

**ΠΜΣ Εφαρμοσμένης Οικονομικής
Τμήμα Οικονομικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

**ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟ-
ΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ**

Γεώργιος Νικόλαος Κουτσογιάννης

Επιβλέπων: Λέκτορας Νικόλαος Τζερεμές

Βόλος 2011

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στη διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών στην Εφαρμοσμένη Οικονομική του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Βόλος, Ιανουάριος 2011.

Κουτσογιάννης Γεώργιος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Λέκτορα Νικόλαο Τζερεμέ, για τον χρόνο του και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Γεώργιο Χάλκο, για την βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν καθ' όλη την διάρκεια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους κατά την φοίτησή μου στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Κεφάλαιο 1	5
1.1 Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο 2	8
2.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	8
2.2 Ανασκόπηση Μεθοδολογίας	18
Κεφάλαιο 3	48
3.1 Οι Μεταβλητές	48
3.1.1 Εισροές	48
3.1.1.1 Εργασία (labor)	48
3.1.1.2 Κεφάλαιο (capital stock)	49
3.1.2 Εκροές	50
3.1.2.1 Επιθυμητές εκροές	50
3.1.2.1.1 Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ)	50
3.1.2.2 Μη επιθυμητές εκροές	51
3.1.2.2.1 Εκπομπές Διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂)	51
3.1.2.2.2 Εκπομπές Μεθανίου (Methane)	53
3.1.2.2.3 Εκπομπές Υποξειδίου του αζώτου (N ₂ O)	54
3.1.2.2.5 Εκπομπές High Global Warming Potential	55
3.2 Το Μοντέλο	57
Κεφάλαιο 4	66
4.1 Εμπειρικά Αποτελέσματα	66
Κεφάλαιο 5	70
5.1 Συμπεράσματα	70
Βιβλιογραφία	72
Ξένη Βιβλιογραφία	72
Ελληνική Βιβλιογραφία	77
Διαδίκτυο	77
Παράρτημα Α	78
Παράρτημα Β	87
Παράρτημα Γ	89

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών έχει μετατραπεί σε ένα αντικείμενο με μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (ΠΑΔ) για την δημιουργία δεικτών περιβαλλοντικής αποδοτικότητας 53 χωρών. Χρησιμοποιείται ένα CCR μοντέλο οριοθετημένο ως προς την εισροή. Τα αποτελέσματα αναλύονται σε δύο επίπεδα. Στην αρχή αξιολογείται η περιβαλλοντική αποδοτικότητα κάθε χώρας ξεχωριστά και στην συνέχεια οι χώρες χωρίζονται σε αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες και αξιολογείται η περιβαλλοντική αποδοτικότητα της κάθε ομάδας. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι οι χώρες του δείγματος, γενικά, δεν είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές. Επιπλέον η περιβαλλοντική αποδοτικότητα της χώρας δεν σχετίζεται με το εάν η χώρα είναι αναπτυγμένη ή αναπτυσσόμενη.

ABSTRACT

Countries' environmental performance is research field of great interest. This dissertation apply Data envelopment Analysis to create environmental performance indexes of 53 countries specimen. An input oriented CCR model is used and the results are analyzed in two fields. Firstly it is evaluated the environmental performance of each country. Subsequently countries are categorized as developed and developing in order to evaluate the environmental performance of each group. In general, results indicate that countries specimen isn't environmental efficient. Moreover, the environmental performance of country isn't concerned with the potential of being developed or developing.

Λέξεις κλειδιά: Περιβαλλοντική Αποδοτικότητα, Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων, Μη Παραμετρικές διαδικασίες, Μη επιθυμητές εκροές,

Κωδικοί JEL: C00, C02, O13, O44, Q00.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (ΠΑΔ) είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη μέθοδος στην μέτρηση της αποδοτικότητας (Sozen et al., 2010). Η πιο σημαντική καινοτομία που εισήγαγε η μέθοδος αυτή είναι ότι για τις περιπτώσεις όπου πολλές εκροές παράγονται από πολλές εισροές, σε αντίθεση με τις παραμετρικές μεθόδους, διεξάγει μετρήσεις χωρίς την παρουσία προκαθορισμένης συνάρτησης παραγωγής.

Σύμφωνα με τους Coli et al. (2010) οι Μονάδες Λήψης Απόφασης (ΜΛΑ) είναι οργανωτικές μονάδες, οι οποίες είναι ομογενείς υπό την έννοια ότι χρησιμοποιούν τις ίδιες εισροές ώστε να παράγουν το ίδιο είδος αγαθών ή υπηρεσιών.

Η ΠΑΔ εξετάζει κάθε ΜΛΑ ξεχωριστά και όχι μόνο επιτρέπει την σύγκριση κάθε ανεξάρτητης ΜΛΑ με την καλύτερη ΜΛΑ αλλά προσδιορίζει και την πηγή της μη αποδοτικότητας.

Στην θεωρία παραγωγής, είναι σύνηθες να υποθέτουμε ότι οι εισροές είναι ισχυρά ανακατανεμημένες (strongly disposable) το οποίο υποθέτει ότι η ανακατανομή από κάθε μεταβλητή μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να επιβαρύνει κανένα κόστος σε όρους μείωσης της παραγωγής των άλλων εκροών. Όμως, κάτι τέτοιο δεν ισχύει αν μία ή μερικές από τις παραγόμενες εκροές είναι μη επιθυμητά αγαθά. Σύμφωνα με τον Zhang (2009) τα κλασικά μοντέλα ΠΑΔ έχουν δύο κατηγορίες μεταβλητών, τις εισροές και τις εκροές. Στις περιπτώσεις όμως που εξετάζουμε περιβαλλοντική αποδοτικότητα θεωρούμε και μια τρίτη κατηγορία μεταβλητών αυτή των μη επιθυμητών εκροών, οι οποίες παράγονται από την παραγωγική διαδικασία. Ειδικότερα στα ελεγχόμενα περιβάλλοντα, όπου οι παραγωγικές μονάδες αναγκάζονται να καθαρίζουν τις μη επιθυμητές εκροές τις οποίες παράγουν ή αναγκάζονται να μειώσουν τα επίπεδα των μη επιθυμητών εκροών που παράγουν, η αναγνώριση ότι οι μολυντές δεν είναι ελεύθερα ανακατανεμημένοι (freely disposable) οδηγούν σε μετασχηματισμό της παραγωγικής διαδικασίας. Η παραδοχή που γίνεται στα κλασικά μοντέλα ΠΑΔ στα πλαίσια της μέτρησης της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας είναι ότι η βελτιστοποίηση όλων των εκροών δεν είναι απαραίτητη όταν παράγονται και μη επιθυμητές εκροές ως παραπροϊόντα των επιθυμητών εκροών στην παραγωγική διαδικασία. Σύμφωνα με τους Triantis and Otis (2004) όσο λιγότερες εισροές χρησιμοποιεί μία ΜΛΑ για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου επιπέδου εκροής τόσο αποδοτικότερη είναι και σε όρους παραγωγής και σε περιβαλλοντικούς όρους. Είναι επιθυμητό να υποκαθιστούμε τις λιγότερο επιθυμητές εκροές με περισσότερο επιθυμητές εκροές.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από μεθόδους μοντελοποίησης μη επιθυμητών εκροών σε παραδοσιακά μοντέλα ΠΑΔ. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες. Η πρώτη βασίζεται στην μετατροπή των πραγματικών δεδομένων και χρήση της παραδοσιακής ΠΑΔ. Η άλλη ομάδα χρησιμοποιεί τα πραγματικά δεδομένα αλλά βασίζεται στην έννοια της ασθενούς ανακατανομής (weak disposability). Στην ομάδα αυτή ανήκουν οι μελέτες των Tyteca (1996), Färe et al. (1986), Färe et al. (2004), Chung et al. (1997), Zofio και Prieto (2001), Zaim (2004) και Zhou et al. (2006, 2008b).

Μια παραγωγική διαδικασία επιδεικνύει ισχυρή ανακατανομή των μη επιθυμητών εκροών εάν οι μη επιθυμητές εκροές είναι ελεύθερα ανακατανεμημένες. Η περίπτωση της ασθενούς ανακατανομής επαληθεύεται όταν μια μείωση στις εκπομπές επιβάλλει μία μικρότερη παραγωγή από τις επιθυμητές εκροές. Σε αυτή την περίπτωση, αν η εξουσία καθιερώσει ένα ιδιαίτερο πρότυπο ανά μονάδα επιθυμητής εκροής, η συμμόρφωση των παραγωγών μπορεί να είναι δαπανηρή μέχρι να μειώσουν την παραγωγή της επιθυμητής εκροής. Εάν τα αποτελέσματα αποδοτικότητας της ΠΑΔ για ισχυρή και ασθενής ανακατανομή είναι ίσα, τότε η παραγωγή δεν επηρεάζεται από την congestion και η μη επιθυμητή παραγωγή μπορεί να μειωθεί χωρίς να μειωθεί η επιθυμητή εκροή. Αν τα αποτελέσματα αποδοτικότητας είναι διαφορετικά, τότε η ασθενής ανακατανομή είναι δεσμευμένη και η παραγωγική διαδικασία είναι σε congestion. Η απώλεια αυτή της επιθυμητής εκροής μπορεί να υπολογιστεί συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αποδοτικότητας που απορρέουν κάτω από τις περιπτώσεις της ισχυρής και της ασθενής ανακατανομής (Zofio και Prieto 2001).

Μια ποικιλία από δείκτες περιβαλλοντικής αποδοτικότητας έχουν προταθεί στο παρελθόν, οι οποίοι βασίζονται στην προσαρμογή των συμβατικών μέτρων της παραγωγικής αποδοτικότητας. Οι δείκτες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αυτούς που υπολογίζονται με την χρήση ντετερμινιστικών τεχνικών, που μπορεί να είναι είτε παραμετρικές είτε μη παραμετρικές, και σε αυτούς που υπολογίστηκαν με την χρήση στοχαστικών τεχνικών, οι οποίοι είναι αποκλειστικά παραμετρικές. Επίσης οι δείκτες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το αν αντιμετωπίζουν τις περιβαλλοντικές επιδράσεις ως εισροές (Reinhard et al., 2000) ή ως εκροές (Färe et al., 1989a).

Σύμφωνα με τους Zhou et al. (2008b) η κατασκευή ενός δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας (Environmental Performance Index, EPI), ο οποίος προσφέρει στους αναλυτές και στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων συνοπτικές πληροφορίες σχετικά με την περιβαλλοντική επίδοση, έχει εξελιχθεί σε επίκεντρο των συστημάτων περιβαλλοντικής ανάλυσης. Ο δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας μιας ΜΛΑ μπορεί να αλλάξει κάτω από διαφορετικές περιβαλλοντικές τεχνολογίες ΠΑΔ γιατί διαφορετικά μοντέλα προσαρμόζονται σε διαφορετι-

κές καταστάσεις. Εάν, για παράδειγμα, το περιβαλλοντικό μοντέλο CRS χρησιμοποιείται πάντα στις μετρήσεις περιβαλλοντικής αποδοτικότητας, η πραγματική θέση της ΜΛΑ στην περιβαλλοντική αποδοτικότητα μπορεί να διαστρεβλωθεί. Άρα η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου ΠΑΔ παίζει σημαντικό ρόλο στην μέτρηση περιβαλλοντικής αποδοτικότητας.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε μέρη. Στο δεύτερο μέρος γίνεται μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών που εξετάζουν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα με την χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων. Επιπλέον γίνεται και η μεθοδολογική ανασκόπηση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, δηλαδή της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων. Στο τρίτο μέρος γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση τόσων των εισροών όσο και των εκροών, επιθυμητών και μη επιθυμητών, που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και του μοντέλου της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων που βρήκε εφαρμογή σ' αυτήν την εργασία. Στο τέταρτο μέρος γίνεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν ενώ στο πέμπτο και τελευταίο μέρος βρίσκονται τα συμπεράσματα. Στο τέλος της εργασίας βρίσκονται τα παραρτήματα που περιέχουν πίνακες με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα διαφόρων τεστ ελέγχου που πραγματοποιήθηκαν.

Κεφάλαιο 2

2.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η μέθοδος Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (ΠΑΔ) έχει πέντε τρόπους μέτρησης της αποδοτικότητας. Οι τρόποι αυτοί είναι: radial, non-radial, slack-based, hyperbolic και directional distance function.

Σύμφωνα με τους Zhou et al. (2008a) η radial μέτρηση, η οποία προσαρμόζει τις εισροές και τις εκροές αναλογικά, είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος μέτρησης της αποδοτικότητας όταν χρησιμοποιούμε την ΠΑΔ. Συνδυάζοντας την radial μέτρηση της αποδοτικότητας με μια ποικιλία αναφερόμενων τεχνολογιών, μπορούμε να πάρουμε μια ποικιλία από μοντέλα ΠΑΔ συμπεριλαμβανομένων των CCR και BCC.

Οι Zhou et al. (2008b) μετρούν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των περιοχών του δείγματος κάτω από τρία διαφορετικά περιβαλλοντικά μοντέλα ΠΑΔ. Το πρώτο μοντέλο ΠΑΔ είναι ένα CRS (constant returns to scales) μοντέλο, το δεύτερο ένα NIRS (non-increasing returns to scale) και το τελευταίο είναι ένα VRS (variant returns to scale), στα οποία οι εκροές είναι ασθενώς ανακατανομημένες. Το δείγμα τους αποτελείται από 8 περιοχές του κόσμου με διαφορετικές τεχνολογικές καταστάσεις και τα δεδομένα αφορούν το έτος 2002. Ως εισροή χρησιμοποιήθηκε η συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια ενώ η επιθυμητή εκροή ήταν το ΑΕΠ. Τέλος η μη επιθυμητή εκροή ήταν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Επίσης radial μέτρηση της αποδοτικότητας χρησιμοποίησαν και οι Färe et al. (1986, 1989b) ώστε να υπολογίσουν την απώλεια της επιθυμητής εκροής (κόστος ευκαιρίας) η οποία απορρέει από την μείωση της ανακατανομής της μη επιθυμητής εκροής.

Στα ίδια πλαίσια κινήθηκε και ο Ramanathan (2005) στην έρευνα που έκανε προκειμένου να συγκρίνει την αποδοτικότητα 17 χωρών της Μέσης Ανατολής και της βόρειας Αφρικής σε όρους τριών δεικτών, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, κατανάλωση ενέργειας και οικονομική δραστηριότητα. Ελέγχει την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών κάτω από διαφορετικές παραδοχές. Την πρώτη φορά υποθέτει σταθερές αποδόσεις κλίμακας (CRS) και την δεύτερη μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας (VRS). Επίσης υιοθετεί ισχυρή ανακατανομή για τις εισροές αλλά και για τις εκροές. Τέλος για την μέτρηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας των χωρών με την πάροδο του χρόνου χρησιμοποιεί μια προέκταση της μεθόδου ΠΑΔ, τον δείκτη παραγωγικότητας Malmquist (Malmquist productivity index, MPI).

Επίσης ο Tyteca (1997) χρησιμοποίησε τρία γραμμικά μοντέλα, τα οποία είχαν σκιαγραφηθεί στο Tyteca (1996), ώστε να διερευνήσει την χρήση τους ως δείκτες περιβαλλοντι-

κής αποδοτικότητας. Στο πρώτο μοντέλο οι εισροές και οι επιθυμητές εκροές είναι ισχυρά ανακατανομημένες ενώ η μη επιθυμητές εκροές είναι ασθενώς ανακατανομημένες. Ο δείκτης αυτού του μοντέλου είναι οριοθετημένος στην μη επιθυμητή εκροή. Στο δεύτερο μοντέλο ο δείκτης που παράγεται βασίζεται στις εισροές αλλά και στις μη επιθυμητές εκροές ενώ ο δείκτης του τρίτου μοντέλου δεν βασίζεται στις εισροές αλλά απαιτεί τον ορισμό της περιορισμένης παραγωγής. Στο τέλος, και για λόγους σύγκρισης, ανέπτυξε ένα τέταρτο μοντέλο χρησιμοποιώντας την εξίσωση των Jaggi και Freedman.

Οι Färe et al. (2004) δημιούργησαν ένα δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας ο οποίος υπολογίζεται με την χρήση της ΠΑΔ. Χρησιμοποίησαν ένα ζευγάρι αναλογιών από τις συναρτήσεις απόστασης (distance functions) το οποίο αποδίδει ένα δείκτη που ισούται με την αναλογία του ποσοτικού δείκτη (quantity index) της καλής εκροής προς τον ποσοτικό δείκτη (quantity index) της κακής εκροής, σε αντίθεση με τον δείκτη που χρησιμοποίησε ο Tyteca (1997) όπου χρησιμοποιήθηκαν απευθείας οι συναρτήσεις απόστασης για να αξιολογηθεί η περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Δεν υιοθέτησαν ισχυρή ανακατανομή αλλά ασθενής ανακατανομή για τις μη επιθυμητές εκροές τους και υπέθεσαν nulljoint δηλαδή ότι είναι τεχνικά ή οικονομικά ανέφικτο να παραχθούν επιθυμητές εκροές χωρίς την παραγωγή μη επιθυμητών εκροών. Οι εισροές και οι επιθυμητές εκροές είναι ελεύθερα ανακατανομημένες. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι CRS όπως και των Zaim (2004), Tyteca (1996, 1997) και Coli et al. (2010). Προχώρησαν επίσης και σε μη παραμετρικά τεστ ώστε να καθορίσουν αν υπάρχει σχέση μεταξύ του περιβαλλοντικού δείκτη και μερικών βασικών χαρακτηριστικών των χωρών (Mann-Whitney, Van der Waerden, Savage, Kolmogorov-Smirnov and Cramer- Von Mises). Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 17 χώρες και μελετήθηκε για το έτος 1990. Οι εισροές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το capital stock, η συνολική εργασία, και η κατανάλωση ενέργειας. Η επιθυμητή εκροή ήταν το ΑΕΠ ενώ η μη επιθυμητή εκροή οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

Υπολόγισαν ότι ο μέσος δείκτης της επιθυμητής εκροής (good output quantity index) είναι ίσος με 19,2122 και ο μέσος δείκτης της μη επιθυμητής εκροής (bad output quantity index) είναι ίσος με 14,6444. Ο μέσος δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας ισούται με 1,0997. Ο μεγαλύτερος δείκτης ανήκει στην Γαλλία και στην Σουηδία, άρα είναι οι περιβαλλοντικά αποδοτικότερες χώρες του δείγματος, ενώ ο μικρότερος δείκτης ανήκει στην δυτική Γερμανία και στην Ελλάδα, που είναι οι λιγότερο αποδοτικές χώρες.

Ο Zaim (2004) στο άρθρου του μελέτησε την περιβαλλοντική αποδοτικότητα κάποιων περιοχών των ΗΠΑ για τις περιόδους από το 1972 έως το 1983 και από το 1985 έως το 1986. Στην ανάπτυξη του δείκτη της έντασης της μόλυνσης υιοθέτησε την τεχνική που αναπτύχθη-

κε στα άρθρα των Färe et al. (2004) και Zaim et al. (2001). Ο δείκτης ισούται με ένα κλάσμα το οποίο έχει ως αριθμητή τον ποσοτικό δείκτη της κακής εκροής και ως παρονομαστή τον ποσοτικό δείκτη της καλής εκροής. Ως εισροές χρησιμοποίησε το capital stock και την συνολική εργασία. Η επιθυμητή εκροή του ήταν το Gross State Product (GSP) και οι μη επιθυμητές εκροές είναι οι εκπομπές NO_x και SO_x. Στην έρευνα αυτή εξάγονται δείκτες, οι οποίοι μετρούν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα από διάφορες παραγωγικές μονάδες. Η περιβαλλοντική αποδοτικότητα μετριέται μέσω των αλλαγών στην ένταση της μόλυνσης.

Οι Färe et al. (2006), ακολουθώντας την μεθοδολογία που χρησιμοποίησαν οι Färe et al. (2004), θέσπισαν μία τυπική σύνδεση μεταξύ της θεωρίας παραγωγής και ενός μέτρου περιβαλλοντικής αποδοτικότητας, το οποίο είναι ο λόγος της επιθυμητής εκροής προς της μη επιθυμητής εκροής που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το διοξείδιο του θείου. Ο παραπάνω δείκτης δείχνει πόση εκροή παράγεται ανά μονάδα μη επιθυμητής εκροής. Υπέθεσαν ασθενής ανακατανομή για τις μη επιθυμητές εκροές και χρησιμοποίησαν τα μη επιθυμητά προϊόντα ως εκροές, σε αντίθεση με άλλες έρευνες που τις αντιμετωπίζουν ως εισροές, όπως οι Reinhard et al. (2000).

Οι Färe et al. (2010) δημιούργησαν ένα δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας (EPI) για τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας, όπως και οι Färe et al. (2006). Ο EPI βασίζεται στον δείκτη Malmquist quantity. Επίσης προχώρησαν και στην εκτέλεση των τεστ στατιστικής σημαντικότητας Mann – Whitney και Kolmogorov - Smirnov για να ελέγξουν αν υπάρχει στατιστική σημαντικότητα μεταξύ των διαφορών της γεωγραφικής περιβαλλοντικής αποδοτικότητας.

Την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, της Τουρκίας όμως αυτή την φορά, εξέτασαν οι Sozen et al. (2010) με την χρήση ΠΑΔ. Χρησιμοποίησαν δύο μοντέλα στην έρευνά τους. Στο πρώτο μοντέλο χρησιμοποίησαν σταθερές αποδόσεις κλίμακας (CRS) για να υπολογίσουν την λειτουργική αποδοτικότητα ενώ στο δεύτερο χρησιμοποίησαν μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας (VRS) για τον υπολογισμό της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας.

Τον επόμενο χρόνο οι Munksgaard et al. (2007) εξέτασαν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των νοικοκυριών της Δανίας με την χρήση των μεθόδων ΠΑΔ και ανάλυση εισροής – εκροής. Ως ρυπαντές χρησιμοποιήθηκαν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου, οξείδιο του αζώτου, μεθανίου, υποξειδίου αζώτου και μονοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον υπολόγισαν το κόστος ευκαιρίας αυτών των ρυπαντών.

Τέλος οι Halkos και Tzeremes (2009b) μελετούν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα 17 χωρών για μια περίοδο από το 1980 έως το 2002 με την κατασκευή αναλογιών περιβαλλο-

ντικής αποδοτικότητα. Οι αναλογίες αυτές ισούνται με την καλή προς την κακή περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Ως εισροές χρησιμοποιήσαν το capital stock και την συνολική εργασία. Ως επιθυμητή εκροή χρησιμοποίησαν το ΑΕΠ ενώ ως μη επιθυμητή εκροή τις εκπομπές θείου ανά κεφάλαιο. Βασίστηκαν στην ελεύθερη ανακατανομή όλων των εισροών και των εκροών την οποία αναφέρουν οι Coelli et al. (1998) και οι Haynes et al. (1993). Για την κατασκευή της αναλογίας χρησιμοποίησαν την ΠΑΔ πρώτα μόνο με τις επιθυμητές εκροές και στην συνέχεια τις επιθυμητές και τις μη επιθυμητές εκροές. Έτσι υπολογίζεται η καλή και η κακή περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Χρησιμοποίησαν μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας (VRS) επειδή οι χώρες που μελετούνται έχουν διαφορετικά μεγέθη.

Σύμφωνα με τους Halkos και Tzeremes (2009b) η περιβαλλοντική αποδοτικότητα των ΗΠΑ μεταξύ των ετών 1980-1990 ήταν σημαντικά υψηλότερη από αυτή μεταξύ των ετών 1991-1999. Επιπλέον τα τελευταία τρία χρόνια της περιόδου που εξέτασαν οι ΗΠΑ έχουν μια σημαντική αύξηση όσον αφορά την περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Όσον αφορά την καλή αποδοτικότητα των χωρών για την περίοδο 1980 – 2002 παρατήρησαν ότι η Αυστρία, η Δανία, η Φιλανδία, η Ιταλία, το Βέλγιο, οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ελλάδα και η Ισπανία έχουν ποσοστό πάνω από το 90% κάτι που δείχνει την ανάπτυξη τους κατά την περίοδο αυτή. Η χαμηλότερη αποδοτικότητα αναφέρεται για τις χώρες Σουηδία, Ιαπωνία και Πορτογαλία με ποσοστά 74,7%, 67,89% και 51,63% αντίστοιχα. Η μεγαλύτερη ετήσια ανάπτυξη αναφέρεται στην Ελβετία με ποσοστό 21,57% και η μικρότερη για την Γερμανία με ποσοστό -1,85%. Όταν εξέτασαν τις χώρες όσον αφορά την κακή αποδοτικότητα παρατηρούμε ότι ο Καναδάς, με ποσοστό 90,24%, η Ελλάδα, με ποσοστό 83,04%, η Αυστραλία, με ποσοστό 76,72% και το Ηνωμένο Βασίλειο, με 76,08%, δημιουργούν μεγαλύτερη αρνητική εξωτερική επίδραση συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες χώρες. Οι χώρες που δημιουργούν μικρότερη αρνητική εξωτερική επίδραση είναι Σουηδία, με 12,91%, η Ελβετία, με 12,64%, η Αυστρία, με 11,29% και η Ιαπωνία, με 5,18%. Οι χώρες με το μεγαλύτερο αποτέλεσμα στην αποδοτικότητα είναι η Ιαπωνία, η Αυστρία, η Ελβετία, η Σουηδία και η Δανία. Οι χώρες με την μικρότερη αποδοτικότητα είναι το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ελλάδα, η Ισπανία, η Αυστραλία και ο Καναδάς. Την μεγαλύτερη ετήσια αλλαγή για την περίοδο 1980-2002 έχουν η Δανία (94%) ενώ η Ελλάδα παρουσιάζει αρνητική αλλαγή την ίδια περίοδο με ποσοστό -105,07%.

Από την άλλη πλευρά η non-radial μέτρηση της αποδοτικότητας επιτρέπει την μη-αναλογική προσαρμογή των εισροών και των εκροών. (Zhou et al., 2008a)

Οι Zhou et al. (2007) στο άρθρο τους αναπτύσσουν ένα non-radial μοντέλο της ΠΑΔ οριοθετημένο στην εκροή για την μέτρηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας 26 χωρών. Επίσης προτείνουν έναν non-radial δείκτη Malmquist για τη σύγκριση της περιβαλλοντικής

αποδοτικότητας των χωρών με την πάροδο του χρόνου. Οι εισροές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (primary energy consumption) και η συνολική εργασία. Η επιθυμητή εκροή ήταν το ΑΕΠ ενώ ως μη επιθυμητές εκροές χρησιμοποιήθηκαν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, το οξείδιο του άνθρακα, το οξείδιο του αζώτου και το μονοξείδιο του άνθρακα. Επιπλέον προχώρησαν και στην ανάλυση ευαισθησίας του non-radial μοντέλου με σεβασμό στις σταθμίσεις των μη επιθυμητών εκροών.

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών του Ο.Ο.Σ.Α. βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου. Η βελτίωση οφείλεται κυρίως στην τεχνολογική αλλαγή. Στην συνέχεια υπολόγισαν ένα non-radial EPI με διαφορετικές σταθμίσεις. Καθόρισαν τις χαμηλότερες, τις μεσαίες και τις υψηλότερες τιμές των σταθμίσεων για κάθε μη επιθυμητή εκροή ως 0,1, 0,25 και 0,4 αντίστοιχα. Στην συνέχεια βρήκαν εννιά διαφορετικούς συνδυασμούς σταθμίσεων. Έτσι υπολόγισαν 9 δείκτες περιβαλλοντικής αποδοτικότητας για κάθε χώρα. Για τις χώρες Ιαπωνία, Ελβετία, Σλοβακία, Τσεχία και Πολωνία οι δείκτες μένουν αμετάβλητοι για τους διαφορετικούς συνδυασμούς σταθμίσεων, ενώ για τις χώρες, όπως ο Καναδάς και η Ουγγαρία, με χαμηλότερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα έχουν μικρές διαφορές στους δείκτες τους. Αν δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στην μείωση του CO₂ τότε η Ισλανδία παίρνει την 10^η θέση ανάμεσα στις 26 χώρες, και την 15^η θέση αν δίνεται μικρή σημασία στην μείωση του CO₂.

Ένα non-radial μοντέλο ανέπτυξαν και οι Reinhard et al. (2000) για να μελετήσουν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα από τις φάρμες της Δανίας. Στην εκτίμησή τους χρησιμοποίησαν δύο μεθόδους, την SFA και την DEA. Η διαφορά με τις προηγούμενες μελέτες είναι ότι οι επιβλαβείς περιβαλλοντικές μεταβλητές χρησιμοποιούνται ως εισροές και όχι ως εκροές. Υπολόγισαν την τεχνική αποδοτικότητα οριοθετημένη στην εκροή και την τεχνική αποδοτικότητα οριοθετημένη στην εισροή. Υπολόγισαν επίσης την περιβαλλοντική αποδοτικότητα βασισμένη και στις τρεις επιβλαβείς περιβαλλοντικές εισροές, ενώ στην συνέχεια υπολόγισαν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα βασισμένη κάθε φορά σε μία από τις τρεις επιβλαβείς περιβαλλοντικές εισροές. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την μέθοδο SFA και στο τέλος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων.

Η slack-based μέτρηση της αποδοτικότητας κατασκευάζεται κατευθείαν από τις slacks των εισροών και των εκροών. Από τότε που η slack-based μέτρηση της αποδοτικότητας προσδιόρισε όλες τις οικονομικές μη αποδοτικότητες, η διακριτική της ικανότητα είναι σχετικώς υψηλή (Zhou et al., 2008a).

Οι Zhou et al. (2006) δημιουργούν δύο slacks-based μέτρα αποδοτικότητας για την μοντελοποίηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Ο πρώτος δείκτης περιβαλλοντικής

αποδοτικότητας είναι radial ενώ ο δεύτερος είναι non- radial. Δύο παραδοχές γίνονται οι οποίες προτείνονται από τους Färe et al. (1989a) και Färe et al. (2007). Πρώτον οι εκροές είναι ασθενώς ανακατανομημένες και δεύτερο ότι οι εισροές και οι εκροές είναι nulljoint. Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 30 χώρες και εξετάζονται για την περίοδο από το 1998 έως το 2002. Οι εισροές είναι ο πληθυσμός και η συνολική πρωτογενής ενέργεια. Ως επιθυμητή εκροή χρησιμοποιείται το ΑΕΠ ενώ ως μη επιθυμητή εκροή χρησιμοποιούνται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης υπολόγισαν το κόστος ευκαιρίας από την επιβολή μια νομοθεσίας όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Εννιά από τις χώρες του δείγματος υπολογίστηκαν ως πλήρως αποδοτικές και στην περιβαλλοντική και στην οικονομική αποδοτικότητα και για τα τρία χρόνια. Υπάρχει μηδενικό κόστος ευκαιρίας εξαιτίας των περιβαλλοντικών κανονισμών σε μερικές χώρες, όπως το Βέλγιο, ο Καναδάς, η Φινλανδία, η Ιταλία και το Λουξεμβούργο. Το 2002 σχεδόν τα 2/3 από τις χώρες έχουν μηδενικό κόστος ευκαιρίας και το μέσο κόστος ευκαιρίας είναι πολύ χαμηλό. Όμως, αν μια χώρα έχει χαμηλότερο κόστος ευκαιρίας αυτό δεν σημαίνει ότι αυτή η χώρα πρέπει να έχει καλύτερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα.

Η hyperbolic μέτρηση της αποδοτικότητας, επίσης γνωστή ως μέτρηση graph, προσπαθεί ταυτοχρόνως να μειώσει τις εισροές και να αυξήσει τις εκροές με την ίδια αναλογία. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν έχουμε μαζί επιθυμητές και μη επιθυμητές εκροές (Zhou et al., 2008a).

Οι Färe et al. (1989a), σε αντίθεση με τη radial μέτρηση, χρησιμοποίησαν hyperbolic μέτρηση της αποδοτικότητας υποθέτοντας ισχυρή και ασθενής ανακατανομή για τις εκροές.

Οι Taskin και Zaim (2001) χρησιμοποιώντας μία μη παραμετρική μη στοχαστική διαδικασία υπολόγισαν δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας με σκοπό την σύγκριση κατά την πάροδο του χρόνου. Κατά την διάρκεια υπολογισμού του δείκτη γίνονται διάφορες παραδοχές της ανακατανομής τόσο των εισροών όσο και των επιθυμητών και μη επιθυμητών εκροών. Ο δείκτης ισούται με την αναλογία της αποδοτικότητας στην περίπτωση που υποθέτουμε ισχυρή ανακατανομή για όλες τις εισροές και τις εκροές, επιθυμητές και μη επιθυμητές, προς της αποδοτικότητας της περίπτωσης όπου υποθέτουμε ασθενής ανακατανομή για τις μη επιθυμητές εκροές. Η προσέγγιση τους ήταν μια hyperbolic προσέγγιση αποδοτικότητας η οποία αναπτύχθηκε από τους Färe et al. (1989a). Το δείγμα τους αποτελείται από τις χώρες του κόσμου, οι οποίες είναι χωρισμένες σε χώρες υψηλού, μέσου και χαμηλού εισοδήματος όπως έκαναν και οι Taskin and Zaim (2000), για τα έτη 1977, 1980, 1985 και 1990. Οι εισροές που χρησιμοποίησαν ήταν το capital stock και η συνολική εργασία. Η επιθυμητή εκροή ήταν το ΑΕΠ ενώ η μη επιθυμητή εκροή οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Υπολόγισαν ότι ο μέσος δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας όλων των χωρών ισούται με 0,9294. Από τον μέσο δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας υπολόγισαν το κόστος ευκαιρίας της μετατροπής της παραγωγικής διαδικασίας από μία όπου όλες οι εκροές είναι ελεύθερα διαθέσιμες σε μία όπου οι εκπομπές ρυπαντή είναι δαπανηρό να διατεθούν. Το μέσο αυτό κόστος ευκαιρίας εκφρασμένο σε όρους του μέσου ΑΕΠ είναι ίσο με 7,06%. Οι Taskin και Zaim (2001) κατέληξαν, επίσης, στο συμπέρασμα ότι υπάρχει διαφορά στην περιβαλλοντική αποδοτικότητα μεταξύ των χωρών με υψηλό, μέσο και χαμηλό εισόδημα. Οι χώρες υψηλού εισοδήματος βρέθηκαν να είναι ανώτερες για όλα τα επιλεγμένα έτη. Σε όρους ανάπτυξης με την πάροδο του χρόνου καμιά σημαντική αλλαγή δεν παρατηρήθηκε σε καμία από τις ομάδες χωρών. Η ανάλυση της κάθε χώρας ατομικά έδειξε ότι, κατά μέσο όρο πάνω από 4 χρόνια, το Ηνωμένο Βασίλειο και οι ΗΠΑ στην ομάδα των χωρών υψηλού εισοδήματος και το Μαρόκο, η Νιγηρία, και η Γιουγκοσλαβία στην χαμηλή και μέσου εισοδήματος ήταν πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικές. Οι χώρες Νέα Ζηλανδία, Ιαπωνία και Σουηδία στην ομάδα των υψηλού εισοδήματος και Σρι Λάνκα, Μαδαγασκάρη και Παναμάς από την ομάδα του μέσου και χαμηλού εισοδήματος έχουν χαμηλότερη μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα.

Επίσης οι Zofio και Prieto (2001) αξιολογούν τις περιβαλλοντικές επιδόσεις 14 χωρών ταξινομώντας την ικανότητά τους να παράγουν την μεγαλύτερη ισο-αναλογική (equi-proportional) αύξηση στην επιθυμητή εκροή και μείωση στην ανεπιθύμητη εκροή με την χρήση της hyperbolic μέτρησης της αποδοτικότητας. Το δείγμα που χρησιμοποίησαν ήταν 14 χώρες για την χρονική περίοδο 1990 έως 1995. Ως εισροές στο σύστημά τους χρησιμοποίησαν το συνολικό καθαρό απόθεμα παγίου κεφαλαίου και την εργασία. Ως επιθυμητή εκροή χρησιμοποιήθηκε η αξία παραγωγής ενώ ως μη επιθυμητή εκροή οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Υπολόγισαν την ισχυρή και την ασθενή αποδοτικότητα υποθέτοντας ισχυρή και ασθενή ανακατανομή των μη επιθυμητών εκροών αντίστοιχα. Έλεγξαν για ύπαρξη congestion χρησιμοποιώντας την αναλογία ισχυρή προς ασθενή αποδοτικότητα. Στην συνέχεια υπολόγισαν την απώλεια της εκροής εξαιτίας της congestion και το συνολικό κόστος της επιθυμητής εκροής σύμφωνα με τους Färe et al. (1989a).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της έρευνάς τους βρήκαν ότι οι χώρες Καναδάς, Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής και Σουηδία είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές για τα έτη 1990 και 1995, ενώ οι υπόλοιπες χώρες, εκτός από την Αυστραλία, μόνο για το έτος 1990, το Βέλγιο και την Φιλανδία, μόνο για το έτος 1995, υποφέρουν congested technology. Οι χώρες με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις στην μη περιβαλλοντική αποδοτικότητα, όσον αφορά την ισχυρή και ασθενή ανακατανομή του CO₂ είναι το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ελλάδα, η Γαλλία, η Φινλανδία

και η Νορβηγία για το 1990 και το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Νορβηγία, η Ισπανία και η Γερμανία για το 1995. Το συνολικό κόστος της μετάβασης από την ισχυρή στην ασθενή ανακατανομή των εκπομπών του CO₂ για τις υπερπλήρης χώρες υπολογίζεται στα 411 δισεκατομμύρια US\$ το 1990, για 10 χώρες, και στα 627 δισεκατομμύρια US\$ το 1995, για 9 χώρες. Τα νούμερα αυτά αντιπροσωπεύουν το 5,26% και 7,57% της συνολικής βιομηχανικής παραγωγής σε αυτά τα χρόνια. Αυτή η σχετικά μικρή αύξηση στο κόστος καθώς η σχετική απόσταση μεταξύ του ορίου της ισχυρής και της ασθενής ανακατανομής δεν έχει αλλάξει κατά μέσο όρο. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση του κόστους προέρχεται από μια μεγαλύτερη βιομηχανική παραγωγή και όχι από μία σημαντική διαφορά μεταξύ της ισχυρής και της ασθενής ανακατανομής. Η αναλογία ισχυρής/ ασθενής ανακατανομής ισούται με 1,08 το 1990 όσο και για το 1995. Όμως, η απόλυτη περιβαλλοντική μη αποδοτικότητα έχει αυξηθεί σχεδόν 5% εξαιτίας της μείωσης των εκπομπών του CO₂ στις ΗΠΑ από 886,25 στους 651,20 εκατομμύρια τόνους. Δεδομένου ότι οι ΗΠΑ είναι μία από τις σημαντικότερες χώρες στο όριο, η μείωση αυτή αφήνει τις υπόλοιπες χώρες σε χειρότερη θέση όσον αφορά την περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Το όριο στρέφεται προς πιο φιλικές περιβαλλοντικές διαδικασίες παραγωγής αντικατοπτρίζοντας τεχνολογική πρόοδο, και αυτό μπορεί τελικά να εξηγήσει γιατί το κόστος μετάβασης από την ισχυρή στην ασθενή ανακατανομή μπορεί να μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.

Οι Zaim and Taskin (2000_{a,b}) χρησιμοποίησαν ένα δείγμα 25 χωρών και τις εξέτασαν για την περίοδο από το 1980 έως το 1990. Κατασκεύασαν ένα δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας χρησιμοποιώντας δύο εισροές και δύο εκροές. Ως εισροές χρησιμοποιήθηκαν οι μεταβλητές capital stock και συνολική εργασία. Ως επιθυμητή εκροή χρησιμοποιήθηκε το ΑΕΠ της κάθε χώρας ενώ ως μη επιθυμητή εκροή οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Χρησιμοποίησαν και αυτοί hyperbolic μέτρηση της τεχνικής αποδοτικότητας, η οποία αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Färe et al. (1989a). Πιο συγκεκριμένα μετέτρεψαν όλες τις εκροές, επιθυμητές και μη επιθυμητές, από ισχυρή σε ασθενής ανακατανομή ώστε να υπολογίσουν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Ο λόγος των δύο παραπάνω περιπτώσεων (ισχυρή και ασθενή ανακατανομή) ισούται με τον δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Επίσης υπολόγισαν το κόστος ευκαιρίας της μετατροπής της παραγωγικής διαδικασίας από την μία όπου οι όλες οι εκροές, επιθυμητές και μη επιθυμητές, είναι ελεύθερα ανακατανομημένες σε μία άλλη όπου οι εκπομπές ρυπαντών είναι δαπανηρές, όπως έκαναν και οι Färe et al. (1986, 1989b) και Taskin και Zaim (2001).

Για όλα τα χρόνια και για το σύνολο των χωρών του δείγμα, μόνο οι ΗΠΑ και το Λουξεμβούργο είναι πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικές όσον αφορά την ισχυρή και την α-

σθενή ανακατανομή. Οι χώρες Ιταλία και Ελβετία είναι αποδοτικές όσον αφορά την ασθενή ανακατανομή αλλά είναι περιβαλλοντικά μη αποδοτικές όσον αφορά την ισχυρή ανακατανομή. Ο μέσος δείκτης περιβαλλοντικής αποδοτικότητας δείχνει ότι η μικρότερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα ήταν το 1984 και έκτοτε έχουμε βελτίωση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Από το 1985 έως το 1988 υπάρχει μια γρήγορη μείωση στην συνολική μείωση ανά μονάδα εκροής με βελτίωση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Η μείωση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας μεταξύ των ετών 1982-1984 θα αμβλύνει την γενική μείωση στην συνολική μείωση ανά εκροή. Η ανάλυση αποκαλύπτει ότι μεταξύ των 25 χωρών του δείγματος, οι ΗΠΑ, το Λουξεμβούργο, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γερμανία και η Ισλανδία είναι μεταξύ των καλύτερων χωρών και η Ιαπωνία, η Τουρκία, η Σουηδία, η Νέα Ζηλανδία και η Γαλλία είναι μεταξύ των χειρότερων, με βάση τη μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα που έχει υπολογιστεί από το 1980 έως το 1990. Παρά τις διαφορές στο σύνολο, οι μεσαίες χώρες όπως το Μεξικό, η Πορτογαλία και η Τουρκία δείχνουν βελτίωση της απόδοσης ενώ χώρες όπως η Σουηδία, η Αυστρία και η Γαλλία δείχνουν χειροτέρευση της περιβαλλοντικής τους απόδοσης. Η συνολική αξία της απώλειας της εκροής στις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α. στο σύνολό τους είναι 347,8 δισεκατομμύρια US\$, 504,2 δισεκατομμύρια US\$ και 433,3 δισεκατομμύρια US\$, για τα έτη 1980, 1985 και 1990 αντίστοιχα. Αυτά αντιστοιχούν σε 3,7, 4,8 και 3,5% του συνολικού ΑΕΠ των χωρών του Ο.Ο.Σ.Α. για τα τρία επιλεγμένα χρόνια αντίστοιχα. Η Τουρκία, η Πορτογαλία και το Μεξικό το 1980, η Ιαπωνία, η Σουηδία και η Πορτογαλία το 1985 και η Σουηδία, η Γαλλία και η Ελβετία το 1990 είναι οι χώρες που αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο βάρος ανά τόνο CO₂. Στις χώρες ΗΠΑ, Γαλλία, Ιρλανδία, Ιταλία, Λουξεμβούργο, Πορτογαλία, Σουηδία, Ελβετία και Ηνωμένο Βασίλειο δεν μπορεί να επιβληθεί μείωση των εκπομπών. Μείωση 1% στις εκπομπές είναι εφικτό να εφαρμοστεί μόνο σε 16 χώρες ενώ μείωση 10% σε 9 χώρες.

Κάτω από τις ίδιες παραδοχές κινήθηκαν και οι Taskin and Zaim (2000). Μελέτησαν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα 52 χωρών, οι οποίες είναι χωρισμένες σε χώρες υψηλού, μέσου και χαμηλού εισοδήματος, μεταξύ των ετών 1975 έως 1990 με την χρήση δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Οι εισροές που χρησιμοποίησαν ήταν το capital stock και η συνολική εργασία ενώ η επιθυμητή εκροή ήταν το ΑΕΠ και η μη επιθυμητή οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Εκτός από την δημιουργία του δείκτη περιβαλλοντικής αποδοτικότητας, με την χρήση της μεθόδου που προτείνεται από τους Färe et al. (1989a) προχώρησαν και στον υπολογισμό του κόστους ευκαιρίας της αλλαγής της παραγωγικής διαδικασίας από αυτή όπου όλες οι εισροές και οι εκροές είναι ελεύθερα ανακατανεμημένες σε αυτή όπου η διάθεση των εκπομπών μολυντών είναι δαπανηρή.

Η *directional distance function* μέτρηση της αποδοτικότητας μας επιτρέπει ταυτόχρονα την αύξηση των επιθυμητών εκροών και την μείωση των εισροών ή/και των μη επιθυμητών εκροών βασιζόμενοι σε ένα δοθέν διάνυσμα (Zhou et al., 2008a).

Οι Chung et al. (1997) εξέτασαν την παραγωγική αποδοτικότητα των βιομηχανιών χαρτομάζας και χαρτιού της Σουηδίας με την χρήση του δείκτη Malmquist- Luenberger. Ο δείκτης αυτός δείχνει ταυτόχρονα και την παραγωγική και την περιβαλλοντική αποδοτικότητα της μονάδας λήψης απόφασης. Για τον υπολογισμό του δείκτη υπέθεσαν ασθενής ανακατανομή για τις μη επιθυμητές εκροές και ελεύθερη ανακατανομή για τις εισροές και τις επιθυμητές εκροές.

Οι Coli et al. (2010) χρησιμοποίησαν το μοντέλο των παραπάνω αλλά με την διαφοροποίηση ότι ενώ χρησιμοποιούσαν τις περιβαλλοντικές βλάβες ως εισροές ταυτόχρονα επιδίωκαν την ελαχιστοποίησή τους. Οι περιβαλλοντικά επιβλαβείς ουσίες ήταν το διοξείδιο του αζώτου και η συγκέντρωση PM10.

Ο Kumar (2006) αναπτύσσει τον δείκτη ML (Malmquist- Luenberger) με την χρήση της μεθόδου που ανέπτυξαν οι Chung et al. (1997) και της *directional distance function*. Ο δείκτης ML εξετάζεται για δύο περιπτώσεις: ισχυρής και ασθενής ανακατανομής των εκπομπών του CO₂. Στη συνέχεια προχώρησε σε μέτρηση περιβαλλοντικής ευαισθησίας της παραγωγικότητας. Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 41 χώρες του κόσμου. Οι εισροές ήταν το capital stock, η εργασία και η καταναλισκόμενη ενέργεια. Η επιθυμητή εκροή ήταν το ΑΕΠ ενώ η μη επιθυμητή εκροή ήταν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

Η μεγαλύτερη ανάπτυξη με σεβασμό στις εκπομπές CO₂ παρατηρήθηκε για την Συρία. Το πρόσφατα βιομηχανοποιημένο Χονγκ Κονγκ έχει τον μεγαλύτερο βαθμό ανάπτυξης του ΑΕΠ αλλά με ταυτόχρονη αύξηση των εκπομπών CO₂. Η Ταϊλάνδη έχει τον δεύτερο μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης του ΑΕΠ αλλά ακόμα μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης των εκπομπών. Η αναπτυσσόμενη χώρα έχει μεγαλύτερη αύξηση του ΑΕΠ, των εκπομπών και κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τις αναπτυσσόμενες ενώ η Σουηδία, το Λουξεμβούργο, η Γαλλία, το Βέλγιο, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Δανία έχουν αρνητικό ρυθμό ανάπτυξης των εκπομπών.

Οι Picazo-Tadeo et al. (2005) χρησιμοποίησαν την *direction distance function* για την αξιολόγηση των επιπτώσεων περιβαλλοντικής νομοθεσίας στην αποδοτικότητα των 35 παραγωγούς κεραμικών στην Ισπανία. Ακολουθώντας τους Färe et al. (1989a) κατασκεύασαν ένα δείκτη που μετράει τον κόστος ευκαιρίας για κάθε μεμονωμένη επιχείρηση που προκύπτει από την επιβολή της νομοθεσίας, σε όρους ενδεχόμενης απώλειας της επιθυμητής εκροής. Χρησιμοποίησαν δύο μοντέλα. Στο πρώτο μοντέλο, στο οποίο ισχύει η νομοθεσία, υπέθεσαν

ασθενής ανακατανομή για τις μη επιθυμητές εκροές και nulljoint παραγωγή. Στο δεύτερο μοντέλο, στο οποίο δεν ισχύει κανένας περιορισμός για τις μη επιθυμητές εκροές, υπέθεσαν ισχυρή ανακατανομή για τις μη επιθυμητές εκροές και η υπόθεση της null-joint παραγωγής δεν είναι πλέον απαραίτητη καθώς η ελεύθερη ανακατανομή των μολυντών διαταράσσει την φυσική σχέση μεταξύ επιθυμητών και μη επιθυμητών εκροών.

Οι Färe et al. (2007) χρησιμοποίησαν ως εισροές το capital stock, τη συνολική εργασία και το θερμικό περιεχόμενο του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου ενώ η επιθυμητή εκροή ήταν η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τις κακές εκροές ως εισροές παρόλα αυτά τις χρησιμοποίησαν ως μη επιθυμητές εκροές, οι οποίες ήταν οι εκπομπές διοξειδίου του θείου και το οξείδιο του αζώτου. Στην έρευνα αυτή γίνεται σύγκριση της περιβαλλοντικής συνάρτησης παραγωγής και της directional distance function. Υπολόγισαν επίσης το κόστος ευκαιρίας από την επιβολή περιβαλλοντικής νομοθεσίας όπως έκαναν και οι Färe et al. (1986).

Ο Zhang (2009) αξιολόγησε την περιβαλλοντική αποδοτικότητα του βιομηχανικού κλάδου της Κίνας. Το μοντέλο ΠΑΔ που ανέπτυξε επιτρέπει όχι μόνο να υπολογίσει την μείωση της μη επιθυμητής εκροής και την αύξηση της επιθυμητής εκροής αλλά επιτρέπει ταυτόχρονα τον υπολογισμό της τεχνικής και της περιβαλλοντικής αποδοτικότητα. Στην αρχή χρησιμοποίησε την τεχνική που προτάθηκε από τους Färe et al. (1989a). Υπέθεσε ελεύθερη ανακατανομή για τις εισροές και τις επιθυμητές εκροές ενώ για τις μη επιθυμητές εκροές υπέθεσε ασθενής ανακατανομή. Επίσης ισχύει η ιδιότητα nulljoint για το μοντέλο. Επιπλέον υπολόγισε το δείκτη Malmquist σύμφωνα με τον Shephard (1970). Στη συνέχεια υπολόγισε ταυτόχρονα την τεχνική και την περιβαλλοντική αποδοτικότητα με την χρήση της direct distance function. Τέλος υπολόγισε την τεχνικό- περιβαλλοντική αποδοτικότητα χρησιμοποιώντας τα πλεονεκτήματα των μοντέλων του Farrell (1957) και του Shephard (1970).

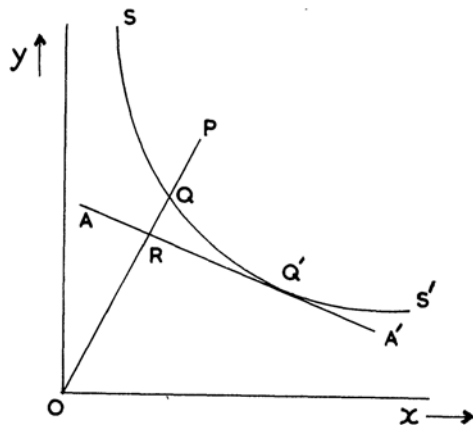
2.2 Ανασκόπηση Μεθοδολογίας

Η έννοια της αποδοτικότητας στην προσέγγιση της ΠΑΔ ονομάζεται Pareto αποδοτικότητα ή Pareto- Koopmans αποδοτικότητα, που είναι μια φυσική επέκταση του γνωστού κριτηρίου βελτιστοποίησης του Pareto. Μια Μονάδα Λήψης Απόφασης (ΜΛΑ, DMU) δεν είναι αποδοτική στην παραγωγή της εκροής της (για μια δοθείσα ποσότητα εισροής) αν υπάρχουν κάποιες άλλες ΜΛΑ ή συνδυασμός ΜΛΑ που μπορούν να παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα μιας εκροής χωρίς να παράγουν μικρότερη ποσότητα άλλης εκροής και χωρίς να χρησιμοποιήσουν μεγαλύτερη ποσότητα εισροών. Αντιθέτως, μια ΜΛΑ είναι αποδοτική αν

το παραπάνω δεν είναι εφικτό. Ο παραπάνω ορισμός αντιπροσωπεύει την οριοθετημένη ως προς την εκροή περίπτωση (output orientation). Η αποδοτικότητα όμως, μπορεί να οριστεί και στην περίπτωση της οριοθέτησης ως προς την εισροή (input orientation). Σε αυτή την περίπτωση μια ΜΛΑ δεν είναι αποδοτική στην χρήση των εισροών (για να παράγει συγκεκριμένη ποσότητα εκροής) αν υπάρχουν άλλες ΜΛΑ ή συνδυασμός ΜΛΑ οι οποίες μπορούν να παράγουν την ίδια ποσότητα εκροής με την χρήση μικρότερης ποσότητας εισροών. Αντιθέτως, μια ΜΛΑ είναι αποδοτική αν το παραπάνω είναι αδύνατο (Nunamaker, 1985).

Σύμφωνα με τον Farrell (1957) όταν κάποιος μιλάει για αποδοτικότητα μιας επιχείρησης συνήθως εννοεί την ικανότητα της να παράγει όσο το δυνατό μεγαλύτερη ποσότητα ε-

Διάγραμμα 1: Καμπύλη ισοπροϊόντος



Πηγή: Farrell (1957), σελ. 254

κροής από μια συγκεκριμένη δοθείσα ποσότητα εισροών, βέβαια αυτό μπορεί να ισχύσει μόνο με την προϋπόθεση ότι οι εκροές και οι εισροές έχουν μετρηθεί σωστά. Πάντως, η μέτρηση της τεχνικής αποδοτικότητας που αναπτύσσεται παρακάτω ανταποκρίνεται σε αυτή τη χρήση.

Υποθέτουμε, για λόγους απλότητας, ότι μια επιχείρηση χρησιμοποιεί δύο συντελεστές παραγωγής για να παράγει ένα τελικό προϊόν, έχοντας σταθερές

αποδόσεις κλίμακας. Υποθέτουμε ότι η αποδοτική συνάρτηση παραγωγής είναι γνωστή, κάτι που σημαίνει ότι είναι γνωστή η εκροή που μπορεί να παράγει μια πλήρως αποδοτική επιχείρηση από οποιοδήποτε δυνατό συνδυασμό των εισροών.

Η υπόθεση των σταθερών αποδόσεων επιτρέπει όλες τις σχετικές πληροφορίες να παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα ισοπροϊόντος. Στο διάγραμμα 1, το σημείο P αντιπροσωπεύει τις εισροές των δύο συντελεστών, ανά μονάδα εκροής, τις οποίες η επιχείρηση πρέπει να τηρεί. Η καμπύλη ισοπροϊόντος SS' αντιπροσωπεύει τους ποικίλους συνδυασμούς των δύο συντελεστών, τους οποίους μπορεί μια πλήρως αποδοτική επιχείρηση να χρησιμοποιήσει ώστε να παράγει μια μονάδα εισροής.

Το σημείο Q αντιπροσωπεύει μια αποδοτική επιχείρηση που χρησιμοποιεί τους δύο συντελεστές παραγωγής με την ίδια αναλογία με μία επιχείρηση όπου βρίσκεται στο σημείο P. Παρατηρείται ότι η επιχείρηση παράγει την ίδια εκροή με αυτή στο σημείο P χρησιμοποιώντας μόνο OQ/OP ποσότητα από κάθε εισροή. Επίσης μπορούμε να πούμε ότι παράγει OP/OQ φορές περισσότερη εκροή χρησιμοποιώντας τις ίδιες εισροές. Οπότε ως συνάρτηση

όλων των παραπάνω η αναλογία OR/OQ ορίζεται ως η τεχνική αποδοτικότητα της επιχείρησης στο σημείο P .

Η αναλογία αυτή έχει τις ιδιότητες που ένα μέτρο αποδοτικότητας προφανώς χρειάζεται. Παίρνει την τιμή της μονάδος, ή 100%, για μια επιχείρηση όπου είναι πλήρως αποδοτική, και μπορεί να γίνει πάρα πολύ μικρή όταν η ποσότητα των εισροών ανά μονάδα εκροής γίνεται πάρα πολύ μεγάλη. Επιπλέον, όσο η καμπύλη SS' έχει αρνητική κλίση, μια αύξηση της εισροής ανά μονάδα εκροής, με όλους τους υπόλοιπους συντελεστές σταθερούς (*ceteris paribus*), επιφέρει μια χαμηλότερη τεχνική αποδοτικότητα.

Όμως, είναι αναγκαία και η μέτρηση του βαθμού στον οποίο μια επιχείρηση χρησιμοποιεί τους συντελεστές της παραγωγής στην καλύτερη αναλογία, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις τιμές τους. Στο διάγραμμα 1, αν η AA' έχει κλίση ίση με την αναλογία των τιμών των δύο συντελεστών, το Q' και όχι το Q είναι η βέλτιστη μέθοδος παραγωγής, παρόλο που και τα δύο σημεία αντιπροσωπεύουν τεχνική αποδοτικότητα 100%, τα κόστη παραγωγής στο σημείο Q' θα είναι το OR/OQ αυτών στο σημείο Q . Άρα η αναλογία OR/OQ ορίζεται ως η αποδοτικότητα τιμής στο σημείο Q .

Αν η επιχείρηση αλλάξει τις αναλογίες των εισροών της μέχρι να γίνουν ίσες με αυτές στο σημείο Q' , ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την τεχνική αποδοτικότητά της σταθερή, τα κόστη της θα μειωθούν κατά OR/OQ , με την προϋπόθεση ότι οι τιμές δεν αλλάζουν. Οπότε είναι εύλογο η αναλογία OR/OQ να είναι επίσης η αποδοτικότητα της τιμής της επιχείρησης στο σημείο P . Ο παραπάνω ισχυρισμός όμως δεν είναι τελείως ορθός, καθώς δεν μπορούμε να προβλέψουμε τι θα συμβεί στην τεχνική αποδοτικότητα μιας επιχείρησης όταν αυτή αλλάξει τις αναλογίες των εισροών της, παρόλα αυτά φαίνεται ότι είναι η καλύτερη διαθέσιμη προσέγγιση. Επίσης έχει την επιθυμητή ιδιότητα να δίνει την ίδια αποδοτικότητα σε επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν τους ίδιους συντελεστές στις ίδιες αναλογίες.

Αν η επιχείρηση είναι πλήρως αποδοτική, και τεχνικά και με βάση τις τιμές, τα κόστη της θα ήταν ίσα με OR/OP . Ορίζουμε αυτή την αναλογία ως ολική αποδοτικότητα της επιχείρησης, και είναι ίση με την τεχνική αποδοτικότητα και την αποδοτικότητα τιμής.

Αυτές οι μετρήσεις της αποδοτικότητας βασίζονται στην υπόθεση ότι η αποδοτική συνάρτηση παραγωγής είναι γνωστή. Είναι αναγκαίο να ληφθεί υπ' όψιν ο ορισμός της αποδοτικής συνάρτησης παραγωγής πριν αρχίσουμε να συζητάμε για την σημαντικότητα των μετρήσεων της αποδοτικότητας.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι υπολογισμού της συνάρτησης παραγωγής αλλά δύο είναι οι επικρατέστεροι. Ο πρώτος είναι θεωρητικός, που προσδιορίζεται από τους μηχανικούς, και ο δεύτερος εμπειρικός, που βασίζεται στα καλύτερα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στην

πράξη. Η πρώτη λύση βασίζεται στο ότι ένα αξιωματικά ορισμένο πρότυπο πλήρους αποδοτικότητας, αντιπροσωπεύει το καλύτερο επίπεδο που θεωρητικά μπορεί να επιτευχθεί. Όμως, παρότι είναι ο πιο εύλογος και ίσως η καλύτερη ιδέα για την αποδοτικότητα μιας παραγωγικής διαδικασίας, υπάρχουν σημαντικές αντιρρήσεις όσον αφορά την εφαρμογή της σε ένα πιο σύνθετο επίπεδο όπως είναι για παράδειγμα μια βιομηχανία.

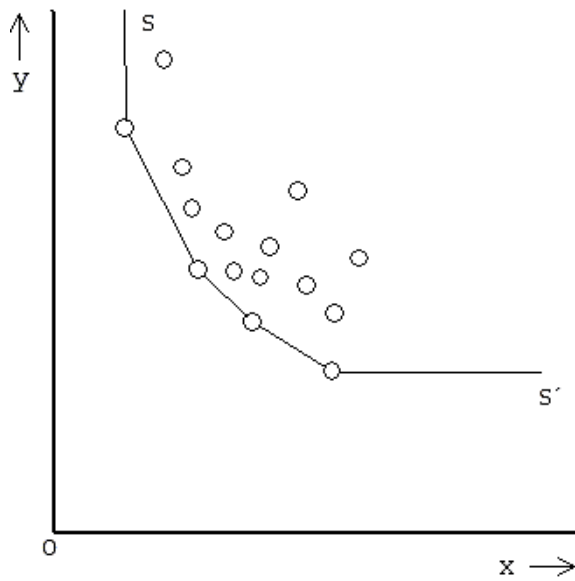
Το πρώτο πρόβλημα είναι ότι είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί μια θεωρητική αποδοτική συνάρτηση για μια πολύπλοκη διαδικασία. Όσο περιπλοκότερη είναι η διαδικασία, τόσο λιγότερο ακριβής θα είναι η θεωρητική αποδοτική συνάρτηση. Επιπλέον όσο πιο ελαστική είναι η διαδικασία όσον αφορά το ανθρώπινο λάθος, τόσο η θεωρητική συνάρτηση τείνει να καταλήγει σε υπερεκτιμημένα αποτελέσματα. Αν χρησιμοποιούμε τις μετρήσεις αυτές για να κρίνουμε την επιτυχία μιας επιχείρησης ή μιας βιομηχανίας, αυτό μπορεί να έχει αρνητικές ψυχολογικές επιδράσεις, καθώς είναι προτιμότερο να συγκρίνεις την αποδοτικότητα της επιχείρησης με την καλύτερη που έχει επιτευχθεί παρά με μία ιδεατή και ανέφικτη αποδοτικότητα.

Το επόμενο πρόβλημα είναι να εκτιμήσουμε μια αποδοτική συνάρτηση παραγωγής από τις παρατηρήσεις των εισροών και εκροών ενός αριθμού επιχειρήσεων. Κάτω από τις ίδιες υποθέσεις όπως πριν, κάθε επιχείρηση μπορεί να παρουσιαστεί ως ένα σημείο πάνω στην καμπύλη ισοπροϊόντος, έτσι ώστε ένας αριθμός επιχειρήσεων να δημιουργήσει ένα διάγραμμα διασποράς όπως είναι το διάγραμμα 2. Η αποδοτική συνάρτηση παραγωγής αντιπροσωπεύεται ως μια καμπύλη ισοπροϊόντος, και το πρόβλημα είναι η εκτίμηση μιας αποδοτικής καμπύλης ισοπροϊόντος από το διάγραμμα διασποράς.

Αν υποθέσουμε ότι η καμπύλη ισοπροϊόντος είναι κυρτή ως προς την αρχή των αξόνων και πουθενά δεν έχει θετική κλίση, τότε η καμπύλη SS' είναι η πιο απαισιόδοξη εκτίμησή της καμπύλης αυτής. Η καμπύλη SS' είναι το ελάχιστο αναμενόμενο όριο αποδοτικότητας που συνάδει με τις παρατηρημένες τιμές και ικανοποιεί τις δύο υποθέσεις.

Από τις δύο υποθέσεις, αυτή της κυρτότητας εμφανίζεται σχεδόν πάντα στην οικονομική θεωρία. Αυτό οδηγεί στην υπόθεση ότι αν δύο σημεία είναι εφικτά στην πράξη, τότε το ίδιο ισχύει και για κάθε σημείο που αντιπροσωπεύει τον σταθμισμένο μέσο αυτών. Όσο υποθέτουμε σταθερές αποδόσεις κλίμακας, η διαδικασία που αντιπροσωπεύεται από τα δύο σημεία μπορεί να επιτευχθεί χωρίς αυτά να αλληλοεπηρεάζονται. Η υπόθεση ότι η κλίση της καμπύλης ισοπροϊόντος δεν είναι πουθενά θετική γίνεται γιατί σε αντίθετη περίπτωση μια αύξηση και των δύο συντελεστών θα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της εκροής.

Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Διασποράς



Πηγή: Farrell (1957), σελ. 256

Η καμπύλη SS' μπορεί να θεωρηθεί ως μια εκτίμηση της αποδοτικής καμπύλης ισοπροϊόντος. Η μέθοδος αυτή της μέτρησης της αποδοτικότητας μιας επιχείρησης περιλαμβάνει την σύγκρισή της με μια υποθετική επιχείρηση, η οποία χρησιμοποιεί τους συντελεστές παραγωγής με την ίδια αναλογία. Αυτή η υποθετική επιχείρηση κατασκευάστηκε ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των δύο παρατηρημένων επιχειρήσεων και οι σταθμίσεις επιλέγονται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή αναλογία συντελεστών.

Όταν γενικεύουμε σε μια περίπτωση όπου έχουμε πολλές εισροές και πολλές εκροές το διάγραμμα ισοπροϊόντος είναι αναγκαίο να εγκαταλειφθεί, αλλά η βασική αρχή του σχηματισμού μιας υποθετικής επιχείρησης ως ο σταθμισμένος μέσος όρος από ένα κατάλληλο αριθμό παρατηρημένων επιχειρήσεων παραμένει αμετάβλητη.

Η καμπύλη SS' καθορίζεται γεωμετρικά ως εξής. Είναι ένα ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει μερικά ζευγάρια σημείων, επιλεγμένα από ένα σύνολο A που περιλαμβάνει τα παρατηρημένα σημεία καθώς και τα σημεία $(0, \infty)$ και $(\infty, 0)$. Τα δύο σημεία στο άπειρο δίνονται για να εξηγήσουν το τμήμα της SS' που είναι παράλληλο στους άξονες. Τα ζευγάρια των σημείων που επιλέχθηκαν είναι αυτά για τα οποία το ευθύγραμμο τμήμα που τα ενώνει ικανοποιεί δύο προϋποθέσεις. Η πρώτη προϋπόθεση είναι ότι η κλίση του δεν είναι θετική ενώ η δεύτερη ότι κανένα σημείο δεν παρατηρείτε ανάμεσα σε αυτό και την αρχή των αξόνων.

Αυτές οι δύο προϋποθέσεις μπορούν να εκφραστούν σε μία προϋπόθεση η οποία λέει ότι κανένα σημείο του A δεν μπορεί να βρίσκεται στην πλευρά της γραμμής όπου βρίσκεται η αρχή των αξόνων.

Αλγεβρικά αυτό μπορεί να οριστεί ως εξής: Έχουμε ένα σημείο της μορφής

$P_i = (x_{i1}, x_{i2})$, και λ_{ijk}, μ_{ijk} είναι η λύση των εξισώσεων

$$\begin{aligned} \lambda x_{i1} + \mu x_{j1} &= x_{k1} \\ \lambda x_{i2} + \mu x_{j2} &= x_{k2} \end{aligned} \quad (1)$$

όπου P_i , P_j και P_k είναι σημεία του A . Τότε το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα σημεία P_i και P_j είναι κομμάτι της SS' αν και μόνο αν:

$$\lambda_{ijk} + \mu_{ijk} \geq 1 \text{ για όλα τα } P_k \text{ του } A \quad (2)$$

Κάθε σημείο της γραμμής $P_i P_j$ μπορεί να γραφτεί $\lambda x_{i1} + \mu x_{j1}, \lambda x_{i2} + \mu x_{j2}$ όπου $\lambda + \mu = 1$ και για τα σημεία μεταξύ P_i και P_j , $\lambda, \mu \geq 0$. Έτσι, αν $P_i P_j$ βρίσκεται μεταξύ του P_k και της αρχής των αξόνων, $\lambda_{ijk} + \mu_{ijk} \geq 1$ και αν OP_k κόβει το $P_i P_j$ εσωτερικά $\lambda_{ijk} + \mu_{ijk} \geq 0$.

Οι εξισώσεις (1) χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί η τεχνική αποδοτικότητα κάθε σημείου P_k . Πρώτα όμως είναι απαραίτητο να βρούμε ποιο τμήμα της SS' τέμνεται από την OP_k , δηλαδή να βρούμε ποιο κομμάτι $P_i P_j$ της SS' για το οποίο $\lambda_{ijk}, \mu_{ijk} \geq 0$. Τότε η τεχνική αποδοτικότητα υπολογίζεται ως εξής:

$$P_k = \frac{1}{\lambda_{ijk} + \mu_{ijk}}.$$

Ένας παρεμφερής αλλά περισσότερο κομψός ορισμός (και πιο χρήσιμος στους υπολογισμούς) είναι ότι η τεχνική αποδοτικότητα του P_k είναι η μεγιστοποίηση του:

$$\frac{1}{\lambda_{ijk} + \mu_{ijk}}$$

για όλα τα κομμάτια $P_i P_j$ της SS' . Η κυρτότητα της SS' διασφαλίζει ότι η έκφραση αυτή φθάνει στο μέγιστο σημείο όπου $\lambda, \mu \geq 0$.

Η γενίκευση στο να επιτρέψουν n εισροές, ενώ διατηρούμε τις υποθέσεις της μιας εκροής και των σταθερών αποδόσεων, είναι απλή. Κάθε παρατηρημένη επιχείρηση τώρα αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο σε ένα χώρο n διαστάσεων, γραμμένες τυπικά ως ένα διάνυσμα στήλη x_i . Το σύνολο A κατασκευάζεται προσθέτοντας στα παρατηρημένα σημεία τα n σημεία

$$(\infty, 0, \dots, 0) \quad (0, \infty, \dots, 0) \quad \dots \quad (0, 0, \dots, \infty)$$

Όπως στις δύο διαστάσεις τα ζευγάρια σημείων στο σύνολο A ορίζουν γραμμές και ευθύγραμμα τμήματα, τώρα ομάδες n σημείων του A ορίζουν υπερεπίπεδο (hyperplane) και πλευρές (facets). Η πλευρά χρησιμοποιείται για να περιγράψει το τμήμα του υπερεπίπεδου του οποίου τα σημεία μπορούν να εκφραστούν ως σταθμισμένοι μέσοι όροι, με όχι αρνητικές σταθμίσεις, των n ορισμένων σημείων. Η αποδοτική καμπύλη ισοπροϊόντος είναι τώρα μια επιφάνεια S σε n διαστάσεις, αποτελούμενη από πλευρές.

Στην εξίσωση (1) τώρα αντιστοιχεί ο πίνακας εξίσωσης:

$$[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+n-1}] \lambda = x_k \quad (3)$$

η λύση της οποίας είναι το διάνυσμα στήλη λ , και η πλευρά ορίζεται από n σημεία $P_i, P_{i+1}, \dots, P_{i+n-1}$ είναι κομμάτι της S αν και μόνο αν

$$\lambda' u \geq 1 \text{ για όλα τα } P_k \text{ του } A. \quad (4)$$

όπου το u είναι ένα διάνυσμα στήλη, όλα τα στοιχεία του οποίου είναι μονάδα. Όπως πριν, η τεχνική αποδοτικότητα του P_k μπορεί να ορισθεί είτε ως $1/(\lambda' u)$ για τις πλευρές που τέμνονται από την OP_k είτε ως το μέγιστο του $1/(\lambda' u)$ για όλες τις πλευρές της S .

Όταν εγκαταλείπεται η υπόθεση της μοναδικής εκροής, η κατάσταση γίνεται ελαφρώς πολύπλοκότερη. Όσο η εκροή δεν είναι πλέον ακέραη (scalar) ποσότητα, δεν είναι πλέον δυνατόν να απεικονίσουμε τις παρατηρήσεις μας ως σημεία πάνω στο διάγραμμα της καμπύλη ισοπροϊόντος διαιρώντας τις εισροές με τις εκροές. Αντιθέτως, κάθε παρατηρημένη επιχείρηση έχει ένα διάνυσμα X_i από εκροές και ένα διάνυσμα x_i από εισροές και πρέπει να παρουσιαστούν από ένα σημείο σε χώρο $n+m$ διαστάσεων. Η αποδοτική επιφάνεια S τώρα αποτελείται από πλευρές που ορίζονται από ομάδες $n+m$ σημείων, τα οποία ανήκουν στο σύνολο A , το οποίο περιλαμβάνει, εκτός των παρατηρημένων σημείων και των σημείων στο άπειρο, την αρχή των αξόνων. Καθώς ισχύει ακόμα η υπόθεση των σταθερών αποδόσεων, ο ορισμός μιας πλευράς αλλάζει ώστε να επιτρέπει στην αρχή των αξόνων αρνητική στάθμιση. Επακόλουθο αυτού είναι ότι η αρχή των αξόνων εμφανίζεται σε κάθε αποδοτική πλευρά.

Οι αντίστοιχες εξισώσεις των (1) και (3) είναι τώρα ο πίνακας εξισώσεων:

$$\begin{aligned} [X_i, X_{i+1}, \dots, X_{i+m+n-2}, 0] \lambda &= (\lambda' u) X_k \\ [x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m+n-2}, 0] \lambda &= x_k \end{aligned} \quad (5)$$

ισοδύναμα με $n+m$ γραμμικές εξισώσεις. Οι αντίστοιχες συνθήκες των (2) και (4) είναι:

$$\lambda' u \geq 1 \text{ για όλα τα } P_k \text{ του } A. \quad (6)$$

και η αποδοτικότητα του P_k ορίζεται σε όρους $\lambda' u$ ακριβώς όπως πριν.

Μπορεί να μην γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι το κριτήριο αυτό είναι απλά μια γενίκευση από το προηγούμενο. Μπορεί, όμως, εύκολα να δειχθεί ότι στην περίπτωση που $m=1$ οι δύο διαδικασίες είναι ισοδύναμες. Έστω $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n+1})$ είναι η λύση του πίνακα εξισώσεων (5) και ορίζεται το $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ από την εξίσωση:

$$X_{i+j-1} \lambda_j = X_k \mu \text{ για } i=1, 2, \dots, n$$

Τότε η εξίσωση (5) μπορεί να γραφεί:

$$\left[\frac{1}{X_i} x_i, \frac{1}{X_{i+1}} x_{i+1}, \dots, \frac{1}{X_{i+n-1}} x_{i+n-1} \right] \mu = \frac{1}{X_k} x_k \quad (7)$$

Η τεχνική αποδοτικότητα του P_k ορίζεται ακριβώς όπως και πριν. Μια αποδοτική επιχείρηση μπορεί να παράγει X_k εκροές, χρησιμοποιώντας $\frac{1}{\lambda' u} x_k$ εισροές, ή χρησιμοποιώντας x_k εισροές, μπορεί να παράγει $\lambda' u X_k$ εκροές.

Οι Charnes et al. (1978) χρησιμοποίησαν την ανάλυση ισοπροϊόντος του Farrell (1957) για να αναπτύξουν μια μεθοδολογία με την οποία θα υπολογίζεται η αποδοτικότητα μιας ΜΛΑ σε σχέση με την αποδοτικότητα μιας ΜΛΑ.

Αναλυτικότερα οι Charnes et al. (1978) πρότειναν ένα μέτρο αποδοτικότητας της ΜΛΑ που ισούται με το μέγιστο της αναλογίας των σταθμισμένων εκροών προς τις σταθμισμένες εισροές υπό τον περιορισμό ότι οι αντίστοιχες αναλογίες των υπόλοιπων ΜΛΑ είναι μικρότερες ή ίσες της μονάδος. Η πιο ακριβής μορφή είναι:

$$\max h_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (8)$$

Υπό τον περιορισμό:

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

$$\text{όπου} \quad j = 1, \dots, n \quad u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m$$

Τα y_{rj}, x_{ij} (θετικά) είναι οι εκροές και οι εκροές της j -οστής ΜΛΑ και $u_r, v_i \geq 0$ είναι οι σταθμίσεις των μεταβλητών και ορίζονται από την λύση του προβλήματος. Η αποδοτικότητα μιας μονάδας του συνόλου αναφοράς ΜΛΑ, θα υπολογιστεί σε σχέση με τις υπόλοιπες. Αυτή η μονάδα λήψης απόφασης που συμπεριλαμβάνεται στην συνάρτηση αριστοποίησης, όπως και στους περιορισμούς, παίρνει την τιμή 0 στην συνάρτηση, αλλά διατηρεί τον αρχικό δείκτη στους περιορισμούς. Η μεγιστοποίηση υπολογίζει τις καλύτερες σταθμίσεις για την ΜΛΑ, που είναι δυνατές βάση των περιορισμών.

Για τις ΜΛΑ που εξετάζονται, οι τιμές των y_{rj}, x_{ij} , οι οποίες είναι σταθερές, μπορεί να είναι παρατηρήσεις από παρελθούσες αποφάσεις αναφορικά με τις εισροές και τις προκύπτουσες από αυτές εκροές. Είναι δυνατή η αντικατάσταση μερικών ή όλων αυτών των παρα-

τηρήσεων με θεωρητικά ορισμένες τιμές αν επιθυμούμε (και μπορούμε) να κάνουμε τις μετρήσεις αποδοτικότητας με αυτό τον τρόπο.

Το παραπάνω μοντέλο είναι μια επέκταση ενός μη γραμμικού προγραμματισμού ενός συνήθους πρόβλημα κλασματικού προγραμματισμού. Οι Charnes et al. (1978) μετέτρεψαν το πρόβλημα κλασματικού προγραμματισμού σε πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Χρησιμοποίησαν την παραπάνω μεθοδολογία για τον υπολογισμό του προβλήματος, ο οποίος περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό $j(n)$ παρατηρήσεων αλλά ένα μικρότερο αριθμό εισροών $i(m)$ και εκροών $r(s)$.

Στην αρχή θεώρησαν το ακόλουθο μοντέλο, το οποίο είναι μια άλλη έκδοση της (8):

$$\min f_o = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \quad (9)$$

Υπό τον περιορισμό:

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

$$\text{όπου} \quad j = 1, \dots, n \quad u_r v_i \geq 0$$

Στη συνέχεια αντικαθίσταται το μη κυρτό, μη γραμμικό πρόβλημα με τυπικό (ordinary) πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού. Έτσι:

$$\max z_0 \quad (10)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$-\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + y_{r0} z_0 \leq 0 \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq x_{i0} \quad i = 1, \dots, m$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

Επειδή το (10) είναι ένα τυπικό πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού έχει ένα γραμμικό δυκό πρόβλημα το οποίο γράφεται ως εξής:

$$\min g_0 = \sum_{i=1}^m \omega_i x_{i0} \quad (11)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$-\sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0} + \sum_{i=1}^m \omega_i x_{ij} \geq 0$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0} = 1$$

$$\mu_r, \omega_i \geq 0$$

Εξαιτίας της δομής της (11) είναι φανερό ότι είναι ισοδύναμη με ένα τυπικό πρόβλημα γραμμικού κλασματικού προγραμματισμού. Αν χρησιμοποιηθεί η θεωρία του γραμμικού κλασματικού προγραμματισμού με τους μετασχηματισμούς:

$$\omega_i = tv_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$\mu_r = tu_r \quad r = 1, \dots, s$$

$$t^{-1} = \sum_r u_r y_{r0}$$

και για $t > 0$:

$$\min f_o = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \quad (12)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$v_i, u_r \geq 0$$

Ως το ισοδύναμο γραμμικό κλασματικό πρόβλημα προγραμματισμού του (11). Παρατηρούμε ότι το (12) είναι ίδιο με το (9). Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την (11) για να λύσουμε την (12) και επίσης και την (9) και την (8).

Δεν χρειάζεται να λύσουμε τα μη γραμμικά και (μη κυρτά) προβλήματα αλλά το τυπικό γραμμικό πρόβλημα προγραμματισμού (11), ώστε να βρούμε το βέλτιστο f_0 ή h_0 και τις σταθμίσεις $v_i^*, u_r^* \geq 0$.

Έτσι:

$$f_0^* = g_0^* = z_0^* \quad (13.1)$$

και ως εκ τούτου:

$$h_0^* = \frac{1}{z_0^*} \quad (13.2)$$

Επίσης, έχουμε τις ζητούμενες σχετικές σταθμίσεις. Έτσι τίποτε παραπάνω δεν απαιτείται από την λύση της (11) ή της (10), ώστε να καθοριστεί αν $f_0 > 1$ ή αντίστοιχα $h_0 < 1$ με την αποδοτικότητα να επιτυγχάνεται αν και μόνο αν:

$$f_0^* = h_0^* = 1 \quad (13.3)$$

Οι Charnes et al. (1978) επέκτειναν την μελέτη του σε αυτό που ονομάζουμε Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (ΠΑΔ), (Data Envelopment Analysis, DEA). Έστω το διάνυσμα:

$$P_j = \begin{pmatrix} Y_j \\ X_j \end{pmatrix} \quad j = 1, \dots, n \quad (14)$$

όπου το Y_j περιέχει τις παρατηρημένες τιμές της εκροής $y_{rj}, r = 1, \dots, s$ και το X_j περιέχει τις παρατηρημένες τιμές της εισροής $x_{ij}, i = 1, \dots, m$.

Έστω ότι έχουμε το ακόλουθο διάνυσμα που είναι αναδιατύπωση της (10):

$$\max z_0 \quad (15)$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$-\sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j + Y_0 z_0 \leq 0$$

$$\sum_{j=1}^n X_j \lambda_j \leq X_0$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

Έστω ότι η βέλτιστη λύση της ισοδύναμης μορφής εξίσωσης με χαλαρές (slack) μεταβλητές είναι:

$$z_0^*, s^{*+}, s^{*-}, \lambda_j^* \quad j = 1, \dots, n \quad (16)$$

όπου s^{*+} αντιπροσωπεύει ένα διάνυσμα με μη αρνητικές χαλαρές μεταβλητές που σχετίζεται με τις ανισότητες των εκροών και s^{*-} αντιπροσωπεύει ένα διάνυσμα με μη αρνητικές χαλαρές μεταβλητές που σχετίζεται με τις ανισότητες των εισροών. Αν $z_0^* \geq 1$ τότε μέσω των (13.1) – (13.3) το σύνορο αποδοτικότητας της επιφάνειας των παραγωγικών δυνατοτήτων δεν έχει επιτευχθεί.

Σε αυτό το σημείο, όμως, μπορούμε να παρατηρήσουμε και κάτι παραπάνω. Αν s^{*+} περιέχει κάποια θετικά στοιχεία τότε είναι πιθανόν να αυξηθούν οι συσχετιζόμενες εκροές στο ποσοστό των χαλαρών μεταβλητών χωρίς αλλαγή στις τιμές του λ_j^* και χωρίς να παραβιάζεται κανένας περιορισμός. Αντιστοίχως, αν s^{*-} περιέχει κάποια θετικά στοιχεία τότε

μπορούμε να μειώσουμε τις εισροές από X_0 σε $X_0 - s^{*-}$ με ανάλογο τρόπο. Σε κάθε περίπτωση η ΜΛΑ που αξιολογείται δεν επιτυγχάνει (σχετική) αποδοτικότητα ακόμη και με $z_0^* = 1$. Αντίθετα με τις (8) και (9), τα μεταγενέστερα μοντέλα χαρακτηρισμού της αποδοτικότητας δεν καθορίζουν απαραίτητα εάν η ΜΛΑ είναι αποδοτική μόνο με βάση την αναφορά στην βέλτιστη τιμή της συνάρτησης.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, καμία ΜΛΑ δεν χαρακτηρίζεται ως αποδοτική εκτός και αν ισχύουν και οι δύο παρακάτω συνθήκες:

I. $z_0^* = 1$

II. Οι χαλαρές μεταβλητές είναι όλες μηδέν.

Παρατηρούμε ότι οι παραπάνω συνθήκες είναι οι συνθήκες της Pareto αποδοτικότητας.

Έστω ότι θέλουμε να προσαρμόσουμε όλες τις παρατηρήσεις για την αξιολόγηση ενός προγράμματος για μια δοθείσα ΜΛΑ, με βάση την υπόθεση ότι το πρόγραμμα αυτό είναι αποδοτικό διαχειριζόμενο από την ΜΛΑ. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση της (17) με τον ακόλουθο τρόπο.

Πρώτον, για μια επιλεγμένη ΜΛΑ χρησιμοποιώντας την (15) επιτυγχάνουμε την λύση της (16). Στη συνέχεια, κατασκευάζεται ένα νέο πρόβλημα από αυτά τα δεδομένα και η λύση τους.

$$\max \hat{z}_0 \tag{18}$$

υπό τους περιορισμούς:

$$-\sum_{j=1}^n Y_j \hat{\lambda}_j + (Y_0 z_0^* + s^{*+}) \hat{z}_0 \leq 0$$

$$\sum_{j=1}^n X_j \hat{\lambda}_j \leq X_0 - s^{*-}$$

$$\hat{\lambda}_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

Το πρόβλημα (18) οι Charnes et al. (1978) το αναφέρουν ως μεταβλητό πρόβλημα (varied problem) και δείχνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαλειφθούν όλες οι μη αποδοτικές παρατηρήσεις κατά την λύση της (16) με την βοήθεια της (15). Αυτό περιλαμβάνει:

- a) Μείωση των εισροών από το αρχικό διάνυσμα των παρατηρήσεων X_0 , στο νέο διάνυσμα εισροών $X_0 - s^{*-}$.
- b) Αύξηση του αρχικού διανύσματος εκροής Y_0 , στο νέο διάνυσμα $(Y_0 z_0^* + s^{*+})$.

Αποδεικνύεται ότι οι προσαρμοσμένες παρατηρήσεις ικανοποιούν τις συνθήκες αποδοτικότητας της (17) ως εξής. Προφανώς, πρέπει να ισχύει $\hat{z}_0 \geq 1$, γιατί όταν $\hat{z}_0 = 1$ στην (18) τότε μαζί με την (16) μας δίνει την εξασφαλισμένη άριστη λύση της (15). Υποθέτουμε ότι έχουμε $\hat{z}_0 \geq 1$ στην (18). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα:

$$-\sum_{j=1}^n Y_j \hat{\lambda}_j + Y_0 \hat{z}_0 \leq -\sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j + (Y_0 z_0^* + s^{*+}) z_0 \leq 0$$

$$\sum_{j=1}^n X_j \hat{\lambda}_j \leq X_0 - s^{*-} \leq X_0$$

δεδομένου ότι s^{*+} και s^{*-} είναι μη-αρνητικά. Προφανώς, το αριστερό μέρος της έκφρασης ικανοποιεί το αμετάβλητο πρόβλημα (15) με \hat{z}_0 στη θέση του z_0^* , και $\hat{\lambda}_j$ στη θέση του λ_j^* .

Όμως, έχουμε επίσης:

$$\text{Max } z_0 \geq \hat{z}_0 > z_0^*$$

όταν $\hat{z}_0 > 1$. Όμως, $z_0^* = \max z_0$, από την υπόθεση. Οπότε δημιουργείται μια αντίφαση, η οποία αποδεικνύει ότι $\hat{z}_0 = 1$ είναι η βέλτιστη λύση στο μεταβλητό πρόβλημα (18).

Τώρα μπορεί να αποδειχτεί ότι η βέλτιστη λύση, $\lambda_j^*, j=1, \dots, n$, στο αμετάβλητο πρόβλημα (15) είναι μια βέλτιστη λύση στο μεταβλητό πρόβλημα (18) με μηδέν τις χαλαρές μεταβλητές, τα διανύσματα δηλαδή s^{*+} και s^{*-} έχουν όλα τους τα στοιχεία ίσα με μηδέν όπως απαιτείται από την αποδοτικότητα. Πρώτον, μέσου της (16):

$$-\sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j^* + Y_0 z_0^* + s^{*+} = 0$$

$$\sum_{j=1}^n X_j \lambda_j^* = X_0 - s^{*-}$$

έτσι λ_j^* είναι μια εφικτή λύση του μεταβλητού προβλήματος με $\hat{z}_0 = 1$. Αυτή είναι:

$$-\sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j^* + (Y_0 z_0^* + s^{*+}) \hat{z}_0 = 0$$

$$\sum_{j=1}^n X_j \lambda_j^* = X_0 - s^{*-}$$

με $\hat{z}_0 = 1$. Είναι επίσης βέλτιστη λύση καθώς όπως έχει ήδη αποδειχτεί, $\hat{z}_0 = 1$. Επιπλέον, οι βέλτιστες χαλαρές μεταβλητές s^{*+} και s^{*-} είναι μηδέν.

Εν συντομία, οι υποδεικνυόμενες προσαρμογές πάντα φέρνουν τις αρχικές παρατηρήσεις στο σχετικό αποδοτικό σύνολο παραγωγής. Νέοι υπολογισμοί δεν απαιτούνται μετά τις τροποποιήσεις των z_0^*, s^{*-} που επηρεάζονται από τα αρχικά δεδομένα των Y_0, X_0 για την αποδοτική σύγκριση που θέλουμε να κάνουμε.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα αποτελέσματα για να βρούμε μια επιφάνεια που να ανταποκρίνεται σε μια καλά ορισμένη σχέση μεταξύ εκροής και εισροών. Στην περίπτωση που έχουμε μια εκροή αυτή η σχέση ανταποκρίνεται σε μια συνάρτηση στην οποία η εκροή είναι η μέγιστη για όλες τις εισροές. Τυπικά καλύπτει όλες τις απαιτήσεις της παραγωγικής διαδικασίας ή γενικότερα της επιφάνειας παραγωγικών δυνατοτήτων στην περίπτωση των πολλών εκροών. Ως αποτέλεσμα αυτών χρησιμοποιείται ένας νέος τύπος παραγωγικής συνάρτησης η οποία έχει μια ποικιλία από πλεονεκτήματα. Σε αντίθεση με άλλες συναρτήσεις παραγωγής, αυτή προέρχεται από εμπειρικές παρατηρήσεις. Επιπλέον παρακάμπτει τα δυσεπίλυτα προβλήματα αθροισμάτων που σχετίζονται με άλλους τύπους συναρτήσεων παραγωγής. Τέλος προσφέρει συγκριτική σταθερότητα κάτι που προσφέρει την δυνατότητα να μελετηθεί ακόμα και όταν έχουμε τεχνολογικές αλλαγές. Η χρήση της συγκριτικής σταθερότητας μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους όπως η υιοθέτηση της υπόθεσης ότι η ίδια ΜΛΑ θεωρείται ως διαφορετική οντότητα σε κάθε σχετική χρονική περίοδο.

Οι Banker, Charnes και Cooper το 1984, ως επέκταση του CCR μοντέλου, εισήγαγαν κάποια αξιώματα. Η προσέγγιση τους γίνεται μέσω κάποιων βελτιστοποιήσεων που πραγματοποιούνται με σεβασμό στις παρατηρήσεις που έχουν παραχθεί από τον Farrell (1957). Κατασκεύασαν ένα απλό μοντέλο εισροής – εκροής με παρατηρήσεις για κάθε $j = 1, \dots, n$ ΜΛΑ ως (X_j, Y_j) όπου $X_j = (x_{1j}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mj})$ είναι το διάνυσμα των παρατηρημένων εισροών και $Y_j = (y_{1j}, \dots, y_{rj}, \dots, y_{sj})$ είναι το διάνυσμα των παρατηρημένων εκροών για την ΜΛΑ j . Υποθέτουμε ότι τουλάχιστον μία εκροή και τουλάχιστον μία εισροή είναι θετικές. Κάθε ΜΛΑ j που χρησιμοποιείται για σύγκριση αποδοτικότητας υποθέτουν ότι χρησιμοποιεί τις ίδιες εισροές και παράγει τις ίδιες εκροές, αλλά σε ποικίλες ποσότητες. Ο σκοπός των Banker, Charnes και Cooper (1984) ήταν να χαρακτηρίσουν μια παραγωγική δυνατότητα, και προπάντων, να ορίσουν ένα αποδοτικό υποσύνολο βασιζόμενη στα παρατηρημένα δεδομένα.

Η παραγωγική δυνατότητα παρουσιάζεται ως:

$$T = \{(X, Y) | Y \geq 0 \text{ μπορεί να παραχθεί από } X \geq 0\} \quad (19)$$

Η δυνατότητα εισροής (input possibility) ορίζεται ως $L(Y)$, για κάθε Y , ώστε:

$$L(Y) = \{X | (X, Y) \in T\} \quad (20)$$

Και η δυνατότητα εκροής ορίζεται ως $P(X)$ για κάθε X , ώστε:

$$P(X) = \{Y | (X, Y) \in T\} \quad (21)$$

Στην συνέχεια παρατίθενται 4 αξιώματα για την δυνατότητα παραγωγής, T :

Αξίωμα 1: Κυρτότητα.

Αξίωμα 2: Μη αποδοτικότητα.

Αξίωμα 3: Ray Unboundedness.

Αξίωμα 4: Minimum Extrapolation.

Τα αξιώματα 1 και 3 σημαίνουν ότι κάθε (X, Y) του τύπου $k \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j, k \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j$ με

$k > 0, \lambda_j \geq 0$ και $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ είναι μέσα στο T .

Επιπλέον, από τα αξιώματα 2 και 4, συμπεραίνουμε ότι $(X, Y) \in T$ αν και μόνο αν

$X \geq k \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j$, και $Y \leq k \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j$, για μερικά $k > 0$ και μερικά $\lambda_j, j = 1, \dots, n$ ικανοποιούν

τις συνθήκες $\lambda_j \geq 0$ και $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$. (22)

Έχοντας προσδιορίσει το σύνολο παραγωγικής δυνατότητας T , εκτίμησαν την συνάρτηση απόστασης του Shephard από τα ίδια παρατηρημένα δεδομένα ώστε να την συσχετίσουν με τη μέτρηση της CCR αποδοτικότητας. Ο Shephard (1970, p206) όρισε μια συνάρτηση απόστασης (distance function) $g(X, Y)$ από μια ομάδα εισροών $L(Y)$ καθώς $g = \frac{1}{h(X, Y)}$ όπου

$h(X, Y) = \min\{h : hX \in L(Y), h \geq 0\}$.

Χρησιμοποιώντας τον χαρακτηρισμό από κάθε $(X, Y) \in T$ όπως στην (19), μπορούμε να εκφράσουμε την $h(X, Y)$ ως:

$$h(X, Y) = \min h$$

υπό τους περιορισμούς:

$$hX \geq k \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j, Y \leq k \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j, \quad (23)$$

$$1 = \sum_{j=1}^n \lambda_j, \quad \lambda_j \geq 0 \text{ και } k > 0.$$

Στη συνέχεια αντικατέστησαν $\mu_j = k\lambda_j$ στην (23). Έτσι, έχουμε:

$\min h$

υπό τους περιορισμούς:

$$hX - \sum_{j=1}^n \mu_j X_j \geq 0, \quad \sum_{j=1}^n \mu_j Y_j \geq Y, \quad (24)$$

$$\mu_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

Αυτό είναι ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, το οποίο μπορεί να γραφτεί ως:

$$\max U^T Y$$

υπό τους περιορισμούς:

$$V^T X = 1, U^T Y_j - V^T X_j \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (25)$$

$$U \geq 0, V \geq 0,$$

όπου $U^T \equiv (u_1, \dots, u_r, \dots, u_s)$ και $V^T \equiv (v_1, \dots, v_i, \dots, v_m)$.

Αυτό είναι ισοδύναμο με το πρόβλημα κλασματικού προγραμματισμού με κλασματικούς περιορισμούς:

$$\max h = \frac{U^T Y}{V^T X}$$

υπό τον περιορισμό

$$\frac{U^T Y_j}{V^T X_j} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad U, V \geq 0. \quad (26)$$

Αυτό μπορεί να περιγράψει την CCR αποδοτικότητα, έκτος από το ότι κάθε u_r και v_i στο U και V απαιτείται να είναι μη αρνητικά αντί του αυστηρά θετικά.

Η θετικότητα που απαιτείται μπορεί να επιτευχθεί αν ακολουθηθεί η μη Αρχιμήδεια (non- Archimedean) διατύπωση. Το σύνολο των εισροών από τη συνάρτηση απόστασης του Shephard $L_s(Y)$ ορίζεται ως:

$$L_s(Y) = \{X | h(X, Y) = 1\} \quad (27)$$

περιγράφει το σύνολο για τις εισροές $X = (x_1, \dots, x_m)$ το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός συνδυασμού από εκροές $Y = (y_1, \dots, y_s)$. Οι Banker et al. (1984) όρισαν ένα υποσύνολο του $L_s(Y)$ ως:

$$L_E(Y) = \{X | h(X, Y) = 1 \text{ με } \bar{X} \leq X \Rightarrow \bar{X} \notin L(Y) \text{ εκτός } \bar{X} = X\}. \quad (28)$$

Αυτό μας επιτρέπει να ξεχωρίσουμε μεταξύ των σημείων τα οποία είναι στο αποδοτικό υποσύνολο $X_1 = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_m) \in L_E(Y) \subseteq L_s(Y)$ και των σημείων τα οποία ίσως είναι μόνο στο σύνορο όπως το $X_2 = (x_1, \dots, x_i + d, \dots, x_m) \in L_s(Y)$ με $d > 0$.

Η κατάσταση η οποία επιτρέπει τον διαχωρισμό μεταξύ των λύσεων όπως X_2 και X_1 στην διατύπωση του γραμμικού προγραμματισμού είναι η επίτευξη μιας βέλτιστης τιμής του $h^* = 1$, αλλά με θετική την i -οστη χαλαρή εισροή. Στην περίπτωση της X_2 , η αποδοτικότητα δεν επιτυγχάνεται ανεξάρτητα από $h^* = 1$ αφού αυτή η μη αποδοτική κατανάλωση για την εισροή i ίσως μειωθεί στο επίπεδο X_i χωρίς να επηρεάσει καμία άλλη εισροή ή εκροή.

Αντικαθιστούμε την (10) με το ακόλουθο πρόβλημα:

$$\max z_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$$

υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1,$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, \dots, n, \text{ και } u_r \geq \varepsilon, v_i \geq \varepsilon \forall r, i, \quad (29)$$

όπου $\varepsilon > 0$ είναι μια μικρή μη Αρχιμήδεια (non- Archimedean) ποσότητα.

Το δυικό πρόβλημα είναι:

$$\min w_0 - \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m s_i + \sum_{r=1}^s s'_r \right]$$

υπό τους περιορισμούς:

$$0 = w_0 x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i, i = 1, \dots, m \quad (30)$$

$$y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s'_r, r = 1, \dots, s, \lambda_j, s_j, s'_r \geq 0, \forall i, j, r.$$

Έχουμε $z_0^* = w_0^* = 1$ αν και μόνο αν οι χαλαρές μεταβλητές s_i και s'_r είναι όλες μηδέν στο βέλτιστο.

Για να επεκτείνουν ότι έχουν επιτύχει μέχρι τώρα στον εντοπισμό της αποδοτικής επιφάνειας παραγωγής, οι Banker et al. (1984) διέγραψαν το τρίτο αξίωμα από τις απαιτήσεις τους. Το αξίωμα Ray Unboundedness τους επέτρεψε να διερευνήσουν την αποδοτικότητα των περισσότερων ΜΛΑ με αποδοτικό μέγεθος κλίμακας και να ταυτοποιήσουν κάθε μη αποδο-

τικότητα κλίμακας που αντικατοπτρίζεται στο επίπεδο λειτουργίας άλλων ΜΛΑ. Διαγράφοντας αυτό το αξίωμα έστρεψαν την προσοχή τους στην μη αποδοτικότητα της παραγωγής σε ένα δοθέν επίπεδο παραγωγής για κάθε ΜΛΑ, και έτσι ανέπτυξαν μια διαδικασία μέτρησης της αποδοτικότητας η οποία αποδίδει αποδοτικότητα ίση με 1 σε μια ΜΛΑ αν και μόνο αν η ΜΛΑ βρίσκεται στη επιφάνεια αποδοτικής παραγωγής, ακόμα και όταν αυτή δεν λειτουργεί στο πιο αποδοτικό μέγεθος κλίμακας. Ο προσδιορισμός αυτός της επιφάνειας αποδοτικής παραγωγή επιτρέπει τον καθορισμό του πότε έχουμε αύξουσες, σταθερές ή φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας στα τμήματα της επιφάνειας παραγωγής.

Υπέθεσαν ότι το σύνολο δυνατοτήτων T ικανοποιεί τα αξιώματα 1,2 και 4 και όπως πριν στον χαρακτηρισμό του T ως το μικρότερο σύνολο που ικανοποιεί την κυρτότητα και το αξίωμα της μη αποδοτικότητας, υπό την συνθήκη ότι κάθε ένα από τα παρατηρημένα διάνυσματα $(X_j, Y_j) \in T$. Στη συνέχεια, συμπέραναν ότι το διάνυσμα (X, Y) ανήκει στο T αν και μόνο αν

$$X \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j, Y \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j, \quad (31)$$

για μερικά $\lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n$, που ικανοποιούν την συνθήκη ότι $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$.

Όρισαν την συνάρτηση απόστασης του Shephard για τις εισροές $L(Y)$ όταν η δυνατότητα παραγωγής T προσδιορίζεται όπως παραπάνω. Έτσι έχουμε:

$$g(X, Y) = \frac{1}{h(X, Y)}, \quad \text{όπου } h(X, Y) = \min\{h | hX \in L(Y), h \geq 0\} \quad (32)$$

το οποίο μεταφράζεται ως:

$$\min h = h(X_0, Y_0)$$

υπό τους περιορισμούς:

$$hX_0 - \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \geq 0, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_0, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n, \quad (33)$$

Βασιζόμενοι στο ότι $h \geq 0$ μπορεί να ικανοποιηθεί όταν οι συνιστώσες κάθε X_j και Y_j είναι όλες μη αρνητικές.

Αυτό είναι ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, το δυικό πρόβλημα του οποίου μπορεί να γραφεί ως:

$$\max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0$$

υπό τους περιορισμούς:

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_0 &\leq 0, j = 1, \dots, n, \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1, u_r, v_i \geq 0, \end{aligned} \quad (34)$$

Αυτό το πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού είναι ισοδύναμο με το κλασματικό πρόβλημα προγραμματισμού, το οποίο εκφράζεται ως:

$$\max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

υπό τους περιορισμούς:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \forall j, u_r, v_i \geq 0, \quad (35)$$

Ομοίως, η συνάρτηση απόστασης του Shephard για τις εκροές $P(X)$ μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\max h'(X, Y) = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_0}$$

υπό τους περιορισμούς:

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_0} \leq 1, j = 1, \dots, n, u_r, v_i \geq 0. \quad (36)$$

Γενικά, οι δύο αυτές συναρτήσεις απόστασης δεν είναι ταυτόσημες. Επιπλέον, παρατήρησαν ότι $L_s(Y) = \{X | h(X, Y) = 1\}$, όπου $h(X, Y)$ είναι η αντίστροφη συνάρτηση απόστασης της εισροής του Shephard. Αυτή η καμπύλη ισοπροϊόντος δεν συμπίπτει με το αποδοτικό υποσύνολο $L_E(Y) = \{X \in L(Y) | \bar{X} \leq X, \bar{X} \in L(Y) \Rightarrow \bar{X} = X\}$,

Ακολουθώντας την ανάλυση της προηγούμενης ενότητας, εισήγαγαν την απειροελάχιστη μη Αρχιμήδεια ποσότητα $\varepsilon > 0$ για να αντικαταστήσει την (34) με

$$\max \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0$$

υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1, \quad (34A)$$

$$-\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_0 \leq 0, \quad j = 1, \dots, n, \quad u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i,$$

Με την ίδια λογική, το δυικό πρόβλημα στην (33) μπορεί να γραφτεί ως:

$$\min h - \varepsilon \left[\sum_{i=1}^m s_i^+ + \sum_{r=1}^s s_r^- \right]$$

υπό τους περιορισμούς:

$$hx_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^+ = 0, \quad i = 1, \dots, m,$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^- = y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s, \quad (33A)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad \lambda_j, s_i^+, s_r^- \geq 0.$$

Οι Banker et al. (1984) συνέχισαν από τα παρατηρημένα δεδομένα που τελειοποίησαν οι Charnes et al. (1978). Ανάμεικτες και κλιματωκές μεταβολές είναι πιθανόν να εμφανιστούν μαζί στα παρατηρημένα δεδομένα. Εξέτασαν τις αποδόσεις κλίμακας σε ένα συγκεκριμένο σημείο, έστω (X_E, Y_E) , στην αποδοτική επιφάνεια παραγωγής, και αναφέρεται στο σημείο τομής u_0 στο πρόβλημα κλασματικού προγραμματισμού της εξίσωσης:

$$\max \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}$$

υπό τους περιορισμούς

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad \forall j, \quad u_r, v_i \geq 0 \quad (38)$$

Ξεκίνησαν ισχυριζόμενοι ότι το υπερεπίπεδο δίνεται από:

$$\sum_{r=1}^s u_r^* y_r - \sum_{i=1}^m v_i^* x_i - u_0^* = 0 \quad (37)$$

όπου y_r, x_i είναι μεταβλητές, και ένα υπερεπίπεδο για την παραγωγική δυνατότητα του T. Οι u_r^*, v_i^* και u_0^* είναι τιμές των u, v_i και u_0 οι οποίες μεγιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση στο πρόβλημα κλασματικού προγραμματισμού της (35).

Μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την ιδιότητα του υπερεπιπέδου ως εξής. Από τους περιορισμούς του προβλήματος (22) βρήκαν ότι:

$$\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij} - u_0^* \leq 0 \text{ για } j = 1, \dots, n \quad (38)$$

Επομένως, για κάθε $\lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n$ με $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ έχουμε

$$\sum_{r=1}^s u_r^* \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - \sum_{i=1}^m v_i^* \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - u_0^* \leq 0. \quad (39)$$

Ακόμη, από την λύση της (31), εξέφρασαν κάθε σημείο $(X, Y) \in T$ ως

$$\left(\sum_{j=1}^n \lambda_j X_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \right), \text{ όπου } \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, \text{ για όλα τα } j.$$

Επιπλέον, έχουμε:

$$(X, Y) \in T \Rightarrow \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij} - u_0^* \leq 0. \quad (40)$$

Επίσης, επειδή (X_E, Y_E) είναι αποδοτικό έχουμε

$$\frac{U^{*T} Y_E - u_0^*}{V^{*T} X_E} = 1 \text{ ή } U^{*T} Y_E - V^{*T} X_E - u_0^* = 0. \quad (41)$$

Έτσι (40) και (41) μαζί υποδηλώνουν ότι $U^{*T} Y - V^{*T} X - u_0^* = 0$ είναι ένα υπερεπίπεδο για το T στο σημείο (X_E, Y_E) .

Προφανώς αυτό το υπερεπίπεδο είναι μοναδικό αν και μόνο αν η βέλτιστη λύση U^*, V^*, u_0^* στο ισοδύναμο γραμμικό πρόβλημα είναι μοναδική. Από την (40) έχουμε $U^{*T} Y - V^{*T} X - u_0^* = 0$ για όλα τα $(X, Y) \in T$. Ως εκ τούτου στο μοναδικό υπερεπίπεδο, ένα σημείο (X_D, Y_D) είναι το γειτονικό του (X_E, Y_E) και βρίσκεται στην δυνατότητα παραγωγής αν και μόνο αν $U^{*T} Y_D - V^{*T} X_D - u_0^* \leq 0$.

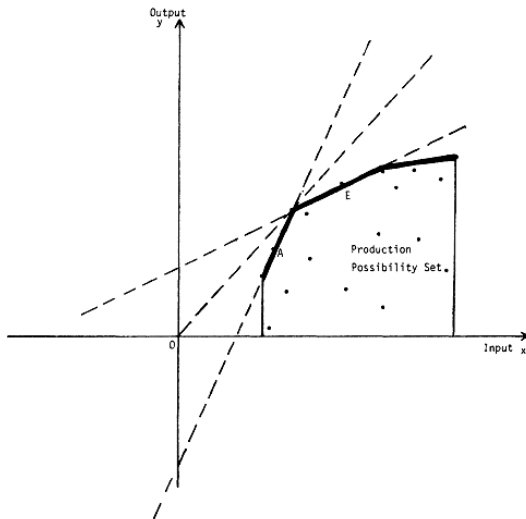
Για να εξακριβωθεί αν έχουμε αύξουσες, σταθερές και φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας στο (X_E, Y_E) παίρνουμε το $Z_\delta \equiv [(1 + \delta)X_E, (1 + \delta)Y_E]$ που είναι ένα σημείο κοντά στο (X_E, Y_E) επιλέγοντας το δ να είναι κατάλληλα μικρό. Άρα σύμφωνα με τους Banker et al. (1984) μπορούμε να πούμε ότι:

(42α) Έχουμε αύξουσες αποδόσεις κλίμακας αν και μόνο αν $\delta^* > 0$ τέτοιο ώστε $Z_\delta \in T$ για $\delta^* > \delta \geq 0$ και $Z_\delta \notin T$ για $-\delta^* < \delta < 0$.

(42β) Έχουμε σταθερές αποδόσεις κλίμακας αν και μόνο αν $\delta^* > 0$ τέτοιο ώστε $Z_\delta \in T$ για όλα τα δ τέτοια ώστε $|\delta| < \delta^*$ ή $Z_\delta \notin T$ για όλα τα δ τέτοια ώστε $0 < |\delta| < \delta^*$.

(42γ) Έχουμε φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας αν και μόνο αν $\delta^* > 0$ τέτοιο ώστε $Z_\delta \notin T$ για $\delta^* > \delta > 0$ και $Z_\delta \in T$ για $-\delta^* < \delta < 0$.

Διάγραμμα 3: Οικονομίες κλίμακας



Πηγή: Banker et al. (1984), σελ. 1087

(43α) Αύξουσες αποδόσεις κλίμακας $\Leftrightarrow u_0^* < 0$,

(43β) Σταθερές αποδόσεις κλίμακας $\Leftrightarrow u_0^* = 0$,

(43γ) Φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας $\Leftrightarrow u_0^* > 0$.

Το αν παρουσιάζονται αύξουσες, σταθερές ή φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας στο σημείο (X_E, Y_E) εξαρτάται από το εάν u_0^* είναι μικρότερο, ίσο ή μεγαλύτερο του 0 στην (34) και στην (35).

Το διάγραμμα 3 δείχνει μια γενική εικόνα της κατάστασης στην οποία η αλλαγή στην κλίμακα μπορεί να διερευνηθεί στην περιοχή του E. Στην περίπτωση του διαγράμματος έχουμε $u_0^* > 0$ για την τομή που συνδέεται με την εφαπτόμενη στο E. Η ίδια περίπτωση υπάρχει και στο διαδοχικό κομμάτι του συνόρου αποδοτικής δυνατότητας παραγωγής. Για το προηγούμενο τμήμα όπου εμφανίζεται το A, έχουμε $u_0^* < 0$ έτσι ώστε να εμφανίζονται αύξουσες αποδόσεις κλίμακας. Και φυσικά, για την περίπτωση με $u_0^* = 0$ έχουμε σταθερές αποδόσεις κλίμακας.

Τώρα

$$U^{*T}(1+\delta)Y_E - V^{*T}(1+\delta)X_E - (1+\delta)u_0 \\ = (1+\delta)(U^{*T}Y_E - V^{*T}X_E - u_0^*) + \delta u_0^* = \delta u_0$$

δεδομένου ότι έχουμε $U^{*T}Y_E - V^{*T}X_E - u_0^* = 0$. Άρα,

$Z_\delta \equiv ((1+\delta)X_E, (1+\delta)Y_E) \in T$ αν και μόνο αν $\delta u_0 \leq 0$. Χρησιμοποιώντας την

(42α), (42β) και (42γ), στην περίπτωση όπου ένα μοναδικό υπερεπίπεδο περνάει δι-

αμέσου ενός αποδοτικού σημείου (X_E, Y_E) , έχουμε:

Οι Seiford και Zhu (2002) ανέπτυξαν μία εναλλακτική προσέγγιση της ΠΑΔ με την οποία διαπραγματεύονται μαζί επιθυμητούς και μη επιθυμητούς συντελεστές διαφορετικά από το κλασικό μοντέλο των Banker et al. (1984). Το κλειδί στην προσέγγιση τους είναι η χρήση classification invariance της ΠΑΔ.

Ένα data domain της ΠΑΔ μπορεί να γραφτεί σε μορφή πίνακα ως εξής:

$$P = \begin{bmatrix} Y \\ -X \end{bmatrix} = [P_1, \dots, P_n]$$

με $s+m$ γραμμές και n στήλες. Κάθε στήλη αντιστοιχεί σε μία ΜΛΑ. Η j -οστή στήλη

$$P_j = \begin{bmatrix} Y_j \\ -X_j \end{bmatrix}$$

αποτελείται από ένα διάνυσμα εισροής x_j όπου το j -οστό στοιχείο x_{ij} είναι η ποσότητα της εισροής i που χρησιμοποιείται από την ΜΛΑ $_j$ και ένα διάνυσμα εκροής y_j όπου το r -οστό στοιχείο y_{rj} είναι η ποσότητα της εκροής r που χρησιμοποιείται από την ΜΛΑ $_j$.

Η αποδοτικότητα με το BCC μοντέλο υπολογίζεται με το ακόλουθο πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού:

$$\max \eta$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^n z_j x_j + s^- = x_0,$$

$$\sum_{j=1}^n z_j y_j - s^+ = \eta y_0, \quad (42)$$

$$\sum_{j=1}^n z_j = 1,$$

$$z_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

όπου x_0 και y_0 αντιπροσωπεύουν τα διανύσματα της εισροής και της εκροής της ΜΛΑ $_0$ που είναι υπό αξιολόγηση. Αυτό είναι ένα πρόγραμμα οριοθετημένο στην εκροή. Αντίστοιχα, ένα BCC μοντέλο οριοθετημένο στην εισροή μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\min \theta$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^n z_j x_j + s^- = \theta x_0,$$

$$\sum_{j=1}^n z_j y_j - s^+ = y_0, \quad (43)$$

$$\sum_{j=1}^n z_j = 1,$$

$$z_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

Στη συνέχεια υποθέτουμε το διάνυσμα εισροής ότι αντικαταστίεται με το διάνυσμα u που είναι m γραμμών και το διάνυσμα εκροής αντικαταστίεται με το διάνυσμα v που είναι s γραμμών. Έτσι, $\bar{x}_j = x_j + u$ και $\bar{y}_j = y_j + v (j = 1, \dots, n)$.

Σύμφωνα με τους Ali και Seiford (1990) μια ΜΛΑ σύμφωνα με την (42) και την (43) είναι αποδοτική αν και μόνο αν είναι αποδοτική σύμφωνα με την (42) και την (43) με τα μετασχηματισμένα δεδομένα, μια ΜΛΑ είναι μη αποδοτική σύμφωνα με την (42) και την (43) αν και μόνο αν είναι μη αποδοτική σύμφωνα με την (42) και την (43) με τα μετασχηματισμένα δεδομένα.

Γενικά, υπάρχουν τρεις περιπτώσεις αμεταβλητότητας (invariance) κάτω από μετασχηματισμό δεδομένων στην ΠΑΔ. Η πρώτη περίπτωση είναι περιορισμένη στην classification invariance όπου οι ταξινομήσεις των αποδοτικοτήτων και μη αποδοτικοτήτων είναι αμετάβλητες στον μετασχηματισμό των δεδομένων. Η δεύτερη περίπτωση είναι η ordering invariance των μη αποδοτικών ΜΛΑ. Η τελευταία περίπτωση είναι η solution invariance στην οποία το νέο μοντέλο της ΠΑΔ (μετά τον μετασχηματισμό) πρέπει να είναι ισοδύναμο με το παλιό, δηλαδή τα δύο προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού πρέπει να έχουν ακριβώς την ίδια λύση. Οι Seiford και Zhu ασχολήθηκαν με το πρώτο επίπεδο (classification invariance).

Υποθέτουμε ότι το data domain της ΠΑΔ εκφράζεται:

$$\begin{bmatrix} Y \\ -X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^s \\ Y^b \\ -X \end{bmatrix} \quad (44)$$

όπου Y^s και Y^b αντιπροσωπεύουν τις επιθυμητές και μη επιθυμητές εκροές, αντίστοιχα.

Προφανώς, επιθυμούμε να αυξήσουμε το Y^s και να μειώσουμε το Y^b ώστε να βελτιώσουμε την αποδοτικότητα. Στο BCC μοντέλο (42), όμως, Y^s και Y^b πρέπει να αυξηθούν για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα. Οι Färe et al. (1989a) μετέτρεψαν την (42) σε ένα μη γραμμικό πρόβλημα έτσι ώστε να αυξάνεται η επιθυμητή εκροή και να μειώνεται η μη επιθυμητή εκροή.

$\max \Gamma$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n z_j x_j + s^- &= x_0, \\ \sum_{j=1}^n z_j y_j^g - s^+ &= \Gamma y_0^g, \\ \sum_{j=1}^n z_j y_j^b - s^+ &= \frac{1}{\Gamma} y_0^b, \\ \sum_{j=1}^n z_j &= 1, \\ z_j &\geq 0, j = 1, \dots, n \end{aligned} \tag{45}$$

Βασιζόμενοι στην classification invariance, οι Seiford και Zhu (2002) έδειξαν ότι ένα εναλλακτικό μοντέλο της (45) μπορεί να αναπτυχθεί ώστε να αντιπροσωπεύει την γραμμικότητα και την κυρτότητα της ΠΑΔ.

Στην αρχή, πολλαπλασίασαν με «-1» κάθε μη επιθυμητή εκροή και στην συνέχεια βρήκαν ένα κατάλληλο διάνυσμα w τέτοιο ώστε όλες οι αρνητικές μη επιθυμητές εκροές να είναι θετικές. Το data domain της (44) τώρα γίνεται:

$$\begin{bmatrix} Y \\ -X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^g \\ \bar{Y}^b \\ -X \end{bmatrix} \tag{46}$$

όπου η j -οστή στήλη της (μετασχηματισμένης) μη επιθυμητής εκροής τώρα είναι $\bar{y}_j^b = -y_j^b + w > 0$.

Βασιζόμενοι στην (46), το μοντέλο (42) γίνεται το ακόλουθο γραμμικό πρόβλημα:

$\max h$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n z_j y_j^g &\geq h y_0^g, \\ \sum_{j=1}^n z_j \bar{y}_j^b &\geq h \bar{y}_0^b, \\ \sum_{j=1}^n z_j x_j &\leq x_0, \end{aligned} \tag{47}$$

$$\sum_{j=1}^n z_j = 1,$$

$$z_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

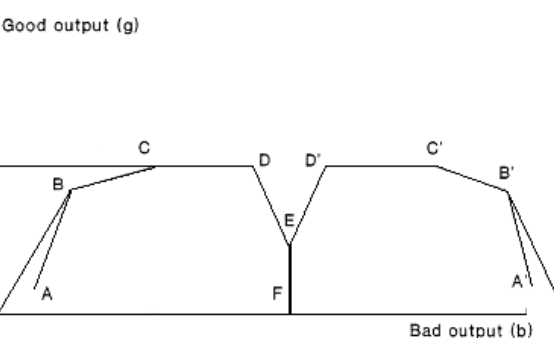
Πρέπει να σημειωθεί ότι η (47) αυξάνει τις επιθυμητές εκροές και μειώνει τις μη επιθυμητές εκροές όπως στο μη γραμμικό μοντέλο της ΠΑΔ (45).

Το ακόλουθο θεώρημα εγγυάται ότι η βελτιστοποίηση της μη επιθυμητής εκροής της $y_0^b (= w - h^* \bar{y}_0^b)$ δεν μπορεί να είναι αρνητική.

Θεώρημα 1: Δοθέντος ενός διανύσματος μετασχηματισμού (translation vector) w , υποθέτουμε ότι h^* είναι η βέλτιστη τιμή της (47), έχουμε $h^* \bar{y}_0^b \leq w$.

Υπάρχουν τουλάχιστον πέντε δυνατότητες για να ασχοληθείς με τις μη επιθυμητές εκροές σε ένα μοντέλο ΠΑΔ-BCC. Η πρώτη δυνατότητα είναι απλά να αγνοήσεις τις μη επιθυμητές εκροές. Η δεύτερη είναι να διαχειριστείς τις μη επιθυμητές εκροές στο μη γραμμικό μοντέλο της ΠΑΔ (45). Η τρίτη να διαχειριστείς τις μη επιθυμητές εκροές ως εκροές και να προσαρμόσεις την μέτρηση της απόστασης έτσι ώστε να περιορίσεις την αύξηση των μη επιθυμητών εκροών. Η τέταρτη είναι να διαχειριστείς τις μη επιθυμητές εκροές ως εισροές. Όμως, αυτό δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική παραγωγική διαδικασία. Η πέμπτη είναι η εφαρμογή ενός μονοτονικού φθίνοντος μετασχηματισμού στην μη επιθυμητή εκροή και στην συνέχεια η χρήση των προσαρμοσμένων μεταβλητών ως εκροές.

Το διάγραμμα 4 δείχνει τις τρεις τελευταίες μεθόδους για να διαχειριστεί κανείς τις μη επιθυμητές εκροές. Οι πέντε ΜΛΑ



Πηγή: Seiford και Zhu (2002) σελ. 19.

Α,Β,С,Д και Ε χρησιμοποιούν μία ίση εισροή για την παραγωγή μίας επιθυμητής εκροής (g) και μίας μη επιθυμητής εκροής (b). Η περιοχή OBCDEF είναι η συμβατική εκροή κάτω από το μοντέλο BCC οριοθετημένο στην εκροή

(42). Αν υποθέσουμε ασθενής ανακατανομή για την μη επιθυμητή

εκροή, τότε η περιοχή που αντιπροσωπεύει την εκροή είναι η OBCDEF στην οποία επιτρέπεται μια εφικτή radial συστολή από μία εφικτή κάθετη επέκταση. Αν διαχειριστούμε την μη επιθυμητή εκροή ως μια εισροή, τότε η ABCD γίνεται το BCC σύνορο. Για την πέμπτη μέθο-

δο, με ένα κατάλληλο διάνυσμα μετασχηματισμού, μπορούμε να περιστρέψουμε την εκροή στο EF και να επιτύχουμε την συμμετρική περιοχή. Σε αυτή την περίπτωση, οι ΜΛΑ A' , B' και C' , οι οποίες είναι, αντίστοιχα, τα προσαρμοσμένα σημεία των A, B και C, είναι αποδοτικές.

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να γίνει και όταν κάποιες εισροές πρέπει να αυξηθούν παρά να μειωθούν ώστε να βελτιωθεί η αποδοτικότητα. Σε αυτή την περίπτωση το data domain της ΠΑΔ γράφεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} Y \\ -X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^s \\ -X^I \\ -X^D \end{bmatrix}, \quad (48)$$

όπου X^I και X^D αντιπροσωπεύουν τις εισροές που πρέπει να αυξηθούν και να μειωθούν, αντίστοιχα.

Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε την $-X^I$ με «-1» και μετά βρίσκουμε ένα κατάλληλο διάνυσμα μετασχηματισμού k τέτοιο ώστε όλες οι αρνητικές $-X^I$ να είναι θετικές. Τότε η (48) γίνεται:

$$\begin{bmatrix} Y \\ -X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^s \\ -\bar{X}^I \\ -X^D \end{bmatrix}, \quad (49)$$

Όπου η j -οστή στήλη της (μετασχηματισμένης) εισροής που πρέπει να αυξηθεί τώρα είναι

$$\bar{x}_j^I = -x_j^I + k > 0.$$

Βασιζόμενοι στην (49) και στο μοντέλο (43), έχουμε:

$\min \tau$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n z_j x_j^D + s^+ &= \tau x_0^D, \\ \sum_{j=1}^n z_j \bar{x}_j^I + s^+ &= \tau \bar{x}_0^I, \\ \sum_{j=1}^n z_j y_j - s^+ &= y_0, \\ \sum_{j=1}^n z_j &= 1, \end{aligned} \quad (50)$$

$$z_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

όπου X^I αυξάνεται και X^D μειώνεται για ΜΛΑ, ώστε να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της.

Η μέθοδος της ΠΑΔ έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογής. Οι Halkos και Salamouris (2004) χρησιμοποίησαν την ΠΑΔ ώστε να μετρήσουν την αποδοτικότητα του ελληνικού τραπεζικού τομέα. Το μοντέλο που χρησιμοποίησαν τους έδωσε την δυνατότητα να συγκρίνουν τις μη αποδοτικές τράπεζες με τις αποδοτικές τράπεζες. Επίσης η ΠΑΔ χρησιμοποιείται και στην περίπτωση της συγχώνευσης των τραπεζών. Χρησιμοποιώντας ως δείγμα 29 ελληνικές εμπορικές τράπεζες οι Halkos και Tzeremes (2010d) αξιολόγησαν εάν μια ενδεχόμενη συγχώνευση αποφέρει αποδόσεις κλίμακας και εάν χαρακτηρίζεται ως ευνοϊκή.

Πέρα όμως από τον τραπεζικό τομέα η ΠΑΔ βρίσκει εφαρμογή και στον τομέα του εμπορίου. Οι Halkos και Tzeremes (2005c), με την χρήση της ΠΑΔ, σύγκριναν την αποδοτικότητα 16 χωρών στο εμπόριο για την περίοδο από το 1996 έως το 2000 ενώ σε μια άλλη έρευνα προσπάθησαν να καθορίσουν του παράγοντες που επηρεάζουν την σχέση της ανάπτυξης και της αύξησης του εισοδήματος, η οποία πηγάζει από την αύξηση του εμπορίου, μετρώντας την αποδοτικότητα όσον αφορά το εμπόριο (trade efficiency). Μαζί με την αποδοτικότητα υπολόγισαν και τα βέλτιστα επίπεδα εκροής για τις μη αποδοτικές χώρες για μια χρονική περίοδο 5 χρόνων (Halkos και Tzeremes, 2008d).

Ένας άλλος τομέας εφαρμογής της ΠΑΔ είναι και ο τομέας της υγείας. Οι Halkos και Tzeremes (2008b) αξιολόγησαν την αποδοτικότητα των υπηρεσιών υγείας των νομών της Ελλάδος ενώ οι Halkos και Tzeremes (2010a) μέτρησαν την αποδοτικότητα της δημόσιας ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης της Ελλάδος σε περιφερειακή βάση.

Η βιοποικιλότητα είναι άλλο ένα αντικείμενο μελέτης που μπορεί να εξετασθεί με την χρήση της ΠΑΔ. Οι Halkos και Tzeremes (2010c) μοντελοποίησαν και αξιολόγησαν την αποδοτικότητα όσον αφορά την βιοποικιλότητα 71 αναπτυσσόμενων και αναπτυσσόμενων χωρών.

Οι Halkos και Tzeremes (2008a) εξέτασαν το δίλημμα κατά πόσο η οργανωτική κουλτούρα (organizational culture) των πολυεθνικών εταιρειών διαφέρει από την εθνική κουλτούρα των ντόπιων εταιριών ενώ στο Halkos και Tzeremes (2008c) μέτρησαν την στρατηγική αποδοτικότητα (strategic performance) με έμφαση στην επίπτωση της εθνικής κουλτούρας στην αποδοτικότητα των πολυεθνικών εταιριών.

Επίσης η διαφάνεια μιας χώρας έχει εξετασθεί με την χρήση της ΠΑΔ. Οι Halkos και Tzeremes (2007a) μέτρησαν την επίδραση διαφόρων κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στην αποδοτικότητα των χωρών όσον αφορά την διαφάνεια (transparency efficiency). Πιο

συγκεκριμένα, υπολόγισαν την αποδοτικότητα όσον αφορά την διαφάνεια (transparency efficiency) για 29 χώρες.

Και η αποδοτικότητα των πανεπιστημίων μπορεί να προσδιοριστεί με την χρήση της ΠΑΔ κάτι που έκαναν για 16 τμήματα δημόσιων πανεπιστημίων οι Halkos και Tzeremes (2010b).

Οι Halkos και Tzeremes (2010f) χρησιμοποίησαν την ΠΑΔ για να προσδιορίσουν τα διαφορετικά επίπεδα αποδοτικότητας σε ένα δείγμα από 353 ξένες επιχειρήσεις που λειτουργούν στον ελληνικό κατασκευαστικό τομέα ενώ οι Halkos και Tzeremes (2010e) αξιολόγησαν την αποδοτικότητα 23 ελληνικών κατασκευαστικών τομέων με την χρήση οικονομικών δεδομένων. Επιπλέον οι Halkos και Tzeremes (2005b) χρησιμοποιώντας τον δείκτη Malmquist, ο οποίος βασίζεται στην μέθοδο ΠΑΔ, ανέλυσαν την επίπτωση της εσωτερικής στην παραγωγική αποδοτικότητα και το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για ένα δείγμα 395 επιχειρήσεων με ξένη ιδιοκτησία που λειτουργούν στον ελληνικό κατασκευαστικό κλάδο ενώ οι Halkos και Tzeremes (2007c) εκτίμησαν την επίπτωση που έχουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των επιχειρήσεων ξένης ιδιοκτησίας στην παραγωγικότητα.

Τον ίδιο χρόνο οι Halkos και Tzeremes (2007b), λαμβάνοντας υπόψη την σημαντικότητα του παγκόσμιου ανταγωνισμού στην ενημέρωση και της βιομηχανίας της τεχνολογίας επικοινωνίας (Industry Communication Technology, ICT) και την συνεισφορά τους στις εθνικές οικονομίες, εξέτασαν την ανταγωνιστική δομή της παγκόσμιας αγοράς της βιομηχανίας της τεχνολογίας επικοινωνίας.

Με την χρήση της ΠΑΔ είναι δυνατόν να αξιολογηθούν και πολιτικές. Οι Halkos και Tzeremes (2009a) ασχολήθηκαν με τις επιδράσεις της μεγέθυνσης της Ευρωπαϊκής Οικονομικής και Νομισματικής Ένωσης αξιολογώντας την οικονομική αποδοτικότητα των πολιτικών ανάπτυξης των 25 χωρών μελών.

Τέλος οι Halkos και Tzeremes (2005a), βασιζόμενοι στην επίδραση των φορολογικών πολιτικών και με την χρήση της ΠΑΔ, σύγκριναν την αποδοτικότητα των νομαρχιών της Ελλάδος κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες. Επίσης έλεγξαν αν οι τοπικές αρχές χρησιμοποιούσαν αποδοτικά τους πόρους ώστε να τονώσουν την τοπική ανάπτυξη και να προσφέρουν υπηρεσίες υψηλότερης ποιότητας στους πολίτες.

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν τρεις τύποι ΜΛΑ που ελέγχονται για περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Οι μελέτες στοχεύουν σε επίπεδο χωρών, όπως είναι οι μελέτες των Taskin και Zaim (2001), Zofio και Prieto (2001), Färe et al. (2004), Ramanathan (2005), Kumar (2006), σε επίπεδο επιχειρήσεων, όπως των Tyteca(1997), Färe et al. (1989b, 2010), Reinhard

et al. (2000), Korhonen και Luptacik (2004), Picazo-Tadeo et al. (2005) και Färe et al. (2006) και σε επίπεδο συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης (Munksgaarda et al., 2007).

Κεφάλαιο 3

3.1 Μεταβλητές

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα υπόδειγμα που να χρησιμοποιεί πολλές εισροές και πολλές εκροές, επιθυμητές και μη επιθυμητές, όπως είδαμε και στο σύνολο των ερευνών που εξετάστηκαν προηγουμένως. Παρακάτω γίνεται μια εκτενής ανάλυση τόσο των εισροών όσο και των εκροών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

3.1.1 Εισροές

Η εισροές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι η εργασία (labor) και το κεφάλαιο (capital stock).

3.1.1.1 Εργασία (labor)

Η μεταβλητή «εργασία» αφορά το συνολικό αριθμό των εργαζομένων μιας χώρας. Η μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε είναι μετρημένη σε χιλιάδες ανθρώπους. Από τις παραπάνω έρευνες που μελετήθηκαν οι Zaim και Taskin (2000a,b), οι Zofio και Prieto (2001), οι Taskin και Zaim (2001), ο Zaim (2004), οι Färe et al. (2004), οι Färe et al. (2007), ο Kumar (2006), οι Zhou et al. (2007) και οι Halkos και Tzeremes (2009) χρησιμοποίησαν την μεταβλητή «εργασία» στο υπόδειγμά τους.

Στη συνέχεια βρίσκεται ο πίνακας 1 που έχει κάποια περιγραφικά στοιχεία. Όπως παρατηρούμε την πρώτη θέση στην μεταβλητή «εργασία» καταλαμβάνει η Κίνα για όλα τα έτη, ενώ τον μικρότερο αριθμό εργαζομένων τον είχε η Ισλανδία σε όλα τα εξεταζόμενα έτη. Η τυπική απόκλιση και για τα τέσσερα έτη είναι πολύ μεγάλη, άρα βλέπουμε ότι η μέση απόκλιση των παρατηρήσεων από το μέσο όρο του δείγματος είναι πολύ μεγάλη (Χάλκος, 2006).

Πίνακας 1: Περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή «εργασία»

Εργασία	1990	1995	2000	2005
Μέγιστο	685636,00 (Κίνα)	728582,00 (Κίνα)	767114,00 (Κίνα)	792611,00 (Κίνα)
Ελάχιστο	142,00 (Ισλανδία)	150,00 (Ισλανδία)	159,00 (Ισλανδία)	166,00 (Ισλανδία)
Μέσος	37342,64	40376,17	43806,11	45208,83
Τυπική απόκλιση	104793,53	112555,15	119832,39	125543,70

3.1.1.2 Κεφάλαιο (*capital stock*)

Το κεφάλαιο (*Capital stock*) το χρησιμοποίησαν ως εισροή οι Zaim και Taskin (2000a,b), οι Färe et al. (2004), οι Färe et al. (2007), ο Zaim (2004), οι Halkos και Tzeremes (2009b), οι Taskin και Zaim (2001) και ο Kumar (2006). Η μεταβλητή «κεφάλαιο» (*capital stock*) υπολογίστηκε για κάθε χώρα του δείγματος καθώς δεν υπήρχε έτοιμη βάση δεδομένων. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της διαρκούς απογραφής (*inventory perpetual method, PIM*), όπως την χρησιμοποίησαν οι Feldstein και Foot (1971), ο Verstraete (1976), οι Epstein και Denny (1980), οι Bischoff και Kokkelenberg (1987), ο Prucha (1995, 1997), οι Nadiri και Prucha (1996) και ο Terregrossa (1997). Σύμφωνα με την PIM ο τύπος υπολογισμού του μετοχικού κεφαλαίου (*capital stock*) είναι:

$$K_t = K_{t-1} - \delta K_{t-1} + GFK_t = (1 - \delta)K_{t-1} + GFK_t. \quad (51)$$

Στον παραπάνω τύπο ισχύουν οι παρακάτω συμβολισμοί:

K_t : κεφάλαιο (*capital stock*) χρονικής περιόδου t .

K_{t-1} : κεφάλαιο (*capital stock*) χρονικής περιόδου $t-1$.

GFK_t : επίπεδο σχηματισμού του ακαθάριστου πάγιου κεφαλαίου (*gross fixed capital formation*) της περιόδου t .

δ : ρυθμός αναπροσαρμογής (*depreciation rate*)

Ο υπολογισμός όμως του μετοχικού κεφαλαίου (*capital stock*) για την πρώτη περίοδο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$K_0 = \frac{GFK_0}{\delta + g_{GFK}} \quad (52)$$

Όπου:

K_0 : κεφάλαιο (*capital stock*) την χρονική περίοδο 0.

GFK_0 : επίπεδο σχηματισμού του ακαθάριστου πάγιου κεφαλαίου (*gross fixed capital formation*) της περιόδου 0.

δ : ρυθμός αναπροσαρμογής (*depreciation rate*)

g_{GFK} : ρυθμός αύξησης του σχηματισμού του ακαθάριστου πάγιου κεφαλαίου (*rate of growth in gross fixed capital formation*).

Το g_{GFK} , στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, ισούται με τον μέσο όρο του ετήσιου ρυθμού αύξησης του επιπέδου σχηματισμού του ακαθάριστου πάγιου κεφαλαίου (*gross fixed capital formation*). Ο μέσος όρος υπολογίζεται για τη χρονική περίοδο από το 1990 έως το 2009.

Όσον αφορά τον ρυθμό αναπροσαρμογής έγινε η υπόθεση ότι είναι ίσος με 4%, όπως είχαν υποθέσει και οι Nehru και Dhareshwar (1993).

Πίνακας 2: Περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή «κεφάλαιο» (capital stock)

Κεφάλαιο	1990	1995	2000	2005
Μέγιστο	9763341004077,93 (Ιαπωνία)	13641065039219,90 (Ιαπωνία)	16682525228272,60 (Ιαπωνία)	19127959814327,40 (Ηνωμένες Πολιτείες)
Ελάχιστο	4627406,70 (Αλβανία)	1499492455,27 (Αλβανία)	4237512425,46 (Αλβανία)	6524149824,66 (Αλβανία)
Μέσος	204443386690,24	585674994160,60	993666455450,59	1398495912929,18
Τυπική απόκλιση	1339082054818,27	1998609782360,26	2817673638585,49	3659933028303,79

Στον παραπάνω πίνακα 2 παρατηρούμε ότι η Ιαπωνία παίρνει την πρώτη θέση στην μεταβλητή «κεφάλαιο» (capital stock) για τα έτη 1990, 1995 και 2000 ενώ το 2005 πρώτες έρχονται οι Ηνωμένες Πολιτείες. Στην τελευταία, όμως, θέση έρχεται για όλα τα χρόνια η Αλβανία. Και σε αυτή την μεταβλητή βλέπουμε ότι η τυπική απόκλιση είναι πάρα πολύ μεγάλη, άρα οι τιμές της μεταβλητής απέχουν σημαντικά από τον μέσο όρο.

3.1.2 Εκροές

Τα κλασικά μοντέλα ΠΑΔ έχουν δύο κατηγορίες μεταβλητών, τις εισροές και τις εκροές. Στις περιπτώσεις όμως που εξετάζουμε περιβαλλοντική αποδοτικότητα θεωρούμε και μια τρίτη κατηγορία μεταβλητών αυτή των μη επιθυμητών εκροών, οι οποίες παράγονται από την παραγωγική διαδικασία.

3.1.2.1 Επιθυμητές εκροές

3.1.2.1.1 Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ)

Η πλειοψηφία των ερευνών, οι οποίες μελετούν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών, ως επιθυμητή εκροή χρησιμοποιούν το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ). Το ΑΕΠ της κάθε χώρας δείχνει το συνολικό εισόδημα της χώρας και τη συνολική δαπάνη για την παραγόμενη ποσότητα αγαθών και υπηρεσιών.

Σύμφωνα με τους Ayres και Warr (2005) υπάρχει σχέση μεταξύ του ΑΕΠ (GDP), του μετοχικού κεφαλαίου (capital stock) και της εργασίας (labor). Πιο συγκεκριμένα για να βρούμε την οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας πρέπει να γνωρίζουμε το κεφάλαιο (capital stock) της χώρας καθώς και την συνολική εργασία (labor), και όχι μόνο ένα από τα δύο.

Οι Zaim και Taskin (2000a,b), οι Taskin και Zaim (2001), οι Färe et al. (2004), ο Kumar (2006), οι Zhou et al. (2006, 2007, 2008) και ο Kortelainen (2008) χρησιμοποίησαν το

Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP) των χωρών ως επιθυμητή εκροή στις έρευνές τους. Το ΑΕΠ των χωρών είναι μετρημένο σε εκατομμύρια δολάρια Αμερικής του έτους 2000.

Παρακάτω στον πίνακα 3 παρατίθενται κάποια περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή ΑΕΠ.

Πίνακας 3: Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για το ΑΕΠ

ΑΕΠ	1990	1995	2000	2005
Μέγιστο	7055000,00	7972800,00	9764800,00	10995800,00
	(Ηνωμένες Πολιτείες)	(Ηνωμένες Πολιτείες)	(Ηνωμένες Πολιτείες)	(Ηνωμένες Πολιτείες)
Ελάχιστο	3077,00	2826,00	3687,00	4794,00
	(Ουγκάντα)	(Αλβανία)	(Αλβανία)	(Αλβανία)
Μέσος	416501,13	470997,47	554029,25	629656,32
Τυπική απόκλιση	1118642,50	1248557,47	1480301,42	1653632,08

Όπως παρατηρούμε το μέγιστο ΑΕΠ μεταξύ των χωρών του δείγματος για όλα τα χρόνια που εξετάζονται το έχουν οι Ηνωμένες πολιτείες. Αν εξετάσουμε την αντίθετη περίπτωση, δηλαδή ποια χώρα μεταξύ του δείγματος κατέχει το μικρότερο ΑΕΠ, θα δούμε ότι η Αλβανία βρίσκεται σε αυτή την θέση για τρεις χρονιές ενώ μόνο το 1990 στην θέση αυτή βρίσκεται η Ουγκάντα. Επίσης παρατηρούμε ότι η τυπική απόκλιση για όλα τα υπό εξέταση έτη είναι αρκετά μεγάλη, κάτι που δείχνει ότι οι τιμές του ΑΕΠ των χωρών του δείγματος αποκλίνουν κατά μέσο όρο πολύ από τον μέσο όρο του δείγματος.

3.1.2.2 Μη επιθυμητές εκροές

Από τις έρευνες που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι μη επιθυμητές εκροές που χρησιμοποιήθηκαν κατά βάση ήταν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (carbon dioxide emissions, CO₂). Στην συγκεκριμένη εργασία θα χρησιμοποιηθούν επιπλέον της παραπάνω μη επιθυμητής εκροής το υποξείδιο του αζώτου (nitrous oxide, N₂O), οι εκπομπές μεθανίου (methane emissions, CH₄) και οι εκπομπές High Global Warming Potential (High GWP), που αποτελούν non-CO₂ Greenhouse gases.

3.1.2.2.1 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂

Η συγκέντρωση του CO₂ είναι αυξανόμενη τα τελευταία 200 χρόνια. Η εποχικότητα είναι ένα χαρακτηριστικό των εκπομπών του CO₂ καθώς έχουμε μεγαλύτερες εκπομπές το χειμώνα και την αρχή της άνοιξης και φθάνουμε στις μικρότερες εκπομπές του καλοκαιριού (Apadula et al., 2003).

Το CO₂ παράγεται από ανθρωπογενής αλλά και από φυσικές πηγές. Κάποιες ανθρωπογενής πηγές CO₂ είναι τα μέσα μεταφοράς, καθώς παράγεται CO₂ κατά την καύση υγρών καυσίμων (Kuc et al., 2003), όπως στα αεροπλάνα και στα αυτοκίνητα. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η αναπνοή του ανθρώπου είναι επίσης ανθρωπογενής πηγές CO₂. Στις φυσικές πηγές εκπομπών CO₂ ανήκουν η αναπνοή των φυτών και η αποσύνθεση των οργανικών υλών (Kuc et al., 2003). Τέλος μια φυσική πηγή εκπομπής CO₂ είναι το έδαφος. Το έδαφος στην έρημο και τα εδάφη τα οποία δημιουργούνται από ανθρώπους, όπως γήπεδα γκολφ, χώροι υγειονομικής ταφής, γεωργικές εκτάσεις παραγωγής βάμβακος και εσπεριδοειδών, απελευθερώνουν CO₂ στην ατμόσφαιρα (Koerner and Kloratek, 2002).

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) έχει επιπτώσεις στον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των φυτών. (Baker και Allen, 1994) Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) από μόνο του είναι υπεύθυνο για το 60% της αύξησης της ακτινοβολιακής έντασης (radiative forcing) εξαιτίας των εκπομπών των αέριων του θερμοκηπίου ενώ αποτελεί την κύρια αιτία αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας (Färe et al., 2004).

Τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) τις χρησιμοποίησαν ως μη επιθυμητή εκροή οι Zaim και Taskin (2000a,b), οι Taskin και Zaim (2000, 2001), οι Zofio και Prieto (2001), οι Färe et al. (2004), ο Kumar (2006), οι Zhou et al. (2006, 2007, 2008) και ο Kortelainen (2008).

Παρακάτω (πίνακας 4) παρατίθενται κάποια περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή CO₂. Παρατηρούμε ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες καταλαμβάνουν την πρώτη θέση στις εκπομπές CO₂, για όλα τα έτη, ενώ τις λιγότερες εκπομπές τις είχαν η Ουγκάντα το 1990 και το 2000, η Πολωνία το 1995 και η Ισλανδία το 2005. Και σε αυτή την περίπτωση έχουμε μεγάλη μεταβλητότητα, κάτι που απορρέει από τα αποτελέσματα της τυπικής απόκλισης, καθώς είναι μεγάλα.

Πίνακας 4: Περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή «εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα» (CO₂)

Εκπομπές CO ₂	1990	1995	2000	2005
Μέγιστο	4909410,00 (Ηνωμένες Πολιτείες)	5182050,00 (Ηνωμένες Πολιτείες)	5769203,00 (Ηνωμένες Πολιτείες)	5891884,00 (Ηνωμένες Πολιτείες)
Ελάχιστο	817,00 (Ουγκάντα)	340,00 (Πολωνία)	1524,00 (Ουγκάντα)	2258,00 (Ισλανδία)
Μέσος	294434,13	325841,87	362121,49	424580,70
Τυπική απόκλιση	745584,87	833530,30	907616,04	1096834,94

3.1.2.2.2 Εκπομπές μεθανίου (CH_4)

Σύμφωνα με τους Wuebbles και Hayhoe (2002) το μεθάνιο (CH_4) έχει την δεύτερη μεγαλύτερη δύναμη ακτινοβολίας (radiative forcing), μετά το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), ανάμεσα στα μακρόβια αέρια του θερμοκηπίου ενώ καταλαμβάνει την δεύτερη θέση σε αφθονία ανάμεσα στα αέρια του θερμοκηπίου, μετά τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), στην τροπόσφαιρα. Υπολογίζεται ότι αποτελεί το 14,3% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα τελευταία 20 χρόνια, η ποσότητα του μεθανίου στην ατμόσφαιρα δεν δείχνει σημαντική αύξηση ενώ ο ρυθμός αύξησης των εκπομπών έχει μειωθεί (Cheng et al., 2010), ενώ η συγκέντρωση του έχει σχεδόν διπλασιαστεί από την προ-βιομηχανοποιημένη περίοδο μέχρι σήμερα (Wuebbles και Hayhoe, 2002).

Το μεθάνιο (CH_4) διαφέρει από το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) στο ότι η απελευθέρωση του στην ατμόσφαιρα γίνεται από μία μεγάλη ποικιλία πηγών, φυσικών και ανθρωπογενών. Ανθρωπογενής πηγές είναι η γεωργία ρυζιού, η καύση βιομάζας, η κτηνοτροφία και η καύση ορυκτών καυσίμων. Οι φυσικές πηγές μεθανίου είναι οι υγρότοποι, οι ωκεανοί, τα δάση, οι φωτιές, οι τερμίτες και οι γεωλογικές πηγές. Οι πηγές εκπομπών του μεθανίου μπορούν επίσης να χωριστούν σε βιογενής, οι οποίες αποτελούν και το 70% των παγκόσμιων εκπομπών, και μη βιογενής πηγές. Οι βιογενής πηγές είναι η γεωργία ρυζιού, οι υγρότοποι, η κτηνοτροφία, οι Χ.Υ.Τ.Α., τα δάση, οι ωκεανοί και οι τερμίτες ενώ οι μη βιογενής είναι η εξόρυξη ορυκτών καυσίμων και καύση αυτών, η καύση βιομάζας, η επεξεργασία αποβλήτων και γεωλογικές πηγές (Cheng et al., 2010). Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των πηγών εκπομπής του μεθανίου, οι εκπομπές επιδρούν με έναν μεγάλο αριθμό παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων της χρήσης ενέργειας (energy use), της διανομής του ανθρώπινου πληθυσμού, των πρακτικών γεωργίας και του κλίματος (Wuebbles και Hayhoe, 2002).

Στο παρελθόν, όλοι πίστευαν ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα επιδρά στο παγκόσμιο κλίμα μέσω του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) λόγω της σημαντικότητας του ως αέριο του θερμοκηπίου και εξαιτίας του γρήγορου ρυθμού αύξησης της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα. Είναι όμως ξεκάθαρο ότι και άλλα αέρια του θερμοκηπίου επιδρούν σημαντικά στο κλίμα. Η συνδυασμένη επίδραση του μεθανίου (CH_4) και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου έχει διπλασιάσει την δύναμη της ακτινοβολίας του θερμοκηπίου (greenhouse radiative forcing) στο κλίμα σε σχέση με αυτή από το διοξείδιο του άνθρακα. Εκτός όμως από την άμεση επίδραση του μεθανίου (CH_4) στο κλίμα, υπάρχει και η έμμεση επίδραση μέσω των χημικών αλληλεπιδράσεων. Η οξείδωση του μεθανίου (CH_4) ενδεχομένως να οδηγήσει και στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).

Πίνακας 5: Περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή «εκπομπές μεθανίου» (CH₄)

Εκπομπές Μεθανίου	1990	1995	2000	2005
Μέγιστο	749070,5 (Κίνα)	802079,9 (Κίνα)	788150,8 (Κίνα)	853305,1 (Κίνα)
Ελάχιστο	431,6 (Ισλανδία)	475,0 (Λουξεμβούργο)	507,9 (Ισλανδία)	509,2 (Ισλανδία)
Μέσος	73012,4	75768,3	77252,2	81626,5
Τυπική απόκλιση	141297,4	147965,5	147992,1	156726,3

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα 5 η Κίνα έχει, μόνιμα, τις μεγαλύτερες εκπομπές μεθανίου, η Ισλανδία (1990, 2000 και 2005) μαζί με το Λουξεμβούργο (1995) βρίσκονται στην αντίθετη ακριβώς κατάσταση. Η τυπική απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη και τα τέσσερα έτη οπότε η μέση απόκλιση από τον μέσο όρο του δείγματος είναι μεγάλη (Χάλκος, 2006).

3.1.2.2.3 Υποξείδιο του αζώτου (N₂O)

Ο Kroze (1994) υποστηρίζει ότι η συγκέντρωση του υποξειδίου του αζώτου (N₂O) αυξάνεται με ρυθμό 0,2% έως 0,3% ανά έτος. Καθώς το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) είναι ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου, η αυξανόμενη συγκέντρωση ίσως οδηγήσει σε κλιματικές αλλαγές. Η συμβολή του N₂O στην συνολική περιβαλλοντική αλλαγή στην προβιομηχανοποιημένη εποχή υπολογίζεται στο 4%, ενώ την δεκαετία του 80 στο 6%. Επίσης το N₂O παίζει σημαντικό ρόλο στην χημική σύσταση της στρατόσφαιρας. Μια αλλαγή στην συγκέντρωσή του ίσως έχει επίδραση στο στρώμα όζοντος της στρατόσφαιρας (Bard και Probert, 1993).

Οι φυσικές εκπομπές του N₂O προέρχονται από τις μικροβιακές δραστηριότητες στα εδάφη και στους ωκεανούς, ενώ η απομάκρυνση του N₂O από την ατμόσφαιρα πραγματοποιείται στην στρατόσφαιρα μέσω της φωτόλυσης του N₂ ή οξείδωση σε NO. Η αλλαγή της συγκέντρωσης του N₂O πριν από 3000 μέχρι σήμερα δείχνει ότι η δύναμη των πηγών παραγωγής N₂O ανταποκρίνονται στις αλλαγές της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Από τον παρακάτω πίνακα συμπεραίνουμε ότι η Κίνα, όπως και στην περίπτωση των εκπομπών του μεθανίου, καταλαμβάνει την πρώτη θέση. Από την άλλη πλευρά, οι χώρες με τις μικρότερες εκπομπές ήταν τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (1990, 2005), η Αλβανία(1995) και η Ισλανδία (2000). Το συμπέρασμα που απορρέει από τα αποτελέσματα της τυπικής απόκλισης είναι ότι έχουμε και σε αυτή την περίπτωση, όπως και σε όλες τις προηγούμενες μεταβλητές, μεγάλη μεταβλητότητα.

Πίνακας 6: Περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή «εκπομπές υποξειδίου του αζώτου» (N₂O)

Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου	1990	1995	2000	2005
Μέγιστο	521065,5 (Κίνα)	626433,1 (Κίνα)	645393,1 (Κίνα)	684088,7 (Κίνα)
Ελάχιστο	103,3 (Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα)	102,2 (Αλβανία)	136,3 (Ισλανδία)	154,6 (Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα)
Μέσος	39936,4	42125,3	43889,5	45871,8
Τυπική απόκλιση	88397,1	100735,0	104673,2	108590,7

3.1.2.2.4 Εκπομπές High GWP

Το Global Warming Potential (GWP) έχει αναπτυχθεί ως εργαλείο για τους φορείς χάραξης πολιτικής για να βοηθήσει στην αξιολόγηση των πιθανών πολιτικών ενεργειών σχετικά με τον έλεγχο των αερίων του θερμοκηπίου. Τα αέρια High Global Warming Potential (High GWP), ή αλλιώς F-gases, είναι οι υδροφθοράνθρακες (hydrofluorocarbons, HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (perfluorocarbons, PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (sulphur hexafluoride, SF₆).

Οι αιτίες εκπομπών αερίων high GWP χωρίζονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα ονομάζεται υποκατάστατα ουσιών που καταστρέφουν το όζον και η δεύτερη είναι η βιομηχανική.

Οι εκπομπές των υδροφθορανθράκων παράγονται από τα μηχανήματα κλιματισμού και τα ψυγεία. Οι εκπομπές μπορεί να οφείλονται είτε σε κάποια διαρροή στα συστήματα είτε σε εκπομπές κατά την λειτουργία τους. Επίσης παράγονται και από τα αφρολέξ (foams), είτε κατά την παραγωγή τους είτε κατά την χρήση τους είτε κατά την διάθεσή τους. Τα διαλυτικά (solvents) είναι ακόμα μια πηγή εκπομπής υδροφθορανθράκων. Οι εκπομπές γίνονται μέσω διαρροής σε συστήματα καθαρισμού ή μέσω εξάτμισης κατά την χρήση τους στην ύπαιθρο (open-air use). Οι αναπνευστήρες με δοσομετρητή και τα αεροζόλ εκπέμπουν υδροφθοράνθρακες καθώς οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται ως προωθητικά αέρια κατά την λειτουργία τους. Ο έλεγχος των πυρκαγιών είναι ακόμα ένας παράγοντας εκπομπών υδροφθορανθράκων καθώς εκπέμπονται από διαρροές σε συστήματα ή κατά το σβήσιμο της πυρκαγιάς. Επιπλέον παράγονται κατά την παραγωγή χλωροδιφθορομεθανίου (HCFC-22) καθώς αποτελούν παραπροϊόν από τυχαία υπερφθορίωση. Τέλος εκπέμπονται κατά την κατασκευή ημιαγωγών καθώς παράγεται φθόριο κατά την χάραξη κυκλωμάτων. Οι δύο τελευταίες πηγές εκπομπών υδροφθορανθράκων είναι βιομηχανικές ενώ οι υπόλοιπες ανήκουν στην ομάδα υποκατάστατα ουσιών που καταστρέφουν το όζον (Halkos, 2010).

Οι εκπομπές των υπερφθορανθράκων (perfluorocarbons, PFCs) αποτελούνται από το εξαφθοροαιθάνιο (Hexafluoroethane, C_2F_6) και τον τετραφθοριούχο άνθρακα (Tetrafluoromethane, CF_4) (Halkos, 2010). Στην ομάδα των υποκατάστατων ουσιών που καταστρέφουν το όζον ανήκουν οι εκπομπές από τον έλεγχο των πυρκαγιών και τα διαλυτικά. Στην ομάδα των βιομηχανικών πηγών εκπομπών υπερφθορανθράκων ανήκει η κατασκευή αλουμινίου καθώς αποτελούν παραπροϊόν της παραπάνω διαδικασίας. Στην ίδια ομάδα ανήκει και η παραγωγή ημιαγωγών για τον λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω.

Το εξαφθοριούχο θείο παράγεται μόνο από βιομηχανικές πηγές εκπομπών. Η πρώτη αιτία είναι η παραγωγή και χύτευση του μαγνησίου. Πιο συγκεκριμένα το εξαφθοριούχο θείο χρησιμοποιείται ως αέριο κάλυψης ώστε να προληφθεί η οξειδωση του μαγνησίου ενώ είναι πιθανόν να υπάρξει και μια ποικιλία διαρροών κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Επιπλέον η κατασκευή ηλεκτρικού εξοπλισμού έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή εξαφθοριούχου θείου. Τέλος όχι μόνο η παραγωγή αλλά και η χρήση των ηλεκτρικών συσκευών επιβαρύνει το περιβάλλον με επιπλέον εκπομπές βλαβερών αερίων. Μονωτικά αέρια εκπέμπονται από διαρροές και κατά την διάρκεια της επισκευής του εξοπλισμού (Halkos, 2010).

Πίνακας 7: Περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή «εκπομπές High GWP»

High GWP	1990	1995	2000	2005
Μέγιστο	90,52	94,86	134,74	157,44
	(Ηνωμένες Πολιτείες)	(Ηνωμένες Πολιτείες)	(Ηνωμένες Πολιτείες)	(Ηνωμένες Πολιτείες)
Ελάχιστο	0,00	0,00	0,00	0,01
	(Ουγκάντα)	(Ουγκάντα)	(Ουγκάντα)	(Ουγκάντα)
Μέσος	3,80	4,36	6,38	8,39
Τυπική απόκλιση	12,59	13,58	20,10	25,50

Ο πίνακας 7 περιέχει κάποια περιγραφικά στοιχεία για την μεταβλητή «High GWP». Παρατηρούμε ότι τις περισσότερες εκπομπές High GWP τις έχουν για όλα τα έτη οι Ηνωμένες Πολιτείες ενώ τις λιγότερες η Ουγκάντα. Αν παρατηρήσουμε την τυπική απόκλιση θα δούμε ότι η μεταβλητότητα των τιμών της μεταβλητής αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου.

Μετά την εκτενή ανάλυση των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία πρέπει να ελεγχθεί αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες μαζί στο υπόδειγμά μου. Καθώς η ΠΑΔ έχει ευελιξία στην επιλογή των σταθμίσεων των εισροών και των εκροών, όσο περισσότερες μεταβλητές εισέρχονται στο υπόδειγμα τόσο μικρότερη διακριτική ικανότητα έχει αυτό. Ένας κανόνας που θα πρέπει να ισχύει, ώστε να έχουμε μια εύλογη διακριτική ικανότητα, είναι $2 \cdot m \cdot s$. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των ΜΛΑ θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του διπλάσιου του γινομένου του αριθμού των εισροών (m) και του αριθμού των εκροών

(s) (Dyson et al., 2001). Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν 2 εισροές, 5 εκροές και έχουμε 53 ΜΛΑ. Άρα, σύμφωνα με τους Dyson et al. (2001) $2 * m * s = 2 * 2 * 5 = 20 < 53$. Άρα δεν παραβιάζεται ο κανόνας που έθεσαν.

Πριν περάσουμε στην επόμενη ενότητα, όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας και γίνεται ο σχολιασμός τους, πρέπει να αναφερθούν οι πηγές των δεδομένων. Τα δεδομένα για το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP), την εργασία (labor) και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) προέρχονται από την βάση δεδομένων του World Resources Institute¹. Όσον αφορά τις εκπομπές High GWP, τις μονάδες μεθανίου (methane units, CH₄) και τις μονάδες υποξειδίου του αζώτου (nitrous oxide units, N₂O) τα δεδομένα προέρχονται από τον οργανισμό περιβαλλοντικής προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών² (United States Environmental Protection Agency, EPA). Τέλος τα δεδομένα για το επίπεδο του σχηματισμού του ακαθάριστου πάγιου κεφαλαίου (gross fixed capital formation) και το ρυθμός αύξησης του σχηματισμού του ακαθάριστου πάγιου κεφαλαίου (rate of growth in gross fixed capital formation) που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του Capital Stock προέρχονται από την βάση δεδομένων της Παγκόσμιας Τράπεζας³.

3.2 Το Μοντέλο

Όσον αφορά την επιλογή των αποδόσεων κλίμακας, σταθερές ή μεταβλητές, θα προχωρήσουμε στην σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο περιπτώσεων ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος από τις δύο. Σύμφωνα με τον Anrikan (2001) αν οι συγκρίσεις των αποδοτικότητας είναι ίδιες κάτω από τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις τότε είναι ασφαλές να υποθέσουμε σταθερές αποδόσεις. Σε αντίθετη, όμως, περίπτωση υποθέτουμε ότι έχουμε μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας. Οι Halkos και Tzeremes (2009b) υποστηρίζουν ότι όταν εξετάζεις την περιβαλλοντική αποδοτικότητα χωρών πρέπει να χρησιμοποιείς μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας (VRS⁴) καθώς οι χώρες διαφέρουν μεταξύ τους σε μέγεθος οπότε δεν μπορείς να υποθέσεις σταθερές αποδόσεις κλίμακας (CRS⁵). Από την άλλη πλευρά οι Färe et al., (2004), ο Zaim (2004), ο Tyteca (1996, 1997) και οι Coli et al. (2010) χρησιμοποίησαν σταθερές αποδόσεις κλίμακας στις έρευνες τους που αναφέρονται σε αξιολόγηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας χωρών.

¹ Πηγή: <http://earthtrends.wri.org>

² Πηγή: <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>

³ Πηγή: <http://data.worldbank.org>

⁴ Είναι το μοντέλο μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας (variable returns to scales, VRS) που ανέπτυξαν οι Bankers, Charnes και Cooper (1984)

⁵ Είναι το μοντέλο σταθερών αποδόσεων (constant returns to scales, CRS) που ανέπτυξαν οι Charnes, Cooper και Rhodes (1978)

Τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων για το 1990 παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των χωρών με σταθερές και μεταβλητές αποδόσεις για το 1990

Έτος 1990					
Χώρα	CRS	VRS	Χώρα	CRS	VRS
Αίγυπτος	0,5114	0,6509	Ισπανία	0,6149	1,0000
Αλβανία	1,0000	1,0000	Ιταλία	0,0293	0,0294
Αλγερία	0,1138	0,1138	Καναδάς	0,7497	1,0000
Αργεντινή	0,0667	0,0668	Κίνα	0,0019	0,0020
Αυστραλία	0,0943	0,0943	Κορέα	0,0405	0,0405
Αυστρία	0,2058	0,2118	Λουξεμβούργο	0,0099	1,0000
Βέλγιο	0,1836	0,1871	Μεξικό	0,0264	0,0264
Βενεζουέλα	0,1123	0,1123	Μπαγκλαντές	0,0190	0,0191
Βολιβία	0,3162	1,0000	Νέα Ζηλανδία	0,0019	0,0019
Βουλγαρία	0,1809	0,1809	Νορβηγία	0,0240	0,0241
Βραζιλία	0,0124	0,0124	Ολλανδία	0,0869	0,0869
Γαλλία	0,6612	1,0000	Ουγγαρία	0,1670	0,1673
Γερμανία	0,1053	1,0000	Ουγκάντα	0,1779	1,0000
Δανία	0,2674	0,2694	Ουρουγουάη	0,5854	0,0000
Εκουαδόρ	0,2211	0,2211	Πακιστάν	0,0210	0,0210
Ελβετία	0,1793	0,2124	Περού	0,9768	1,0000
Ελλάδα	0,1885	0,1885	Πολωνία	0,9533	1,0000
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	0,7329	1,0000	Πορτογαλία	0,1635	0,1636
Ηνωμένες Πολιτείες	1,0000	1,0000	Ρουμανία	0,7950	0,7950
Ηνωμένο Βασίλειο	0,7089	1,0000	Σενεγάλη	0,4789	1,0000
Ιαπωνία	0,6040	1,0000	Σουηδία	0,1594	0,1663
Ινδία	0,0031	0,0032	Ταϊλάνδη	0,2002	1,0000
Ινδονησία	0,3967	0,3967	Τουρκία	0,0332	0,0332
Ιορδανία	0,0074	1,0000	Φιλανδία	0,2555	0,2949
Ιράν	0,0487	0,0487	Φιλιππίνες	0,3260	1,0000
Ιρλανδία	0,6004	0,6005	Χιλή	0,1605	0,1605
Ισλανδία	0,0160	1,0000			

Όπως παρατηρούμε μόνο δύο χώρες (Αλβανία, Ηνωμένες Πολιτείες) είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές και στις δυο περιπτώσεις. Μερικές χώρες, ενώ στην περίπτωση των σταθερών αποδόσεων είναι μη περιβαλλοντικά αποδοτικές, στην περίπτωση των μεταβλητών αποδόσεων γίνονται περιβαλλοντικά αποδοτικές. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η Βολιβία, η Γαλλία, η Γερμανία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιαπωνία, η Ιορ-

δανία, η Ισλανδία, η Ισπανία, ο Καναδάς, το Λουξεμβούργο, η Ουγκάντα, το Περού, η Πολωνία, η Σενεγάλη, η Ταϊλάνδη και οι Φιλιππίνες. Από τις παραπάνω χώρες μόνο το Περού και η Πολωνία με σταθερές αποδόσεις ήταν κοντά στο να είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές και έγιναν περιβαλλοντικά αποδοτικές με μεταβλητές αποδόσεις. Όλες οι υπόλοιπες είχαν τεράστιες αλλαγές ανάμεσα στα δύο αποτελέσματα. Κάποιες χώρες δεν έχουν μεγάλη διαφορά όσον αφορά τα αποτελέσματά τους στις δύο περιπτώσεις όπως είναι η Φιλανδία, η Σουηδία, η Ελβετία, η Δανία, το Βέλγιο, η Αυστρία και η Αίγυπτος. Οι χώρες όμως που έχουν αμετάβλητη περιβαλλοντική αποδοτικότητα είναι η Χιλή, η Τουρκία, η Ρουμανία, η Πορτογαλία, το Πακιστάν, η Ουγγαρία, η Ολλανδία, η Νορβηγία, το Μπαγκλαντές, η Νέα Ζηλανδία, το Μεξικό, η Κορέα, η Κίνα, η Ιταλία, η Ιρλανδία, το Ιράν, η Ινδία, η Ινδονησία, η Ελλάδα, το Εκουαδόρ, η Βραζιλία, η Βουλγαρία, η Βενεζουέλα, η Αργεντινή η Αυστραλία και η Αλγερία. Η Ουρουγουάη είναι η μοναδική χώρα η οποία με σταθερές αποδόσεις κλίμακας έχει καλύτερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα (0,5854) απ' ό τι με μεταβλητές αποδόσεις (0,0000).

Ο πίνακας 9 περιέχει τις περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των χωρών για τις δύο περιπτώσεις (CRS, VRS) για το έτος 1995.

Πίνακας 9: Περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των χωρών με σταθερές και μεταβλητές αποδόσεις για το 1995

Έτος 1995					
Χώρα	CRS	VRS	Χώρα	CRS	VRS
Αίγυπτος	0,0500	0,0500	Ισπανία	0,0456	0,0456
Αλβανία	1,0000	1,0000	Ιταλία	0,0298	0,0298
Αλγερία	0,1068	0,1068	Καναδάς	0,0491	0,0491
Αργεντινή	0,0623	0,0623	Κίνα	0,0020	0,0022
Αυστραλία	0,0823	0,0823	Κορέα	0,0355	0,0355
Αυστρία	0,1871	0,1884	Λουξεμβούργο	0,0598	1,0000
Βέλγιο	0,1720	0,1721	Μεξικό	0,0242	0,0245
Βενεζουέλα	0,1020	0,1020	Μπαγκλαντές	0,0411	0,0411
Βολιβία	0,1631	0,4534	Νέα Ζηλανδία	0,1309	0,1309
Βουλγαρία	0,2696	0,2696	Νορβηγία	0,0274	0,0274
Βραζιλία	0,0130	0,0130	Ολλανδία	0,0777	0,0777
Γαλλία	0,3942	1,0000	Ουγγαρία	0,1852	0,1852
Γερμανία	0,7206	1,0000	Ουγκάντα	0,3162	1,0000
Δανία	0,0080	0,0080	Ουρουγουάη	0,6008	0,6008
Εκουαδόρ	0,2268	0,2268	Πακιστάν	0,0314	0,0314
Ελβετία	0,1800	0,1801	Περού	0,1108	0,1109
Ελλάδα	0,1849	0,1849	Πολωνία	0,0491	0,0491
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	0,6104	0,6104	Πορτογαλία	0,0083	0,0083

Ηνωμένες Πολιτείες	1,0000	1,0000	Ρουμανία	0,1015	0,1015
Ηνωμένο Βασίλειο	0,8845	1,0000	Σενεγάλη	0,2250	1,0000
Ιαπωνία	0,6981	1,0000	Σουηδία	0,1560	0,1561
Ινδία	0,0048	0,0048	Ταϊλάνδη	0,0266	0,0266
Ινδονησία	0,0136	0,0136	Τουρκία	0,0323	0,0323
Ιορδανία	0,7234	1,0000	Φιλανδία	0,2835	0,2835
Ιράν	0,0473	0,0473	Φιλιππίνες	0,0425	0,0425
Ιρλανδία	0,5211	0,5211	Χιλή	0,0153	0,0153
Ισλανδία	0,1493	1,0000			

Όπως βλέπουμε, και πάλι, μόνο η Αλβανία και οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές και στις δύο περιπτώσεις. Οι χώρες που ενώ στην περίπτωση των σταθερών αποδόσεων είναι μη περιβαλλοντικά αποδοτικές ενώ στην περίπτωση των μεταβλητών αποδόσεων γίνονται αποδοτικές είναι η Γαλλία, η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιαπωνία, η Ιορδανία, η Ισλανδία, το Λουξεμβούργο, η Ουγκάντα και η Σενεγάλη. Από τις παραπάνω χώρες μόνο το Ηνωμένο Βασίλειο, μπορούμε να πούμε, με σταθερές αποδόσεις ήταν κοντά στο να είναι περιβαλλοντικά αποδοτικό και έγινε περιβαλλοντικά αποδοτικό με μεταβλητές αποδόσεις. Όλες οι υπόλοιπες είχαν τεράστιες αλλαγές ανάμεσα στα δύο αποτελέσματα. Οι χώρες όμως που έχουν αμετάβλητη περιβαλλοντική αποδοτικότητα είναι η Χιλή, οι Φιλιππίνες, η Φιλανδία, η Τουρκία, η Ταϊλάνδη, η Σουηδία, η Ρουμανία, η Πορτογαλία, η Πολωνία, το Περού, το Πακιστάν, η Ουρουγουάη, η Ουγγαρία, η Ολλανδία, η Νορβηγία, η Νέα Ζηλανδία, το Μπαγκλαντές, το Μεξικό, η Κορέα, η Κίνα, η Ιταλία, η Ισπανία, η Ιρλανδία, το Ιράν, η Ινδία, η Ινδονησία, ο Καναδάς, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, η Ελλάδα, η Ελβετία, το Εκουαδόρ, η Δανία, η Βραζιλία, η Βουλγαρία, η Βενεζουέλα, το Βέλγιο, η Αυστρία, η Αυστραλία, η Αργεντινή, η Αλγερία και η Αίγυπτος. Η Βολιβία είναι η μοναδική χώρα η οποία έχει σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματά της ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις χωρίς όμως να είναι περιβαλλοντικά αποδοτική σε καμία περίπτωση.

Στην συνέχεια εξετάζουμε το έτος 2000. Στον πίνακα 10 βλέπουμε τις περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των χωρών.

Πίνακας 10: Περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των χωρών με σταθερές και μεταβλητές αποδόσεις για το 2000

Έτος 2000			Έτος 2000		
Χώρα	CRS	VRS	Χώρα	CRS	VRS
Αίγυπτος	0,0488	0,0488	Ισπανία	0,0456	0,0457
Αλβανία	1,0000	1,0000	Ιταλία	0,7546	0,8290
Αλγερία	0,5307	0,5310	Καναδάς	0,0499	0,0499
Αργεντινή	0,0581	0,0581	Κίνα	0,3225	0,3228

Αυστραλία	0,0836	0,0836	Κορέα	0,0346	0,0346
Αυστρία	0,2146	0,2146	Λουξεμβούργο	0,5163	1,0000
Βέλγιο	0,1915	0,1915	Μεξικό	0,0227	0,0227
Βενεζουέλα	0,0914	0,0914	Μπαγκλαντές	0,0445	0,0445
Βολιβία	0,1934	0,1936	Νέα Ζηλανδία	0,1349	0,1349
Βουλγαρία	0,3391	0,3391	Νορβηγία	0,0270	0,0270
Βραζιλία	0,0128	0,0128	Ολλανδία	0,0740	0,0740
Γαλλία	0,8436	1,0000	Ουγγαρία	0,0300	0,0300
Γερμανία	0,3655	1,0000	Ουγκάντα	0,3494	1,0000
Δανία	0,2758	0,2758	Ουρουγουάη	0,5936	0,5936
Εκουαδόρ	0,0687	0,0687	Πακιστάν	0,0367	0,0367
Ελβετία	1,0000	1,0000	Περού	0,5379	0,6599
Ελλάδα	0,1747	0,1764	Πολωνία	0,0484	0,0484
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	0,5336	1,0000	Πορτογαλία	0,6796	0,7475
Ηνωμένες Πολιτείες	1,0000	1,0000	Ρουμανία	0,1117	0,1117
Ηνωμένο Βασίλειο	0,9074	1,0000	Σενεγάλη	0,4895	0,4895
Ιαπωνία	0,6905	1,0000	Σουηδία	0,1701	0,1701
Ινδία	0,0050	0,0052	Ταϊλάνδη	0,0277	0,0277
Ινδονησία	0,0148	0,0149	Τουρκία	0,0305	0,0305
Ιορδανία	0,6034	1,0000	Φιλανδία	0,3116	0,3122
Ιράν	0,0451	0,0451	Φιλιππίνες	0,0443	0,0443
Ιρλανδία	0,5003	0,5003	Χιλή	0,1442	0,1442
Ισλανδία	0,1828	0,2700			

Όπως παρατηρούμε, σε αντίθεση με τις προηγούμενες χρονιές, οι χώρες που είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές και στις δυο περιπτώσεις είναι τρεις (Αλβανία, Ελβετία, Ηνωμένες Πολιτείες). Οι χώρες που ενώ στην περίπτωση των σταθερών αποδόσεων είναι μη περιβαλλοντικά αποδοτικές ενώ στην περίπτωση των μεταβλητών αποδόσεων γίνονται περιβαλλοντικά αποδοτικές είναι η Γαλλία, η Γερμανία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιαπωνία, η Ιορδανία, το Λουξεμβούργο και η Ουγκάντα. Από τις παραπάνω χώρες μόνο το Ηνωμένο Βασίλειο, μπορούμε να πούμε, με σταθερές αποδόσεις ήταν κοντά στο να είναι περιβαλλοντικά αποδοτικό και έγινε περιβαλλοντικά αποδοτικό με μεταβλητές αποδόσεις. Όλες οι υπόλοιπες είχαν τεράστιες αλλαγές ανάμεσα στα δύο αποτελέσματα. Οι χώρες όμως που έχουν αμετάβλητη περιβαλλοντική αποδοτικότητα είναι η Χιλή, οι Φιλιππίνες, η Φιλανδία, η Τουρκία, η Ταϊλάνδη, η Σουηδία, η Σενεγάλη, η Ρουμανία, η Πολωνία, το Πακιστάν, η Ουρουγουάη, η Ουγγαρία, η Ολλανδία, η Νορβηγία, η Νέα Ζηλανδία, το Μπαγκλαντές, το Μεξικό, η Κορέα, η Κίνα, ο Καναδάς, η Ισπανία, η Ιρλανδία, το Ιράν, η Ινδία, η Ινδονησία, η Ελλάδα, το Εκουαδόρ, η Δανία, η Βραζιλία, η Βουλγαρία, η Βολιβία, η Βενεζουέ-

λα, το Βέλγιο, η Αυστρία, η Αυστραλία, η Αργεντινή, η Αλγερία και η Αίγυπτος. Η Πορτογαλία, το Περού, η Ιταλία, η Ισλανδία είναι οι χώρες οι οποίες έχουν σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματά τους ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις χωρίς όμως να είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές σε καμία περίπτωση.

Τέλος εξετάζουμε το έτος 2005. Οι περιβαλλοντικές αποδοτικότητες του 2005 περιέχονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 11: Περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των χωρών με σταθερές και μεταβλητές αποδόσεις για το 2005
Έτος 2005

Χώρα	CRS	VRS	Χώρα	CRS	VRS
Αίγυπτος	0,0469	0,0469	Ισπανία	0,0470	0,0470
Αλβανία	1,0000	1,0000	Ιταλία	0,7396	0,8042
Αλγερία	0,0926	0,0926	Καναδάς	0,0506	0,0506
Αργεντινή	0,0571	0,0571	Κίνα	0,3587	0,3599
Αυστραλία	0,7847	0,8049	Κορέα	0,0347	0,0347
Αυστρία	0,2253	0,2253	Λουξεμβούργο	0,0748	1,0000
Βέλγιο	0,2010	0,2011	Μεξικό	0,0217	0,0217
Βενεζουέλα	0,0872	0,0872	Μπαγκλαντές	0,0392	0,0392
Βολιβία	0,4380	0,4380	Νέα Ζηλανδία	0,4457	0,4457
Βουλγαρία	0,3254	0,3263	Νορβηγία	0,3575	0,3585
Βραζιλία	0,0131	0,0131	Ολλανδία	0,1150	0,1150
Γαλλία	0,8444	0,9333	Ουγγαρία	0,2013	0,2013
Γερμανία	0,7498	1,0000	Ουγκάντα	0,3234	1,0000
Δανία	0,2932	0,2932	Ουρουγουάη	0,6186	0,6186
Εκουαδόρ	0,2214	0,2935	Πακιστάν	0,0379	0,0379
Ελβετία	0,2212	0,2213	Περού	0,1031	0,1031
Ελλάδα	0,1794	0,1808	Πολωνία	0,0499	0,0499
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	0,5156	1,0000	Πορτογαλία	0,1709	0,1709
Ηνωμένες Πολιτείες	1,0000	1,0000	Ρουμανία	0,1141	0,1141
Ηνωμένο Βασίλειο	0,9236	1,0000	Σενεγάλη	0,4567	0,4567
Ιαπωνία	0,7434	1,0000	Σουηδία	0,1785	0,1791
Ινδία	0,0042	0,0045	Ταϊλάνδη	0,3628	0,3628
Ινδονησία	0,0153	0,0153	Τουρκία	0,0299	0,0299
Ιορδανία	0,5620	1,0000	Φιλανδία	0,3333	0,3333
Ιράν	0,4218	1,0000	Φιλιππίνες	0,0213	0,0213
Ιρλανδία	0,0158	0,0158	Χιλή	0,1394	0,1394
Ισλανδία	0,1696	1,0000			

Παρατηρώντας των παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε ότι οι χώρες που είναι περιβαλλοντικές αποδοτικές και στις δυο περιπτώσεις είναι μόνο δύο (Αλβανία, Ηνωμένες Πολιτείες). Οι χώρες που ενώ στην περίπτωση των σταθερών αποδόσεων είναι μη περιβαλλοντικά αποδοτικές ενώ στην περίπτωση των μεταβλητών αποδόσεων γίνονται περιβαλλοντικά αποδοτικές είναι η Γερμανία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ιαπωνία, η Ιορδανία, το Ιράν, η Ισλανδία, το Λουξεμβούργο και η Ουγκάντα. Από τις παραπάνω χώρες μόνο το Ηνωμένο Βασίλειο, όπως και το 1995 και 2000, με σταθερές αποδόσεις ήταν κοντά στο να είναι περιβαλλοντικά αποδοτικό και έγινε περιβαλλοντικά αποδοτικό με μεταβλητές αποδόσεις. Όλες οι υπόλοιπες χώρες έχουν τεράστιες αλλαγές ανάμεσα στα δύο αποτελέσματα. Οι χώρες όμως που έχουν αμετάβλητη περιβαλλοντική αποδοτικότητα είναι η Χιλή, οι Φιλιππίνες, η Φιλανδία, η Τουρκία, η Ταϊλάνδη, η Σουηδία, η Σενεγάλη, η Ρουμανία, η Πορτογαλία, η Πολωνία, το Περού, το Πακιστάν, η Ουρουγουάη, η Ουγγαρία, η Ολλανδία, η Νορβηγία, η Νέα Ζηλανδία, το Μπαγκλαντές, το Μεξικό, η Κορέα, η Κίνα, ο Καναδάς, η Ισπανία, η Ιρλανδία, η Ινδία, η Ινδονησία, η Ελλάδα, η Δανία, η Βραζιλία, η Βουλγαρία, η Βολιβία, η Βενεζουέλα, το Βέλγιο, η Αυστρία, η Αργεντινή, η Αλγερία και η Αίγυπτος. Η Ιταλία, το Εκουαδόρ, η Γαλλία και η Αυστραλία είναι οι χώρες οι οποίες έχουν σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματά τους ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις χωρίς όμως να είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές σε καμία περίπτωση.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα για τις διαφορές των σταθερών και των μεταβλητών αποδόσεων για τις χώρες του δείγματος για όλα τα έτη παρατίθενται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 12: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύγκρισης σταθερών και μεταβλητών αποδόσεων

Έτος	1990	1995	2000	2005	Μέσος όρος
Αμετάβλητη αποδοτικότητα	52,83%	81,13%	77,36%	73,58%	71,22%
Μεγάλη διαφορά στις αποδοτικότητες	43,39%	16,98%	20,75%	24,53%	26,41%
Μικρή διαφορά στις αποδοτικότητες	3,78%	1,89%	1,89%	1,89%	2,37%

Όπως βλέπουμε από τον παραπάνω πίνακα κατά μέσο όρο το 71,22% των χωρών του δείγματος έχουν την ίδια περιβαλλοντική αποδοτικότητα ανεξάρτητα αν υποθέσουμε σταθερές η μεταβλητές αποδόσεις. Το 26,41% των χωρών κατά μέσο όρο έχουν σημαντικές διαφο-

ρές στην περιβαλλοντική αποδοτικότητα τους ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις, έχοντας πάντα μεγαλύτερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα στην περίπτωση των μεταβλητών αποδόσεων, ενώ το 2,37% κατά μέσο όρο έχουν μικρή διαφορά στις περιβαλλοντικές αποδοτικότητες. Αν τα αποτελέσματα διαφέρουν στατιστικά⁶ μεταξύ τους ελέγχθηκε και με το μη παραμετρικό τεστ Mann-Whitney, τα αποτελέσματα του οποίου, (βλέπε παράρτημα Γ, πίνακες Γ2-Γ5), μας δείχνουν ότι οι περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των δύο περιπτώσεων δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους. Επομένως επιλέγουμε τις σταθερές αποδόσεις κλίμακας όπως και ο Tyteca (1996, 1997), οι Färe et al. (2004), ο Zaim (2004) και οι Coli et al. (2010).

Το μοντέλο σταθερών αποδόσεων κλίμακας της ΠΑΔ οριοθετημένο στις εισροές για τις 53 χώρες του κόσμου και για τα τέσσερα έτη (1990, 1995, 2000 και 2005) που εξετάζονται αναλύεται παρακάτω.

Υποθέτουμε ότι το data domain της ΠΑΔ εκφράζεται ως:
$$\begin{bmatrix} Y \\ -X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^s \\ Y^b \\ -X \end{bmatrix}$$
 όπου το

Y^s και Y^b αντιπροσωπεύουν τις επιθυμητές και μη επιθυμητές εκροές, αντίστοιχα. Μετά από την εφαρμογή του μετασχηματισμού του Seiford και Zhu (2002) το data domain γίνεται

$$\begin{bmatrix} Y \\ -X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y^s \\ \bar{Y}^b \\ -X \end{bmatrix}$$
 όπου η j-οστή στήλη της μη επιθυμητής εκροής είναι $\bar{Y}^b = -y_j^b + w > 0$. Άρα

το γραμμικό πρόβλημα γίνεται:

$$\min h$$

Υπό τους περιορισμούς
$$\sum_{j=1}^n z_j y_j^s = y_0^s,$$

$$\sum_{j=1}^n z_j \bar{y}_j^b = \bar{y}_0^b,$$

$$\sum_{j=1}^n z_j x_j = hx_0,$$

$$z_j \geq 0, j = 1, \dots, n$$

⁶ Πριν ελεγχθούν τα αποτελέσματα αν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους ελέγχθηκαν αν οι περιβαλλοντικές αποδοτικότητες ακολουθούν την κανονική κατανομή. Ο έλεγχος αυτός έγινε με το τεστ Kolmogorov – Smirnov και έδειξε ότι οι περιβαλλοντικές αποδοτικότητες δεν κατανομούνται κανονικά. (Βλέπε παράρτημα Γ, πίνακας Γ1)

Όπου:

$$n=53$$

y_j^s = j-οστή επιθυμητή εκροή

\bar{y}_j^b = j-οστή μετασχηματισμένη μη επιθυμητή εκροή

x_j = j-οστή εισροή

y_0^s = επιθυμητή εκροή ΜΛΑ₀

\bar{y}_0^b = μετασχηματισμένη μη επιθυμητή εκροή ΜΛΑ₀

x_0 = εισροή της ΜΛΑ₀

z_j = βέλτιστες σταθμίσεις

Κεφάλαιο 4

4.1 Εμπειρικά Αποτελέσματα

Με την χρήση της ΠΑΔ υπολογίζουμε την περιβαλλοντική αποδοτικότητα για τις 53 χώρες του δείγματος και για τις χρονιές 1990, 1995, 2000 και 2005. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 73: Αποδοτικότητες χωρών για τα έτη 1990, 1995, 2000 και 2005
Αποδοτικότητα

Χώρα	Έτος			
	1990	1995	2000	2005
Αίγυπτος	0,5114	0,0500	0,0488	0,0469
Αλβανία	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Αλγερία	0,1138	0,1068	0,5307	0,0926
Αργεντινή	0,0667	0,0623	0,0581	0,0571
Αυστραλία	0,0943	0,0823	0,0836	0,7847
Αυστρία	0,2058	0,1871	0,2146	0,2253
Βέλγιο	0,1836	0,1720	0,1915	0,2010
Βενεζουέλα	0,1123	0,1020	0,0914	0,0872
Βολιβία	0,3162	0,1631	0,1934	0,4380
Βουλγαρία	0,1809	0,2696	0,3391	0,3254
Βραζιλία	0,0124	0,0130	0,0128	0,0131
Γαλλία	0,6612	0,3942	0,8436	0,8444
Γερμανία	0,1053	0,7206	0,3655	0,7498
Δανία	0,2674	0,0080	0,2758	0,2932
Εκουαδόρ	0,2211	0,2268	0,0687	0,2214
Ελβετία	0,1793	0,1800	1,0000	0,2212
Ελλάδα	0,1885	0,1849	0,1747	0,1794
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	0,7329	0,6104	0,5336	0,5156
Ηνωμένες Πολιτείες	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Ηνωμένο Βασίλειο	0,7089	0,8845	0,9074	0,9236
Ιαπωνία	0,6040	0,6981	0,6905	0,7434
Ινδία	0,0031	0,0048	0,0050	0,0042
Ινδονησία	0,3967	0,0136	0,0148	0,0153
Ιορδανία	0,0074	0,7234	0,6034	0,5620
Ιράν	0,0487	0,0473	0,0451	0,4218
Ιρλανδία	0,6004	0,5211	0,5003	0,0158
Ισλανδία	0,0160	0,1493	0,1828	0,1696
Ισπανία	0,6149	0,0456	0,0456	0,0470
Ιταλία	0,0293	0,0298	0,7546	0,7396
Καναδάς	0,7497	0,0491	0,0499	0,0506
Κίνα	0,0019	0,0020	0,3225	0,3587
Κορέα	0,0405	0,0355	0,0346	0,0347
Λουξεμβούργο	0,0099	0,0598	0,5163	0,0748
Μεξικό	0,0264	0,0242	0,0227	0,0217
Μπαγκλαντές	0,0190	0,0411	0,0445	0,0392
Νέα Ζηλανδία	0,0019	0,1309	0,1349	0,4457
Νορβηγία	0,0240	0,0274	0,0270	0,3575
Ολλανδία	0,0869	0,0777	0,0740	0,1150
Ουγγαρία	0,1670	0,1852	0,0300	0,2013
Ουγκάντα	0,1779	0,3162	0,3494	0,3234

Ουρουγουάη	0,5854	0,6008	0,5936	0,6186
Πακιστάν	0,0210	0,0314	0,0367	0,0379
Περου	0,9768	0,1108	0,5379	0,1031
Πολωνία	0,9533	0,0491	0,0484	0,0499
Πορτογαλία	0,1635	0,0083	0,6796	0,1709
Ρουμανία	0,7950	0,1015	0,1117	0,1141
Σενεγάλη	0,4789	0,2250	0,4895	0,4567
Σουηδία	0,1594	0,1560	0,1701	0,1785
Ταϊλάνδη	0,2002	0,0266	0,0277	0,3628
Τουρκία	0,0332	0,0323	0,0305	0,0299
Φιλανδία	0,2555	0,2835	0,3116	0,3333
Φιλιππίνες	0,3260	0,0425	0,0443	0,0213
Χιλή	0,1605	0,0153	0,1442	0,1394

Από το παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι οι πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικές χώρες είναι λίγες. Για το έτος 1990, 1995 και 2005 μόνο δύο χώρες είναι πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικές (Αλβανία, Ηνωμένες Πολιτείες), ενώ το 2000 στις περιβαλλοντικά αποδοτικές χώρες προστέθηκε η Ελβετία, δηλαδή το ποσοστό των πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικών χωρών είναι 3,77% για το 1990, 1995 και 2005 ενώ λίγο μεγαλύτερο για το 2000 που αγγίζει το 5,66%. Όσον αφορά την περιβαλλοντική αποδοτικότητα των Ηνωμένων Πολιτειών πρέπει να γίνει ένας περαιτέρω σχολιασμός. Αν παρατηρήσουμε τις τιμές τόσο των εισροών όσο και των εκροών είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με τις άλλες χώρες. Αυτό το γεγονός ίσως μας δείχνει ότι η πλήρης περιβαλλοντική αποδοτικότητά της δεν είναι πραγματική και η πραγματική της θέση ίσως είναι πιο χαμηλά.

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να κάνουμε μια παρατήρηση σχετικά με την πλήρη περιβαλλοντική αποδοτικότητα των Ηνωμένων Πολιτειών. Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση μπορούμε να δούμε ότι και οι Zaim και Taskin (2000a,b), οι Taskin και Zaim (2001) και οι Zofio και Prieto (2001) βρήκαν στις έρευνές τους τις Ηνωμένες Πολιτείες περιβαλλοντικά πλήρως αποδοτικές. Αυτό βέβαια αποτελεί μια απλή παρατήρηση και δεν αποτελεί σύγκριση των αποτελεσμάτων καθώς στην ΠΑΔ δεν μπορούμε να προβούμε σε σύγκριση αποτελεσμάτων ερευνών που χρησιμοποιούν διαφορετικές εισροές ή/και εκροές ή/ και διαφορετικά δείγματα. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε με την χρήση της ΠΑΔ είναι ευαίσθητα στους παραπάνω παράγοντες. Με την ΠΑΔ παίρνουμε σχετικές αποδοτικότητες και όχι απόλυτες.

Η μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα ισούται με 29,43% (ή 0,2943) για το 1990 και λίγο χαμηλότερα, στο 21,29% (ή 0,2129), για το 1995. Το 2000 και το 2005 η περιβαλλοντική αποδοτικότητα επιστρέφει κοντά στα επίπεδα του 1990 καθώς αγγίζει το 29,45% (ή 0,2945) και 29,39% (ή 0,2939), αντίστοιχα. Επίσης παρατηρώντας την τυπική απόκλιση συμπεραίνουμε ότι για το 1990 κατά μέσο όρο η περιβαλλοντική αποδοτικότητα διαφέρει κατά 30,54% (ή 0,3054) από τον μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Για το 1995 το ποσοστό

είναι μικρότερο, καθώς φθάνει το 26,92% (ή 0,2692), ενώ το 2000 επιστρέφει στα επίπεδα του 1990 (30,19% ή 0,3019). Το 2005 η τυπική απόκλιση είναι ελαφρώς χαμηλότερη φθάνοντας το 28,59% (ή 0,2859).

Το ποσοστό των χωρών που επιτυγχάνουν περιβαλλοντική αποδοτικότητα πάνω από 75% (ή 0,75) είναι εξαιρετικά μικρό. Πιο συγκεκριμένα, για το 1990 αγγίζει το 11,32%, το 1995 φθάνει μόλις το 7,55%, το 2000 έχει το μεγαλύτερο ποσοστό (13,21%) ενώ το 2005 επιστρέφει πάλι στα επίπεδα του 1990, δηλαδή στο 11,32%. Τα ποσοστά αυτά σε συνδυασμό με τα ποσοστά των πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικών χωρών μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι χώρες του δείγματος, στην πλειοψηφία τους, δεν είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές.

Αν εξετάσουμε την εξέλιξη της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας με την πάροδο του χρόνου θα δούμε ότι το 58,49% των χωρών αύξησαν την περιβαλλοντική αποδοτικότητά τους χωρίς όμως αυτή η βελτίωση να είναι αρκετή ώστε να τις καταστήσει περιβαλλοντικά αποδοτικές. Από την άλλη πλευρά το 37,74% των χωρών είχαν μείωση στην περιβαλλοντική αποδοτικότητά τους, ενώ μόλις το 3,77% είχε σταθερή περιβαλλοντική αποδοτικότητα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας πίνακας που περιέχει τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση των περιβαλλοντικών αποδοτικοτήτων των χωρών έχοντας χωρίσει τις χώρες σε αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες σύμφωνα με τον διαχωρισμό που κάνει το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο (ΔΝΤ) (International Monetary Fund, IMF⁷). Αναλυτικότερος πίνακας, με τα πλήρη δεδομένα των περιβαλλοντικών αποδοτικοτήτων, υπάρχει στο παράρτημα Β. (Βλέπε πίνακες Β1 – Β2)

Πίνακας 14: Μέση αποδοτικότητα και τυπική απόκλιση για αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες

Κατάταξη		Έτος			
		1990	1995	2000	2005
Αναπτυγμένες χώρες	Μέσος όρος	0,2896	0,2536	0,3845	0,3708
	Τυπική απόκλιση	0,2916	0,2928	0,3317	0,3200
Αναπτυσσόμενες χώρες	Μέσος όρος	0,2981	0,1792	0,2199	0,2303
	Τυπική απόκλιση	0,3215	0,2481	0,2572	0,2418

Βλέπουμε ότι οι αναπτυγμένες χώρες πάντα, εκτός για το 1990 είχαν μεγαλύτερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα από τις αναπτυσσόμενες χώρες καθώς και μεγαλύτερες τυπικές αποκλίσεις. Καμία όμως ομάδα από τις δύο δεν είναι κοντά στο να γίνει περιβαλλοντικά αποδοτική καθώς η μεγαλύτερη μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα που πέτυχαν οι αναπτυγμένες χώρες είναι 38,45% (ή 0,3845) το 2000 ενώ στην περίπτωση των αναπτυσσόμενων χωρών η μέγιστη μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα ήταν το 1990 και ήταν ίση με 29,81% (ή

⁷ Πηγή: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2008/01/weodata/groups.htm#ae>

0,2981). Αν παρατηρήσουμε τους αναλυτικούς πίνακες του παραρτήματος Β (πίνακες Β1 – Β2) θα δούμε ότι μόνο μία χώρα σε κάθε ομάδα είναι πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτική, οι Ηνωμένες Πολιτείες από τις αναπτυγμένες χώρες και η Αλβανία από τις αναπτυσσόμενες χώρες. Αν μετρήσουμε τις χώρες που έχουν περιβαλλοντική αποδοτικότητα πάνω από 75% θα δούμε ότι είναι 1 αναπτυγμένη και 3 αναπτυσσόμενες το 1990, 2 αναπτυγμένες και 1 αναπτυσσόμενη για το 1995, 4 αναπτυγμένες και 1 αναπτυσσόμενη για το 2000 ενώ τέλος για το 2005 έχουμε 5 αναπτυγμένες και 1 αναπτυσσόμενη. Τα νούμερα αυτά είναι εξαιρετικά μικρά γι' αυτό άλλωστε και η μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα των δύο ομάδων είναι τόσο χαμηλή. Από τα αποτελέσματα του τεστ Mann-Whitney (βλέπε παράρτημα Γ, πίνακες Γ6 – Γ9) δεν φαίνεται να υπάρχει στατιστική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες χωρών. Αυτό σημαίνει ότι η περιβαλλοντική αποδοτικότητα μιας χώρας δεν εξαρτάται από το αν είναι αναπτυγμένη ή αναπτυσσόμενη.

Κεφάλαιο 5

5.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία ξεκίνησε με μια εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί και έχουν ως αντικείμενο μελέτης την περιβαλλοντική αποδοτικότητα. Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία δεικτών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας χωρών.

Επιλέχθηκε ένα μοντέλο Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (ΠΑΔ) οριοθετημένο ως προς τις εισροές υποθέτοντας σταθερές αποδόσεις κλίμακας. Προτιμήθηκε η μεθοδολογία της ΠΑΔ έναντι της οικονομετρικής προσέγγισης καθώς παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ΠΑΔ είναι ότι μπορεί να μοντελοποιήσει ταυτόχρονα πολλές εισροές και πολλές εκροές, μετρημένες σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης, ενώ ταυτόχρονα δεν απαιτεί μαθηματική φόρμα της συνάρτησης παραγωγής σχετικά με τις εισροές στις εκροές. Επιπλέον μπορεί να προσδιορίσει τις πηγές της μη-αποδοτικότητας σε όρους εκτεταμένης χρήσης των εισροών ή έλλειψης των εκροών καθώς και την φύση των οικονομικών κλίμακας σε κάθε στάδιο του συνόρου αποδοτικότητας. Στοχεύει σε μεμονωμένες παρατηρήσεις αντί των μέσων του πληθυσμού ενώ τέλος μπορεί να χρησιμοποιεί εξωγενής μεταβλητές και ψευδομεταβλητές. Επιλέχθηκαν οι σταθερές αποδόσεις κλίμακας μετά από σύγκριση των αποτελεσμάτων των σταθερών και των μεταβλητών αποδόσεων κλίμακας και την χρήση του μη παραμετρικού τεστ Mann – Whitney.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε εφαρμόστηκε σε ένα δείγμα 53 χωρών του κόσμου και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν τις χρονικές περιόδους 1990, 1995, 2000 και 2005.

Σύμφωνα με τα εμπειρικά αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μόνο δύο χώρες (Αλβανία και Ηνωμένες Πολιτείες) ήταν πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικές για τα έτη 1990, 1995 και 2005 ενώ για το έτος 2000 οι πλήρως περιβαλλοντικά αποδοτικές χώρες ήταν τρεις (Αλβανία, Ελβετία και Ηνωμένες Πολιτείες) ενώ το ποσοστό των χωρών που έχουν περιβαλλοντική αποδοτικότητα πάνω από 75% (ή 0,75) είναι εξαιρετικά μικρό. Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι οι χώρες του δείγματος, στην πλειοψηφία τους, δεν είναι περιβαλλοντικά αποδοτικές.

Όταν έγινε διαχωρισμός των χωρών σε αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες, η μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα των αναπτυγμένων χωρών είναι ίση με 0,2896 για το 1990, 0,2536 για το 1995, 0,3845 το 2000 και 0,3708 το 2005 ενώ η μέση περιβαλλοντική αποδοτικότητα για τις αναπτυσσόμενες χώρες 0,2981, 0,1792, 0,2199, 0,2303 για τα έτη 1990, 1995,

2000 και 2005, αντίστοιχα. Τα παραπάνω νούμερα είναι εξαιρετικά μικρά και για τις δύο ομάδες χωρών.

Από τα αποτελέσματα του τεστ Mann-Whitney συμπεραίνουμε ότι η περιβαλλοντική αποδοτικότητα μιας χώρας δεν εξαρτάται από το αν είναι αναπτυγμένη ή αναπτυσσόμενη.

Κατά την εκπόνηση της εργασίας παρουσιάστηκαν κάποιες δυσκολίες. Η κυριότερη δυσκολία ήταν ότι δεν υπήρχαν δεδομένα στις βάσεις δεδομένων του διαδικτύου για το σύνολο των χωρών για τις μη επιθυμητές εκροές με αποτέλεσμα το τελικό δείγμα χωρών (53 χώρες) της έρευνας να είναι κατά πολύ μικρότερο από τον συνολικό αριθμό των χωρών του κόσμου (περίπου 200 χώρες).

Επίσης ένα άλλο πρόβλημα που εμφανίστηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας ήταν ότι δεν υπήρχαν καθόλου δεδομένα για την μεταβλητή «κεφάλαιο». Το πρόβλημα αυτό λύθηκε με τον υπολογισμό της τιμής της μεταβλητής, για κάθε χώρα και για κάθε έτος ξεχωριστά, με την χρήση της μεθόδου διαρκούς απογραφής.

Υπάρχουν πολλές μελλοντικές επεκτάσεις στο συγκεκριμένο θέμα. Θα μπορούσε να εξετασθεί η περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών μετά την υπογραφή των πρωτοκόλλων όσον αφορά τους ρυπαντές, όπως για παράδειγμα το πρωτόκολλο του Κιότο. Έτσι θα δούμε αν οι χώρες συμμορφώνονται στα πρωτόκολλα που υπογράφουν ή όχι.

Μια άλλη πρόταση για μελλοντική επέκταση του συγκεκριμένου θέματος είναι η εξέταση των ρυπαντών και η επίδρασή τους στην περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών. Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να ελέγξουμε ποιος από τους ρυπαντές έχει μεγαλύτερη επίδραση στην αποδοτικότητα των χωρών.

Επιπλέον μπορούμε να εξετάσουμε πως μπορούν οι περιβαλλοντικά μη αποδοτικές χώρες να γίνουν αποδοτικές. Δηλαδή να εξετάσουμε πως πρέπει η κάθε χώρα να χρησιμοποιεί τις εισροές και τις εκροές, επιθυμητές και μη επιθυμητές, ώστε να γίνει αποδοτική.

Επίσης θα μπορούσε να εφαρμοστεί η μέθοδος DEA Windows Analysis έτσι ώστε να παρατηρήσουμε την περιβαλλοντική αποδοτικότητα μιας χώρας μέσα στον χρόνο καθώς και να συγκρίνουμε την περιβαλλοντική αποδοτικότητα μιας χώρας με αυτές των υπολοίπων χωρών το ίδιο έτος.

Τέλος, μεγάλο ενδιαφέρον θα είχε και η εφαρμογή του δείκτη Malmquist ώστε να ελεγχθεί η περιβαλλοντική αποδοτικότητα των χωρών μέσα στο χρόνο, όπως έκαναν ο Ramathan (2005) και οι Zhu et al. (2007).

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- Ali A. and Seiford L. (1990). Translation invariance in Data Envelopment Analysis, *Operations Research Letters*, **9**, 403 – 405.
- Apadula F., Gotti A., Pigini A., Longhetto A., Rocchetti F., Cassardo C., Ferrarese S. and Forza R. (2003). Localization of source and sink regions of carbon dioxide through the method of the synoptic air trajectory statistics, *Atmospheric Environment*, **37**, 3757 – 3770.
- Avrikan N. (2001). Investigating technical and scale efficiencies of Australian Universities through data envelopment analysis, *Socio-Economic Planning Sciences*, **35**, 57 – 80.
- Ayres R. and Warr B. (2005). Accounting for growth: the role of physical work, *Structural Change and Economic Dynamics*, **16**, 181 – 209.
- Badr O. and Probert S. (1993). Oxide of Nitrogen in the Earth's Atmosphere: Trends, Sources, Sinks and Environmental Impacts, *Applied Energy*, **46**, 1 – 67.
- Baker J. and Allen L. (1994). Assessment of the impact of rising carbon dioxide and other potential climate changes on vegetation, *Environmental Pollution*, **83**, 223 – 235.
- Banker R., Charnes A. and Cooper W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, **30**, 1078 – 1092.
- Bischoff C. and Kokkelenberg E. (1987). Capacity utilization and depreciation-in-use, *Applied Economics*, **19**, 995 – 1007.
- Charnes A., Cooper W. and Rhodes E. (1978). Measuring the efficiency of decisions making units, *European Journal of Operational Research*, **2**, 429 – 444.
- Cheng Y., Wang L. and Zhang X. (2010). Environmental impact of coal mine methane emissions and responding strategies in China, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, doi:10.1016/j.ijggc.2010.07.007
- Chung Y., Färe R. and Grosskopf S. (1997). Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach, *Journal of Environmental Management*, **51**, 229 – 240.
- Coelli T. and Battese D. (1998). *An introduction to efficiency and productivity analysis*, Kluwer Academic Publishers, Boston
- Coli M., Nissi E. and Rapposelli A. (2010). Monitoring environmental efficiency: An application to Italian provinces, *Environmental Modelling & Software*, doi:10.1016/j.envsoft.2010.07.004
- Dyson R., Allen R., Camanho A., Podinovski A., Sarrico C. and Shale E. (2001). Pitfalls and protocols in DEA, *European Journal of Operational Research*, 245 – 259.

- Epstein L. and Denny M. (1980). Endogenous capital utilization in a short run production model, *Journal of econometrics*, **12**, 189 – 207.
- Färe R., Grosskopf C. and Pasurka C. (1986). Effects on relative efficiency in electric power generation due to environmental controls, *Resources and Energy*, **8**, 167 – 184.
- Färe R., Grosskopf C. and Pasurka C. (1989b). The effect of environmental regulations on the efficiency of electric utilities: 1969 versus 1975, *Applied Economics*, **21**, 225 – 235.
- Färe R., Grosskopf C. and Pasurka C. (2006). Social responsibility: U.S. power plants 1985-1998, *Journal of Productivity analysis*, **26**, 259 – 267.
- Färe R., Grosskopf C. and Pasurka C. (2007). Environmental production functions and environmental directional distance functions, *Energy*, **32**, 1055 – 1066.
- Färe R., Grosskopf C. and Pasurka C. (2010). Toxic releases: An environmental performance index for coal-fired power plants, *Energy Economics*, **32**, 158 – 165.
- Färe R., Grosskopf S. and Hernandez-Sancho F. (2004). Environmental performance: an index number approach, *Resource and Energy Economics*, **26**, 343–352.
- Färe R., Grosskopf S., Lovell C. and Pasurka C. (1989a). Multilateral Productivity Comparisons When Some Outputs are Undesirable: A Nonparametric Approach, *The Review of Economics and Statistics*, **71**, 90-98.
- Farrell M. (1957). The measurement of productivity efficiency. *Journal of Royal Statistical Society*, **20**, 253 – 290.
- Feldstein M. and Foot D. (1971). The Other Half of Gross Investment: Replacement and Modernization, *The Review of Economics and Statistics*, **53**, 49 – 58.
- Halkos G. (2010). Construction of abatement cost curves: The case of F-gases, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 26532**.
- Halkos G. and Salamouris D. (2004). Efficiency measurement of the Greek commercial banks with the use of financial ratios: a data envelopment analysis approach, *Management Accounting Research*, **15**, 201 – 224.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2005a). A DEA approach to regional development, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 3992**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2005b). Internationalization Strategies and Productivity: Evidence from Foreign Owned Companies Operating in the Greek Manufacturing Sector, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 2857**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2005c). Measuring trade efficiency, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 23761**.

- Halkos G. and Tzeremes N. (2007a). Corruption and Socioeconomics Determinants: Empirical Evidence of Twenty Nine Countries, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 2874**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2007b). International Competitiveness in the ICT Industry: Evaluating the Performance of the Top 50 Companies, *Global Economic Review*, **36**, 167 – 182.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2007c). Productivity efficiency and firm size: An empirical analysis of foreign owned companies, *International Business Review*, **16**, 713 – 731.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2008a). Does the Home Country's National Culture Affect MNCs' Performance? Empirical Evidence of the World's Top 100 East-West Non-financial MNCs', *Global Economic Review*, **37**, 405 – 427.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2008b). Measuring regional public health provision, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 23762**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2008c). National culture and multinational performance, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 23763**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2008d). Trade efficiency and economic development: evidence from a cross country comparison, *Applied Economics*, **40**, 2749 – 2764.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2009a). Economic efficiency and growth in the EU enlargement, *Journal of Policy Modeling*, **31**, 847 – 862.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2009b). Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis, *Ecological Economics*, **68**, 2168 – 2176.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2010a). A conditional nonparametric analysis for measuring the efficiency of regional public healthcare delivery: An application to Greek prefectures, *Health Policy*, doi:10.1016/j.healthpol.2010.10.021
- Halkos G. and Tzeremes N. (2010b). A DEA approach for measuring university departments' efficiency, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 24029**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2010c). Measuring biodiversity performance: A conditional efficiency measurement approach, *Environmental Modelling & Software*, **25**, 1866 – 1873.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2010d). Measuring the effect of virtual mergers on banks' efficiency levels: A non parametric analysis, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 23696**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2010e). Performance evaluation using bootstrapping DEA techniques: Evidence from industry ratio analysis, *Munich Personal RePEc Archive*, **No. 25072**.
- Halkos G. and Tzeremes N. (2010f). The effect of foreign ownership on SMEs performance: An efficiency analysis perspective, *Journal of Productivity Analysis*, **34**, 167 – 180.

- Haynes S., Ratick S., Bowe S. and Cummings-Saxton J. (1993). Environmental decision models: US experience and a new approach to pollution management, *Environmental International*, **19**, 261 – 275.
- Koerner B. and Klopatek J. (2002). Anthropogenic and natural CO₂ emission sources in an arid urban Environment, *Environmental Pollution*, **116**, S45 – S51.
- Koopmans T. (1951). *Activity Analysis of Production and Allocation*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kroeze C. (1994). Nitrous Oxide and Global Warming, *The Science of Total Environment*, **143**, 193 – 209.
- Kuc T., Rozanski K., Zimnoch M., Necki J. and Korus A. (2003). Anthropogenic emissions of CO₂ and CH₄ in an urban environment, *Applied Energy*, **75**, 193 – 203.
- Kumar S. (2006). Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index. *Ecological Economics*, **56**, 280 – 293.
- Munksgaard J., Christoffersen L., Keiding H., Pedersen O. and Jensen T. (2007). An environmental performance index for products reflecting damage costs. *Ecological Economics*, **64**, 119 – 130.
- Nadiri I. and Prucha I. (1996). Estimation of the depreciation rate of physical and R&D capital in the U.S. total manufacturing sector, *Economic Inquiry*, **34**, 43 – 56.
- Nehru V. and Dhareshwar A. (1993). A new database on physical capital stock: sources, methodology and results, *Revista de Analisis Economico*, **8**, 37 – 59.
- Nunamaker T. (1985). Using Data Envelopment Analysis to Measure the Efficiency of Non-Profit Organizations: A Critical Evaluation, *Managerial and Decision Economics*, **6**, 50 – 58.
- Picazo-Tadeo A., Reig-Martinez E. and Hernandez-Sancho F. (2005). Directional distance functions and environmental regulation, *Resource and Energy Economics*, **27**, 131 – 142.
- Prucha I. (1995). On the Econometric estimation of a Constant Rate of Depreciation, *Empirical Economics*, **20**, 299 – 302.
- Prucha I. (1997). Estimation of a variable rate of depreciation: a dummy variable approach, *Structural Change and Economic Dynamics*, **8**, 319 – 325.
- Ramanathan R. (2005). An analysis of energy consumption and carbon dioxide emissions in countries of the Middle East and North Africa, *Energy*, **30**, 2831 – 2842.
- Reinhard S., Lovell K. and Thijssen G. (2000). Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables: estimated with SFA and DEA, *European Journal of Operational Research*, **121**, 287 – 303.

- Seiford L. and Zhu J. (2002). Continuous Optimization Modeling undesirable factors in efficiency evaluation, *European Journal of Operational Research*, **142**, 16 – 20.
- Shephard R. (1970). *The Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Sozen A., Alp I. and Ozdemir A. (2010). Assessment of operational and environmental performance of the thermal power plants in Turkey by using data envelopment analysis, *Energy Policy*, **38**, 6194 – 6203.
- Taskin F. and Zaim O. (2000). Searching for a Kuznets curve in environmental efficiency using kernel estimation, *Economics Letters*, **68**, 217 – 223.
- Taskin F. and Zaim O. (2001). The role of international trade on environmental efficiency: a DEA approach, *Economic Modelling*, **18**, 1 – 17.
- Terregrossa R. (1997). Capital Depreciation and Investment Demand, *The Quarterly Review of Economics and finance*, **37**, 79 – 95.
- Triantis K. and Otis P. (2004). Dominance-based measurement of productive and environmental performance for manufacturing, *European Journal of Operational Research*, **154**, 447 – 464.
- Tyteca D. (1996). On the measurement of the environmental performance of firms – A literature review and a productive efficiency perspective, *Journal of Environmental Management*, **46**, 281 – 308.
- Tyteca D. (1997). Linear programming models for the measurement of environmental performance of firms- concepts and empirical results, *Journal of Productivity Analysis*, **8**, 183 – 197.
- Verstraete J. (1976). An estimate of the capital stock for the Belgian industrial sector, *European Economic Review*, **8**, 33 – 49.
- Wuebbles D. and Hayhoe K. (2002). Atmospheric methane and global change, *Earth-Science Reviews*, **57**, 177 – 210.
- Zaim O. (2004). Measuring environmental performance of state manufacturing through changes in pollution intensities: a DEA framework, *Ecological Economics*, **48**, 37 – 47.
- Zaim O. and Taskin F. (2000a). A Kuznets Curve in Environmental Efficiency: An Application on OECD Countries, *Environmental and Resource Economics*, **17**, 21 – 36.
- Zaim O. and Taskin F. (2000b). Environmental efficiency in carbon dioxide emissions in the OECD: A non-parametric approach, *Journal of Environmental Management*, **58**, 95 – 107.
- Zaim O., Färe R. and Grosskopf S. (2001). An economic approach to achievement and improvement indexes, *Social Indicators Research*, **56**, 91 – 118.

- Zhang T. (2009). Frame Work of Data Envelopment Analysis-A Model to Evaluate the Environmental Efficiency of China's Industrial Sectors, *Biomedical and environmental sciences*, **21**, 8 – 13.
- Zhou P., Ang B. and Poh K. (2006). Slacks-based efficiency measures for modelling environmental performance, *Ecological Economics*, **60**, 111 – 118.
- Zhou P., Ang B. and Poh K. (2008a). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies, *European Journal of Operational Research*, **189**, 1 – 18.
- Zhou P., Ang B. and Poh K. (2008b). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies, *Energy Economics*, **30**, 1 – 14.
- Zhou P., Poh, K. and Ang B. (2007). A non- radial DEA approach to measuring environmental performance, *European Journal of Operational Research*, **178**, 1 – 9.
- Zofio J. and Prieto A. (2001). Environmental efficiency and regulatory standards: the case of CO₂ emissions from OECD industries, *Resource and Economics*, **23**, 63 - 83.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Χάλκος Γ. (2000). *Στατιστική: Θεωρία, εφαρμογές και χρήση στατιστικών προγραμμάτων σε H/Y*, Τυπωθήτω, Αθήνα.
- Χάλκος Γ. (2006). *Οικονομετρία: Θεωρία και πράξη, οδηγίες Χρήσης σε E-views, Minitab, Spss & Excel*, Γκιούρδας, Αθήνα.

Διαδίκτυο

- <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2008/01/weodata/groups.htm#ae>. Accessed 18 November 2010
- <http://earthtrends.wri.org>. Accessed 20 November 2010
- <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/international.html>. Accessed 25 November 2010
- <http://data.worldbank.org>. Accessed 22 November 2010

Παράρτημα Α

Οι παρακάτω πίνακες περιέχουν τις εισροές που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας με την χρήση της ΠΑΔ. Στον πρώτο πίνακα υπάρχουν τα έτη 1990 και 1995.

Πίνακας Α1: Τιμές των εισροών της ΠΑΔ για το 1990 και το 1995

Έτος Χώρα	1990		1995	
	Κεφάλαιο	Εργασία	Κεφάλαιο	Εργασία
Αίγυπτος	2866515801,85	18697	55528126241,38	21603
Αλβανία	4627406,70	1571	1499492455,27	1557
Αλγερία	2627805423,60	6979	47477632655,40	8591
Αργεντινή	2635936504,98	12201	184119761191,24	13526
Αυστραλία	13595146671,79	8403	309523446516,45	9099
Αυστρία	14863706396,16	3556	190529036670,73	3712
Βέλγιο	13663340668,11	4033	189331612375,99	4132
Βενεζουέλα	972341916,31	7273	73124975916,65	8545
Βολιβία	109967353,20	2665	4612561306,10	3020
Βουλγαρία	675303954,11	4436	8483822075,98	4306
Βραζιλία	37423989618,53	65445	441386667415,26	72293
Γαλλία	91757547748,91	24696	1028473784170,96	25800
Γερμανία	164978921690,73	39860	1780305442313,48	40509
Δανία	6178625930,73	2908	102632207614,75	2920
Εκουαδόρ	703493279,66	3612	17921708936,75	4216
Ελβετία	32490239329,32	3628	247874732168,98	3778
Ελλάδα	4342748524,95	4195	85841524478,47	4437
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	1736686017,33	1075	25988532854,39	1341
Ηνωμένες Πολιτείες	269145871282,47	129186	5574654036651,50	137111
Ηνωμένο Βασίλειο	69137653472,05	28178	880338642086,10	28752
Ιαπωνία	9763341004077,93	64133	13641065039219,90	66319
Ινδία	5451877231,89	358344	310685135417,90	399333
Ινδονησία	4244084588,52	79905	159391439867,46	90669
Ιορδανία	360673254,32	815	9270340847,40	1213
Ιράν	2113807979,49	16737	94362330515,09	19954
Ιρλανδία	1380166368,58	1314	47863830678,30	1432
Ισλανδία	226284439,85	142	5224755528,96	150
Ισπανία	26875693425,66	15953	499994357178,92	16964
Ιταλία	126984204173,49	24427	959981273569,30	24999
Καναδάς	29031179956,01	14647	481750224801,92	15667
Κίνα	8328685746,63	685636	951565539802,22	728582
Κορέα	19416436979,92	19633	633632473518,97	21811
Λουξεμβούργο	471623895,56	166	13655188029,65	176
Μεξικό	14887276752,11	30671	395406860660,51	35157
Μπαγκλαντές	611681102,74	53265	26900448703,44	60974
Νέα Ζηλανδία	1495191425,73	6900	34962363600,54	1764
Νορβηγία	5051768492,76	33984	104201606379,34	39464
Ολλανδία	17730632715,67	8946	283295003411,61	7142
Ουγγαρία	2406532352,16	4734	34523586205,12	4774
Ουγκάντα	64992801,85	8809	3145120853,53	10027
Ουρουγουάη	368792121,99	1358	13793570963,24	1426
Πακιστάν	2742612102,06	39584	54456029677,83	45133

Περού	781504007,20	7442	38825426025,83	8546
Πολωνία	2640847322,10	18729	88255337855,73	19453
Πορτογαλία	6688202960,63	4823	95719978486,87	4940
Ρουμανία	1171824958,30	10647	27127726711,89	10612
Σενεγάλη	92911270,48	3232	3336533305,23	3690
Σουηδία	17820224755,39	4631	163772034606,82	4777
Ταϊλάνδη	10003599915,01	31107	222837116398,73	33751
Τουρκία	6766062073,77	24255	193767060686,13	27731
Φιλανδία	21112208443,60	2569	93581036938,17	2599
Φιλιππίνες	3952549135,96	24032	54079179032,68	27614
Χιλή	973888763,95	4993	50698994936,70	5600

Στον επόμενο πίνακα βρίσκονται τα έτη 2000 και 2005

Πίνακας Α2: Τιμές των εισροών της ΠΑΔ για το 2000 και το 2005

Έτος	2000		2005	
Χώρα	Κεφάλαιο	Εργασία	Κεφάλαιο	Εργασία
Αίγυπτος	124721059326,65	24884	190806642996,07	27902
Αλβανία	4237512425,46	1557	6524149824,66	1633
Αλγερία	88602283725,13	10353	134207175116,78	12033
Αργεντινή	380831210270,34	14999	496903583974,57	16381
Αυστραλία	659491109630,25	9772	1058255890271,88	10174
Αυστρία	354781017696,80	3745	497424480854,26	3745
Βέλγιο	359869990421,36	4212	521991747056,92	4209
Βενεζουέλα	168675716466,34	9935	245386050094,24	11123
Βολιβία	10981403089,21	3390	14809487957,03	3755
Βουλγαρία	13914061098,92	4177	26058551824,45	4067
Βραζιλία	858477551612,54	79199	1188467583985,49	83594
Γαλλία	1893927980119,39	26836	2797043222542,92	27136
Γερμανία	3214318806541,68	40310	4342491623137,47	40242
Δανία	218459298428,72	2935	329068656224,28	2891
Εκουαδόρ	31027945220,59	4830	47776658591,21	5347
Ελβετία	446610586400,54	3807	620394434244,57	3795
Ελλάδα	176480564468,23	4756	298317871703,77	4827
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	89048508722,26	1531	136860758280,16	1667
Ηνωμένες Πολιτείες	12383917026195,30	145582	19127959814327,40	151475
Ηνωμένο Βασίλειο	1780996888441,37	29361	2726251974013,68	29856
Ιαπωνία	16682525228272,60	68376	18810252942148,70	68111
Ινδία	692665601901,57	441618	1354774301360,45	478801
Ινδονησία	306635205798,21	101953	433001028238,76	110673
Ιορδανία	16330836203,68	1646	23569360759,94	1933
Ιράν	189420424717,34	23194	327259887012,41	26727
Ιρλανδία	124412351643,05	1614	219093836708,51	1730
Ισλανδία	11960697264,90	159	19892113224,96	166
Ισπανία	1003901579329,99	18131	1621361625013,19	18405
Ιταλία	1726920355998,98	25437	2501295326998,10	25165
Καναδάς	968907891874,50	16585	1530435861064,05	17126
Κίνα	2413272265179,25	767114	4706867578412,65	792611
Κορέα	1233582683884,37	23981	1821198698892,44	25169
Λουξεμβούργο	28581873368,76	187	46542382798,21	197
Μεξικό	798036458637,52	40047	1216518898977,58	44096
Μπαγκλαντές	64495775462,16	69181	115831653719,49	76756

Νέα Ζηλανδία	73948118841,27	7357	121798211056,23	1952
Νορβηγία	226449876028,42	45491	335440994603,60	2348
Ολλανδία	587819476640,72	11168	852033515195,64	7397
Ουγγαρία	71976230054,95	4790	119962486968,65	4702
Ουγκάντα	7554804902,23	11325	12592038735,93	12743
Ουρουγουάη	28183590691,30	1503	33980916420,07	1564
Πακιστάν	99139447020,30	52279	138801440757,23	59145
Περού	86017165010,83	9763	120083615293,46	10818
Πολωνία	236320601032,40	19991	360041391660,51	20279
Πορτογαλία	202883517495,80	5103	297079276954,26	5121
Ρουμανία	54685715545,63	10731	86494904269,05	10747
Σενεγάλη	6987411829,71	4181	11604494526,50	4652
Σουηδία	310655499821,75	4793	459428291425,91	4772
Ταϊλάνδη	350213152399,29	36283	440504068235,82	37873
Τουρκία	401032028725,58	31373	580415608926,83	34269
Φιλανδία	173078089058,81	2602	257223497939,64	2553
Φιλιππίνες	111114350574,28	31385	157203887729,46	34860
Χιλή	115243313369,94	6212	180698892196,63	6755

Στην συνέχεια παρατίθενται ο πίνακας που περιέχει τις τιμές της επιθυμητής εκροής της ΠΑΔ για όλα τα έτη.

Πίνακας Α3: Τιμές του ΑΕΠ για όλα τα έτη

ΑΕΠ				
Έτος				
Χώρα	1990	1995	2000	2005
Αλβανία	3216	2826	3687	4794
Αίγυπτος	65600	77511	99839	119681
Αλγερία	46367	46964	54790	69698
Αργεντινή	182209	250258	284204	313626
Αυστραλία	280981	330116	399619	469820
Αυστρία	150669	167715	193838	208308
Βέλγιο	187541	202961	231934	249377
Βενεζουέλα	95264	112851	117148	132905
Βολιβία	5801	7091	8398	9742
Βουλγαρία	14997	13137	12599	16307
Βραζιλία	504413	583908	644476	738166
Γαλλία	1091826	1156285	1327965	1439675
Γερμανία	1543198	1720460	1900221	1961788
Δανία	123886	139062	160083	171127
Εκουαδόρ	13331	15211	15942	20758
Ελβετία	221699	222597	246050	259575
Ελλάδα	114399	121711	144199	178267
Ηνωμένα Αραβικά Εμιρά- τα	46397	54822	70591	104151
Ηνωμένες Πολιτείες	7055000	7972800	9764800	10995800
Ηνωμένο Βασίλειο	1135352	1232583	1442317	1628133
Ιαπωνία	4122341	4445371	4667448	4978244
Ινδία	270482	346575	460195	644107
Ινδονησία	109150	159382	165021	207872
Ιορδανία	5129	7228	8464	11387
Ιράν	70294	83073	101287	132560
Ιρλανδία	48336	60624	96327	124104

Ισλανδία	6742	6831	8676	10671
Ισπανία	440640	474853	580673	680835
Ιταλία	937378	998499	1097344	1135778
Καναδάς	543650	592058	724919	822393
Κίνα	444601	792789	1198480	1893360
Κορέα	283561	413011	511658	639392
Λουξεμβούργο	12401	15054	20270	23562
Μεξικό	413325	445845	581426	635322
Μπαγκλαντές	29472	36536	47097	61356
Νέα Ζηλανδία	39825	46413	52674	62414
Νορβηγία	116967	140453	168288	187692
Ολλανδία	281955	315806	385075	407951
Ουγγαρία	44378	39373	47944	59214
Ουγκάντα	3077	4317	5926	7795
Ουρουγουάη	15351	18619	20671	21644
Πακιστάν	50249	63001	73952	94357
Περού	36090	47131	53290	65353
Πολωνία	118070	131634	171319	199414
Πορτογαλία	84737	92207	112650	117023
Ρουμανία	43990	39503	37053	48864
Σενεγάλη	3463	3837	4692	5891
Σουηδία	199581	206419	242004	271836
Ταϊλάνδη	79360	120006	122725	157110
Τουρκία	140541	164603	199749	246818
Φιλανδία	100289	96536	121865	138127
Φιλιππίνες	56230	62591	75913	94446
Χιλή	40759	61819	75775	93195

Ακολουθούν οι τιμές των μη επιθυμητών εκροών. Πρώτα παρουσιάζονται οι τιμές για την μεταβλητή «εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα».

Πίνακας Α4: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα
Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Χώρα	Έτος			
	1990	1995	2000	2005
Αίγυπτος	88367	94859	123231	163516
Αλβανία	6634	1969	3268	4896
Αλγερία	71593	77232	84037	95648
Αργεντινή	106943	122099	138442	145968
Αυστραλία	263663	283568	343784	381650
Αυστρία	60213	62390	65617	79544
Βέλγιο	112227	118813	122568	115194
Βενεζουέλα	114853	129522	141923	154756
Βολιβία	5926	9515	8648	12914
Βουλγαρία	77563	54576	43221	47170
Βραζιλία	208307	254897	328483	352041
Γαλλία	368533	367141	389326	399004
Γερμανία	968822	898528	850888	828842
Δανία	51718	59508	51656	48986
Εκουαδόρ	15602	19394	21125	26701
Ελβετία	43900	43586	44072	46987

Ελλάδα	77362	80442	95460	103150
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	53931	71448	88594	115956
Ηνωμένες Πολιτείες	4909410	5182050	5769203	5891884
Ηνωμένο Βασίλειο	564984	537621	531499	538666
Ιαπωνία	1100072	1186113	1212613	1248953
Ινδία	621330	815871	1020171	1221665
Ινδονησία	157530	214975	291280	367396
Ιορδανία	10109	13878	15606	19916
Ιράν	184315	278747	335988	447058
Ιρλανδία	31735	34093	42697	45766
Ισλανδία	1959	2010	2233	2258
Ισπανία	221488	249021	304648	366856
Ιταλία	418314	427502	445220	477148
Καναδάς	438758	471077	540862	559115
Κίνα	2315654	3223156	3335360	5577549
Κορέα	243907	389473	450345	474542
Λουξεμβούργο	10856	8606	8494	11724
Μεξικό	305056	326320	384062	410629
Μπαγκλαντές	13729	20600	26986	38885
Νέα Ζηλανδία	21886	24993	32984	35466
Νορβηγία	30412	34713	36325	38870
Ολλανδία	160102	173568	175466	184154
Ουγγαρία	72530	60426	57219	59464
Ουγκάντα	817	956	1524	2308
Ουρουγουάη	3999	4831	5648	5774
Πακιστάν	64780	84364	102717	127376
Περου	20806	25983	28636	31099
Πολωνία	355677	340	300412	302128
Πορτογαλία	43240	52811	65169	67498
Ρουμανία	171628	120357	89494	94468
Σενεγάλη	2365	2815	4257	5477
Σουηδία	54588	59497	54906	52250
Ταϊλάνδη	87605	158668	170566	233175
Τουρκία	140843	172096	220695	240269
Φιλανδία	55805	56984	54860	56082
Φιλιππίνες	39211	64721	74892	83242
Χιλή	33352	40896	55059	60744

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τις τιμές για την μεταβλητή «εκπομπές μεθανίου»

Πίνακας Α5: Εκπομπές μεθανίου

Χώρα	Εκπομπές μεθανίου			
	1990	1995	2000	2005
Αίγυπτος	24409,9	29386,8	34326,1	37958,7
Αλβανία	2336,4	2413,9	2506,5	2935,0
Αλγερία	19098,9	20930,5	26237,9	27576,9
Αργεντινή	78092,5	83656,3	90267,0	95115,5
Αυστραλία	114111,7	112636,2	124552,1	128859,6
Αυστρία	9873,7	9159,0	8188,2	8098,7
Βέλγιο	10789,0	10746,0	9787,9	9144,8
Βενεζουέλα	56953,8	64516,1	73596,4	83780,0

Βολιβία	19084,3	19994,1	31568,4	33099,8
Βουλγαρία	21493,3	14330,8	9170,1	10324,2
Βραζιλία	291187,5	305195,6	365569,3	389094,7
Γαλλία	69971,7	69810,4	64545,4	60926,8
Γερμανία	132640,7	105056,5	83100,5	68535,5
Δανία	5819,8	6153,0	5987,4	5581,8
Εκουαδόρ	13743,0	15755,0	14246,8	15456,5
Ελβετία	4508,3	4086,8	3786,3	3645,5
Ελλάδα	10430,2	10775,4	10390,8	9725,8
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	20838,0	29004,2	35650,8	41288,4
Ηνωμένες Πολιτείες	599322,2	592936,6	546448,7	521044,9
Ηνωμένο Βασίλειο	77520,5	66023,3	49991,8	46233,5
Ιαπωνία	24814,0	23433,3	20902,3	20889,5
Ινδία	428643,2	460456,1	498143,1	547722,1
Ινδονησία	138169,3	158604,8	170666,1	183024,5
Ιορδανία	1324,6	1834,0	1936,1	2160,0
Ιράν	46920,4	59988,0	68651,0	95711,0
Ιρλανδία	12250,3	12951,8	13226,3	11860,3
Ισλανδία	431,6	485,4	507,9	509,2
Ισπανία	29378,3	31329,3	35606,2	36632,5
Ιταλία	39300,2	38476,4	38258,3	34568,6
Καναδάς	77673,7	118893,6	96569,3	102008,7
Κίνα	749070,5	802079,9	788150,8	853305,1
Κορέα	46038,3	33204,3	31524,0	33403,5
Λουξεμβούργο	477,8	475,0	555,4	557,2
Μεξικό	133123,8	137223,7	161097,6	184832,5
Μπαγκλαντές	43684,4	44683,8	48648,4	53561,7
Νέα Ζηλανδία	25305,7	25522,5	26185,2	27304,5
Νορβηγία	5156,6	5382,2	5313,4	5357,4
Ολλανδία	25774,4	23923,3	19618,3	17328,0
Ουγγαρία	12064,7	10194,0	10245,6	10864,8
Ουγκάντα	9536,3	10549,7	12137,6	13410,4
Ουρουγουάη	15273,4	17971,3	18411,2	19882,1
Πακιστάν	68919,2	77085,5	88323,9	97751,9
Περού	16912,7	17652,7	19139,7	20597,7
Πολωνία	59244,3	51997,4	46261,7	46407,0
Πορτογαλία	10471,3	11297,0	10495,9	8622,8
Ρουμανία	44614,2	30810,5	24644,8	26617,5
Σενεγάλη	6851,6	7678,0	8223,1	9136,7
Σουηδία	6591,6	6524,3	5837,3	5703,3
Ταϊλάνδη	79923,3	82342,8	87783,3	91601,0
Τουρκία	74761,9	82628,0	90790,5	105264,0
Φιλανδία	6488,2	6268,6	5488,0	5221,2
Φιλιππίνες	35659,4	37747,6	37472,8	41159,0
Χιλή	12584,6	13461,0	13633,0	14801,2

Ακολουθούν οι τιμές των εκπομπών του υποξειδίου του αζώτου.

Πίνακας Α6: Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου

Χώρα	Εκπομπές υποξειδίου του αζώτου			
	1990	1995	2000	2005
Αίγυπτος	11456,2	13812,8	15965,8	17667,9
Αλβανία	124,3	102,2	714,6	1326,2
Αλγερία	9698,8	9561,7	11022,9	12401,8
Αργεντινή	56617,8	58179,0	63966,5	75642,2
Αυστραλία	20499,1	22646,4	30365,7	32051,1
Αυστρία	5739,6	6143,8	5770,4	5764,0
Βέλγιο	13055,9	13096,8	12881,1	12140,2
Βενεζουέλα	27723,4	23560,5	22546,1	24483,8
Βολιβία	5874,7	5735,3	16833,9	16887,9
Βουλγαρία	12981,3	8282,0	6767,7	8672,8
Βραζιλία	183075,0	194288,4	241428,2	264476,4
Γαλλία	93556,3	92630,3	80959,4	79935,4
Γερμανία	86586,0	80940,0	62263,0	63571,8
Δανία	10779,1	9692,4	8654,6	7810,4
Εκουαδόρ	2957,6	2776,3	889,6	946,6
Ελβετία	3355,4	3250,3	3195,7	3005,1
Ελλάδα	14287,7	13164,7	13446,8	12987,0
Ηνωμένα Αραβικά Ε- μράτα	103,3	119,9	136,3	154,6
Ηνωμένες Πολιτείες	376416,1	385089,8	395616,0	375857,0
Ηνωμένο Βασίλειο	67933,5	57118,6	44894,9	45704,9
Ιαπωνία	40150,8	40574,7	37416,3	35569,8
Ινδία	51113,3	54359,7	67065,6	71291,4
Ινδονησία	36528,9	36720,8	40839,4	42433,0
Ιορδανία	120,9	204,7	225,1	240,1
Ιράν	14059,5	15571,1	18309,1	22821,9
Ιρλανδία	10032,4	10555,0	11309,9	11139,0
Ισλανδία	365,3	344,2	353,9	352,2
Ισπανία	24327,1	22941,9	27768,1	28848,7
Ιταλία	40219,9	41095,8	43075,0	44668,9
Καναδάς	52331,4	62754,0	52057,6	57704,8
Κίνα	521065,5	626433,1	645393,1	684088,7
Κορέα	13197,4	14451,1	15408,0	16856,2
Λουξεμβούργο	184,7	203,4	218,2	218,3
Μεξικό	19887,5	17419,3	24469,4	26779,8
Μπαγκλαντές	32696,6	41985,1	45841,4	49645,4
Νέα Ζηλανδία	10407,4	11383,6	12288,8	13954,8
Νορβηγία	5065,1	4798,3	5222,0	5206,8
Ολλανδία	21345,4	22433,4	19906,7	19964,4
Ουγγαρία	19134,2	12618,8	12802,4	12985,1
Ουγκάντα	10159,8	9797,5	12825,6	14853,9
Ουρουγουάη	10619,0	8133,8	14380,0	16100,3
Πακιστάν	10594,6	13498,9	14591,9	14741,1
Περού	12248,8	16356,3	21299,3	23566,3
Πολωνία	28496,9	25006,2	24034,4	25011,8
Πορτογαλία	6120,1	6114,2	6054,0	6397,3
Ρουμανία	20070,2	11176,0	8258,0	9205,2
Σενεγάλη	4778,2	5731,2	6394,3	6475,9
Σουηδία	8904,8	8703,3	8261,3	8189,2
Ταϊλάνδη	18104,3	20131,0	23198,6	24299,2

Τουρκία	45974,7	41777,5	40625,3	46314,9
Φιλανδία	7654,1	7246,4	6546,5	6637,7
Φιλιππίνες	12338,0	15306,1	14330,6	15296,9
Χιλή	5513,6	6621,1	7055,3	7861,3

Η τελευταία μη επιθυμητή εκροή είναι οι εκπομπές High Global Warming Potential (High GWP), οι τιμές της μεταβλητής βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας Α8: Εκπομπές High GWP
High GWP

Χώρα	Έτος			
	1990	1995	2000	2005
Αίγυπτος	0,53	0,34	0,62	1,68
Αλβανία	0,01	0,01	0,01	0,02
Αλγερία	0,03	0,07	0,39	0,99
Αργεντινή	0,92	0,45	0,77	1,57
Αυστραλία	5,04	4,02	5,44	5,89
Αυστρία	0,47	0,66	0,96	1,24
Βέλγιο	0,10	0,58	0,98	1,48
Βενεζουέλα	3,03	1,95	1,86	3,08
Βολιβία	0,00	0,01	0,01	0,03
Βουλγαρία	0,08	0,11	0,23	0,50
Βραζιλία	7,37	9,18	6,30	7,79
Γαλλία	8,20	8,35	6,74	10,30
Γερμανία	5,62	10,50	10,23	15,94
Δανία	0,06	0,37	0,64	0,97
Εκουαδόρ	0,01	0,02	0,07	0,19
Ελβετία	0,29	0,27	0,46	0,74
Ελλάδα	0,89	1,33	2,40	2,17
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	0,37	0,20	0,25	1,61
Ηνωμένες Πολιτείες	90,52	94,86	134,74	157,44
Ηνωμένο Βασίλειο	4,91	10,00	7,59	9,06
Ιαπωνία	15,07	28,41	41,91	35,36
Ινδία	2,66	4,03	6,92	11,61
Ινδονησία	0,39	0,29	0,50	1,48
Ιορδανία	0,01	0,02	0,10	0,25
Ιράν	0,24	0,19	0,22	0,72
Ιρλανδία	0,08	0,20	0,33	0,49
Ισλανδία	0,20	0,13	0,15	0,17
Ισπανία	6,78	6,43	6,79	6,14
Ιταλία	5,49	6,97	7,44	9,08
Καναδάς	9,87	9,18	11,53	11,14
Κίνα	7,91	10,39	49,62	100,27
Κορέα	2,65	5,06	12,70	20,45
Λουξεμβούργο	0,01	0,03	0,05	0,08
Μεξικό	1,45	1,43	4,44	7,67
Μπαγκλαντές	0,01	0,02	0,05	0,13
Νέα Ζηλανδία	1,15	0,62	0,73	0,82
Νορβηγία	5,46	3,15	3,05	1,96
Ολλανδία	8,48	7,86	4,12	2,87

Ουγγαρία	0,17	0,21	0,45	0,82
Ουγκάντα	0,00	0,00	0,00	0,01
Ουρουγουάη	0,01	0,02	0,09	0,24
Πακιστάν	0,07	0,10	0,25	0,71
Περού	0,02	0,04	0,14	0,37
Πολωνία	0,29	0,27	0,57	1,00
Πορτογαλία	0,05	0,21	0,35	0,52
Ρουμανία	3,61	1,24	1,50	0,58
Σενεγάλη	0,00	0,00	0,02	0,04
Σουηδία	0,43	0,50	0,63	0,81
Ταϊλάνδη	0,08	0,21	0,83	2,22
Τουρκία	0,33	0,28	0,57	1,30
Φιλανδία	0,05	0,17	0,28	0,38
Φιλιππίνες	0,04	0,14	0,76	2,00
Χιλή	0,04	0,05	0,15	0,42

Παράρτημα Β

Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται οι περιβαλλοντικές αποδοτικότητες των χωρών για τα τέσσερα έτη. Οι χώρες είναι χωρισμένες σε αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες. Στο τέλος κάθε πίνακα παρουσιάζονται οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των περιβαλλοντικών αποδοτικότητων της κάθε ομάδας χωρών.

Πίνακας Β1: Περιβαλλοντικές αποδοτικότητες αναπτυγμένων χωρών
Έτος

Χώρα	1990	1995	2000	2005
Αυστραλία	0,0943	0,0823	0,0836	0,7847
Αυστρία	0,2058	0,1871	0,2146	0,2253
Βέλγιο	0,1836	0,172	0,1915	0,201
Γαλλία	0,6612	0,3942	0,8436	0,8444
Γερμανία	0,1053	0,7206	0,3655	0,7498
Δανία	0,2674	0,008	0,2758	0,2932
Ελβετία	0,1793	0,18	1	0,2212
Ελλάδα	0,1885	0,1849	0,1747	0,1794
Ηνωμένες Πολιτείες	1	1	1	1
Ηνωμένο Βασίλειο	0,7089	0,8845	0,9074	0,9236
Ιαπωνία	0,604	0,6981	0,6905	0,7434
Ιρλανδία	0,6004	0,5211	0,5003	0,0158
Ισλανδία	0,016	0,1493	0,1828	0,1696
Ισπανία	0,6149	0,0456	0,0456	0,047
Ιταλία	0,0293	0,0298	0,7546	0,7396
Καναδάς	0,7497	0,0491	0,0499	0,0506
Κορέα	0,0405	0,0355	0,0346	0,0347
Λουξεμβούργο	0,0099	0,0598	0,5163	0,0748
Νέα Ζηλανδία	0,0019	0,1309	0,1349	0,4457
Νορβηγία	0,024	0,0274	0,027	0,3575
Ολλανδία	0,0869	0,0777	0,074	0,115
Πορτογαλία	0,1635	0,0083	0,6796	0,1709
Σουηδία	0,1594	0,156	0,1701	0,1785
Φιλανδία	0,2555	0,2835	0,3116	0,3333
Μέσος Όρος	0,2895	0,2535	0,3845	0,3707
Τυπική απόκλιση	0,2916	0,2928	0,3317	0,3199

Πίνακας Β2: Περιβαλλοντικές αποδοτικότητες αναπτυσσόμενων χωρών
Έτος

Χώρα	1990	1995	2000	2005
Αίγυπτος	0,5114	0,05	0,0488	0,0469
Αλβανία	1	1	1	1
Αλγερία	0,1138	0,1068	0,5307	0,0926
Αργεντινή	0,0667	0,0623	0,0581	0,0571
Βενεζουέλα	0,1123	0,102	0,0914	0,0872
Βολιβία	0,3162	0,1631	0,1934	0,438
Βουλγαρία	0,1809	0,2696	0,3391	0,3254
Βραζιλία	0,0124	0,013	0,0128	0,0131

Εκουαδór	0,2211	0,2268	0,0687	0,2214
Ηνωμένα Αραβικά				
Εμιράτα	0,7329	0,6104	0,5336	0,5156
Ινδία	0,0031	0,0048	0,005	0,0042
Ινδονησία	0,3967	0,0136	0,0148	0,0153
Ιορδανία	0,0074	0,7234	0,6034	0,562
Ιράν	0,0487	0,0473	0,0451	0,4218
Κίνα	0,0019	0,002	0,3225	0,3587
Μεξικό	0,0264	0,0242	0,0227	0,0217
Μπαγκλαντές	0,019	0,0411	0,0445	0,0392
Ουγγαρία	0,167	0,1852	0,03	0,2013
Ουγκάντα	0,1779	0,3162	0,3494	0,3234
Ουρουγουάη	0,5854	0,6008	0,5936	0,6186
Πακιστάν	0,021	0,0314	0,0367	0,0379
Περού	0,9768	0,1108	0,5379	0,1031
Πολωνία	0,9533	0,0491	0,0484	0,0499
Ρουμανία	0,795	0,1015	0,1117	0,1141
Σενεγάλη	0,4789	0,225	0,4895	0,4567
Ταϊλάνδη	0,2002	0,0266	0,0277	0,3628
Τουρκία	0,0332	0,0323	0,0305	0,0299
Φιλιππίνες	0,326	0,0425	0,0443	0,0213
Χιλή	0,1605	0,0153	0,1442	0,1394
Μέσος Όρος	0,2981	0,1792	0,2199	0,2302
Τυπική απόκλιση	0,3214	0,2481	0,2572	0,2418

Παράρτημα Γ

Στην αρχή θα ελέγξουμε αν οι τιμές των περιβαλλοντικών αποδοτικότητας κατανέμονται κανονικά, κάτι που γίνεται με το τεστ Kolmogorov- Smirnov⁸. Οι δύο υποθέσεις που κάνουμε στο τεστ αυτό είναι:

H_0 : οι τιμές κατανέμονται κανονικά

H_1 : οι τιμές δεν κατανέμονται κανονικά

Το αποτέλεσμα του Kolmogorov - Smirnov τεστ βρίσκεται παρακάτω.

Πίνακας Γ1: Αποτελέσματα του τεστ Kolmogorov – Smirnov

Kolmogorov-Smirnov	
P-value	0,000

Όπως παρατηρούμε το p-value του τεστ (0,000) είναι ίσο με το μηδέν και σαφέστατα μικρότερο από τα γνωστά μας α (0,01, 0,05, 0,1). Άρα απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση και οι τιμές των περιβαλλοντικών αποδοτικότητας δεν κατανέμονται κανονικά.

Για να ελέγξουμε αν διαφέρουν τα δύο μοντέλα (CRS, VRS) στατιστικά μεταξύ τους κάνουμε ένα μη παραμετρικό τεστ και συγκεκριμένα το τεστ Mann-Whitney⁹. Οι υποθέσεις που κάνουμε είναι:

H_0 : Οι δύο πληθυσμοί είναι ίδιοι

H_1 : Οι δύο πληθυσμοί είναι διαφορετικοί

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του τεστ για τα τέσσερα έτη.

Για το έτος 1990:

Πίνακας Γ2: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 1990

Wilcoxon/Mann-Whitney	1990
P-value	0,0632

Όπως βλέπουμε το p-value του τεστ (0,0632) είναι μεγαλύτερο από το α (0,01 και 0,05) οπότε δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση και οι δύο πληθυσμοί είναι ίδιοι (Χάλκος, 2000).

Για το έτος 1995:

Πίνακας Γ3: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 1995

Wilcoxon/Mann-Whitney	1995
P-value	0,4870

⁸ Τα αποτελέσματα προέρχονται από το στατιστικό πρόγραμμα SPSS 17.0.

⁹ Τα αποτελέσματα του τεστ Mann-Whitney, όπου χρησιμοποιήθηκε αυτό, προέρχονται από το οικονομετρικό πρόγραμμα E-views 7.

Εδώ βλέπουμε ότι το p-value του τεστ (0,4870) είναι μεγαλύτερο από όλα τα α , όπου α όλα τα γνωστά επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας (0,01, 0,05, 0,1), άρα δεν απορρίπτουμε την H_0 και οι πληθυσμοί και σε αυτή την περίπτωση είναι ίδιοι (Χάλκος, 2000).

Για το έτος 2000:

Πίνακας Γ4: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 2000

Wilcoxon/Mann-Whitney	2000
P-value	0,6066

Το p-value του τεστ (0,6066) είναι μεγαλύτερο από όλα τα α (0,01, 0,05, 0,1) άρα δεν απορρίπτουμε την H_0 και οι πληθυσμοί και για το έτος 2000 είναι ίδιοι (Χάλκος, 2000).

Για το έτος 2005:

Πίνακας Γ5: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 2005

Wilcoxon/Mann-Whitney	2005
P-value	0,3764

Τέλος και για το έτος 2005 οι πληθυσμοί είναι ίδιοι καθώς δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση επειδή το p-value του τεστ (0,3764) είναι μεγαλύτερο από κάθε α (Χάλκος, 2000).

Τώρα θα ελεγχθούν αν διαφέρουν στατιστικά τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών αποδοτικότητων των αναπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων χωρών. Ο έλεγχος, και σε αυτή την περίπτωση, γίνεται με το μη παραμετρικό τεστ Mann-Whitney.

Για το 1990:

Πίνακας Γ6: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 1990

Wilcoxon/Mann-Whitney	1990
P-value	0,8793

Όπως βλέπουμε το p-value (0,8793) του τεστ είναι μεγαλύτερο από το α άποτε τα αποτελέσματα των δύο ομάδων δεν διαφέρουν στατιστικά (Χάλκος, 2000).

Για το 1995:

Πίνακας Γ7: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 1995

Wilcoxon/Mann-Whitney	1995
P-value	0,2210

Και για το 1995 το p-value (0,2210) του τεστ είναι μεγαλύτερο από το α , άρα ούτε εδώ τα αποτελέσματα των αναπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων χωρών διαφέρουν στατιστικά (Χάλκος, 2000).

Για το 2000:

Πίνακας Γ8: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 2000

Wilcoxon/Mann-Whitney	2000
P-value	0,0227

Το p-value (0,0227) είναι μεγαλύτερο από το α (0,01) κάτι που μας δείχνει ότι τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών αποδοτικότητων δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους (Χάλκος, 2000).

Για το 2005:

Πίνακας Γ9: Αποτελέσματα του τεστ Wilcoxon/Mann-Whitney για το 2005

Wilcoxon/Mann-Whitney	2005
P-value	0,0769

Τέλος και το 2005 τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν στατιστικά καθώς το p-value (0,0769) είναι μεγαλύτερο από το α (0,05, 0,01) και δεν απορρίπτουμε την μηδενική υπόθεση (Χάλκος, 2000).