1982):

$$TE_j = E\left[e^{-u_j} | \varepsilon_j\right]$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 8: Εκτιμητής JLMS για την τεχνική αποδοτικότητα

Ο δείκτης λαμβάνει τιμές στο διάστημα $(0,1]$:

- Αν $TE_j = 1$, ο λιμένας λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα πάνω στο στοχαστικό σύνορο παραγωγής.
- Αν $TE_j < 1$, ο λιμένας παρουσιάζει τεχνική αναποτελεσματικότητα, πράγμα που σημαίνει ότι με τις ίδιες εισροές θα μπορούσε να επιτύχει μεγαλύτερο όγκο εκροών.

Ύστερα από την παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου της μεθοδολογίας SFA, ακολουθεί η εξειδίκευση του μοντέλου για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι υπό εξέταση λιμένες αντιμετωπίζονται ως αυτόνομες μονάδες παραγωγής.

Στην προκειμένη μελέτη επιλέγεται η προσανατολισμένη στις εκροές (output-oriented) προσέγγιση της SFA. Η επιλογή αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η διοίκηση ενός λιμένα εμπορευματοκιβωτίων στοχεύει κατά κανόνα στη μεγιστοποίηση της διακίνησης φορτίων (TE) και των παρεχόμενων υπηρεσιών, έχοντας δεδομένες και βραχυπρόθεσμα σταθερές τις λιμενικές υποδομές και τον κεφαλαιουχικό εξοπλισμό (εισροές). Η χρήση της λογαριθμο-γραμμικής Cobb-Douglas επιτρέπει την άμεση οικονομική ερμηνεία των συντελεστών, προσφέροντας μια σαφή και ρεαλιστική αποτύπωση των περιθωρίων βελτίωσης της αποδοτικότητας του κάθε λιμένα.

3.2.2 Μοντέλο Παλινδρόμησης με Αποκοπή (Truncated Regression) με Δεξιά Αποκοπή στο 1

Όταν ο στόχος της έρευνας επεκτείνεται στον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν την τεχνική αποδοτικότητα των λιμένων (π.χ. ιδιοκτησιακό καθεστώς, γεωγραφική θέση, βαθμός αυτοματοποίησης), η εξαρτημένη μεταβλητή προς ανάλυση είναι ο εκτιμώμενος δείκτης Τεχνικής Αποδοτικότητας (TE_j).

Όπως ορίστηκε στην Εξίσωση 8, ο δείκτης λαμβάνει τιμές αυστηρά στο διάστημα $(0,1]$. Όταν μια μεταβλητή είναι θεωρητικά και μαθηματικά περιορισμένη σε ένα συγκεκριμένο διάστημα και δεν έχουμε απλώς έλλειψη δεδομένων (censoring), αλλά ολόκληρος ο πληθυσμός αναφοράς υφίσταται αυτόν τον περιορισμό, η στατιστική θεωρία επιτάσσει τη χρήση του Μοντέλου Παλινδρόμησης με Αποκοπή (Truncated Regression Model). Στην προκειμένη περίπτωση, εφαρμόζεται μοντέλο με δεξιά αποκοπή (right-truncation) στο ανώτατο όριο $C = 1$.

Μαθηματική Διατύπωση του Μοντέλου

Έστω Y_j^* μια λανθάνουσα (latent) ή μη περιορισμένη μεταβλητή που εκφράζει την τάση αποδοτικότητας του λιμένα j, η οποία εξαρτάται γραμμικά από ένα σύνολο επεξηγηματικών μεταβλητών Z_j:

$$Y_j^* = Z_j\delta + \varepsilon_j, \;\; \varepsilon_j \sim N(0, \sigma^2)$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 9: Συνάρτηση Λανθάνουσας Αποδοτικότητας Λιμένων

Όπου:

- Z_j: Διάνυσμα ανεξάρτητων μεταβλητών (περιβαλλοντικοί ή θεσμικοί παράγοντες) που ερμηνεύουν την αποδοτικότητα.
- δ: Διάνυσμα των προς εκτίμηση παραμέτρων.
- ε_j: Ο όρος του σφάλματος, ο οποίος ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέσο μηδέν και σταθερή διακύμανση σ^2.

Η πραγματικά παρατηρούμενη μεταβλητή Y_j (δηλαδή ο δείκτης TE_j) υφίσταται αποκοπή στο 1, πράγμα που σημαίνει ότι παρατηρείται μόνο όταν η λανθάνουσα μεταβλητή είναι μικρότερη ή ίση της μονάδας:

$$Y_j = \begin{cases} Y_j^* & \alpha\nu \; Y_j^* \leq 1 \\ \mu\eta \; \pi\alpha\rho\alpha\tau\eta\rho\acute{\eta}\sigma\iota\mu\sigma & \alpha\nu \; Y_j^* > 1 \end{cases}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 10: Συνθήκη δεξιάς αποκοπή στο 1

Λόγω της αποκοπής, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF) της Y_j πρέπει να αναπροσαρμοστεί ώστε το ολοκλήρωμά της στο επιτρεπτό διάστημα $(-\infty, 1]$ να ισούται με τη μονάδα. Η υπό συνθήκη (conditional) πυκνότητα πιθανότητας της Y_j, δεδομένου ότι $\mathrm{Y_j} \leq 1$, διαμορφώνεται ως εξής:

$$f\left(Y_j \mid Y_j \leq 1\right) = \frac{f\left(Y_j\right)}{P\left(Y_j^* \leq 1\right)} = \frac{\frac{1}{\sigma}\phi\left(\frac{Y_j - Z_j\delta}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{1 - Z_j\delta}{\sigma}\right)}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 11: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας με δεξιά αποκοπή στο 1

Όπου:

- $\phi(\cdot)$: Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) της τυπικής κανονικής κατανομής.
- $\Phi(\cdot)$: Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (cdf) της τυπικής κανονικής κατανομής.

Ο παρονομαστής $\Phi\left(\frac{1-Z_j\delta}{\sigma}\right)$ αντιπροσωπεύει την πιθανότητα μια παρατήρηση να μην έχει αποκοπεί (scaling factor), εξασφαλίζοντας τη στατιστική εγκυρότητα της κατανομής.

Η εκτίμηση των παραμέτρων δ και σ^2 δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων (OLS), καθώς η παράλειψη του παράγοντα αποκοπής θα οδηγούσε σε μεροληπτικούς συντελεστές (bias) προς το μηδέν. Αντίθετα, χρησιμοποιείται η Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Estimation - MLE).

Η συνάρτηση Λογαριθμικής Πιθανοφάνειας $(\ln L)$ για ένα δείγμα λιμένων καταστρώνεται ως το άθροισμα των λογαρίθμων των υπό συνθήκη πυκνοτήτων:

$$\ln L\,(\delta,\sigma) = -\frac{n}{2}\ln(2\pi) - n\ln(\sigma) - \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{j=1}^{n}\left(Y_j - Z_j\delta\right)^2 - \sum_{j=1}^{n}\ln\left[\Phi\left(\frac{1 - Z_j\delta}{\sigma}\right)\right]$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 12: Συνάρτηση Λογαριθμικής Πιθανοφάνειας για δεξιά αποκοπή

Η μεγιστοποίηση της ανωτέρω συνάρτησης ως προς δ και σ πραγματοποιείται μέσω επαναληπτικών αριθμητικών αλγορίθμων (π.χ. Newton-Raphson).

Σε ένα μοντέλο με αποκοπή, οι εκτιμώμενοι συντελεστές δ_k δεν ισούνται άμεσα με την οριακή επίδραση της μεταβλητής Z_k στην πραγματικά παρατηρούμενη αποδοτικότητα Y. Η αναμενόμενη τιμή της Y_j στο αποκομμένο δείγμα είναι:

$$E\left[Y_j \mid Y_j \le 1\right] = Z_j\delta - \sigma\frac{\phi(\alpha_j)}{\Phi(\alpha_j)}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 13: Συνάρτηση Δεσμευμένης Αναμενόμενης Τιμής Υποδείγματος Αποκοπής

Όπου $\alpha_j = \frac{1 - Z_j\delta}{\sigma}$**.** Επομένως, η οριακή επίδραση (marginal effect) μιας συνεχούς μεταβλητής Z_{jk} στην αναμενόμενη τιμή της αποδοτικότητας υπολογίζεται ως:

$$\frac{\partial E\left[Y_j \mid Y_j \le 1\right]}{\partial Z_{jk}} = \delta_k\left[1 - \lambda_j\left(\lambda_j - \alpha_j\right)\right]$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 14: Οριακή επίδραση μεταβλητών στο μοντέλο αποκοπής

Όπου $\lambda_j = \frac{\phi(\alpha_j)}{\Phi(\alpha_j)}$ είναι ο λόγος του Mills (Inverse Mills Ratio). Επειδή ο όρος εντός της αγκύλης είναι πάντα θετικός και μικρότερος της μονάδας, η οριακή επίδραση έχει το ίδιο πρόσημο με τον συντελεστή δ_k**,** αλλά μικρότερο μέγεθος**,** γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της σωστής στατιστικής διόρθωσης κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της διπλωματικής εργασίας.

4 Ανάλυση και αποτελέσματα

Οι λιμένες με τους οποίους θα ασχοληθεί η παρούσα διπλωματική διαθέτουν προβλήτες διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (Ε/Κ). Για να αντληθούν τα απαιτούμενα δεδομένα για την μετέπειτα ανάπτυξη του μοντέλου, αξιοποιήθηκαν στοιχεία από επίσημες βάσεις δεδομένων (όπως η Eurostat) και εξειδικευμένες εκδόσεις του ναυτιλιακού κλάδου (π.χ. Lloyd's List), καθώς και από την πρόσφατη σχετική βιβλιογραφία (π.χ. πρόσφατες διπλωματικές εργασίες ή έρευνες τρίτων). Ακολούθησε ο έλεγχος αξιοπιστίας, η επαλήθευση και η συμπλήρωση τυχόν ελλείψεων μέσω της άντλησης πρωτογενών στοιχείων από τις επίσημες ιστοσελίδες των επιμέρους λιμενικών αρχών (Annual Reports), αλλά και μέσω χωρικής ανάλυσης δορυφορικών απεικονίσεων (Google Earth/Maps).

4.1 Ανάπτυξη μοντέλων SFA

4.1.1 Επιλογή μεταβλητών και συλλογή δεδομένων

Από την έρευνα εντοπίστηκαν ελλείψεις διαφόρων στοιχείων, γεγονός που οδήγησε και στον περιορισμό των μεταβλητών εισόδου και εξόδου του μοντέλου. Επιλέχθηκαν 42 λιμένες, για τους οποίους βρέθηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα εισροών και εκροών.

Τα κριτήρια επιλογής των λιμένων είναι τα εξής:

1) Να είναι Μεσογειακά ή Ευρωπαϊκά.
2) Να είναι λιμένες διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων και όχι εμπορικοί λιμένες διακίνησης γενικού φορτίου. Όσοι λιμένες είχαν και επιβατικούς τερματικούς σταθμούς, αυτοί δεν ληφθήκαν υπόψη στους υπολογισμούς.

Η αποδοτικότητα των λιμένων μετριέται συχνά μέσω της τεχνικής αποδοτικότητας, δηλαδή της σχέσης μεταξύ των εισροών (inputs) και των εκροών (outputs) της λιμενικής λειτουργίας (Cullinane, Song, Ji & Wang (2006). Επομένως τα δεδομένα των λιμένων που αναζητήθηκαν είναι:

Εκροή:

- Παραγωγικότητα σε TEUs (annual container port throughput): η πιο σημαντική εκροή ενός λιμένα. Αποτελεί δείκτη της αποδοτικότητας της παραγωγής ενός λιμένα.

Εισροές:

- Συνολικό μήκος κρηπιδώματος (σε μέτρα m).
- Έκταση του τερματικού σταθμού (σε εκτάρια ha).
- Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας (Ship to Shore Cranes STSs). Περιλαμβάνει αποκλειστικά τον βαρύ και εξειδικευμένο εξοπλισμό διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων, ήτοι τον αριθμό των γερανογεφυρών αποβάθρας (Ship to Shore Cranes - STSs). Ελαφρύτερα ή πολλαπλών χρήσεων μηχανήματα

αποκλείστηκαν, προκειμένου να διασφαλιστεί η απόλυτη τεχνολογική ομοιογένεια και συγκρισιμότητα του δείγματος.

- Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας (RTGs, RMGs). Περιλαμβάνει αποκλειστικά τον βαρύ και εξειδικευμένο εξοπλισμό διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων, ήτοι τον αριθμό των γερανογεφυρών στην περιοχή της στοιβασίας (RTGs, RMGs). Ελαφρύτερα ή πολλαπλών χρήσεων μηχανήματα αποκλείστηκαν, προκειμένου να διασφαλιστεί η απόλυτη τεχνολογική ομοιογένεια και συγκρισιμότητα του δείγματος.
- Συνολικές Προσεγγίσεις Πλοίων (Total Calls). Αντιπροσωπεύουν τη ναυτιλιακή ζήτηση και την ένταση εξυπηρέτησης στον λιμένα, ενσωματώνοντας τον ετήσιο αριθμό προσεγγίσεων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ανά εξεταζόμενο τερματικό σταθμό. Για την ενίσχυση της επεξηγηματικής ικανότητας του υποδείγματος, η μεταβλητή εισάγεται με χρονική υστέρηση (δεδομένα έτους 2023 έναντι του 2024 για τις υπόλοιπες μεταβλητές), μια μεθοδολογική επιλογή που αντανακλά τη σταθερότητα των προγραμμάτων των ναυτιλιακών γραμμών και αποτρέπει προβλήματα ενδογένειας (ταυτόχρονης αλληλοεπίδρασης ζήτησης και εκροής).

Περιβαλλοντική Μεταβλητή (Στον όρο Αναποτελεσματικότητας):

- Ύπαρξη Σιδηροδρομικής Σύνδεσης (Ψευδομεταβλητή - Dummy Variable): 1 για την ύπαρξη σιδηροδρομικής σύνδεσης και 0 για την απουσία της.

Επιπλέον Στοιχεία:

- TEUs/Crane (Quay Crane Productivity)
- TEUs/Crane (Yard Crane Productivity)

Οι λιμένες που εξετάζονται στην εργασία είναι:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Εξεταζόμενοι Λιμένες (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

α/α	Λιμένας	Χώρα	TEUs (2024)
1	Tanger Med	Μαρόκο	10.241.392
2	Valencia	Ισπανία	5.475.773
3	Piraeus	Ελλάδα	4.792.199
4	Algeciras	Ισπανία	4.712.793
5	Gioia Tauro	Ιταλία	3.940.500
6	Port Said	Αίγυπτος	3.905.266
7	Barcelona	Ισπανία	3.885.736
8	Marsaxlokk	Μάλτα	2.860.000
9	Genova	Ιταλία	2.447.815
10	Alexandria	Αίγυπτος	2.211.851
11	Aliaga	Τουρκία	2.119.200

12	Mersin	Τουρκία	1.889.900
13	Ashdod	Ισραήλ	1.848.000
14	Ambarli	Τουρκία	3.009.700
15	Haifa	Ισραήλ	1.490.000
16	Limassol	Κύπρος	250.000
17	Koper	Σλοβενία	1.133.340
18	Trieste	Ιταλία	841.867
19	Sines	Πορτογαλία	1.900.000
20	Marseille-Fos	Γαλλία	1.450.000
21	Casablanca	Μαρόκο	1.100.000
22	Costanta	Ρουμανία	989.795
23	Damietta	Αίγυπτος	1.709.869
24	La Spezia	Ιταλία	1.238.258
25	Iskenderun	Τουρκία	783.700
26	Izmir	Τουρκία	261.900
27	Thessaloniki	Ελλάδα	566.000
28	Rotterdam	Ολλανδία	13.820.000
29	Antwerp-Brugges	Βέλγιο	13.500.000
30	Hamburg	Γερμανία	7.800.000
31	Bremen/Bremenhaven	Γερμανία	4.444.800
32	Felixstowe	Μεγάλη Βρετανία	3.600.000
33	Southampton	Μεγάλη Βρετανία	2.000.000
34	London Gateway	Μεγάλη Βρετανία	1.900.000
35	Le Havre	Γαλλία	3.122.000
36	Leixoes	Πορτογαλία	715.061
37	Bilbao	Ισπανία	459.000
38	Gdansk	Πολωνία	2.240.000
39	Gothenburg	Σουηδία	909.000
40	Aarhus	Δανία	659.886
41	Helsinki	Φινλανδία	444.000
42	Klaipeda	Λιθουανία	1.068.771

Η συλλογή των στοιχείων αποτέλεσε μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, καθώς για πολλούς λιμένες δεν υπήρχαν δημοσιευμένα πολλά από τα δεδομένα τους. Η διαδικασία συλλογής των στοιχείων, εκτός από τον ιστότοπο της Eurostat και τους ιστοτόπους του κάθε λιμένα, πραγματοποιήθηκε και από συνδυαστικές πηγές, όπως Google Maps, αρθρογραφία, επιστημονικές μελέτες. Αυτό μας οδήγησε στον περιορισμό του αριθμού μεταβλητών εισόδου και εξόδου.

Μετά τη διαδικασία της συλλογής των δεδομένων εφαρμόστηκε το μοντέλο SFA. Όλα τα στοιχεία καταγράφονται σε αρχείο Excel και στη συνέχεια δημιουργήθηκε και ολοκληρώθηκε ο βασικός πίνακας με όλα τα δεδομένα που χρειάζονται για τις στήλες των μεταβλητών εισροών και εκροών. Η βάση δεδομένων αρχικά περιείχε περισσότερες στήλες με μεταβλητές, αλλά η έλλειψη δεδομένων και η αβεβαιότητα για την

εγκυρότητα ορισμένων μεταβλητών, έδωσαν στον πίνακα την τελική του μορφή, η οποία φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Βάση Δεδομένων (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

α/α	Λιμένας	Χώρα	TEUs (2024)	Μήκος Κρηπιδώματος (m)	Έκταση (ha)	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	TEUs/Crane (Quay Crane Productivity)	TEUs/Crane (Yard Crane Productivity)	Railway Connection	Total Calls (2023)
1	Tanger Med	Μαρόκο	10.241.392	4.812,00	212,00	39	113	262.599,79	90.631,79	1	3150
2	Valencia	Ισπανία	5.475.773	4.774,00	225,80	43	110	127.343,56	49.779,75	1	945
3	Piraeus	Ελλάδα	4.792.199	3.997,00	86,80	37	75	129.518,89	63.895,99	1	1440
4	Algeciras	Ισπανία	4.712.793	3.400,00	102,80	27	91	174.547,89	51.788,93	1	2061
5	Gioia Tauro	Ιταλία	3.940.500	3.385,00	160,00	23	0	171.326,09	-	1	75
6	Port Said	Αίγυπτος	3.905.266	950,00	55,99	8	37	488.158,25	105.547,73	1	1132
7	Barcelona	Ισπανία	3.885.736	3.015,00	161,00	26	56	149.451,38	69.388,14	1	1571
8	Marsaxlokk	Μάλτα	2.860.000	1.901,00	77,10	20	60	143.000,00	47.666,67	0	1501
9	Genova	Ιταλία	2.447.815	3.394,00	181,20	25	58	97.912,60	42.203,71	1	867
10	Alexandria	Αίγυπτος	2.211.851	1.571,00	56,90	14	31	157.989,36	71.350,03	1	329
11	Aliaga	Τουρκία	2.119.200	2.200,00	110,00	15	38	141.280,00	55.768,42	1	803
12	Mersin	Τουρκία	1.889.900	2.000,00	68,80	17	64	111.170,59	29.529,69	1	673
13	Ashdod	Ισραήλ	1.848.000	2.500,00	130,00	15	60	123.200,00	30.800,00	1	445
14	Ambarli	Τουρκία	3.009.700	2.000,00	150,00	14	40	214.978,57	75.242,50	0	817
15	Haifa	Ισραήλ	1.490.000	1.500,00	42,00	16	40	93.125,00	37.250,00	1	764
16	Limassol	Κύπρος	250.000	800,00	34,00	5	0	50.000,00	-	0	198
17	Koper	Σλοβενία	1.133.340	649,50	27,00	11	31	103.030,91	36.559,35	1	462
18	Trieste	Ιταλία	841.867	770,00	40,00	7	10	120.266,71	84.186,70	1	380
19	Sines	Πορτογαλία	1.900.000	1.140,00	42,00	12	0	158.333,33	-	1	49
20	Marseille-Fos	Γαλλία	1.450.000	3.760,00	231,00	14	0	103.571,43	-	1	552
21	Casablanca	Μαρόκο	1.100.000	2.100,00	50,00	12	36	91.666,67	30.555,56	1	253
22	Costanta	Ρουμανία	989.795	1.000,00	40,00	5	11	197.959,00	89.981,36	1	256
23	Damietta	Αίγυπτος	1.709.869	1.670,00	93,00	12	40	142.489,08	42.746,73	1	535
24	La Spezia	Ιταλία	1.238.258	2.376,00	50,50	15	20	82.550,53	61.912,90	1	153
25	Iskenderun	Τουρκία	783.700	920,00	100,00	4	13	195.925,00	60.284,62	1	166

26	Izmir	Τουρκία	261.900	1.050,00	15,20	5	14	52.380,00	18.707,14	1	251
27	Thessaloniki	Ελλάδα	566.000	550,00	37,00	6	1	94.333,33	566.000,00	1	317
28	Rotterdam	Ολλανδία	13.820.000	9.900,00	650,00	85	350	162.588,24	39.485,71	1	2863
29	Antwerp-Brugges	Βέλγιο	13.500.000	9.005,00	580,00	88	380	153.409,09	35.526,32	1	3486
30	Hamburg	Γερμανία	7.800.000	7.540,00	400,00	77	300	101.298,70	26.000,00	1	2122
31	Bremen/Bremenhaven	Γερμανία	4.444.800	4.680,00	290,00	41	110	108.409,76	40.407,27	1	1238
32	Felixstowe	Μεγάλη Βρετανία	3.600.000	3.274,00	340,00	33	85	109.090,91	42.352,94	1	545
33	Southampton	Μεγάλη Βρετανία	2.000.000	1.920,00	100,00	14	100	142.857,14	20.000,00	1	522
34	London Gateway	Μεγάλη Βρετανία	1.900.000	1.200,00	90,00	12	60	158.333,33	31.666,67	1	1476
35	Le Havre	Γαλλία	3.122.000	4.200,00	150,00	22	100	141.909,09	31.220,00	1	960
36	Leixoes	Πορτογαλία	715.061	900,00	18,50	6	18	119.176,83	39.725,61	1	239
37	Bilbao	Ισπανία	459.000	1.155,00	44,00	7	19	65.571,43	24.157,89	1	325
38	Gdansk	Πολωνία	2.240.000	1.300,00	88,00	14	40	160.000,00	56.000,00	1	366
39	Gothenburg	Σουηδία	909.000	1.800,00	80,00	10	40	90.900,00	22.725,00	1	272
40	Aarhus	Δανία	659.886	1.300,00	75,00	8	25	82.485,75	26.395,44	1	174
41	Helsinki	Φινλανδία	444.000	1.500,00	45,00	5	35	88.800,00	12.685,71	1	124
42	Klaipeda	Λιθουανία	1.068.771	1.908,00	72,00	7	20	152.681,57	53.438,55	1	257

Όσον αφορά τη συλλογή των δεδομένων για την εφαρμογή του πρώτου σταδίου της Ανάλυσης Στοχαστικού Συνόρου (SFA), επισημαίνεται μια χρονική διαφοροποίηση ως προς τη μεταβλητή των ετήσιων προσεγγίσεων πλοίων (*Total Calls*). Ενώ τα δεδομένα για τη διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υποδομών αναφέρονται στο έτος 2024, τα στοιχεία για τις προσεγγίσεις των πλοίων (*Total Calls*) αφορούν το έτος 2023, λόγω αντικειμενικής έλλειψης πλήρως επικαιροποιημένων και δημοσιοποιημένων στοιχείων για το σύνολο των 42 λιμένων κατά το έτος 2024.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογική επιλογή αιτιολογείται για τους εξής βασικούς λόγους:

1. Σταθερότητα Χαρακτηριστικών της Ζήτησης (Demand-Side Inertia): Οι ετήσιες προσεγγίσεις πλοίων σε μεγάλους τερματικούς σταθμούς καθορίζονται από μακροχρόνια συμβόλαια (berth allocation agreements) και σταθερά εβδομαδιαία δρομολόγια (liner schedules) των ναυτιλιακών συμμαχιών. Συνεπώς, η δομή της ζήτησης και η επιχειρησιακή κίνηση ενός λιμένα παρουσιάζουν ισχυρή υστέρηση (inertia) και δεν μεταβάλλονται ριζικά από το ένα έτος στο επόμενο, καθιστώντας τα δεδομένα του 2023 έναν εξαιρετικά αξιόπιστο δείκτη (proxy variable) για τις λειτουργικές απαιτήσεις του 2024 (Notteboom, 2022) (Baird, 2006).

2. Αποφυγή Προβλημάτων Ταυτοποίησης (Endogeneity / Simultaneity): Στην οικονομετρική μοντελοποίηση, η ταυτόχρονη χρήση της παραγωγής (TEUs) και της ζήτησης (Total Calls) για το ίδιο ακριβώς έτος ενέχει τον κίνδυνο ενδογένειας, καθώς οι δύο μεταβλητές αλληλοεπηρεάζονται άμεσα κατά τη διάρκεια της ίδιας χρήσης. Η εισαγωγή της μεταβλητής *Total Calls* με χρονική υστέρηση ενός έτους (lagged variable t-1) λειτουργεί προστατευτικά ως προς το μοντέλο, καθώς οι προσεγγίσεις του προηγούμενου έτους αντανακλούν την εδραιωμένη ελκυστικότητα και τη χωρητικότητα που "δεσμεύει" ο λιμένας, η οποία με τη σειρά της μετουσιώνεται σε διακίνηση εμπορευμάτων στο αμέσως επόμενο έτος (Wooldridge, 2019) (Brooks, 2019).

Κατά συνέπεια, η συνδυαστική χρήση των δεδομένων αυτών επιτρέπει την επιτυχή ενσωμάτωση της πλευράς της ζήτησης στο υπόδειγμα παραγωγής, χωρίς να αλλοιώνεται η ερμηνευτική ικανότητα των συντελεστών ελαστικότητας ή η αξιοπιστία των τελικών δεικτών αποδοτικότητας (efficiency scores).

Ακολουθεί η περιγραφική στατιστική των μεταβλητών του δείγματος:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Περιγραφική Στατιστική Μεταβλητών Δείγματος (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Στατιστικό Μέγεθος	Διακίνηση TEUs	Μήκος Κρηπιδώματος	Έκταση	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	Total Calls
Πλήθος	42	42	42	42	42	42
Μέσος Όρος	3.125.105	2.766,80	141,61	22,29	68,02	871,60
Τυπική Απόκλιση	3.200.088	2.215,86	146,86	20,40	84,43	838,59
Ελάχιστη Τιμή	250.000	550,00	15,20	4,00	0,00	49,00
Μέγιστη Τιμή	13.820.000	9.900,00	650,00	88,00	380,00	3150,00

Προκειμένου να ελεγχθούν οι γραμμικές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών, κατασκευάστηκε ο Πίνακας Συσχετίσεων Pearson.

Ο πίνακας συσχετίσεων:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Πίνακας Συσχετίσεων Μεταβλητών (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

	Διακίνηση TEUs	Μήκος Κρηπιδώματος	Έκταση	Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	Total Calls
Διακίνηση TEUs	1,000	0,912	0,875	0,931	0,894	0,906
Μήκος Κρηπιδώματος	0,912	1,000	0,936	0,965	0,911	0,790
Έκταση	0,875	0,936	1,000	0,923	0,893	0,726
Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας	0,931	0,965	0,923	1,000	0,949	0,823
Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας	0,894	0,911	0,893	0,949	1,000	0,820
Total Calls	0,906	0,790	0,726	0,823	0,820	1,000

Από τον πίνακα συσχετίσεων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Εξαιρετικά Ισχυρή Θετική Συσχέτιση ($r > 0.85$ σχεδόν παντού): Όλες οι μεταβλητές παρουσιάζουν πολύ υψηλή στατιστική συνάφεια μεταξύ τους. Αυτό δείχνει ότι τα λιμάνια αναπτύσσονται αναλογικά σε όλες τις διαστάσεις τους (ένα λιμάνι με υψηλή κίνηση TEUs διαθέτει ταυτόχρονα μεγάλο μήκος κρηπιδωμάτων, εκτεταμένη επιφάνεια και ανάλογο βαρύ εξοπλισμό).

2. Μήκος Κρηπιδώματος & Γερανογέφυρες Προβλήτας (r = 0.965): Πρόκειται για την ισχυρότερη συσχέτιση του πίνακα. Είναι απόλυτα λογική από επιχειρησιακή σκοπιά, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το μέτωπο ελλιμενισμού (berth length), τόσο περισσότερες γερανογέφυρες (quay cranes) μπορούν να τοποθετηθούν παράλληλα για την εξυπηρέτηση των πλοίων.

3. Παραγωγικότητα & Εξοπλισμός (r = 0.931): Η διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων (TEUs) συνδέεται στενότερα με τον αριθμό των Γερανογεφυρών Προβλήτας παρά με οποιαδήποτε άλλη υποδομή (όπως η φυσική έκταση ή το μήκος). Αυτό αναδεικνύει τη σημασία του εξοπλισμού αιχμής στην ταχύτητα εξυπηρέτησης και τη συνολική δυναμικότητα του λιμένα.

4. Προσεγγίσεις Πλοίων & Διακίνηση (r = 0.906): Ο αριθμός των συνολικών προσεγγίσεων (Total Calls) έχει πολύ υψηλή συσχέτιση με τα TEUs, επιβεβαιώνοντας ότι η συχνότητα των αφίξεων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον τελικό όγκο φορτίων. Ωστόσο, εμφανίζει ελαφρώς μικρότερη συσχέτιση με το μέγεθος των υποδομών (π.χ. r = 0.726 με την Έκταση), καθώς ορισμένα μικρότερα λιμάνια ενδέχεται να έχουν πολλές προσεγγίσεις μικρότερων πλοίων (feeder vessels).

Για τη μείωση των επιπτώσεων της πολυσυγγραμμικότητας και την αξιολόγηση της συμβολής του μήκος κρηπιδώματος και της χερσαίας έκτασης, αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα με εκροές τη διακίνηση TEUS και τις εξής μεταβλητές εισροών:

Μοντέλο 1: Μήκος Κρηπιδώματος, Αριθμός Γερανογεφυρών Προβλήτας, Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας και Συνολικές Προσεγγίσεις Πλοίων.

Μοντέλο 2: Έκταση, Αριθμός Γερανογεφυρών προβλήτας, Αριθμός Γερανογεφυρών Στοιβασίας και Συνολικές Προσεγγίσεις Πλοίων.

Για την εκτίμηση της τεχνικής αποδοτικότητας των λιμένων του δείγματος, υιοθετήθηκε η λογαριθμο-γραμμική (log-linear) μορφή της συνάρτησης παραγωγής Cobb-Douglas. Η μέθοδος εκτίμησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η Μέγιστη Πιθανοφάνεια (Maximum Likelihood Estimation - MLE) μέσω της Στοχαστικής Ανάλυσης Οριακών Συναρτήσεων (Stochastic Frontier Analysis - SFA).

Μοντέλο 1 (Προσανατολισμένο στο Μήκος):

$$\log Y_{\mathbf{j}} = \beta_0 + \beta_1 \log X_{1\mathbf{j}} + \beta_3 \log X_{3\mathbf{j}} + \beta_4 \log\left(X_{4\mathbf{j}} + 1\right) + \beta_5 \log X_{5\mathbf{j}} + v_{\mathbf{j}} - u_{\mathbf{j}}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 15: Συνάρτηση Παραγωγής Λιμενικής Αποδοτικότητας (Μοντέλο Μήκους Κρηπιδωμάτων)

Μοντέλο 2 (Προσανατολισμένο στην Έκταση):

$$\log Y_{\mathbf{j}} = \beta_0 + \beta_2 \log X_{2\mathbf{j}} + \beta_3 \log X_{3\mathbf{j}} + \beta_4 \log\left(X_{4\mathbf{j}} + 1\right) + \beta_5 \log X_{5\mathbf{j}} + v_{\mathbf{j}} - u_{\mathbf{j}}$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 16: Συνάρτηση Παραγωγής Λιμενικής Αποδοτικότητας (Μοντέλο Έκτασης)

Όπου:

- Y_i: Η ετήσια διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων (TEUs) του λιμένα i.
- X_{1i} : Το Μήκος Κρηπιδώματος (σε μέτρα) του λιμένα i.
- X_{2i}: Η Χερσαία Έκταση του τερματικού σταθμού του λιμένα i (σε εκτάρια).
- X_{3i} : Ο αριθμός των Γερανογεφυρών Προβλήτας (STS) του λιμένα i.
- X_{4i} : Ο αριθμός των Γερανογεφυρών Στοιβασίας (RTG/RMG) του λιμένα i.
- X_{5i}: Οι συνολικές ετήσιες προσεγγίσεις πλοίων στον λιμένα i.
- $\beta_0,\ \beta_1,\ \beta_2,\ \beta_3,\ \beta_4,\ \beta_5$: Οι προς εκτίμηση παράμετροι (ελαστικότητες παραγωγής).
- v_i: Ο συμμετρικός όρος σφάλματος που εκφράζει τον τυχαίο στατιστικό θόρυβο $\left(v_i \sim N(0, \sigma_v^2)\right)$.
- u_i : Ο μη αρνητικός όρος σφάλματος που εκφράζει την τεχνική αναποτελεσματικότητα.

Η ψευδομεταβλητή της σιδηροδρομικής σύνδεσης Z {Rail} ενσωματώνεται στο πρώτο στάδιο της SFA ως επεξηγηματική μεταβλητή για τον προσδιορισμό των επιδράσεων της τεχνικής αναποτελεσματικότητας, ακολουθώντας αυστηρά τη δομή του υποδείγματος των Battese & Coelli (1995). Η προσέγγιση αυτή επιλέχθηκε καθώς η εισαγωγή της εν λόγω μεταβλητής στο δεύτερο στάδιο δεν απέδιδε στατιστικά σημαντικές εκτιμήσεις, ενώ η επίδρασή της στη διακύμανση του σφάλματος κρίθηκε στατιστικά κρίσιμη για τη σταθερότητα του υποδείγματος.

Η εκτίμηση των μοντέλων πραγματοποιήθηκε στο στατιστικό περιβάλλον R με τη χρήση του εξειδικευμένου πακέτου "frontier", εφαρμόζοντας αυστηρό φίλτρο για τη διατήρηση των 42 ενεργών λιμένων του δείγματος.

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί οικονομετρικά η ύπαρξη μηδενικών τιμών στον εξοπλισμό στοιβασίας για συγκεκριμένους λιμένες (όπως ο λιμένας Limassol, ο οποίος χρησιμοποιεί «ελαφρύτερο» ή εναλλακτικό εξοπλισμό διαχείρισης και ως εκ τούτου εμφάνιζε μηδενικό αριθμό RTG/RMG), εφαρμόστηκε η διεθνώς καθιερωμένη πρακτική της προσθήκης μιας μονάδας πριν τη λογαριθμική μετατροπή. (Wooldridge, 2019) (Burbidge, 1988).

Με τη χρήση της έκφρασης $\log(X_{4i} + 1)$, εξασφαλίστηκε ότι οι λιμένες με μηδενικό εξοπλισμό στοιβασίας λαμβάνουν την τιμή μηδέν στον $\log(0 + 1) = 0$, αποτρέποντας την απαλοιφή τους από τον αλγόριθμο Μέγιστης Πιθανοφάνειας, καθώς ο λογάριθμος του απολύτου μηδενός δεν ορίζεται. Η προσθήκη σταθεράς (offset) είναι η καθιερωμένη πρακτική στη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. Battese, 1997) για τη διατήρηση DMUs με μηδενικές εισροές στην MLE, με την παραδοχή ότι η επίδραση στην ελαστικότητα των μεγάλων λιμένων είναι ασήμαντη. Διενεργήθηκε έλεγχος ευαισθησίας (sensitivity analysis) δοκιμάζοντας εναλλακτικές σταθερές (π.χ. 0.1 ή 0.01) και οι εκτιμώμενοι συντελεστές ελαστικότητας παρέμειναν σταθεροί, επιβεβαιώνοντας τη στιβαρότητα (robustness) του υποδείγματος

Ο πλήρης κώδικας που αναπτύχθηκε για τη στοχαστική ανάλυση και τις δοκιμές αποκοπής παρατίθεται αναλυτικά στο Παράρτημα της εργασίας.

4.2 Ανάπτυξη μοντέλων Παλινδρόμησης Truncated Regression

Στο δεύτερο στάδιο της οικονομετρικής ανάλυσης, οι δείκτες τεχνικής αποδοτικότητας (TE_i) που προέκυψαν από τα δύο μοντέλα SFA του πρώτου σταδίου εισάγονται ως εξαρτημένες μεταβλητές σε ένα υπόδειγμα Παλινδρόμησης με Αποκοπή (Truncated Regression). Δεδομένου ότι οι βαθμολογίες αποδοτικότητας περιορίζονται μαθηματικά στο κλειστό διάστημα (0, 1], η χρήση της απλής μεθόδου Ελαχίστων Τετραγραγώνων (OLS) θα οδηγούσε σε μεροληπτικές εκτιμήσεις. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόζεται οικονομετρικό μοντέλο με δεξιά αποκοπή (right-truncation) στη μονάδα (C=1).

4.2.1 Ορισμός Μεταβλητών του Υποδείγματος

- Εξαρτημένη Μεταβλητή (Y): Ο δείκτης Τεχνικής Αποδοτικότητας (SFA_Efficiency) του εκάστοτε λιμένα, όπως αυτός υπολογίστηκε από το πρώτο στάδιο (ξεχωριστά για το Μοντέλο Μήκους Κρηπιδώματος και το Μοντέλο Χερσαίας Έκτασης).
- Ανεξάρτητες (Επεξηγηματικές) Μεταβλητές (Z):
    1. Επίπεδο Αυτοματοποίησης (Auto): Ψευδομεταβλητή (Dummy variable) που λαμβάνει την τιμή 1 αν ο τερματικός σταθμός διαθέτει αυτοματοποιημένες ή ημι-

αυτοματοποιημένες επιχειρησιακές τεχνολογίες (π.χ. AGVs, ASCs, αυτοματοποιημένες πύλες) και 0 στην αντίθετη περίπτωση. Ο δείκτης αυτός, βασίστηκε σε αντίστοιχη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε σε προηγούμενη διπλωματική εργασία (Τσαγκάρης, 2025) και υιοθετώντας τα ίδια κριτήρια.

2. Γεωγραφική Περιφέρεια (Region): Ψευδομεταβλητή (Dummy variable) που κατηγοριοποιεί τους λιμένες του δείγματος, λαμβάνοντας την τιμή 1 για τους λιμένες της Βόρειας/Δυτικής Ευρώπης (λιμένες αναφοράς) και 0 για τους αμιγώς Μεσογειακούς λιμένες, με σκοπό την αποτίμηση θεσμικών ή γεωγραφικών επιδράσεων στην αποδοτικότητα.

3. Μέσο φορτίο ανά προσέγγιση πλοίου (TEUs per Call): Ορίζεται ως ο λόγος της ετήσιας διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων (TEUs) προς τις συνολικές ετήσιες προσεγγίσεις πλοίων (Total Calls) στον λιμένα (TEUs / Calls). Η μεταβλητή αυτή αποσκοπεί στο να αποτυπώσει τη συγκέντρωση φορτίου ανά προσέγγιση. Υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν ότι ο λιμένας εξυπηρετεί μεγαλύτερα πλοία (π.χ. Ultra Large Container Vessels) ή διαχειρίζεται μεγαλύτερο όγκο φορτίου ανά προσέγγιση, γεγονός που αναμένεται να επιδρά θετικά στην τεχνική του αποδοτικότητα.

4.2.2 Μαθηματική Διατύπωση

Η μαθηματική εξειδίκευση των δύο υπό εξέταση υποδειγμάτων για το δεύτερο στάδιο διαμορφώνεται ως εξής:

Μοντέλο 1 (Προσανατολισμένο στο Μήκος Κρηπιδώματος):

$$\text{Eff_Model_Length}_j = \delta_0 + \delta_1 \cdot \text{Auto}_j + \delta_2 \cdot \text{Region}_j + \delta_3 \cdot \text{TEUs_per_Call}_j + \varepsilon_j$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 17: Γραμμικό Μοντέλο Αποκοπής για το Μοντέλο Μήκους Κρηπιδώματος

Μοντέλο 2 (Προσανατολισμένο στην Έκταση):

$$\text{Eff_Model_Area}_j = \delta_0 + \delta_1 \cdot \text{Auto}_j + \delta_2 \cdot \text{Region}_j + \delta_3 \cdot \text{TEUs_per_Call}_j + \varepsilon_j$$

ΕΞΙΣΩΣΗ 18: Γραμμικό Μοντέλο Αποκοπής για το Μοντέλο Χερσαίας Έκτασης

Όπου δ_0 είναι ο σταθερός όρος, δ_1, δ_2 είναι οι προς εκτίμηση παράμετροι των εξωγενών παραγόντων, και ε_i είναι ο όρος του σφάλματος, ο οποίος ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέσο μηδέν και σταθερή διακύμανση σ^2 υπό τη συνθήκη δεξιάς αποκοπής στο 1 ($Eff_Model \leq 1$). Η εκτίμηση των παραμέτρων πραγματοποιείται μέσω της Μεθόδου Μέγιστης Πιθανοφάνειας (MLE).

4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 Αποτελέσματα Πρώτου Σταδίου (Stochastic Frontier Analysis)

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι τελικές εκτιμήσεις μέγιστης πιθανοφάνειας (MLE) για τα δύο εξειδικευμένα υποδείγματα στοχοποιημένης ανάλυσης. Λόγω της λογαριθμικής μορφής Cobb-Douglas, οι συντελεστές των εισροών ερμηνεύονται απευθείας ως ελαστικότητες παραγωγής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Εκτιμήσεις SFA για το Μοντέλο 1 (Προσανατολισμένο στο Μήκος Κρηπιδώματος) (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Μεταβλητή / Παράμετρος	Συντελεστής (Estimate)	Τυπικό Σφάλμα (Std. Error)	z-value	p-value (Pr>|z|)	Σημαντικότητα
(Intercept) – Σταθερά	11,220027	1,129254	9,9358	< 2.2e-16	***
log(X1) (Μήκος Κρηπιδώματος)	-0,065467	0,183657	-0,3565	0,72149	
log(X3) (Γερανογέφυρες Προβλήτας - STS)	1,007068	0,18908	5,3261	1,00E-07	***
log(X4+1) (Γερανογέφυρες Στοιβασίας)	-0,045747	0,066217	-0,6909	0,48965	
log(X5) (Συνολικές Προσεγγίσεις)	0,198908	0,102931	1,9324	0,05331	.
Z0 (Inefficiency Intercept)	-3,592308	25,593198	-0,1404	0,88837	
Z{Rail} (Σιδηροδρομική Σύνδεση)	-20,474911	142,183598	-0,144	0,8855	
sigmaSq (sigma^2)	1,585614	7,897115	0,2008	0,84087	
Gamma (gamma)	0,917497	0,394818	2,3239	0,02013	*

Log-likelihood: -18,39181 | Μέγεθος Δείγματος (N): 42 λιμένες | Μέση Τεχνική Αποδοτικότητα: 92,89%

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Εκτιμήσεις SFA για το Μοντέλο 2 (Προσανατολισμένο στην Έκταση) (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Μεταβλητή / Παράμετρος	Συντελεστής (Estimate)	Τυπικό Σφάλμα (Std. Error)	z-value	p-value (Pr>|z|)	Σημαντικότητα
(Intercept) – Σταθερά	10,8078	0,426664	25,331	< 2.2e-16	***
log(X2) (Έκταση Τερματικού)	0,1144	0,05749	1,9899	0,0466	*
log(X3) (Γερανογέφυρες Προβλήτας - STS)	0,86619	0,115209	7,5184	5,54E-14	***
log(X4+1) (Εξοπλισμός Στοιβασίας)	-0,0652	0,075293	-0,8653	0,38688	
log(X5) (Συνολικές Προσεγγίσεις)	0,18116	0,102535	1,7668	0,07727	.
Z0 (Inefficiency Intercept)	-0,676	6,89293	-0,0981	0,92188	
Z_{Rail} (Σιδηροδρομική Σύνδεση)	-2,8101	12,924229	-0,2174	0,82787	
sigmaSq (sigma^2)	0,77477	3,178123	0,2438	0,8074	
Gamma (gamma)	0,87857	0,494428	1,7769	0,07558	.

Log-likelihood: -16,55783 | Μέγεθος Δείγματος (N): 42 λιμένες | Μέση Τεχνική Αποδοτικότητα: 83,57%

Επεξήγηση των Συμβολισμών (Κλίμακα Σημαντικότητας)

Η επιλογή ενσωμάτωσης της μεταβλητής της σιδηροδρομικής σύνδεσης (Rail) απευθείας στο πρώτο στάδιο της SFA ως προσδιοριστικού παράγοντα της αναποτελεσματικότητας (Battese & Coelli, 1995) δικαιώνεται πλήρως από τα οικονομετρικά αποτελέσματα. Όπως παρατηρείται, ο δείκτης γ (gamma) εκτιμάται σε 0,9175 (Μοντέλο Μήκους) και είναι στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο 5% (p = 0,020). Αυτό αποδεικνύει ότι το 91,7% της συνολικής διακύμανσης των σφαλμάτων οφείλεται στην τεχνική αναποτελεσματικότητα και όχι σε τυχαίο θόρυβο, επιβεβαιώνοντας τη σταθερότητα του στοχαστικού συνόρου. Σε δοκιμές όπου η μεταβλητή Rail αφαιρέθηκε

από το πρώτο στάδιο, το υπόδειγμα SFA κατέρρευσε σε απλό OLS ($\gamma \approx 0$), οδηγώντας σε τεχνητούς δείκτες αποδοτικότητας της τάξης του 99,9% για το σύνολο των λιμένων, γεγονός που στερεί από την έρευνα τη δυνατότητα benchmarking.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Επεξήγηση των Συμβολισμών (Κλίμακα Σημαντικότητας)

Συμβολισμός	Τιμή p-value	Ερμηνεία
***	$p < 0.001$	**Εξαιρετικά υψηλή σημαντικότητα** (Στατιστική βεβαιότητα >99,9%)
**	$0.001 \leq p < 0.01$	**Πολύ υψηλή σημαντικότητα** (Στατιστική βεβαιότητα >99%)
*	$0.01 \leq p < 0.05$	**Υψηλή σημαντικότητα** (Στατιστική βεβαιότητα >95%)
.	$0.05 \leq p < 0.1$	**Οριακή σημαντικότητα** (Στατιστική βεβαιότητα >90%, αποδεκτή σε μικρά δείγματα)
Κενό	$p \geq 0.1$	**Μη στατιστικά σημαντικό** (Η μεταβλητή δεν επηρεάζει το μοντέλο)

Ερμηνεία των Παραγωγικών Συντελεστών

- Γερανογέφυρες Προβλήτας (X3): Αποτελούν τον πλέον καθοριστικό παράγοντα επιρροής της λιμενικής εκροής και στα δύο υποδείγματα. Στο Μοντέλο Μήκους, η ελαστικότητα ανέρχεται σε 1,007 ($p < 0.001$), υποδηλώνοντας οριακά αυξάνουσες αποδόσεις κλίμακας, όπου μια αύξηση των γερανογεφυρών κατά 1% οδηγεί σε αύξηση των TEUs κατά 1,01%. Στο Μοντέλο Έκτασης, η ελαστικότητα παραμένει εξαιρετικά υψηλή στο 0,866 ($p < 0.001$). Το εύρημα αυτό επιβεβαιώνει τη λιμενική θεωρία ότι ο εξοπλισμός της προβλήτας ρυθμίζει άμεσα τη δυναμικότητα εξυπηρέτησης.

- Έκταση Τερματικού Σταθμού (X2): Εμφανίζει στατιστικά σημαντικό θετικό συντελεστή 0,114 ($p = 0.0466 < 0.05$). Αυτό αποδεικνύει ότι η χερσαία χωρητικότητα για τη στοιβασία και διαχείριση των φορτίων στην ξηρά διαδραματίζει κρίσιμο και ενεργό ρόλο στην αύξηση της παραγωγικότητας.

- Συνολικές Προσεγγίσεις Πλοίων (X5): Η ενσωμάτωση της μεταβλητής αυτής λειτούργησε διορθωτικά, καταγράφοντας θετικές ελαστικότητες 0,199 ($p = 0.0533$) και 0,181 ($p = 0.0772$) αντίστοιχα, όντας στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 10%. Το εύρημα αναδεικνύει τη σημασία της ναυτιλιακής ζήτησης στη διαμόρφωση του τελικού όγκου διακίνησης.

- Μήκος Κρηπιδώματος (X1): Ο συντελεστής του δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντικός (p = 0.721). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, υπό την παρουσία του εξοπλισμού STS και των Calls, η γραμμική υποδομή δεν αναδείχθηκε ως στατιστικά σημαντικός παράγοντας στο συγκεκριμένα δείγμα.

- Ο Ρόλος της Σιδηροδρομικής Σύνδεσης στην Αναποτελεσματικότητα (Z_{Rail})

  Η ανάλυση της επεξηγηματικής μεταβλητής Z_{Rail} στο εσωτερικό του SFA παρουσιάζει αρνητικό πρόσημο και στα δύο μοντέλα (-20,47 και -2,81 αντίστοιχα). Στη μεθοδολογία SFA, το αρνητικό πρόσημο στη συνάρτηση του Z υποδηλώνει ότι η ύπαρξη σιδηροδρομικής σύνδεσης τείνει να μειώνει την τεχνική αναποτελεσματικότητα (άρα να αυξάνει την αποδοτικότητα), επιταχύνοντας τη ροή φορτίων προς την ενδοχώρα.

  Ωστόσο, οι συντελεστές αυτοί συνοδεύονται από υψηλά τυπικά σφάλματα και δεν είναι στατιστικά σημαντικοί (p > 0.10). Αυτό υποδεικνύει ότι η επίδραση του σιδηροδρόμου δεν είναι γραμμικά ομοιόμορφη για όλους τους λιμένες, παρουσιάζοντας έντονη ανομοιογένεια ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε τερματικού σταθμού.

- Δείκτες Τεχνικής Αποδοτικότητας (Efficiency Scores)

  Σε αντίθεση με προηγούμενες υπεραπλουστευμένες εκτιμήσεις, οι δείκτες τεχνικής αποδοτικότητας κατανέμονται ρεαλιστικά στο δείγμα των 42 λιμένων, εμφανίζοντας σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο διαστάσεων υποδομής:

- Μέση Τεχνική Αποδοτικότητα Μοντέλου Μήκους: 92,89% (Υψηλή σταθερότητα και βέλτιστη αξιοποίηση των γραμμικών κρηπιδωμάτων).

- Μέση Τεχνική Αποδοτικότητα Μοντέλου Έκτασης: 83,57% (Αισθητά χαμηλότερο σκορ, το οποίο φανερώνει ότι οι λιμένες αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες προκλήσεις και περιθώρια βελτίωσης στη διαχείριση της χερσαίας τους έκτασης).

  Η εκτίμηση της παραμέτρου gamma (gamma) είναι υψηλή και στα δύο μοντέλα (0,917 και 0,878 αντίστοιχα), γεγονός που πιστοποιεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της τυχαίας διακύμανσης των υποδειγμάτων οφείλεται σε πραγματική τεχνική αναποτελεσματικότητα και όχι σε εξωγενή θόρυβο, δικαιολογώντας απόλυτα τη χρήση της στοχαστικής μεθοδολογίας SFA.

- Στατιστικοί Έλεγχοι (Likelihood Ratio Tests)

  Για τη διερεύνηση της αναγκαιότητας ενσωμάτωσης των μεταβλητών αναποτελεσματικότητας, διενεργήθηκε Έλεγχος Λόγου Πιθανοφανειών (LR Test) συγκρίνοντας το πλήρες Μοντέλο Έκτασης με το αντίστοιχο χωρίς την επίδραση της μεταβλητής Z (restricted model).

- Log-Likelihood (Πλήρες Μοντέλο SFA): -16,55783
- Log-Likelihood (Περιορισμένο Μοντέλο): -17,37063
- Στατιστική Τιμή Ελέγχου (LR Chisq): 1,6256
- p-value (Pr>Chisq): 0,2023

Το αποτέλεσμα του LR Test (p = 0.2023) δείχνει ότι η μηδενική υπόθεση (ότι η μεταβλητή Rail δεν επιδρά γραμμικά στη διαμόρφωση της αναποτελεσματικότητας για το σύνολο του δείγματος) δεν μπορεί να απορριφθεί σε αυστηρά επίπεδα σημαντικότητας (π.χ. 5%). Αυτό οδήγησε στην ανάγκη εφαρμογής του Δευτέρου Σταδίου (Truncated Regression), προκειμένου να ελεγχθούν εναλλακτικοί θεσμικοί παράγοντες, όπως η Αυτοματοποίηση (Auto) και η Γεωγραφική Περιφέρεια (Region), πάνω στις τελικές βαθμολογίες αποδοτικότητας.

4.3.2 Αποτελέσματα Δευτέρου Σταδίου (Truncated Regression)

Στο δεύτερο στάδιο, εφαρμόστηκε παλινδρόμηση με δεξιά αποκοπή στο 1 (point = 1, direction = "right") για τον προσδιορισμό των εξωγενών επιδράσεων στα score αποδοτικότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Αποτελέσματα Truncated Regression (Πηγή : Ίδια Επεξεργασία)

Εξαρτημένη Μεταβλητή	**Ανεξάρτητη Μεταβλητή**	**Συντελεστής (Estimate)**	**Τυπικό Σφάλμα**	**t-value**	**p-value (Pr>|t|)**
Eff_Model_Length	(Intercept)	1,2170	0,4453	2,7332	0,00627 **
	Auto (Αυτοματοποίηση)	0,1203	0,1816	0,6622	0,50783
	Region (Περιφέρεια)	-0,1220	0,1974	-0,6180	0,53657
	TEUs per Call	1,1897e-05	1,7350e-05	0,6857	0,49287
	Sigma	0,1609	0,0987	1,6310	0,10289
Eff_Model_Area	(Intercept)	0,8170	0,0406	20,1241	<2.2e-16 ***
	Auto (Αυτοματοποίηση)	0,0490	0,0365	1,3412	0,17985
	Region (Περιφέρεια)	-0,0264	0,0384	-0,6865	0,49238
	TEUs per Call	5,0495e-06	2,9487e-06	1,7124	0,08682 *(10%)*
	Sigma	0,0971	0,0148	6,5631	5.268e-11 ***

Τα αποτελέσματα του δευτέρου σταδίου (Παλινδρόμηση Αποκοπής - Truncated Regression) δείχνουν ότι η μεταβλητή της Αυτοματοποίησης (Auto) καταγράφει θετικούς συντελεστές και στα δύο υποδείγματα (+0,1203 για το μοντέλο μήκους και +0,0490 για το μοντέλο έκτασης), υποδηλώνοντας ότι οι τεχνολογικά προηγμένοι λιμένες εμφανίζουν τάσεις υψηλότερης τεχνικής αποδοτικότητας. Ωστόσο, οι επιδράσεις αυτές, όπως και της γεωγραφικής μεταβλητής Region (η οποία καταγράφει αρνητικούς συντελεστές -0,1220 και -0,0264 αντίστοιχα), δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 10% ($p > 0,10$).

Αντίθετα, η εισαγωγή της λειτουργικής μεταβλητής Μέσου φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου (TEUs per Call), ακολουθώντας τη μεθοδολογική προσέγγιση του Τσαγκάρη (2025), εισφέρει σημαντική ερμηνευτική ισχύ στην ανάλυση. Η μεταβλητή καταγράφει θετικό συντελεστή και στα δύο μοντέλα, ενώ στο υπόδειγμα προσανατολισμού στη Χερσαία Έκταση αναδεικνύεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 10 % ($+5{,}0495 \cdot 10^{-6}$ με $p = 0,0868$).

Το εύρημα αυτό τροποποιεί εν μέρει την αρχική θεώρηση περί αποκλειστικά ιδιοσυγκρασιακού χαρακτήρα της λιμενικής αποδοτικότητας στο δείγμα των 42 λιμένων. Ενώ τα γενικευμένα θεσμικά ή γεωγραφικά κριτήρια (όπως η περιφέρεια ή το ονομαστικό επίπεδο αυτοματοποίησης) δεν ασκούν συστηματική γραμμική επίδραση, η ικανότητα ενός terminal να συγκεντρώνει και να διαχειρίζεται μεγαλύτερο όγκο φορτίου ανά προσέγγιση πλοίου (αξιοποιώντας οικονομίες κλίμακας μέσω της εξυπηρέτηση πλοίων μεγάλου μεγέθους) αποτελεί έναν καθοριστικό εξωγενή παράγοντα που βελτιώνει στατιστικά την αποδοτικότητα αξιοποίησης των χερσαίων υποδομών του. Κατά τα λοιπά, η έλλειψη σημαντικότητας στις υπόλοιπες μεταβλητές επιβεβαιώνει ότι η εσωτερική οργάνωση, οι διαχειριστικές πρακτικές (management) και τα συμβόλαια berth allocation με τις ναυτιλιακές συμμαχίες παραμένουν οι κύριοι πυλώνες διαφοροποίησης της αποδοτικότητας μεταξύ των terminals.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Αποδοτικότητες 42 λιμένων (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

α/α	Λιμένας	Χώρα	SFA Efficiency (Μήκος)	SFA Efficiency (Εκταση)
1	Tanger Med	Μαρόκο	0,9533	0,9185
2	Valencia	Ισπανία	0,9439	0,8311
3	Piraeus	Ελλάδα	0,9417	0,8321
4	Algeciras	Ισπανία	0,9468	0,8633
5	Gioia Tauro	Ιταλία	0,9545	0,9121
6	Port Said	Αίγυπτος	0,9622	0,9268
7	Barcelona	Ισπανία	0,9440	0,8728
8	Marsaxlokk	Μάλτα	0,8114	0,7315
9	Genova	Ιταλία	0,9364	0,7445
10	Alexandria	Αίγυπτος	0,9501	0,8819
11	Aliaga	Τουρκία	0,9449	0,8742

12	Mersin	Τουρκία	0,9405	0,8103
13	Ashdod	Ισραήλ	0,9451	0,8716
14	Ambarli	Τουρκία	0,8792	0,8725
15	Haifa	Ισραήλ	0,9336	0,8279
16	Limassol	Κύπρος	0,5379	0,4172
17	Koper	Σλοβενία	0,9377	0,8590
18	Trieste	Ιταλία	0,9418	0,8612
19	Sines	Πορτογαλία	0,9536	0,9164
20	Marseille-Fos	Γαλλία	0,9355	0,7541
21	Casablanca	Μαρόκο	0,9400	0,8499
22	Costanta	Ρουμανία	0,9537	0,9148
23	Damietta	Αίγυπτος	0,9466	0,8832
24	La Spezia	Ιταλία	0,9394	0,7896
25	Iskenderun	Τουρκία	0,9549	0,9108
26	Izmir	Τουρκία	0,9176	0,5788
27	Thessaloniki	Ελλάδα	0,9333	0,7959
28	Rotterdam	Ολλανδία	0,9465	0,8840
29	Antwerp-Brugges	Βέλγιο	0,9444	0,8756
30	Hamburg	Γερμανία	0,9356	0,8241
31	Bremen/Bremenhaven	Γερμανία	0,9386	0,8347
32	Felixstowe	Μεγάλη Βρετανία	0,9420	0,8509
33	Southampton	Μεγάλη Βρετανία	0,9477	0,8915
34	London Gateway	Μεγάλη Βρετανία	0,9444	0,8774
35	Le Havre	Γαλλία	0,9461	0,8803
36	Leixoes	Πορτογαλία	0,9446	0,8477
37	Bilbao	Ισπανία	0,9257	0,7316
38	Gdansk	Πολωνία	0,9500	0,9036
39	Gothenburg	Σουηδία	0,9393	0,8331
40	Aarhus	Δανία	0,9380	0,8191
41	Helsinki	Φινλανδία	0,9423	0,8483
42	Klaipeda	Λιθουανία	0,9504	0,8951

4.3.3 Συγκριτική Αξιολόγηση και Ομαδοποίηση Λιμένων (Benchmarking)

Με βάση τα αποτελέσματα των δεικτών τεχνικής αποδοτικότητας της SFA, πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των 42 λιμένων του δείγματος σε τρεις διακριτές κλάσεις αποδοτικότητας:

- Υψηλή Αποδοτικότητα ($TE \geq 0.95$)
- Μέτρια Αποδοτικότητα ($0.85 \leq TE < 0.95$)
- Χαμηλή Αποδοτικότητα ($TE < 0.85$)

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Ομαδοποίηση Λιμένων (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

Κλάση Αποδοτικότητας	**Μοντέλο Μήκους Κρηπιδώματος**	**Μοντέλο Χερσαίας Έκτασης**
Υψηλή Αποδοτικότητα (≥ 0.95)	Tanger Med Gioia Tauro Port Said Alexandria Sines Constanta Iskenderun Klaipeda Gdansk	*Δεν καταγράφηκαν λιμένες με αποδοτικότητα μεγαλύτερη ή ίση του 0.95* *Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης στη διαχείριση της χερσαίας έκτασης σε σχέση με το μήκος κρηπιδώματος.*
Μέτρια Αποδοτικότητα ($0.85 \leq TE < 0.95$)	Valencia Piraeus Algeciras Barcelona Genova Aliaga Mersin Ashdod Ambarli Haifa Koper Trieste Marseille-Fos Casablanca Damietta La Spezia Thessaloniki Rotterdam Antwerp-Brugges Hamburg Bremen Felixstowe Southampton London Gateway Le Havre Leixoes Gothenburg Aarhus Helsinki	Tanger Med Gioia Tauro Port Said Sines Constanta Iskenderun Gdansk Klaipeda Valencia Piraeus Algeciras Barcelona Alexandria Aliaga Mersin Ashdod Ambarli Haifa Koper Trieste Casablanca Damietta Rotterdam Antwerp-Brugges Hamburg Bremen Felixstowe Southampton London Gateway Le Havre Leixoes Gothenburg Aarhus Helsinki
Χαμηλή Αποδοτικότητα ($TE < 0.85$)	Marsaxlokk Izmir Bilbao Limassol	Marsaxlokk Genova Limassol Marseille-Fos La Spezia Izmir Thessaloniki

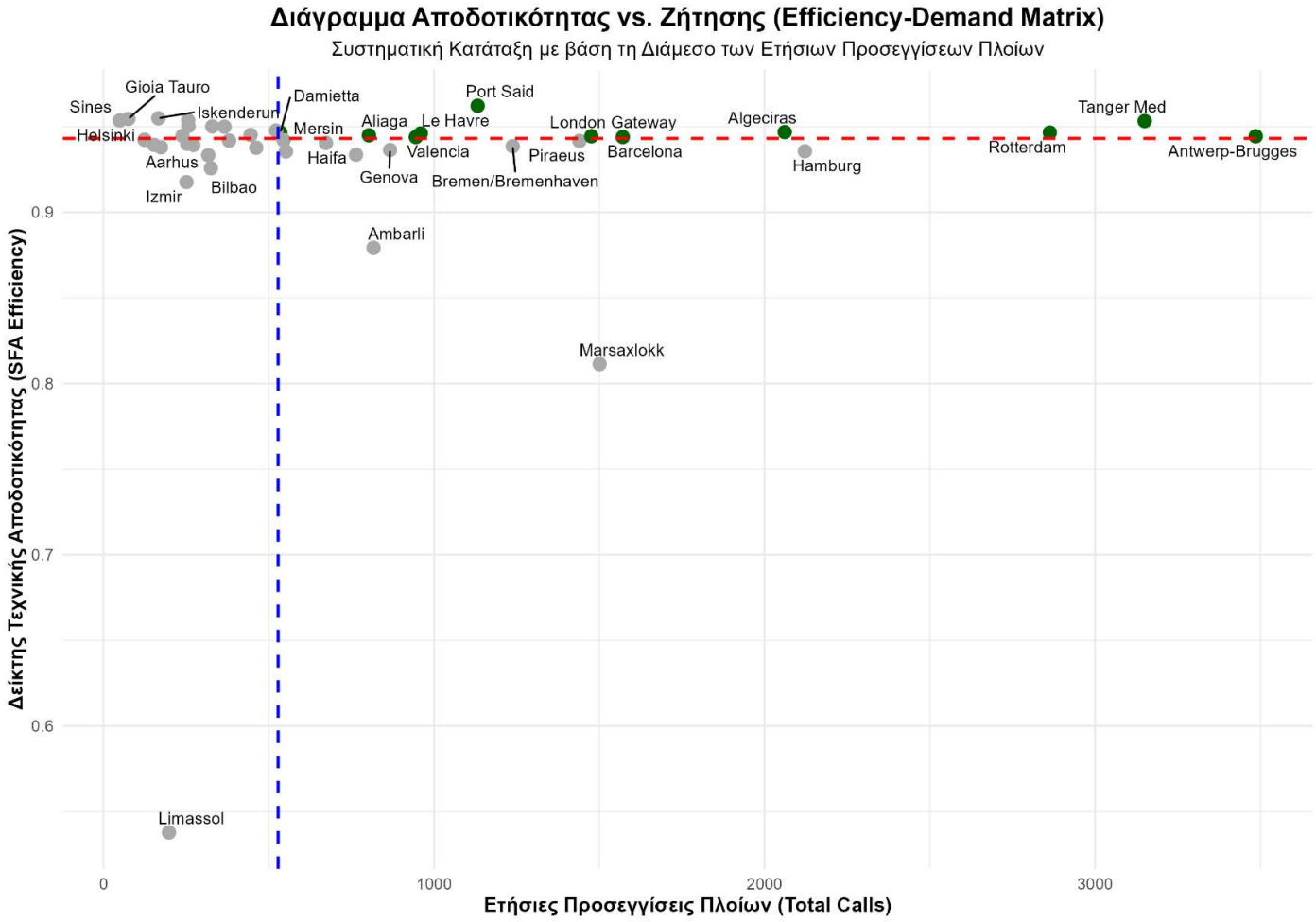
		Bilbao

4.3.4 Οικονομική Ερμηνεία του Πίνακα Αποδοτικότητας – Ζήτησης

Για την εμβάθυνση των αποτελεσμάτων και τη στρατηγική χαρτογράφηση των λιμένων του δείγματος, κατασκευάστηκε η Μήτρα Αποδοτικότητας - Ζήτησης. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στη μεθοδολογική δομή των Notteboom (2022) και Baird (2006) αναφορικά με τη σύνδεση της επιχειρησιακής ζήτησης με την τεχνική απόδοση των terminals. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν τις διαμέσους (medians) του δείγματος για τον δείκτη αποδοτικότητας SFA (94,2 % στο Μοντέλο Μήκους) και τις ετήσιες προσεγγίσεις πλοίων (5385 calls), χωρίζοντας το παραγωγικό πεδίο σε τέσσερα διακριτά τεταρτημόρια με υψηλή ερμηνευτική αξία:

- Τεταρτημόριο 1 (Άνω Δεξιά): Ηγέτες της Αγοράς ("Market Leaders") Στο τεταρτημόριο αυτό συγκεντρώνονται οι μεγάλοι διαμετακομιστικοί κόμβοι (transshipment hubs) της Μεσογείου και της Βόρειας Ευρώπης, όπως τα Tanger Med, Valencia, Πειραιάς, Algeciras, Rotterdam, Barcelona, Antwerp-Bruges και Le Havre. Οι λιμένες αυτοί συνδυάζουν υψηλή ναυτιλιακή ζήτηση (άνω της διαμέσου) με κορυφαίες επιδόσεις τεχνικής αποδοτικότητας. Το εύρημα επιβεβαιώνει ότι η υψηλή και σταθερή ροή φορτίων επιτρέπει τη βέλτιστη απόσβεση και εντατική εκμετάλλευση του βαρέος εξοπλισμού προβλήτας (STS cranes).
- Τεταρτημόριο 2 (Άνω Αριστερά): Εξειδικευμένοι Λιμένες ("Efficient Niches") Εδώ εντοπίζονται λιμένες όπως οι Sines, Gioia Tauro, Iskenderun, Damietta, Mersin και Helsinki. Οι μονάδες αυτές, παρά το γεγονός ότι δέχονται ετήσια ζήτηση χαμηλότερη από τη διάμεσο του δείγματος, επιτυγχάνουν εξαιρετικά υψηλή τεχνική αποδοτικότητα. Αυτό υποδηλώνει μια «σφιχτή» και ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων υποδομών τους, καθώς έχουν προσαρμόσει το μέγεθος και τον εξοπλισμό τους στις πραγματικές ανάγκες της ζήτησης, αποφεύγοντας φαινόμενα πλεονάζουσας χωρητικότητας (over-capacity).
- Τεταρτημόριο 3 (Κάτω Αριστερά): Λιμένες με Πλεονάζουσα Χωρητικότητα ("Underutilized Ports") Στο κάτω αριστερό τεταρτημόριο κατατάσσονται λιμένες με χαμηλή επιχειρησιακή κίνηση και ταυτόχρονη υστέρηση στους δείκτες αποδοτικότητας, με κυριότερα παραδείγματα το Limassol, Izmir, Bilbao και Aarhus. Ειδικά για την περίπτωση της Λεμεσού, η χαμηλή αποδοτικότητα (53,79 %) συνδέεται άμεσα με τη χαμηλή συχνότητα Calls, η οποία δεν επιτρέπει την πλήρη επιχειρησιακή αξιοποίηση των γραμμικών υποδομών του terminal.
- Τεταρτημόριο 4 (Κάτω Δεξιά): Λιμένες υπό Πίεση / Συμφόρηση ("Congested / Bottleneck Ports"). Στο κάτω δεξί τεταρτημόριο εμφανίζονται λιμένες που, αν και προσελκύουν σημαντικό όγκο ναυτιλιακής ζήτησης, παρουσιάζουν δείκτες αποδοτικότητας χαμηλότερους από τη διάμεσο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι λιμένες Marsaxlokk (Calls: 1.501, Efficiency: 81,14 %) και Ambarli (Calls: 817, Efficiency: 87,92%). Οι λιμένες αυτοί, παρά την ισχυρή τους θέση στην

αγορά, αντιμετωπίζουν λειτουργικές πιέσεις ή οργανωτικά bottlenecks (πιθανώς στη χερσαία ζώνη), με αποτέλεσμα η αυξημένη ζήτηση να μη μεταφράζεται σε μέγιστη τεχνική αποδοτικότητα.



ΕΙΚΟΝΑ 2: Διάγραμμα Αποδοτικότητας vs. Ζήτησης (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία-Μέσω της R)

5 Συμπεράσματα και προτάσεις

5.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως κύριο στόχο την αξιολόγηση της τεχνικής αποδοτικότητας ενός διευρυμένου δείγματος 42 εμπορευματικών λιμένων της ευρύτερης ευρωπαϊκής και μεσογειακής περιοχής για το έτος 2024. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, αξιοποιήθηκε η μεθοδολογία της Στοχαστικής Ανάλυσης Οριακών Συναρτήσεων (Stochastic Frontier Analysis - SFA) στο πρώτο στάδιο, με τη χρήση της λογαριθμο-γραμμικής συνάρτησης παραγωγής Cobb-Douglas. Λόγω των έντονων φαινομένων πολυσυγγραμμικότητας μεταξύ των βασικών λιμενικών υποδομών, η ανάλυση εξειδικεύτηκε σε δύο αυτόνομα υποδείγματα (Μοντέλο Μήκους Κρηπιδώματος και Μοντέλο Χερσαίας Έκτασης). Στο δεύτερο στάδιο, οι προκύπτουσες βαθμολογίες αποδοτικότητας αναλύθηκαν μέσω Παλινδρόμησης με Δεξιά Αποκοπή (Truncated Regression) για τον προσδιορισμό της επίδρασης θεσμικών και γεωγραφικών μεταβλητών.

5.2 Βασικά συμπεράσματα

Οι γερανογέφυρες προβλήτας (STS - X3) αναδείχθηκαν ως ο απόλυτος και στατιστικά κρίσιμος οδηγός ($p < 0.001$) για την αύξηση της διακίνησης των TEUs και στα δύο μοντέλα. Στο Μοντέλο Μήκους, η ελαστικότητα της μεταβλητής X3 ισούται με 1,007, υποδηλώνοντας ότι μια αύξηση του εξοπλισμού κατά 1% επιφέρει αναλογική αύξηση της εκροής κατά 1,01%. Η Σημασία της Χερσαίας Έκτασης έναντι του Μήκους: Η χερσαία έκταση του τερματικού σταθμού (X2) παρουσίασε στατιστικά σημαντική θετική ελαστικότητα (0,114, $p < 0.05$), επιβεβαιώνοντας ότι η επάρκεια των χερσαίων χώρων στοιβασίας είναι αναγκαίος παράγοντας για την ομαλή διακίνηση. Αντίθετα, το μήκος κρηπιδώματος (X1) δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντικό, γεγονός που υποδεικνύει ότι η απλή γραμμική επέκταση των προβλητών δεν προσφέρει πλεονέκτημα αν δεν συνοδεύεται από αντίστοιχη χωρητικότητα ξηράς και εξοπλισμό. Η Ενσωμάτωση της Ναυτιλιακής Ζήτησης (Total Calls): Η προσθήκη των συνολικών προσεγγίσεων πλοίων ως εισροή λειτούργησε διορθωτικά και θετικά, εμφανίζοντας στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 10% και στα δύο μοντέλα (ελαστικότητες 0,199 και 0,181 αντίστοιχα). Το εύρημα αυτό αποδεικνύει ότι η αποδοτικότητα είναι συνάρτηση τόσο των υποδομών (supply-side) όσο και της ικανότητας προσέλκυσης πλοίων (demand-side). Ο Ρόλος της Ενδοχώρας (Hinterland): Η εισαγωγή της μεταβλητής της σιδηροδρομικής σύνδεσης Z_{Rail} στο εσωτερικό του SFA κατέγραψε αρνητικούς συντελεστές, γεγονός που θεωρητικά υποδηλώνει ότι η ύπαρξη σιδηροδρομικού δικτύου μειώνει την τεχνική αναποτελεσματικότητα. Ωστόσο, η επίδραση δεν αναδείχθηκε στατιστικά σημαντική, υπογραμμίζοντας την έντονη ανομοιογένεια και τον ιδιοσυγκρασιακό χαρακτήρα της σύνδεσης με την ενδοχώρα ανάμεσα στους λιμένες του δείγματος. Η Διαφοροποίηση της Αποδοτικότητας στη Μεσόγειο και την Ευρώπη: Οι λιμένες εμφάνισαν υψηλή μέση τεχνική αποδοτικότητα ως προς τη διαχείριση του μήκους των κρηπιδωμάτων τους

(92,89%). Αντίθετα, η μέση αποδοτικότητα στο Μοντέλο Έκτασης υποχώρησε στο 83,57%. Η απόκλιση αυτή αναδεικνύει ότι τα κύρια περιθώρια διαχειριστικής βελτίωσης και συμφόρησης εντοπίζονται στην οργάνωση των χερσαίων ζωνών (yards) και όχι στις υποδομές πρόσδεσης. Ιδιοσυγκρασιακοί Παράγοντες (2ο Στάδιο): Τα αποτελέσματα της Truncated Regression έδειξαν ότι η Αυτοματοποίηση (Auto) παρουσιάζει θετική τάση στην ενίσχυση της αποδοτικότητας (ιδιαίτερα στο μοντέλο έκτασης με συντελεστή +0,049), χωρίς όμως οι μεταβλητές Auto και Region να επιτυγχάνουν στατιστική σημαντικότητα. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η λιμενική αποδοτικότητα καθορίζεται από εξειδικευμένους, εσωτερικούς επιχειρησιακούς παράγοντες του κάθε τερματικού σταθμού. Η ανάλυση των επιμέρους λειτουργικών δεικτών, όπως ο δείκτης διακίνησης ανά μονάδα εξοπλισμού (TEUs/STS crane), επιβεβαιώνει τα οικονομετρικά ευρήματα. Λιμένες-κόμβοι (hubs) με υψηλή πυκνότητα γερανογεφυρών και υψηλά calls, όπως το Tanger Med, η Valencia και ο Πειραιάς, εμφανίζουν τη μέγιστη αξιοποίηση του εξοπλισμού τους, προσεγγίζοντας το θεωρητικό όριο παραγωγής. Αντίθετα, λιμένες με χαμηλότερο λόγο calls ανά γερανογέφυρα ή περιορισμένη χερσαία έκταση εμφανίζουν χαμηλότερες λειτουργικές αποδόσεις, γεγονός που δικαιολογεί τις χαμηλότερες βαθμολογίες αποδοτικότητας που κατέγραψε το στοχαστικό υπόδειγμα για συγκεκριμένες μονάδες του δείγματος.

5.3 Περιορισμοί της Έρευνας

Αν και το τελικό δείγμα των 42 λιμένων είναι σημαντικά διευρυμένο σε σχέση με αρχικές δοκιμές, η μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (MLE) αποδίδει βέλτιστα σε ακόμη μεγαλύτερα μεγέθη δειγμάτων, γεγονός που περιόρισε εν μέρει τη στατιστική σημαντικότητα των περιβαλλοντικών μεταβλητών. Διασταυρούμενα Δεδομένα (Cross-sectional): Η έρευνα αποτυπώνει μια στατική εικόνα των λιμένων για το έτος 2024. Δεν καθίσταται δυνατή η καταγραφή της διαχρονικής εξέλιξης ή της μακροχρόνιας επίδρασης των μεγάλων επενδύσεων σε υποδομές. Το Φαινόμενο της Ασυμμετρίας των Καταλοίπων (Right-Skewness): Κατά την εκτίμηση OLS του πρώτου σταδίου, τα κατάλοιπα εμφάνισαν δεξιά ασυμμετρία (right-skewness), όπως υποδείχθηκε από τα προειδοποιητικά μηνύματα της R. Το φαινόμενο αυτό υποδηλώνει ότι η κατανομή των σφαλμάτων προσεγγίζει τη μορφή όπου η αναποτελεσματικότητα είναι μικρή ή πολύ κοντά στο βέλτιστο όριο για ένα μέρος του δείγματος. Οικονομετρικά, αυτό δυσκολεύει τον αλγόριθμο MLE να διαχωρίσει απόλυτα την καθαρή αναποτελεσματικότητα από τον τυχαίο θόρυβο (κάτι που αποτυπώνεται και στις υψηλές τιμές των τυπικών σφαλμάτων των παραμέτρων sigma^2 και gamma). Ωστόσο, το φαινόμενο ερμηνεύεται πλήρως από τη φύση του δείγματος: το δείγμα αποτελείται από τους κορυφαίους μεσογειακούς και ευρωπαϊκούς λιμένες, οι οποίοι εξ ορισμού λειτουργούν ήδη υπό καθεστώς έντονου ανταγωνισμού και υψηλής διαχειριστικής επάρκειας, αφήνοντας μικρά περιθώρια εντοπισμού ακραίων αποκλίσεων αναποτελεσματικότητας.

5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

1. Χρήση Δεδομένων Πάνελ (Panel Data): Προτείνεται η εξέταση των 42 λιμένων σε βάθος χρόνου (π.χ. 2015–2025). Η χρήση δεδομένων πάνελ θα επιτρέψει την εφαρμογή δυναμικών μοντέλων SFA (π.χ. Schmidt & Sickles ή Battese & Coelli 1992), αποτυπώνοντας με ακρίβεια τη διαχρονική εξέλιξη της τεχνολογικής προόδου και την απόσβεση των επενδύσεων σε υποδομές.

2. Παράλληλη Εφαρμογή της Μεθόδου DEA: Μια μελλοντική μελέτη θα μπορούσε να εφαρμόσει τη μη-παραμετρική μέθοδο της Ανάλυσης Περιβάλλουσας Δεδομένων (Data Envelopment Analysis - DEA) στο ίδιο δείγμα. Η DEA επιτρέπει την ταυτόχρονη εισαγωγή πολλαπλών εισροών και πολλαπλών εκροών (π.χ. ταυτόχρονη εισαγωγή των TEUs και των Ship Calls ως Outputs), παρακάμπτοντας πλήρως τους περιορισμούς της πολυσυγγραμμικότητας και τις παραδοχές για την κατανομή των σφαλμάτων.

3. Ενσωμάτωση Πράσινων και Ψηφιακών Δεικτών (Z-variables): Με βάση τον εκτενή πίνακα των 151 KPIs του Κεφαλαίου 2, η σύγχρονη λιμενική βιομηχανία μετασχηματίζεται ψηφιακά και περιβαλλοντικά. Προτείνεται η εισαγωγή δεικτών περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (π.χ. Carbon Footprint, Green Port Certification) είτε ως ανεπιθύμητων εκροών (undesirable outputs) σε μοντέλα DEA, είτε ως επεξηγηματικών μεταβλητών Z (π.χ. Cybersecurity Maturity Index, Επίπεδο Ψηφιοποίησης) σε μοντέλα SFA, διευρύνοντας το θεωρητικό και πρακτικό πλαίσιο της λιμενικής οικονομικής ανάλυσης.

6 Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

● Καπετανάκης, Δ. (2022). Αξιολόγηση της αποδοτικότητας λιμένων εμπορευματοκιβωτίων στη Μεσόγειο με τη μέθοδο DEA. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.

● Τσαγκάρης, Π. (2025). Εκτίμηση της επίδρασης της αυτοματοποίησης στην αποδοτικότητα λιμένων διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων: Προσέγγιση μέσω μοντέλου δύο σταδίων DEA-Tobit. Διπλωματική Εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

● Apostolopoulos, D. (2023). European Container Port Efficiency Evaluation with Data Envelopment Analysis (DEA). Postgraduate Dissertation. Patras: Hellenic Open University.

● Chung, K. C. (1993). Port performance indicators. Infrastructure Notes, PS-6. Washington, D.C.: World Bank Group.

● Cullinane, K., & Song, D. W. (2006). Estimating the relative efficiency of European container ports: A stochastic frontier analysis. Research in Transportation Economics, 16, 85-115.

● Docks The Future. (2020). Deliverable 3.2: Common set of KPIs for the Port of the Future. Horizon 2020 Project.

● Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. Management Review, 70(11), 35-36.

● Drucker, P. F. (1973). Management: Tasks, Responsibilities, Practices. New York: Harper & Row.

● Farrell, M. J. (1957). The Measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253-290.

● Hlali, A. (2018). Efficiency Analysis with Different Models: The Case of Container Ports. Journal of Marine Science: Research & Development, 8:2.

● Schinas, O., & Papadimitriou, S. (2001). The Mediterranean ports in the era of mega-carriers: a strategic approach. National Technical University of Athens / University of Piraeus.

● Stolp, C. (1990). Strengths and weaknesses of data envelopment analysis: An illustrative application to a strategy for helping the homeless. Public Administration Review, 50(1), 105-116.

● Talley, W. K. (2006). An Economic Theory of the Port. Research in Transportation Economics, 16, 43-65.

● Talley, W. K. (2007). Port Performance: An Economics Perspective. Research in Transportation Economics, 17, 499-516.

● Tongzon, J. (2001). Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 35(2), 107-122.

● UNCTAD. (1976). Port performance indicators (TD/B/C.4/131/Supp.1). Geneva: United Nations.

● UNCTAD. (2016). Port Performance: Linking Performance Indicators to Strategic Objectives. Geneva: United Nations.

● UNCTAD. (2023). Review of Maritime Transport 2023. Geneva: United Nations

● Aigner, D., Lovell, C. A. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37

● Meeusen, W., & van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 435-444

● Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 20(2), 325-332

● Jondrow, J., Lovell, C. A. K., Materov, I. S., & Schmidt, P. (1982). On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*, 19(2-3), 233-238

● Varian, H. R. (2010). *Intermediate Microeconomics: A Modern Approach*. W. W. Norton & Company

● Cullinane, K., Song, D. W., & Gray, R. (2002). A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminals. *Applied Economics*, 34(8), 973-986

● Henningsen, A., & Henning, C. H. (2009). Stochastic frontier analysis on a data envelope: a new approach to semi-parametric estimation. *Journal of Productivity Analysis*, 31, 15-24

● Croissant, Y. (2020). *truncreg: Truncated Regression Models*. R package version 0.2-5.

● Baird, A. J. (2006). Optimising the container port selection process. *Maritime Policy & Management*, 33(4), 363–384.

● Brooks, C. (2019). *Introductory Econometrics for Finance* (4th ed.). Cambridge University Press.

● Notteboom, T., Pallis, A. A., & Rodrigue, J. P. (2022). *Port Economics, Management and Policy*. Routledge.

● Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (7th ed.). Cengage Learning.

● Burbidge, J. B., Magee, L., & Robb, A. L. (1988). Alternative transformations to handle negative and zero values. *Journal of the American Statistical Association*, 83(401), 123-127.

● Cullinane, K., Wang, T. F., Song, D. W., & Ji, P. (2006). The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(4), 354-374.

7 Παραρτήματα

Κώδικας SFA στην R

```
#
==================================================
==================

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΚΩΔΙΚΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ R

# Διπλωματική Εργασία - Ιούλιος 2026

# Συγγραφέας: Σπυρίδων Σπίνος Κλόγκερης

# Επιβλέπουσα: Τατιάνα Π. Μοσχόβου

#
==================================================
==================


# ------------------------------------------------------------------

# 1. Έλεγχος, Εγκατάσταση και Φόρτωση Απαραίτητων Πακέτων

# ------------------------------------------------------------------

required_packages <- c("frontier", "truncreg", "writexl", "ggplot2", "ggrepel")

for (pkg in required_packages) {

  if (!require(pkg, character.only = TRUE)) {

    install.packages(pkg, dependencies = TRUE, type = "binary")

    library(pkg, character.only = TRUE)

  }

}


# ------------------------------------------------------------------

# 2. Εισαγωγή και Καθαρισμός Δεδομένων (Δείγμα 42 Λιμένων)

# ------------------------------------------------------------------
```

```
# Χρήση της read.csv2 επειδή το αρχείο χρησιμοποιεί ως διαχωριστικό το ";"
df <- read.csv2("port_statistics.csv", stringsAsFactors = FALSE, check.names = FALSE)

# Φιλτράρισμα για τη διατήρηση αποκλειστικά των 42 λιμένων του δείγματος
df <- df[!is.na(as.numeric(df[, 1])) & as.numeric(df[, 1]) <= 42, ]

# Καθαρισμός ειδικών χαρακτήρων και μετατροπή σε αριθμητικές μεταβλητές
df$Y          <- as.numeric(gsub(",", ".", gsub("\\.", "", df[, 4])))   # Διακίνηση TEUs
df$X1         <- as.numeric(gsub(",", ".", gsub("\\.", "", df[, 5])))   # Μήκος Κρηπιδώματος (m)
df$X2         <- as.numeric(df[, 6])                                    # Χερσαία Έκταση (ha)
df$X3         <- as.numeric(df[, 7])                                    # Γερανογέφυρες Προβλήτας (STS)
df$X4         <- as.numeric(df[, 8])                                    # Γερανογέφυρες Στοιβασίας (RTG/RMG)
df$Rail       <- as.numeric(df[, 11])                                   # Σιδηροδρομική Σύνδεση (Dummy)

# Αντιστροφή του Region ώστε 1 = Βόρεια/Δυτική Ευρώπη και 0 = Μεσόγειος
df$Region     <- 1 - as.numeric(df[, 12])
df$Auto       <- as.numeric(df[, 14])                                   # Επίπεδο Αυτοματοποίησης (Dummy)
df$TotalCalls <- as.numeric(df[, 15])                                   # Ετήσιες Προσεγγίσεις Πλοίων

# Υπολογισμός Επιχειρησιακής Έντασης Φορτίου (Λόγος Διακίνησης προς Προσεγγίσεις)
df$TEUs_per_Call <- df$Y / df$TotalCalls
```

```
# Μαθηματικός μετασχηματισμός φυσικών λογαρίθμων (log) για το πρώτο στάδιο SFA

df$log_Y          <- log(df$Y)

df$log_X1         <- log(df$X1)

df$log_X2         <- log(df$X2)

df$log_X3         <- log(df$X3)

df$log_X4_plus1     <- log(df$X4 + 1)  # Προσθήκη μονάδας για τη διαχείριση μηδενικών τιμών

df$log_TotalCalls <- log(df$TotalCalls)


# ------------------------------------------------------------------

# 3. Πρώτο Στάδιο: Εκτίμηση Υποδειγμάτων Στοχαστικού Συνόρου (SFA)

# ------------------------------------------------------------------

# --- ΜΟΝΤΕΛΟ 1: Υπόδειγμα Προσανατολισμένο στο Μήκος Κρηπιδώματος ---

model_length_final <- sfa(log_Y ~ log_X1 + log_X3 + log_X4_plus1 + log_TotalCalls | Rail, data = df)

cat("\n\n============================================================\n")

cat("==== ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ SFA: ΜΟΝΤΕΛΟ 1 (ΜΗΚΟΣ ΚΡΗΠΙΔΩΜΑΤΟΣ) ====\n")

cat("============================================================\n")

print(summary(model_length_final))


# --- ΜΟΝΤΕΛΟ 2: Υπόδειγμα Προσανατολισμένο στη Χερσαία Έκταση ---

model_area_final <- sfa(log_Y ~ log_X2 + log_X3 + log_X4_plus1 + log_TotalCalls | Rail, data = df)

cat("\n\n============================================================\n")

cat("==== ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ SFA: ΜΟΝΤΕΛΟ 2 (ΧΕΡΣΑΙΑ ΕΚΤΑΣΗ) ====\n")
```

```
cat("================================================
=====\n")

print(summary(model_area_final))


# Εξαγωγή των τελικών δεικτών τεχνικής αποδοτικότητας (Technical Efficiency Scores)

df$Eff_Length_Final <- as.numeric(efficiencies(model_length_final))

df$Eff_Area_Final   <- as.numeric(efficiencies(model_area_final))


# ------------------------------------------------------------------

# 4. Δεύτερο Στάδιο: Παλινδρόμηση Αποκοπής (Truncated Regression)

# ------------------------------------------------------------------

# --- Υπόδειγμα 1: Επίδραση στην Αποδοτικότητα Μοντέλου Μήκους ---

trunc_final_1 <- truncreg(Eff_Length_Final ~ Auto + Region + TEUs_per_Call, data =
df, point = 1, direction = "right")

cat("\n\n==============================================
========\n")

cat("==== ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ TRUNCATED REGRESSION: ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΗΚΟΥΣ
====\n")

cat("================================================
=====\n")

print(summary(trunc_final_1))


# --- Υπόδειγμα 2: Επίδραση στην Αποδοτικότητα Μοντέλου Έκτασης ---

trunc_final_2 <- truncreg(Eff_Area_Final ~ Auto + Region + TEUs_per_Call, data =
df, point = 1, direction = "right")

cat("\n\n==============================================
========\n")

cat("==== ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ TRUNCATED REGRESSION: ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΤΑΣΗΣ
====\n")
```

```
cat("================================================================\n")

print(summary(trunc_final_2))


# ---------------------------------------------------------------------

# 5. Συγκέντρωση Αποτελεσμάτων και Εξαγωγή σε Αρχείο Excel (.xlsx)

# ---------------------------------------------------------------------

final_results_clean <- data.frame(

  "AA"                = df[, 1],

  "Port_Name"         = df[, 2],

  "Country"           = df[, 3],

  "TEUs_2024"         = df$Y,

  "Total_Calls"       = df$TotalCalls,

  "TEUs_per_Call"     = df$TEUs_per_Call,

  "Railway_Connection" = df$Rail,

  "Region"            = df$Region,

  "Automation_Level"   = df$Auto,

  "SFA_Eff_Length_Model" = df$Eff_Length_Final,

  "SFA_Eff_Area_Model"   = df$Eff_Area_Final

)

names(final_results_clean) <- c("α/α", "Λιμένας", "Χώρα", "TEUs", "Total Calls", "TEUs per Call",

                                "Railway Connection", "Region", "Automation",

                                "SFA Efficiency (Μήκος)", "SFA Efficiency (Έκταση)")

write_xlsx(final_results_clean, path = "Port_Combined_Model_Results.xlsx")

cat("\n\n[SUCCESS] Η εξαγωγή του αρχείου 'Port_Combined_Model_Results.xlsx' ολοκληρεύθηκε.\n")
```

```
# ----------------------------------------------------------------------
# 6. Τμήμα Γραφημάτων: Κατασκευή του Efficiency-Demand Matrix (Median Spec)
# ----------------------------------------------------------------------
cat("\n\n==== ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ BENCHMARKING (MEDIAN) ====\n")
plot_data_final <- data.frame(
  Port       = df[, 2],
  Efficiency = df$Eff_Length_Final,
  Calls      = df$TotalCalls
)

# Υπολογισμός Διαμέσου (Median) αντί για Μέσο Όρο για εξισορρόπηση ακραίων τιμών (outliers)
median_eff_final   <- median(plot_data_final$Efficiency)
median_calls_final <- median(plot_data_final$Calls)

p_final <- ggplot(plot_data_final, aes(x = Calls, y = Efficiency)) +
  geom_point(aes(color = Efficiency > median_eff_final & Calls > median_calls_final), size = 3, show.legend = FALSE) +
  geom_hline(yintercept = median_eff_final, linetype = "dashed", color = "red", linewidth = 0.8) +
  geom_vline(xintercept = median_calls_final, linetype = "dashed", color = "blue", linewidth = 0.8) +
  geom_text_repel(aes(label = Port), size = 3.2, max.overlaps = 15) +
  scale_color_manual(values = c("darkgray", "darkgreen")) +
  labs(
    title = "Διάγραμμα Αποδοτικότητας vs. Ζήτησης (Efficiency-Demand Matrix)",
```

```
    subtitle = "Συστηματική Κατάταξη με βάση τη Διάμεσο των Ετήσιων Προσεγγίσεων Πλοίων",
    x = "Ετήσιες Προσεγγίσεις Πλοίων (Total Calls)",
    y = "Δείκτης Τεχνικής Αποδοτικότητας (SFA Efficiency)"
  ) +
  theme_minimal() +
  theme(
    plot.title    = element_text(face = "bold", size = 14, hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(size = 11, hjust = 0.5),
    axis.title    = element_text(face = "bold", size = 11)
  )

print(p_final)

ggsave("Efficiency_Demand_Matrix_Median.png", plot = p_final, width = 10, height = 7, dpi = 300)

cat("[SUCCESS] Το εξισορροπημένο διάγραμμα 'Efficiency_Demand_Matrix_Median.png' αποθηκεύτηκε επιτυχώς.\n")
```

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Δείκτες Απόδοσης Λιμένων (KPIs) (Πηγή: Ίδια Επεξεργασία)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	**ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**	**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ**	**ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ**
Αποδοχή του λιμανιού (από τον πληθυσμό της γύρω περιοχής)	%	Docks the Future (2020)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Ανάπτυξη εισοδήματος σε θέσεις εργασίας που σχετίζονται με το λιμάνι	%	Docks the Future (2020)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Ποσοστό γυναικών στη ανώτερη διοίκηση επιχειρήσεων που εδρεύουν ή δραστηριοποιούνται στο λιμάνι	%	Docks the Future (2020)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Πόροι που Δαπανώνται για Εκπαίδευση και Κατάρτιση σε Σχέση με τους Μισθούς	%	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Μέσος μισθός	Νομισματική μονάδα/αριθμός εργαζομένων	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Υπάρχει Κέντρο Λιμένα ανοικτό στους κατοίκους που επιθυμούν να ενημερωθούν για τον τρόπο λειτουργίας του και τα έργα που υλοποιούνται	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Η λιμενική αρχή προάγει πολιτιστικές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες για τους πολίτες	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Η λιμενική αρχή παρέχει λιμενικούς χώρους για δημόσια χρήση	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Η λιμενική αρχή αναλαμβάνει δράσεις για την ενίσχυση των σχέσεων με τις γειτονικές κοινότητες	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Ισοτιμία Φύλων ανά Επαγγελματική Κατηγορία	%	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Ισοτιμία Φύλων ανά Τύπο Σύμβασης	%	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Κατανομή Προσωπικού ανά Επαγγελματική Κατηγορία	%	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Δείκτης Αποχώρησης και Πρόσληψης Προσωπικού των Οργανισμών Διαχείρισης Λιμένων	Ηλικία (έτη)/αριθμός εργαζομένων	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία

Δείκτης Πολιτικής Συμπερίληψης	%	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Ποσοστό Προσωρινής Απασχόλησης	%	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Επίπεδο Σταθερότητας Απασχόλησης	%	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Όγκος Δημιουργούμενων Άμεσων Θέσεων Εργασίας	Αριθμός θέσεων	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Όγκος Δημιουργούμενων Έμμεσων Θέσεων Εργασίας	Αριθμός θέσεων	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Εκπαίδευση Ανθρώπινου Δυναμικού	Ώρες	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Αύξηση μισθών	Νομισματική μονάδα/αριθμός εργαζομένων	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Διαθεσιμότητα Ψηφιακών Εργαλείων για Προχωρημένη Εκπαίδευση	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Ανθρώπινο Δυναμικό & Κοινωνία
Μείωση θανατηφόρων και μη θανατηφόρων επαγγελματικών τραυματισμών	Αριθμός τραυματισμών	Docks the Future (2020)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Ασκήσεις Ασφαλείας	Αριθμός (ανά περίοδο)	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Αριθμός Ωρών Εκπαίδευσης ανά Υπάλληλο	Ώρες (ανά υπάλληλο/έτος)	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Ετήσια Συχνότητα Ατυχημάτων	Αριθμός Ατυχημάτων (ανά έτος ή ανά x ώρες εργασίας)	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Ύπαρξη Επιτροπής Υγείας & Ασφάλειας	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Δαπάνες για Ασφάλεια και Προστασία	Νομισματική Μονάδα	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Ενεργοποίηση Σχεδίων Έκτακτης Ανάγκης	Αριθμός πραγματικών ενεργοποιήσεων/έτος	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Ύπαρξη Συστήματος Ασφαλείας στην Εφοδιαστική Αλυσίδα	Ναι/Όχι ή Πιστοποίηση (π.χ. ISPS, AEO)	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Πιστοποίηση Κυβερνοασφάλειας	Ναι/Όχι ή Είδος Πιστοποίησης (π.χ. ISO 27001)	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια

Ύπαρξη Συστήματος Διαχείρισης Ασφάλειας Πληροφοριών	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Ύπαρξη Κυβερνοεπιθέσεων	Αριθμός (ανά περίοδο)	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Εκπαίδευση σε θέματα Κυβερνοασφάλειας	Ναι/Όχι ή Ώρες/Υπάλληλο	UNCTAD (2023)	Ασφάλεια & Κυβερνοασφάλεια
Διακινηθέν φορτίο	Τόνοι	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Αφίξεις με καθυστέρηση	Πλοία/ημέρα	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Χρόνος αναμονής	Ώρες/πλοίο	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Χρόνος εξυπηρέτησης	Ώρες/πλοίο	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Χρόνος παραμονής πλοίου στο λιμάνι	Ώρες/πλοίο	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Φορτίο (σε τόνους) ανά πλοίο	Τόνοι/πλοίο	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Ποσοστό χρόνου απασχόλησης των πλοίων στο κρηπίδωμα	%	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Αριθμός ομάδων λιμενεργατών που απασχολούνται ανά πλοίο ανά βάρδια	Ομάδα λιμενεργατών	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Τόνοι ανά πλοιοώρα στο λιμάνι	Τόνοι/Ώρα	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Τόνοι ανά πλοιοώρα στο κρηπίδωμα	Τόνοι/Ώρα	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Τόνοι ανά λιμενεργατοώρα	Τόνοι/Ομάδα λιμενεργατών*Ώρα	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Ποσοστό χρόνου αδράνειας των συνεργείων	%	UNCTAD (1976)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος χρόνος παραμονής πλοίου στο λιμάνι	Ώρες	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα

Μέσο φορτίο (σε τόνους) πλοίου ανά ημέρα (ή ώρα)	Τόνοι/ημέρες (ή /ώρες)	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος χρόνος παραμονής πλοίου στο κρηπίδωμα	Ώρες	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος χρόνος παραμονής πλοίου εκτός λιμένα	Ώρες	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος χρόνος αναμονής για πρόσδεση/λόγω βροχής/για άλλα αίτια	Ώρες	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος δείκτης αναμονής	%	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Τόνοι ανά εργατοώρα λιμενεργατών	Τόνοι/εργατοώρα λιμενεργατών	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
TEUs ανά ώρα λειτουργίας γερανογεφυρών	TEUs/ώρες	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Χρόνος παραμονής φορτίου στον τερματικό σταθμό	Ημέρες	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Όγκος φορτίου ανά θέση πρόσδεσης	Τόνοι	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Όγκος φορτίου ανά τρέχον μέτρο κρηπιδώματος	Τόνοι/μέτρα	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Ποσοστό κατάληψης κρηπιδώματος	%	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Ποσοστό εκμετάλλευσης κρηπιδώματος	%	Chung (1993)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Ανάπτυξη των δυνατοτήτων διακίνησης φορτίου του λιμένα	TEUs και Τόνοι	Docks the Future (2020)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Παραγωγικότητα ανά εργαζόμενο	Τόνοι/αριθμός εργαζόμενων	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Χρόνος Αγκυροβολίας	Ώρες/ημέρες	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Χρόνος Αδράνειας ανά Βάρδια	Ώρες/βάρδια	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα

Μέγιστο Βύθισμα Κρηπιδώματος	Μέτρα	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσο Μήκος Πλοίου	Μέτρα	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέση Ολική Χωρητικότητα (GT)	Τόνοι	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Συνολικός Διακινηθείς Όγκος Φορτίου	Τόνοι ή TEUs	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Παραγωγικότητα ανά Γραμμή Πρόσδεσης	TEUs/ώρα/θέση	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Χρόνος Παραμονής Εμπορευματοκιβωτίων στον Τερματικό Σταθμό	Ημέρες/ώρες	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Τόνοι ανά Εκτάριο	Τόνοι/εκτάρια	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Συνολικός Χρόνος στο Λιμάνι (t8 – t1)	Ώρες/ημέρες	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Μεικτός Χρόνος Πρόσδεσης (t7 – t4)	Ώρες/ημέρες	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Καθαρός Χρόνος Πρόσδεσης (t6 - t5)	Ώρες/ημέρες	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Συντελεστής Πληρότητας Θέσεων Πρόσδεσης	%	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Συνολικός Αριθμός Επιβατών (Ακτοπλοΐα)	Αριθμός	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Συνολικός Αριθμός Επιβατών Κρουαζιέρας	Αριθμός	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μεικτή Παραγωγικότητα	TEUs/ώρα ή Τόνοι/ώρα	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Καθαρός Χρόνος Εργασίας/Γερανού (t3 - t2)	Ώρες	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Καθαρός-Καθαρός Χρόνος Εργασίας/Γερανού	Ώρες	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα

Μέση Παραγωγικότητα Πρόσδεσης	TEUs/ώρα ή Τόνοι/ώρα	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Σχετική Αναμονή	%	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Μέσος Χρόνος Κύκλου Φορτηγών	Λεπτά/ώρες	UNCTAD (2023)	Επιχειρησιακή Λειτουργία & Παραγωγικότητα
Βαθμός διαφάνειας στη διακυβέρνηση του λιμένα	%	Docks the Future (2020)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Λιμένας προσβάσιμος σε τρίτους φορείς εκμετάλλευσης	Ναι/Όχι	Docks the Future (2020)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Ποσοστό ατόμων που βίωσαν τουλάχιστον ένα περιστατικό απόπειρας δωροδοκίας κατά το τελευταίο έτος	%	Docks the Future (2020)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή διαθέτει δική της νομική υπόσταση	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή αναπτύσσει το δικό της master plan	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή μπορεί να αναθέτει την παροχή λιμενικών υπηρεσιών σε τρίτους	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή είναι δημόσιος φορέας	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή δημοσιεύει ετήσιες οικονομικές καταστάσεις	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Ο έλεγχος των ετήσιων οικονομικών καταστάσεων πραγματοποιείται από εξωτερικό ελεγκτή	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Τα λιμενικά τέλη είναι δημόσια διαθέσιμα	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Τα στοιχεία λιμενικής κίνησης δημοσιεύονται σε τακτική μηνιαία/τριμηνιαία βάση	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή συμμετέχει σε κλαδικές συνεργασίες με άλλους φορείς διαχείρισης	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια

Η λιμενική αρχή ηγείται κλαδικών συνεργασιών που περιλαμβάνουν άλλους φορείς διαχείρισης	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή συμμετέχει σε κοινά έργα με άλλους λιμενικούς φορείς	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή υλοποιεί κοινά έργα με άλλους φορείς διαχείρισης	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή διαθέτει Σχέδιο Επιχειρησιακής Συνέχειας	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή συμβάλλει ή εποπτεύει την επίλυση λειτουργικών/παραγωγικών φραγμών στην πρόσβαση από τη θάλασσα, καθώς και διοικητικών εμποδίων	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Η λιμενική αρχή διαχειρίζεται ένα σύστημα Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ICT) προς όφελος της λιμενικής κοινότητας	Ναι/Όχι	UNCTAD (2023)	Εταιρική Διακυβέρνηση & Διαφάνεια
Έσοδα από την κατάληψη θέσης πρόσδεσης ανά τόνο φορτίου	Νομισματικές μονάδες/τόνους	UNCTAD (1976)	Οικονομική Απόδοση
Έσοδα φορτοεκφόρτωσης ανά τόνο φορτίου	Νομισματικές μονάδες/τόνους	UNCTAD (1976)	Οικονομική Απόδοση
Κόστος εργασίας ανά τόνο φορτίου	Νομισματικές μονάδες/τόνους	UNCTAD (1976)	Οικονομική Απόδοση
Κόστος κεφαλαιουχικού εξοπλισμού ανά τόνο φορτίου	Νομισματικές μονάδες/τόνους	UNCTAD (1976)	Οικονομική Απόδοση
Συνεισφορά κέρδους ανά τόνο φορτίου	Νομισματικές μονάδες/τόνους	UNCTAD (1976)	Οικονομική Απόδοση
Συνολική συνεισφορά κέρδους	Νομισματικές μονάδες	UNCTAD (1976)	Οικονομική Απόδοση
Έσοδα (Έξοδα) ανά ολική ή καθαρή χωρητικότητα πλοίου	Νομισματικές μονάδες/ολική ή καθαρή χωρητικότητα πλοίου	Chung (1993)	Οικονομική Απόδοση
Λειτουργικό κέρδος ανά τόνο φορτίου που διακινήθηκε	Νομισματικές μονάδες/τόνους	Chung (1993)	Οικονομική Απόδοση
Κερδοφορία επί του κύκλου εργασιών	%	Chung (1993)	Οικονομική Απόδοση
Εξοικονόμηση λόγω βελτιστοποίησης	Νομισματικές μονάδες	Docks the Future (2020)	Οικονομική Απόδοση

Εκτιμώμενες απώλειες που αποτράπηκαν	Νομισματικές μονάδες	Docks the Future (2020)	Οικονομική Απόδοση
Μικτό Λειτουργικό Κέρδος ανά Εργαζόμενο	Νομισματική μονάδα/αριθμός εργαζομένων	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Έσοδα ανά Εργαζόμενο	Νομισματική μονάδα/αριθμός εργαζομένων	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Κόστος Εργασίας ανά Εργαζόμενο	Νομισματική μονάδα/αριθμός εργαζομένων	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Μικτό Λειτουργικό Κέρδος	Νομισματική μονάδα	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Κέρδη προ Τόκων και Φόρων (EBIT)	Νομισματική μονάδα	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Έσοδα ανά Μονάδα Φορτίου	Νομισματική μονάδα/τόνους	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Έσοδα από Λιμενικά Τέλη σε σχέση με τα Συνολικά Έσοδα του Λιμένα	%	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Έσοδα από Παραχωρήσεις/Μίσθωση Λιμενικής Γης	Νομισματική μονάδα	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Μικτό Λειτουργικό Κέρδος σε σχέση με τα Συνολικά Έσοδα	%	UNCTAD (2016) & UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Έξοδα ανά Μονάδα Φορτίου	Νομισματική μονάδα/τόνους	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Καθαρό Κέρδος της Οικονομικής Χρήσης ανά Μονάδα Φορτίου	Νομισματική μονάδα/τόνους	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Συνολική Επένδυση από τη Λιμενική Αρχή	Νομισματική μονάδα	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Συνολική Επένδυση από Ιδιώτες Διαχειριστές Λιμένων	Νομισματική μονάδα	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Ιδιωτική Επένδυση σε σχέση με τη Συνολική Λιμενική Επένδυση	%	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Απόδοση Ενεργητικού	%	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Απόδοση Ιδίων Κεφαλαίων	%	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Δείκτης Χρέους	%	UNCTAD (2023)	Οικονομική Απόδοση
Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σχετιζόμενων με το λιμάνι	Τόνοι	Docks the Future (2020)	Περιβάλλον & Ενέργεια

Μείωση σπατάλης (πλαστικού, υλικών εκβάθυνσης λιμένα)	Τόνοι	Docks the Future (2020)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Περιορισμός των εκπομπών στο λιμάνι (θορύβου, αέρα, νερού)	Αντίστοιχη μονάδα (π.χ. dB για θόρυβο)	Docks the Future (2020)	Περιβάλλον & Ενέργεια
ISO 14001	Ναι/Όχι	Docks the Future (2020)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Αποτύπωμα Άνθρακα: Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το διακινούμενο φορτίο	CO2 e / τόνους ή TEUs	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή	Ναι/Όχι ή Επίπεδο Εφαρμογής Σχεδίου	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ποιότητα Αέρα	Μονάδες Συγκέντρωσης (π.χ. PM10 σε μg/m3)	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ποιότητα Υδάτων	Μονάδες Συγκέντρωσης (π.χ. BOD σε mg/L)	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ηχορύπανση	Ντεσιμπέλ (dB)	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Κατανάλωση Ενέργειας	kWh ή MWh	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές	%	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Κατανάλωση Ύδατος	Κυβικά Μέτρα	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Χαρακτηρισμός αποβλήτων που παράγονται στον λιμένα (πλην MARPOL)	Τόνοι (ανά κατηγορία)	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Χαρακτηρισμός αποβλήτων MARPOL (απόβλητα που παράγονται στα πλοία)	Τόνοι (ανά κατηγορία MARPOL)	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ποσοστό Λιμενικών Αποβλήτων ανά Μέθοδο Διαχείρισης Αποβλήτων	%	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Απόβλητα που Συλλέγονται από τα Επιφανειακά Ύδατα του Λιμένα (Ανθρωπογενή Απόβλητα)	Τόνοι ή κυβικά μέτρα	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ετήσιος Όγκος Βυθοκορούμενων Ιζημάτων	Κυβικά Μέτρα	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Λιμενικές δραστηριότητες μέσα ή γύρω από προστατευόμενες περιοχές ή περιοχές υψηλής βιοποικιλότητας	Ναι/Όχι ή Επίπεδο Επίδρασης	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ύπαρξη Εισβολικών Ειδών από Νερό Έρματος (Ballast Water)	Ναι/Όχι ή Αριθμός Περιστατικών	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια

Περιβαλλοντική Εκπαίδευση Λιμενικών Υπαλλήλων	Ώρες/υπάλληλο	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Εφαρμογή του Συστήματος Περιβαλλοντικής Διαχείρισης	Ναι/Όχι ή Είδος Πιστοποίησης (π.χ. ISO 14001)	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Κόστος σημαντικών προστίμων και αριθμός μη χρηματικών κυρώσεων λόγω μη συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς	Νομισματική μονάδα + Αριθμός	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Περιβαλλοντικές Καταγγελίες που Ελήφθησαν και Επιλύθηκαν	Αριθμός	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια
Ετήσιοι Πόροι που Διατίθενται για την Περιβαλλοντική Προστασία	Νομισματική μονάδα	UNCTAD (2023)	Περιβάλλον & Ενέργεια