

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Σχολή Οικονομικών Επιστημών

Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Διοίκηση
«Ηλεκτρονικό Επιχειρείν και Ψηφιακό Μάρκετινγκ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

*Επενδύσεις στην καθαρή ενέργεια και απεξάρτηση από τα ορυκτά
καύσιμα. Μελέτη μακροοικονομικών μεγεθών υπό το πρίσμα της
περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets.*

(υποβλήθηκε στο Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας –
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας)

KOZANH 2023

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Σχολή Οικονομικών Επιστημών

Τμήμα Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Διοίκηση
«Ηλεκτρονικό Επιχειρείν και Ψηφιακό Μάρκετινγκ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

*Επενδύσεις στην καθαρή ενέργεια και απεξάρτηση από τα ορυκτά
καύσιμα. Μελέτη μακροοικονομικών μεγεθών υπό το πρίσμα της
περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets.*

Τριανταφυλλίδης Κωνσταντίνος Α.Μ.: MPP00061

Επιβλέπων Καθηγητής:

Σπινθηρόπουλος Κωνσταντίνος

Διμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Αντωνιάδης Ιωάννης

Σαπρίκης Ευάγγελος

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Διπλωματική Εργασία μου και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η εργασία μου προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα & Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

.....

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):



.....

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος):

18-07-2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται πλέον από κορυφαίους επιστήμονες ως η σημαντικότερη απειλή για το μέλλον της ανθρωπότητας. Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε σύγκριση με την προβιομηχανική εποχή είναι σημαντική και ικανή για μεγάλες καταστροφές στο περιβάλλον μας. Στη διπλωματική παρουσιάζεται η σημασία της χρήσης πιο βιώσιμων πηγών ενέργειας ως μέθοδοι απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Τέτοιες πηγές είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική ενέργεια και η βιοενέργεια. Παρουσιάζονται επίσης τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της χρήσης της καθαρής ενέργειας για να κατανοηθεί η σημαντικότητα χρήσης των ΑΠΕ. Ο κλιματικός κίνδυνος θα βρεθεί σίγουρα στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος του χρηματοπιστωτικού κλάδου τα επόμενα χρόνια. Σε αυτή την κατεύθυνση παρουσιάζονται οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ και η βιβλιογραφική επισκόπηση που διέπει την πολύπλοκη σχέση μεταξύ της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της οικονομικής ανάπτυξης. Η Περιβαλλοντική Καμπύλη Kuznets η οποία είναι μια υποθετική σχέση μεταξύ διαφόρων δεικτών περιβαλλοντικής υποβάθμισης και του κατά κεφαλήν εισοδήματος, δείχνει τη σχέση περιβάλλοντος και οικονομικής ανάπτυξης είναι ο βασικό πυλώνας της διπλωματικής εργασίας. Η έννοια της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets στις αρχές της δεκαετίας του 1990 για τις πιθανές επιπτώσεις της NAFTA και για την Παγκόσμια Έκθεση για την Ανάπτυξη του 1992. Η σύγχρονη κοινωνία δεν μπορεί να μεταβεί εύκολα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με βασικούς λόγους την ενεργειακή πυκνότητα, τη διαλείπουσα ενέργεια, την τοποθεσία, τα σημεία συμφόρησης στις μεταφορές, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη διαθεσιμότητα γης, οι οποίοι συζητούνται σε διάφορες εργασίες. Στο μοντέλο της πρόβλεψης της Καμπύλη Kuznets χρησιμοποιούνται οι εκπομπές, ο πληθυσμός, και οι παράμετροι παρεμβολής που ποικίλλουν μεταξύ των χωρών ή των περιφερειών και ετών. Στη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα του ΟΟΣΑ που αφορούν τον πληθυσμό των χωρών, τις εκπομπές σε CO₂ και το ΑΕΠ τους από το 1990 ως το 2021. Τα δεδομένα κωδικοποιήθηκαν κατάλληλα, ενοποιήθηκαν σε μια ενιαία database με κοινά έτη, υπολογίστηκε ο λογάριθμος του κάθε μεγέθους και περάστηκαν στο SPSS για να πραγματοποιηθεί η παλινδρόμηση για την κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παλινδρόμησης έδειξαν ότι η καμπύλη δεν μπορεί να προβλέψει σε όλες τις

περιπτώσεις την περιβαλλοντική όχληση. Οι περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ως παραδείγματα ήταν η Αυστρία, ο Καναδάς, η Γαλλία, η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ιαπωνία, το Μεξικό, η Σουηδία και οι ΗΠΑ . Για κάθε περίπτωση χώρας διενεργείται παλινδρόμηση για να διαπιστωθεί η σημαντικότητα πρόβλεψης. Η πειραματική μελέτη έδειξε ότι από τις 9 περιπτώσεις χωρών που εξετάστηκαν από τα έτη 1990 ως 2021, μονάχα οι 3 από αυτές επιβεβαιώνουν πλήρως την πρόβλεψη για την καμπύλη. Στις υπόλοιπες 6, για την πλειοψηφία των περιπτώσεων, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική πρόβλεψη για την καμπύλη.

Λέξεις-Κλειδιά: Καμπύλη KUZNETS, ΕΚC, Περιβαλλοντική βιωσιμότητα, Ανάλυση παλινδρόμησης.

ABSTRACT

Climate change is now considered by leading scientists to be the most important threat to the future of humanity. The increase in global temperature compared to the pre-industrial era is significant and capable of great destruction to our environment. Diplomacy presents the importance of using more sustainable energy sources as methods of weaning off fossil fuels. Such sources are solar, wind, hydroelectric, geothermal and bioenergy. The advantages and limitations of using clean energy are also presented to understand the importance of using RES. Climate risk will certainly be at the center of the financial industry's attention in the coming years. In this direction, the Sustainable Development Goals of the UN and the literature review governing the complex relationship between environmental sustainability and economic development are presented. The Environmental Kuznets Curve which is a hypothetical relationship between various indicators of environmental degradation and per capita income, shows the relationship between environment and economic development is the main pillar of the thesis. The concept of the environmental Kuznets curve in the early 1990s for the possible effects of NAFTA and for the World Development Report 1992. Modern society cannot easily transition to renewable energy sources, with key reasons being energy density, intermittent energy, location, transport bottlenecks, environmental impacts and land availability, which are discussed in various papers. The Kuznets Curve forecast model uses emissions, population, and interpolation parameters that vary across countries or regions and years. In the thesis, real data from the OECD concerning the population of the countries, their CO₂ emissions and their GDP from 1990 to 2021 were used. The data were coded appropriately, consolidated into a single database with common years, the logarithm of each was calculated size and passed to SPSS to perform the regression for each case. The results of the regression analysis showed that the curve cannot predict in all cases the environmental nuisance. The cases used as examples were Austria, Canada, France, Greece, Italy, Japan, Mexico, Sweden and the USA. For each country case a regression is performed to determine predictive significance. The experimental study showed that of the 9 cases of countries examined from the years 1990 to 2021, only 3 of them fully confirm the prediction for the curve. In the remaining 6, for the majority of cases, no statistically significant curve prediction emerged.

Keywords: KUZNETS curve, EKC, Environmental sustainability, Regression analysis.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	7
Κεφάλαιο 1ο.....	10
Κεφάλαιο 2ο.....	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Η γένεση των ορυκτών καυσίμων.....	13
Κεφάλαιο 3ο.....	16
3.1 Εισαγωγή.....	16
3.2 Πηγές καθαρής ενέργειας.....	16
3.3 Περιορισμοί.....	18
Κεφάλαιο 4ο.....	19
4.1 Εισαγωγή.....	19
4.2 Ανθρώπινος πληθυσμός, ενέργεια και ορυκτά καύσιμα	20
4.3 Προκλήσεις της οικονομίας: Εξάντληση και Κλιματική Αλλαγή. 21	
4.3.1 Επιπτώσεις της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων	22
4.3.2 Χρήση ορυκτών καυσίμων και κλιματική αλλαγή	23
4.4 Λόγοι για τους οποίους η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα είναι δύσκολη	24
4.4.1 Ενεργειακή πυκνότητα (δυναμικότητα).....	24
4.4.2 Διαλείψεις	25
4.4.3 Τοποθεσία.....	25
4.4.4 Εμπόδια στις μεταφορές.....	26
4.4.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	27
4.4.6 Διαθεσιμότητα γης.....	27
Κεφάλαιο 5ο.....	29
5.1 Διαχείριση Κλιματικού Κινδύνου	29

5.2	Ευθυγράμμιση με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης	30
5.3	Χρηματοοικονομική καινοτομία.....	31
5.4	Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	32
Κεφάλαιο 6ο.....		35
6.1	Εισαγωγή στην περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets	35
6.2	Θεωρητικό υπόβαθρο	36
6.3	Οικονομετρικό πλαίσιο.....	38
6.4	Αποτελέσματα μελετών περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets... ..	39
6.5	Θεωρητική κριτική των περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets.....	42
6.6	Οικονομετρική κριτική της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets	44
Κεφάλαιο 7ο.....		46
Κεφάλαιο 8ο.....		56
8.1	Σύνοψη και συμπεράσματα	56
8.2	Όρια και περιορισμοί της έρευνας	57
8.3	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Διάγραμμα 1: Περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets για τις εκπομπές θείου. 35

Κεφάλαιο 1ο

Καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει μια πειστική επενδυτική πρόταση, οι επενδύσεις σε νέα καθαρή ενέργεια αυξήθηκαν από λιγότερα από 50 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ ετησίως το 2004 σε περίπου 300 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ ετησίως την τελευταία δεκαετία, ξεπερνώντας τις επενδύσεις σε νέα ενέργεια από ορυκτά καύσιμα κατά τρεις φορές το 2018. Ωστόσο, οι επενδύσεις στην καθαρή ενέργεια παραμένουν κάτω από τις δυνατότητές τους. Στη βάση υγιών ευνοϊκών πλαισίων πολιτικής, η κλιμάκωση των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την επιτάχυνση του παγκόσμιου ενεργειακού μετασχηματισμού και αποφέρει πολυάριθμα οφέλη, ενώ παράλληλα επιτυγχάνονται οι στόχοι της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης (IRENA 2020). Οι ετήσιες επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια παγκοσμίως θα πρέπει να τριπλασιαστούν έως το 2030 σε περίπου 4 τρισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ για να επιτευχθεί ουδετερότητα ως προς τον άνθρακα έως το 2050 (Lyu et al. 2021).

Το χάσμα μεταξύ των σημερινών προτύπων επενδύσεων σε καθαρή ενέργεια και μιας βιώσιμης πορείας είναι τεράστιο. Οι επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια θα πρέπει να διπλασιαστούν τη δεκαετία του 2020 για να διατηρηθεί η άνοδος της θερμοκρασίας κάτω από τους 2 °C και να υπερτριπλασιαστούν για να παραμείνει ανοιχτή η πόρτα για σταθεροποίηση του 1,5 °C. Η δυναμική από τις υποσχέσεις για καθαρό μηδενισμό και τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη δεν έχει ακόμη μεταφραστεί σε τεράστια επέκταση των πραγματικών δαπανών για έργα καθαρής ενέργειας. Οι επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια σημειώνουν μια μέτρια αύξηση- ωστόσο, παραμένουν πολύ κατώτερες από αυτές που θα χρειαστούν για να αποφευχθούν οι αυστηρές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Τα 750 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ που αναμένεται να επενδυθούν σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας και αποδοτικότητας παγκοσμίως το 2021 παραμένουν πολύ κάτω από αυτό που απαιτείται σε σενάρια που βασίζονται στο κλίμα (Yang & Khan, 2022).

Η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη, συμπεριλαμβανομένης της χρηματοδότησης για το κλίμα, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη γεφύρωση του χρηματοδοτικού χάσματος και στην προσέλκυση περαιτέρω επενδύσεων από τον ιδιωτικό τομέα στις καθарές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αντιμετωπίζοντας βασικά εμπόδια και κινδύνους. Το 2013-2018, η χειρσαία αιολική και η ηλιακή φωτοβολταϊκή ενέργεια εδραίωσαν την κυριαρχία τους, προσελκύοντας το 46% και το 29% των παγκόσμιων επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι επενδύσεις στην υπεράκτια αιολική ενέργεια αυξήθηκαν, προσελκύοντας το 7% του συνόλου, ακολουθούμενες από την ηλιοθερμική ενέργεια με 6%. Άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που περιλαμβάνουν τη βιομάζα, την υδροηλεκτρική ενέργεια, τη γεωθερμία, τα βιοκαύσιμα, τη θαλάσσια και τη γεωθερμική ενέργεια, συνεισέφεραν μόνο το 7% των συνολικών επενδύσεων σε καθαρή ενέργεια το 2013-2018, με την υδροηλεκτρική ενέργεια να αποτελεί κάπως κεντρικό τμήμα του συνόλου (Khan & Hou, 2021).

Με ένα καθαρότερο, χωρίς αποκλεισμούς ενεργειακό μέλλον και μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της ενεργειακής βιωσιμότητας και της βιώσιμης ανάπτυξης, ο κόσμος δεν

σημειώνει καλή πρόοδο στην υλοποίηση των αποτελεσμάτων των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals - SDG) των Ηνωμένων Εθνών. Ειδικότερα, οι πιο στενά συνδεδεμένοι SDG με τον τομέα της ενέργειας είναι ο SDG -7, η καθολική πρόσβαση σε καθαρή ενέργεια, μέρος του SDG -3 που μειώνει τις σοβαρές επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία, και ο SDG -13 που αφορά την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης απαιτούν νέες ετήσιες επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια ύψους 40 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ μεταξύ 2021 και 2030 για την επίτευξη καθολικής πρόσβασης, αποκεντρωμένων και απαλλαγμένων από τις ανθρακούχες εκπομπές λύσεων. Η επίτευξη καθολικής πρόσβασης θα αλλάξει τη ζωή εκατοντάδων χιλιάδων ανθρώπων και θα συμπυκνώσει τις σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία (Khan & Hou, 2021).

Κεφάλαιο 2ο

2.1 Εισαγωγή

Το ορυκτό καύσιμο είναι ένα υλικό που περιέχει υδρογονάνθρακες, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, το οποίο σχηματίζεται με φυσικό τρόπο στο φλοιό της Γης από τα υπολείμματα νεκρών φυτών και ζώων και εξάγεται και καίγεται ως καύσιμο. Τα ορυκτά καύσιμα μπορούν να καίγονται για την παροχή θερμότητας για άμεση χρήση (όπως για μαγείρεμα ή θέρμανση), για την τροφοδοσία κινητήρων (όπως οι κινητήρες εσωτερικής καύσης στα αυτοκίνητα) ή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ορισμένα ορυκτά καύσιμα διυλίζονται πριν από την καύση σε παράγωγα όπως η κηροζίνη, η βενζίνη και το προπάνιο. Η προέλευση των ορυκτών καυσίμων είναι η αναερόβια αποσύνθεση θαμμένων νεκρών οργανισμών, που περιέχουν οργανικά μόρια που δημιουργούνται από τη φωτοσύνθεση (Abas, Kalair & Khan, 2015).

Στα ορυκτά καύσιμα περιλαμβάνονται ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, οι σχιστόλιθοι πετρελαίου, τα ασφαλτόλιθοι, οι άμμοι πίσσας και τα βαρέα πετρέλαια. Όλα περιέχουν άνθρακα και σχηματίστηκαν ως αποτέλεσμα γεωλογικών διεργασιών που έδρασαν στα υπολείμματα οργανικής ύλης που παρήχθησαν από τη φωτοσύνθεση, μια διαδικασία που ξεκίνησε κατά το Αρχαϊκό Αιώνιο (4,0 έως 2,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν). Το μεγαλύτερο μέρος του ανθρακούχου υλικού που εμφανίστηκε πριν από τη Δεβόνια περίοδο (419,2 εκατομμύρια έως 358,9 εκατομμύρια χρόνια πριν) προήλθε από φύκια και βακτήρια, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του ανθρακούχου υλικού που εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια και μετά από αυτό το διάστημα προήλθε από φυτά (Abas, Kalair & Khan, 2015).

Όλα τα ορυκτά καύσιμα μπορούν να καούν στον αέρα ή με οξυγόνο που προέρχεται από τον αέρα για την παραγωγή θερμότητας. Η θερμότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα, όπως στην περίπτωση των οικιακών κλιβάνων, ή να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού για την κίνηση γεννητριών που μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια. Σε άλλες περιπτώσεις - για παράδειγμα, στους αεριοστρόβιλους που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη - η θερμότητα που παράγεται από την καύση ενός ορυκτού καυσίμου χρησιμεύει για την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας των προϊόντων της καύσης για την παροχή κινητήριας ισχύος (Christophers, 2022).

Από την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης στη Μεγάλη Βρετανία στο δεύτερο μισό του 18ου αιώνα, τα ορυκτά καύσιμα καταναλώνονται με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Σήμερα παρέχουν περισσότερο από το 80% του συνόλου της ενέργειας που καταναλώνεται από τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου. Αν και συνεχίζουν να ανακαλύπτονται νέα κοιτάσματα, τα αποθέματα των κυριότερων ορυκτών καυσίμων που απομένουν στη Γη είναι περιορισμένα. Οι ποσότητες ορυκτών καυσίμων που μπορούν να ανακτηθούν οικονομικά είναι δύσκολο να εκτιμηθούν, κυρίως λόγω των μεταβαλλόμενων ρυθμών κατανάλωσης και της μελλοντικής αξίας,

καθώς και των τεχνολογικών εξελίξεων. Οι τεχνολογικές εξελίξεις -όπως η υδραυλική ρωγμάτωση (fracking), η περιστροφική γεώτρηση και η κατευθυνόμενη γεώτρηση- έχουν καταστήσει δυνατή την εξόρυξη μικρότερων και δύσκολα προσβάσιμων κοιτασμάτων ορυκτών καυσίμων με λογικό κόστος, αυξάνοντας έτσι την ποσότητα του ανακτήσιμου υλικού. Επιπλέον, καθώς εξαντλήθηκαν τα ανακτήσιμα αποθέματα συμβατικού (ελαφρού έως μεσαίου) πετρελαίου, ορισμένες εταιρείες παραγωγής πετρελαίου στράφηκαν στην εξόρυξη βαρέος πετρελαίου, καθώς και υγρού πετρελαίου που αντλείται από άμμο πίσσας και πετρελαιοφόρους σχιστόλιθους. Βλέπε επίσης εξόρυξη άνθρακα- παραγωγή πετρελαίου (Christophers, 2022).

Ένα από τα κύρια παραπροϊόντα της καύσης ορυκτών καυσίμων είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Η συνεχώς αυξανόμενη χρήση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία, τις μεταφορές και τις κατασκευές έχει προσθέσει μεγάλες ποσότητες CO₂ στη γήινη ατμόσφαιρα. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO₂ κυμάνθηκαν μεταξύ 275 και 290 μέρη ανά εκατομμύριο κατ' όγκο (ppmv) ξηρού αέρα μεταξύ του 1000 μ.Χ. και των τελών του 18ου αιώνα, αλλά αυξήθηκαν σε 316 ppmv μέχρι το 1959 και ανήλθαν σε 412 ppmv το 2018. Το CO₂ συμπεριφέρεται ως αέριο του θερμοκηπίου - δηλαδή απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία (καθαρή θερμική ενέργεια) που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την ακτινοβολεί πίσω στην επιφάνεια. Έτσι, η σημαντική αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στην ανθρωπογενή υπερθέρμανση του πλανήτη. Το μεθάνιο (CH₄), ένα άλλο ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου και οι συγκεντρώσεις CH₄ στην ατμόσφαιρα της Γης αυξήθηκαν από 722 μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) πριν από το 1750 σε 1.859 ppb μέχρι το 2018. Για να αντιμετωπίσουν τις ανησυχίες σχετικά με την αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου και για να διαφοροποιήσουν το ενεργειακό τους μείγμα, πολλές χώρες προσπάθησαν να μειώσουν την εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα αναπτύσσοντας πηγές ανανεώσιμης ενέργειας (όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η παλιρροϊκή, η γεωθερμική και τα βιοκαύσιμα), ενώ ταυτόχρονα αύξησαν τη μηχανική απόδοση των κινητήρων και άλλων τεχνολογιών που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα (Braungardt et al., 2019).

2.2 Η γένεση των ορυκτών καυσίμων

Τα βασικά στερεά ορυκτά καύσιμα περιλαμβάνουν την τύρφη, τον καφέ άνθρακα, τον λιγνίτη, τον ασφαλτούχο άνθρακα και τον ανθρακίτη. Ο οπτάνθρακας είναι ο ειδικός τύπος ορυκτού καυσίμου. Ο άνθρακας, ο οπτάνθρακας, τα προϊόντα πετρελαίου και το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύουν τις υψηλότερης ποιότητας πηγές ορυκτών καυσίμων και συγκαταλέγονται μεταξύ των σημαντικότερων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα (Wood & Roelich, 2019).

Όσον αφορά την πρώτη ύλη ενέργειας, υπάρχει σημαντικό δυναμικό στα λεγόμενα μη συμβατικά ορυκτά καύσιμα, όπως ο σχιστόλιθος πετρελαίου και άνθρακα, το βιομεθάνιο, οι βαριές πετρελαϊκές άμμους, ασφαλτόλιθοι και άλλα παρόμοια.

Η τύρφη σχηματίζεται από φυτικά υπολείμματα στην επιφάνεια της Γης, ενώ ο σχηματισμός του άνθρακα λαμβάνει χώρα στο βάθος της Γης. Η τύρφη είναι ο πρόδρομος του άνθρακα, καθώς αποτελεί το πρώτο βήμα μετατροπής της φυτικής ύλης σε άνθρακα. Μακροπρόθεσμα, η τύρφη σχηματίζεται κυρίως με βιοχημικές διεργασίες, ενώ ο άνθρακας σχηματίζεται με γεωχημικές και φυσικές διεργασίες. Η τύρφη διακρίνεται με βάση την επικρατούσα βοτανική σύνθεση σε βρύα και ξύλο και με βάση την πρόσμιξη εδάφους σε καθαρή και φυσική. Η τύρφη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε νερό (65 έως 85 %). Ως εκ τούτου, επεξεργάζεται πριν από τη χρήση με συμπίεση και ξήρανση ώστε η περιεκτικότητα σε νερό να είναι κάτω από 25 %. Ο άνθρακας είναι ένα μη ανανεώσιμο ορυκτό καύσιμο, το οποίο δημιουργήθηκε μέσω φυσικών γεωλογικών διεργασιών από φυτικά υπολείμματα. Συνήθως συσσωρεύονται σε έλη, λίμνες ή θάλασσες. Ο άνθρακας είναι ένα καφέ ή μαύρο καύσιμο πέτρωμα που αποτελείται από ετερογενή συστατικά με διαφορετικά φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά (Wood & Roelich, 2019).

Ο άνθρακας διατηρεί τις πληροφορίες του φυτικού υλικού και του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύχθηκαν και συσσωρεύτηκαν τα φυτά. Τα περισσότερα από τα παγκόσμια αποθέματα άνθρακα άρχισαν να σχηματίζονται πριν από 300-400 εκατομμύρια χρόνια με αναερόβιες βιοχημικές αντιδράσεις σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση που δρουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η θερμοκρασία και η πίεση είναι παράγοντες που επηρεάζουν τις γεωχημικές και φυσικές διεργασίες. Ο άνθρακας και οι υδρογονάνθρακες άρχισαν να σχηματίζονται από το αρχικό οργανικό υλικό, το οποίο αντιπροσωπεύεται κυρίως από την κυτταρίνη ($C_6H_{10}O_5$) και τους ασφάλτους, με την τυρφή και τη σταδιακή απανθρακοποίηση σε έλη χωρίς πρόσβαση στον αέρα. Η σταδιακή κάθοδος και η κάλυψη των στρωμάτων τύρφης από άργιλο και άμμο οδήγησε στο σχηματισμό του καφέ άνθρακα. Ο ασφαλτούχος άνθρακας και ο ανθρακίτης σχηματίστηκαν με τη δράση ισχυρής τεκτονικής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας. Η όλη διαδικασία ενανθράκωσης χαρακτηρίζεται από διαγένεση (μεταβολή που έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή των χαλαρών υλικών σε συμπαγές πέτρωμα) και μεταμόρφωση (μετασχηματισμός του πετρώματος που μεταβάλλει τις φυσικοχημικές του ιδιότητες). Η περιεκτικότητα σε υδρογόνο και οξυγόνο μειώνεται και η περιεκτικότητα σε άνθρακα αυξάνεται. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα στην καύσιμη ύλη αυξάνεται από 35 % (περιεκτικότητα στην τύρφη) σε περισσότερο από 92 % (περιεκτικότητα στον ανθρακίτη). Ο οπτάνθρακας έχει ακόμη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άνθρακα στο καύσιμο - περίπου 94 % (Wood & Roelich, 2019).

Οι επιμέρους τύποι ορυκτών καυσίμων διαφέρουν ως προς τον βαθμό απανθρακοποίησης και τη χημική σύνθεση.

Ο οπτάνθρακας συμπεριλαμβάνεται στα ορυκτά καύσιμα, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα επεξεργασμένο καύσιμο που παράγεται βιομηχανικά με την

απανθράκωση του άνθρακα, χωρίς πρόσβαση αέρα στις λεγόμενες μπαταρίες κοκ. Η απανθράκωση του άνθρακα επιτρέπει την οικονομικότερη χρήση του άνθρακα με την παραγωγή καυσίμων καλύτερης ποιότητας και ταυτόχρονα πρώτων υλών για τις μεταλλουργικές και χημικές βιομηχανίες (Johnsson, Kjärstad & Rootzén, 2019).

Το αργό πετρέλαιο ως βάση των υγρών καυσίμων περιλαμβάνεται επίσης στα ορυκτά καύσιμα και αποτελείται από υγρούς υδρογονάνθρακες που παράγονται από την αποσύνθεση οργανικών υλικών στον πυθμένα των θαλασσών. Το φυσικό αέριο είναι μια αέρια μορφή ορυκτού καυσίμου. Πρόκειται για μείγμα αέριων υδρογονανθράκων (κυρίως μεθάνιο - CH₄), που περικλείονται στο έδαφος ή διαφεύγουν από αυτό (Johnsson, Kjärstad & Rootzén, 2019).

Κεφάλαιο 3ο

3.1 Εισαγωγή

Ως καθαρή ενέργεια μπορεί να οριστεί η ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και μηδενικές εκπομπές. Η ενέργεια που εξοικονομείται με μέτρα υψηλής απόδοσης εντάσσεται επίσης στην καθαρή ενέργεια. Η σημερινή τάση της χρήσης ορυκτών καυσίμων ως κύρια πηγή ενέργειας δεν είναι βιώσιμη και επιβλαβής για τον πλανήτη και τους κατοίκους του, ενώ ενισχύει την κλιματική αλλαγή, η οποία αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες απειλές για τον άνθρωπο. Η καθαρή ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί ως μια οδός για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Αρκεί να ρίξει κανείς μια ματιά στον αυξανόμενο αριθμό οχημάτων και βιομηχανιών, δείχνουν ότι η οικονομία αυξάνεται, αλλά υπάρχει και η κρυφή επιβάρυνση, η υπερθέρμανση του πλανήτη. Πιστεύεται ακράδαντα ότι η ανάπτυξη και η διατήρηση δεν μπορούν να συμβαδίζουν, αλλά η καθαρή ενέργεια είναι η λύση. Έχει εκτιμηθεί από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας αντιπροσωπεύει το 25% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ομοίως, οι βιομηχανίες και οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 21% και το 14% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αντίστοιχα (Zahoor, Khan & Hou, 2022).

Ο έβδομος στόχος για τη βιώσιμη ανάπτυξη είναι η προσιτή και καθαρή ενέργεια για όλους και ο στόχος του μέχρι το 2030 είναι:

- Καθολική πρόσβαση σε προσιτή, αξιόπιστη και σύγχρονη ενέργεια
- Αύξηση του παγκόσμιου ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Διπλασιασμός του ρυθμού βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης
- Προώθηση της έρευνας, της τεχνολογίας και των επενδύσεων στην καθαρή ενέργεια

3.2 Πηγές καθαρής ενέργειας

Όπως και τα ορυκτά καύσιμα, η πηγή της καθαρής ενέργειας είναι επίσης η φύση και είναι ελεύθερη για συγκομιδή. Λαμβάνεται από τον ήλιο, τον άνεμο και το νερό. Η πυρηνική ενέργεια έχει επίσης κατηγοριοποιηθεί ως καθαρή ενέργεια, καθώς δεν παράγει αέρια του θερμοκηπίου. Η βιομάζα, τα βιοκαύσιμα, η ενέργεια των ωκεανών, η γεωθερμική ενέργεια, το υδρογόνο και η ενέργεια από πηγές καυσίμων, η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι παραδείγματα καθαρών πηγών ενέργειας. Εάν οι καθαρές πηγές ενέργειας χρησιμοποιηθούν στις βιομηχανίες που είναι κύριες πηγές αερίων του θερμοκηπίου, θα είναι σίγουρα μια μεγάλη βοήθεια προς τον στόχο του περιορισμού της αύξησης της θερμοκρασίας στον 1,5 βαθμό Κελσίου (Carley & Konisky, 2020).

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των καθαρών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ότι είναι βιώσιμες, δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να δημιουργείται η ανησυχία για τη διατήρησή τους για τη μελλοντική γενιά. Ακολουθούν ορισμένες από τις καθαρές πηγές ενέργειας (Carley & Konisky, 2020):

- **Ηλιακή ενέργεια**

Η ενέργεια του ήλιου είναι αιώνια και μπορούμε να την αξιοποιήσουμε για ένα καλύτερο μέλλον. Το έτος 2019, η ηλιακή ενέργεια παρείχε το 3% της συνολικής παγκόσμιας ενέργειας. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, το κόστος των ηλιακών συλλεκτών μειώνεται μέρα με τη μέρα και ως εκ τούτου παρατηρείται αύξηση της χρήσης τους.

- **Αιολική ενέργεια**

Η ροή του αέρα μπορεί να αξιοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς. Η λαμβανόμενη ισχύς εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Περιοχές όπου υπάρχει σταθερός και ισχυρός άνεμος είναι ιδανικές για την απόκτηση καθαρής ενέργειας από τον άνεμο, όπως οι υπεράκτιες και οι περιοχές με μεγάλο υψόμετρο.

Το μεγαλύτερο μέρος του αιολικού δυναμικού υπάρχει σε επτά ανεμοδαρμένα κράτη που είναι: Γκουτζαράτ, Ρατζαστάν, Μαχαράστρα, Ταμίλ Ναντού, Μάντια Πραντές, Καρνατάκα, Άντρα Πραντές,

- **Υδροηλεκτρική ενέργεια**

Το νερό είναι περίπου 800 φορές πυκνότερο από τον αέρα. Ακόμη και ένα αργά ρέον υδάτινο ρεύμα μπορεί να αποδώσει μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Ιστορικά τα φράγματα έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή και φθηνή πηγή ενέργειας σε μακροπρόθεσμη βάση.

- **Γεωθερμική ενέργεια**

Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται από τη γη. Πρόκειται ουσιαστικά για τη θερμική ενέργεια που καθορίζει τη θερμοκρασία οποιουδήποτε αντικειμένου. Η γεωθερμική ενέργεια της γης οφείλεται στη ραδιενεργό διάσπαση των ορυκτών. Η πηγή της μπορεί να είναι βαθιά μέσα στον πυρήνα της γης. Η γεωθερμία χαμηλής θερμοκρασίας είναι μια σημαντική αναπτυσσόμενη τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επειδή μειώνει τα ετήσια ενεργειακά φορτία που σχετίζονται με τη θέρμανση και την ψύξη.

- **Βιοενέργεια**

Η ενέργεια που λαμβάνεται από τη βιομάζα ονομάζεται βιοενέργεια. Γενικά προέρχεται από φυτά ή φυτικά υλικά και συγκεκριμένα από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως πηγή ενέργειας, όπως στα παραδοσιακά ινδικά καύσιμα, όπως η χρήση ξύλου για το μαγείρεμα του φαγητού, αλλά αποτελεί πηγή ρύπανσης και δηλητηριωδών αερίων. Η βιομάζα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί έμμεσα με τη μετατροπή της σε βιοκαύσιμο. Ο περιορισμός με τα βιοκαύσιμα είναι ότι είναι πιο δαπανηρά και απαιτούν προηγμένες τεχνολογίες, αλλά μπορούν πραγματικά να θεωρηθούν ως καθαρό καύσιμο. Η βιομάζα μπορεί επίσης να μετατραπεί σε άλλες καθαρές μορφές ενέργειας όπως η μεθανόλη, η αιθανόλη και το βιοντίζελ. Το καλύτερο μέρος με αυτό είναι ότι μπορεί να παραχθεί με σκουπίδια, γεωργικά απόβλητα, ανθρώπινα απόβλητα και ζυμωμένες καλλιέργειες όπως το ζαχαροκάλαμο και το καλαμπόκι. Η ζύμωση είναι γνωστή φυσική διαδικασία που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η ζύμωση είναι μια διαδικασία του κεντρικού μεταβολισμού με την οποία ένας οργανισμός μετατρέπει υδατάνθρακες όπως άμυλο ή ζάχαρη σε αλκοόλη ή οξύ. Αυτή η αλκοόλη ή το οξύ μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο ενέργειας (Carley & Konisky, 2020).

3.3 Περιορισμοί

Εκτός από τα τόσα θετικά σημεία, η καθαρή ενέργεια έχει και τους δικούς της περιορισμούς. Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς της καθαρής ενέργειας είναι ότι η διαθεσιμότητά της εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, όπως οι ανεμογεννήτριες χρειάζονται αρκετό αέρα για να γυρίσουν τα πτερύγιά τους και οι ηλιακοί συλλέκτες χρειάζονται καθαρό ουρανό και ηλιοφάνεια για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι είναι πολύ δύσκολο να παραχθεί η ίδια ποσότητα όπως με τις μη ανανεώσιμες πηγές (Hosseini & Wahid, 2020).

Δεν υπάρχει όμως καμία αμφιβολία ότι η καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια είναι μια εξαιρετικά έξυπνη επιλογή για τους ανθρώπους και τον πλανήτη. Έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ότι δεν θα εξαντληθούν ποτέ, ότι είναι ένας βιώσιμος τρόπος χρήσης της ενέργειας και ότι δεν βλάπτουν τον πλανήτη μας. Είναι πηγές ενέργειας χαμηλής συντήρησης, καθώς λαμβάνονται από την ίδια τη φύση και το κόστος λειτουργίας είναι γενικά χαμηλό σε μια μακροπρόθεσμη χρήση (Hosseini & Wahid, 2020).

Κεφάλαιο 4ο

4.1 Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται πλέον από κορυφαίους επιστήμονες ως η σημαντικότερη απειλή για το μέλλον της ανθρωπότητας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα 10 θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί έχουν συμβεί από το 2004 και μετά, με τα πέντε θερμότερα έτη να αφορούν την περίοδο 2015-2020. Αν και το 2020 ήταν το δεύτερο θερμότερο έτος που έχει καταγραφεί παγκοσμίως, για την Ευρώπη ξεπέρασε το προηγούμενο υψηλό του 2018. Από το 1980, τα ακραία κλιματολογικά φαινόμενα που αφορούν θερμοκρασίες, ξηρασίες και δασικές πυρκαγιές έχουν τετραπλασιαστεί, ενώ τα μετεωρολογικά φαινόμενα όπως οι ακραίες καταιγίδες έχουν διπλασιαστεί. Στις Ηνωμένες Πολιτείες (ΗΠΑ) σημειώθηκαν υπερδιπλάσιες καταστροφές δισεκατομμυρίων δολαρίων τη δεκαετία 2010-2019 σε σύγκριση με τη δεκαετία 2000-2009. Το 2020, σημειώθηκε στις ΗΠΑ το ιστορικό ρεκόρ των 22 καιρικών και κλιματικών καταστροφών που ξεπέρασαν τις απώλειες του ενός δισεκατομμυρίου δολαρίων, καταρρίπτοντας το προηγούμενο ρεκόρ των 16 για τα έτη 2011 και 2017 (Chachuli et al., 2021).

Μέχρι στιγμής, η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε σύγκριση με την προβιομηχανική εποχή (πριν από το 1850) είναι κοντά στο 1,2 °C με 1,1 °C από το 1900. Μεγάλη ανησυχία προκαλεί το γεγονός ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνεται και προβλέπεται να φθάσει στο επίπεδο του 1,5 °C εντός 15 έως 20 ετών, εάν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δεν μειωθούν δραστικά. Ακόμη και με τη διεθνή συμφωνία του Παρισιού του 2015 για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η παγκόσμια θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται λόγω της αυξημένης χρήσης ορυκτών καυσίμων και της αποψίλωσης των δασών. Με τη συνεχιζόμενη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα ως κύρια πηγή ενέργειας, προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 °C ή περισσότερο μέχρι το τέλος του αιώνα. Τον Οκτώβριο του 2018, η Διεθνής Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) προειδοποίησε τον κόσμο ότι η υπέρβαση της αύξησης της θερμοκρασίας κατά 1,5 °C θα είναι καταστροφική με συνέπειες πρωτοφανείς πλημμύρες, ξηρασία, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, κύματα καύσωνα και πείνα. Η μεγαλύτερη ανησυχία είναι ότι ένα σημείο καμπής ή κατώφλι μπορεί σύντομα να ξεπεραστεί λόγω της επιταχυνόμενης κλιματικής θέρμανσης και αστάθειας που θέτει σε κίνδυνο μεγάλο μέρος του ανθρώπινου πληθυσμού (Chachuli et al., 2021).

Τον Οκτώβριο του 2018, η IPCC προειδοποίησε ότι οι εκπομπές CO₂ πρέπει να μειωθούν κατά 45% σε σχέση με τα επίπεδα του 2010 έως το 2030 και να φτάσουν στο καθαρό μηδέν έως το 2050 για να περιοριστεί η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στο 1,5 °C. Δόθηκαν διάφορα οφέλη από τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στο 1,5 °C σε αντίθεση με τους 2 °C σύμφωνα με τη συμφωνία του Παρισιού του 2015. Πολύ σημαντικό είναι ότι ο περιορισμός της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας στο 1,5 °C θα παρείχε στις ανθρώπινες κοινωνίες και τα

οικοσυστήματα περισσότερο χρόνο για να προσαρμοστούν στη διαδικασία της κλιματικής αλλαγής. Η επιλογή των προσεγγίσεων για την επίτευξη αυτού του στόχου δεν έχει ακόμη προσδιοριστεί. Ορισμένοι εμπειρογνώμονες έχουν προτείνει ταχείες και εκτεταμένες αλλαγές στην παγκόσμια οικονομία που αφορούν τη χρήση ενέργειας, τη χρήση γης, τις μεταφορές, τη βιομηχανία, τη γεωργία και τις κατασκευές. Επειδή οι αλλαγές αυτές θα ήταν πολύ ανατρεπτικές για την έντονα παγκοσμιοποιημένη παγκόσμια οικονομία, μια λιγότερο δραστική προσέγγιση που επικεντρώνεται στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (κυρίως αιολική και ηλιακή) και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης (αποσύνδεση) έχει δοθεί έμφαση από τη Συμφωνία του Παρισιού του 2015 από τους κύριους εκπέμποντες CO₂ (δηλ. Κίνα, Ηνωμένες Πολιτείες, Ευρωπαϊκή Ένωση, Ιαπωνία, Ρωσία, Ινδία, Βραζιλία) (Li et al., 2020).

Μια κοινή ανησυχία είναι ότι η συνεχής αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού απαιτεί μια συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας και άλλων φυσικών πόρων ακυρώνοντας τα κέρδη που προκύπτουν από τη βελτίωση της αποδοτικότητας στη χρήση των πόρων και την επέκταση της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Μια άλλη σημαντική ανησυχία, πέρα από τις εκπομπές CO₂, είναι ότι τα ορυκτά καύσιμα από τα οποία ο κόσμος εξακολουθεί να εξαρτάται για πάνω από το 80% των ενεργειακών του αναγκών είναι πεπερασμένα και θα εξαντληθούν σε κρίσιμο βαθμό εντός 50 ετών με τα σημερινά επίπεδα χρήσης (Li et al., 2020).

4.2 Ανθρώπινος πληθυσμός, ενέργεια και ορυκτά καύσιμα

Ο παγκόσμιος ανθρώπινος πληθυσμός έχει αυξηθεί χωρίς προηγούμενο (σχεδόν 8 φορές) από το 1800. Σε ιστορικό πλαίσιο, ο κόσμος έφτασε για πρώτη φορά το ένα δισεκατομμύριο ανθρώπους γύρω στο 1804, δύο δισεκατομμύρια το 1927, τρία δισεκατομμύρια το 1960, τέσσερα δισεκατομμύρια το 1974, πέντε δισεκατομμύρια το 1987, έξι δισεκατομμύρια το 1999, επτά δισεκατομμύρια το 2011 και σχεδόν οκτώ δισεκατομμύρια σήμερα. Ο ρυθμός αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού κορυφώθηκε στο 2,1% στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και μειώθηκε σιγά-σιγά στο 1,05% που είναι σήμερα. Τα Ηνωμένα Έθνη προβλέπουν ότι ο ανθρώπινος πληθυσμός θα φθάσει τα δέκα δισεκατομμύρια μέχρι το 2057 και σχεδόν τα δώδεκα δισεκατομμύρια μέχρι το 2100. Αυτές οι προβλέψεις προϋποθέτουν επαρκή τρόφιμα και φυσικούς πόρους (ενέργεια, νερό, ορυκτά) μαζί με ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες, οι οποίες μπορεί να μην ισχύουν (Cantarero, 2020).

Η άνευ προηγουμένου αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού από το 1800 συνδέεται στενά με την εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων ως κύρια πηγή ενέργειας για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να εξηγηθεί από τις μηχανικές εφευρέσεις που περιλαμβάνουν τα ορυκτά καύσιμα ως πηγή ενέργειας, αρχής γενομένης από την ατμομηχανή, η οποία οδήγησε σε σημαντικές αυξήσεις στην παραγωγή τροφίμων, στην ανάπτυξη της μεταποίησης και σε φθηνότερες και ταχύτερες μεταφορές. Η πρώτη στροφή προς τα ορυκτά καύσιμα άρχισε γύρω στο 1750, όταν

αναπτύχθηκε η ατμομηχανή που τροφοδοτείται από άνθρακα. Προηγουμένως οι άνθρωποι εξαρτιόνταν από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του ξύλου, του ανέμου, των καταρρακτών, των φραγμάτων, της ανθρώπινης εργασίας και των ζώων έλξης για την κάλυψη βασικών αναγκών (Cantarero, 2020).

Λόγω της ισχύος τους, της ευκολίας χειρισμού τους και της ευκολίας μεταφοράς τους, τα ορυκτά καύσιμα υπερτερούν συντριπτικά έναντι των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όσον αφορά την τροφοδοσία μηχανών και την παροχή θερμότητας. Το πετρέλαιο είναι το πιο ισχυρό από τα ορυκτά καύσιμα και ακολουθούν το φυσικό αέριο και ο άνθρακας. Η ανάπτυξη του ηλεκτρισμού από μονάδες καύσης άνθρακα στα τέλη του 1800 και της μηχανής εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται με βενζίνη από εξευγενισμένο πετρέλαιο στις αρχές του 1900 ήταν οι βασικοί παράγοντες που συνέβαλαν στην ταχεία αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα. Στη δεκαετία του 1920 τα αυτοκίνητα, τα τρακτέρ, τα αεροπλάνα, οι ηλεκτρικές σόμπες, η θέρμανση με φυσικό αέριο, τα πλυντήρια, τα ψυγεία και ο ηλεκτρικός φωτισμός, όλα τροφοδοτούμενα από ορυκτά καύσιμα, έγιναν ευρέως διαθέσιμα στη Βόρεια Αμερική και τη Δυτική Ευρώπη. Αργότερα, τη δεκαετία του 1950, αρκετές άλλες χώρες άρχισαν να υιοθετούν οικονομίες που βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα. Από τη δεκαετία του 1990 η Κίνα με 1,44 δισεκατομμύρια ανθρώπους και πιο πρόσφατα η Ινδία με 1,38 δισεκατομμύρια ακολουθούν επιθετικά τον εξαρτώμενο από τα ορυκτά καύσιμα τρόπο ζωής της Βόρειας Αμερικής και της Ευρώπης. Από το 1820 η παγκόσμια κατά κεφαλήν χρήση ενέργειας έχει τετραπλασιαστεί. Η κατά κεφαλήν χρήση ενέργειας από τις ΗΠΑ είναι σήμερα περίπου 3,8 φορές μεγαλύτερη από τον παγκόσμιο μέσο όρο. Είναι διπλάσια από την Ευρώπη, περίπου τριπλάσια από την Κίνα, 11 φορές από την Ινδία και 15 έως 25 φορές από τις περισσότερες αφρικανικές χώρες με βάση τα στοιχεία της BP (Zhou et al., 2021).

Ωστόσο, υπήρξαν σημαντικές αρνητικές περιβαλλοντικές συνέπειες από την αυξημένη εξάρτηση από τα ορυκτά φύλλα ως πηγές ενέργειας, οι οποίες περιλαμβάνουν την κλιματική αλλαγή, την εξάντληση των πόρων, την εξαφάνιση ειδών, την καταστροφή των δασών, την υποβάθμιση του εδάφους, τη ρύπανση των υδάτων και την αστική εξάπλωση. Η αντιστροφή αυτών των συνεπειών και η αποφυγή των αρνητικών ανατροφοδοτούμενων επιπτώσεων είναι οι μεγάλες προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα (Zhou et al., 2021).

4.3 Προκλήσεις της οικονομίας: Εξάντληση και Κλιματική Αλλαγή

Ένα κρίσιμο πρόβλημα του σύγχρονου πολιτισμού είναι η εξάρτησή του από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία είναι πεπερασμένα σε ποσότητα και αλλάζουν γρήγορα το κλίμα της γης όταν καίγονται σε κλίμακα που απαιτείται για τη συντήρηση 7,8 δισεκατομμυρίων ανθρώπων. Αν και υπάρχουν επιτακτικοί λόγοι για τη μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, η πραγματική μετάβαση αποδεικνύεται δύσκολη, δαπανηρή, περίπλοκη και αβέβαιη. Οι αλληλεπιδράσεις της αύξησης του πληθυσμού, της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και της κλιματικής

αλλαγής έχουν γίνει κατανοητές από τη δεκαετία του 1950, αλλά ελάχιστα έχουν γίνει για να αποτραπεί η συνδυασμένη οικονομική και περιβαλλοντική κρίση που αντιμετωπίζει σήμερα ο κόσμος εξαιτίας αυτών των αλληλεπιδράσεων. Η παρούσα ενότητα εξετάζει λεπτομερώς τις δύο κύριες προκλήσεις: την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και την κλιματική αλλαγή, καθώς και τις λύσεις τους (Chien, Chau & Sadiq, 2023).

4.3.1 Επιπτώσεις της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων

Τα ορυκτά καύσιμα είναι ένας πεπερασμένος, μη ανανεώσιμος φυσικός πόρος σε αντίθεση με τους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους, όπως η αιολική, η ηλιακή, η βιομάζα, η γεωθερμία και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Αν και η διαδικασία δημιουργίας ορυκτών καυσίμων από φυσικές δυνάμεις διήρκεσε εκατομμύρια χρόνια, τα αποθέματα που είναι αποθηκευμένα στην επιφάνεια της γης θα εξαντληθούν μέσα σε μια περίοδο 300 ετών (1750 έως 2050) με τον σημερινό ρυθμό χρήσης. Υπάρχει η ανησυχία ότι η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων μέχρι τη δεκαετία του 2030 θα επηρεάσει αρνητικά την παγκόσμια οικονομία και την πολιτική σταθερότητα. Υπάρχει μια ισχυρή άποψη βασισμένη σε δεδομένα ότι η εξάντληση του πετρελαίου κατατάσσεται μαζί με την κλιματική αλλαγή ως επικείμενο καταστροφικό πρόβλημα. Αντί για την απόλυτη έλλειψη, η μεγαλύτερη ανησυχία είναι η εξάντληση του πετρελαίου που μπορεί να εξορύσσεται με προσιτό κόστος. Χωρίς μια προσιτή αντικατάσταση του πετρελαίου, ο κόσμος πιθανότατα θα αναγκαστεί σε μια ταχεία αλλά οικονομικά επώδυνη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Kreps, 2020).

Με βάση τα στοιχεία της BP, τα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα επαρκούν για να καλύψουν τις σημερινές παγκόσμιες καταναλωτικές ανάγκες για περίπου 50, 50 και 132 χρόνια αντίστοιχα. Ωστόσο, τα στοιχεία αυτά εξαρτώνται από υποθέσεις σχετικά με πολλούς παράγοντες, όπως η ζήτηση, οι νέες ανακαλύψεις, οι τεχνολογίες εξόρυξης, οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί και η ανάπτυξη της αποδοτικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες αναμφίβολα θα τροποποιηθούν καθώς θα εξελίσσεται το μέλλον. Υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά τις προμήθειες και την ανάπτυξη του μη συμβατικού σχιστολιθικού πετρελαίου και φυσικού αερίου. Από το 2008, η παραγωγή σχιστολιθικού πετρελαίου στις ΗΠΑ αντιπροσωπεύει περίπου το 80% των 10 MBD (εκατομμύρια βαρέλια ανά ημέρα) της νέας προσφοράς που απαιτείται για την ικανοποίηση της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου που σήμερα πλησιάζει τα 100 MBD. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης κερδοφορίας, πολλοί φορείς εκμετάλλευσης σχιστολιθικού πετρελαίου στις ΗΠΑ έχουν αναγκαστεί να χρεοκοπήσουν από το 2019 και όσοι επιβίωσαν αναγκάζονται από τους επενδυτές να περιορίσουν τις επενδύσεις στην επέκταση της προσφοράς. Αυτός ο περιορισμός της προσφοράς σε συνδυασμό με την οικονομική ανάκαμψη από την πανδημία COVID-19 του 2020 προκαλεί τώρα ταχεία άνοδο των τιμών του πετρελαίου (Kreps, 2020).

4.3.2 Χρήση ορυκτών καυσίμων και κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται συνήθως σε μια μεταβολή των μέσων σημερινών καιρικών συνθηκών σε σχέση με το τι ήταν φυσιολογικό στο παρελθόν. Η μεταβολή των φυσικών παραγόντων, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, οι βιοτικές διεργασίες και οι ηφαιστειακές εκρήξεις, μπορεί να προκαλέσει κλιματική αλλαγή. Ωστόσο, η κλιματική αλλαγή που βρίσκεται σήμερα σε εξέλιξη, η οποία αναφέρεται συνήθως ως "υπερθέρμανση του πλανήτη", προκαλείται κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες που περιλαμβάνουν την καύση ορυκτών καυσίμων και την τροποποίηση των φυσικών τοπίων κυρίως μέσω της αποψίλωσης των δασών. Τόσο η καύση ορυκτών καυσίμων όσο και η αποψίλωση των δασών απελευθερώνουν "αέρια του θερμοκηπίου" που μεταβάλλουν την ακτινοβολία και το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης προκαλώντας την απορρόφηση αυξημένης θερμότητας στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης σε αντίθεση με την ακτινοβολία στο διάστημα. Το κύριο αέριο που προκαλεί αυτό το "φαινόμενο του θερμοκηπίου" είναι το CO₂, αν και συμμετέχουν επίσης το μεθάνιο (CH₄), το οξείδιο του αζώτου, το όζον, οι υδρατμοί και διάφορα άλλα αέρια (Wood & Roelich, 2019).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη ξεκίνησε όταν (στη δεκαετία του 1850) η βιομηχανία άρχισε να χρησιμοποιεί σημαντικές ποσότητες άνθρακα. Το 1860, η παγκόσμια ατμοσφαιρική συγκέντρωση CO₂ ήταν κοντά στα 280 ppm, αλλά είχε αυξηθεί στα 317 ppm και 400 ppm μέχρι το 1960 και το 2015, αντίστοιχα. Το 2021, η ατμοσφαιρική συγκέντρωση CO₂ έφτασε τα 419 ppm, δηλαδή 50% αύξηση σε σχέση με το επίπεδο του 1850. Το σημερινό ατμοσφαιρικό CO₂ εκτιμάται ότι είναι το υψηλότερο των τελευταίων 800.000 ετών. Οι μεταβολές του CO₂ προηγούνταν πάντοτε των μεταβολών της θερμοκρασίας. Ανάλογα με το σενάριο χρήσης των ορυκτών καυσίμων, τα επίπεδα CO₂ μέχρι το 2100 προβλέπεται να κυμαίνονται μεταξύ 541 και 970 ppm (29 έως 132% αύξηση σε σχέση με το σημερινό επίπεδο). Προβλέπεται ότι αυτό θα οδηγήσει σε αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2 έως 5 °C σε σχέση με το επίπεδο του 1850 (Chien, Chau & Sadiq, 2023).

Μέχρι τη βιομηχανική επανάσταση, σχεδόν όλες οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ήταν φυσικές και αντισταθμιζόνταν από τις δεξαμενές διοξειδίου του άνθρακα (βλάστηση και ωκεανοί). Σήμερα περίπου το ήμισυ των εκπομπών άνθρακα απορροφάται από τη βλάστηση και τον ωκεανό. Το άλλο μισό συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα και θερμαίνει τον πλανήτη. Αυτή η περίσσεια CO₂ θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα για εκατοντάδες χρόνια ακόμη και αν σταματήσουν οι ανθρωπογενείς εκπομπές. Επομένως, οι αυξήσεις της θερμοκρασίας στο παρελθόν και στο μέλλον θεωρούνται μόνιμες από πρακτική άποψη, εκτός εάν μπορέσουν να αναπτυχθούν τεχνολογικές ή οικολογικές λύσεις για τη δέσμευση του άνθρακα από την ατμόσφαιρα πίσω στο φλοιό της γης και τη βλάστηση (Chien, Chau & Sadiq, 2023).

Οι αποδείξεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη με βάση τις μακροχρόνιες καταγραφές κλιματικών δεικτών δείχνουν ότι από το 1900 έχει σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 1,1 °C. Περίπου το 70% αυτής της αύξησης της θερμοκρασίας έχει συμβεί από το 1970. Τα τελευταία 40 χρόνια η μέση αύξηση της θερμοκρασίας ανά δεκαετία ήταν σχεδόν 0,20 °C. Μεγάλη σημασία έχει το γεγονός ότι ο ρυθμός της υπερθέρμανσης του πλανήτη αυξάνεται. Προς επίρρωση, τα 17 από τα τελευταία 18 έτη ήταν τα θερμότερα που έχουν καταγραφεί ποτέ και τα έτη 2014, 2015 και 2016 χαρακτηρίστηκαν από διαδοχικά νέα υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας. Εάν συνεχιστεί αυτός ο ρυθμός αύξησης, το όριο του 1,5 °C που θέτει τον κόσμο σε κίνδυνο καταστροφής, θα επιτευχθεί στις αρχές της δεκαετίας του 2040. Οι εκτιμήσεις για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τα επόμενα 79 χρόνια του αιώνα που διανύουμε κυμαίνονται από 2 έως 5 C ανάλογα με το επίπεδο των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα. Υπάρχει μεγάλη ανησυχία ότι ένα όριο θα μπορούσε να ξεπεραστεί μέσα σε αυτό το εύρος προκαλώντας επιταχυνόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του κλίματος και με αποτέλεσμα τα περισσότερα μέρη του κόσμου να γίνουν γρήγορα μη κατοικήσιμα (Cantarero, 2020).

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια, οι τεκμηριωμένες αντιδράσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη περιλαμβάνουν εκτεταμένο λιώσιμο του χιονιού και των πάγων της ξηράς, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αύξηση του θερμικού περιεχομένου των ωκεανών, αύξηση της υγρασίας και προγενέστερη χρονική στιγμή των ανοιξιάτικων εκδηλώσεων, όπως η ανθοφορία. Από το 2000, η αύξηση της συχνότητας και της σοβαρότητας των τυφώνων, των ανεμοστρόβιλων, των κυμάτων καύσωνα και των πλημμυρών συνοδεύει την ανοδική τάση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της γης (Cantarero, 2020).

4.4 Λόγοι για τους οποίους η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα είναι δύσκολη

Έξι σημαντικοί λόγοι/προκλήσεις για τους οποίους η σύγχρονη κοινωνία δεν μπορεί να μεταβεί εύκολα από τα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την ενεργειακή πυκνότητα, τη διαλείπουσα ενέργεια, την τοποθεσία, τα σημεία συμφόρησης στις μεταφορές, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη διαθεσιμότητα γης, οι οποίοι συζητούνται σε διάφορες εργασίες (Hansen, Mathiesen, & Skov, 2019).

4.4.1 Ενεργειακή πυκνότητα (δυναμικότητα)

Τα ορυκτά καύσιμα υπερτερούν έναντι άλλων πηγών ενέργειας επειδή αποδίδουν υψηλές ποσότητες ενέργειας ανά μονάδα βάρους ή όγκου (πυκνότητα) και μεταφέρονται εύκολα. Το πετρέλαιο θεωρείται η απόλυτη πηγή ενέργειας για τη

λειτουργία των περισσότερων μηχανών. Ένα βαρέλι πετρέλαιο περιέχει περίπου 10,5 χρόνια ισοδύναμου ανθρώπινης εργασίας. Το φυσικό αέριο έχει περίπου το 86% της ισχύος του πετρελαίου, ενώ αυτή του άνθρακα υψηλής ποιότητας είναι κοντά στο 66%. Το ξηρό ξύλο αντίθετα έχει το 35% της ισχύος του πετρελαίου και είναι πολύ πιο ογκώδες. Για τις μεταφορές που αφορούν αεροπλάνα, λεωφορεία, βαρέα φορτηγά και πλοία, η βενζίνη και το ντίζελ που προέρχονται από το πετρέλαιο υπερτερούν αποφασιστικά όλων των άλλων πηγών καυσίμων όσον αφορά την ισχύ ανά μονάδα όγκου, την ευκολία χειρισμού, την αποθήκευση και το κόστος. Το πετρέλαιο δεν μπορεί να αντικατασταθεί εύκολα με ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε μεταφορές και μετακινήσεις μεγάλων αποστάσεων που αποτελούν κρίσιμο μέρος του σημερινού παγκοσμιοποιημένου κόσμου (Hansen, Mathiesen, & Skov, 2019).

4.4.2 Διαλείψεις

Τα άφθονα ορυκτά καύσιμα επέτρεψαν στους μηχανικούς να αναπτύξουν συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλού κόστους χρησιμοποιώντας εύκολα διαθέσιμες, εύκολα ελεγχόμενες ενεργειακές εισροές ορυκτών καυσίμων που είναι αξιόπιστες και σταθερές. Επειδή η εμφάνιση και η ταχύτητα του ανέμου είναι ακανόνιστη και η ηλιοφάνεια είναι ημερήσια και επηρεάζεται από τη νεφοκάλυψη, υπάρχει μια πρόκληση διαλείψεων κατά τη μετάβαση στην αιολική και ηλιακή ενέργεια. Ακόμη και μικρές διαταραχές της παροχής ενέργειας μπορούν να έχουν σημαντικές συνέπειες στα ηλεκτρικά δίκτυα. Σε κάποιο βαθμό, η πρόκληση της διαλείψεως μπορεί να ξεπεραστεί με την αποθήκευση μέσω μπαταριών και με το συνδυασμό αιολικής και ηλιακής ενέργειας σε συμπληρωματικά συστήματα. Η τεχνολογία αποθήκευσης μπαταριών βελτιώνεται με ταχείς ρυθμούς, γεγονός που μπορεί να μειώσει το πρόβλημα της διαλείψεως της ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Ωστόσο, η αποθήκευση αιολικής και ηλιακής ενέργειας σε μπαταρίες εξακολουθεί να είναι πολύ ακριβή και μπορεί να περιορίζεται από στοιχεία όπως το λίθιο (Hansen, Mathiesen, & Skov, 2019).

4.4.3 Τοποθεσία

Το ηλιακό φως, ο άνεμος, η βιομάζα και η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι περισσότερο διαθέσιμες σε ορισμένες τοποθεσίες από ό,τι σε άλλες. Οι μεγάλες αστικές περιοχές με τις υψηλότερες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια βρίσκονται συνήθως σε μεγάλες αποστάσεις από άφθονες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως εκ τούτου, απαιτούνται μεγάλες γραμμές μεταφοράς που είναι δαπανηρές, συνεπάγονται απώλειες ενέργειας και μπορεί να έχουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις μπορεί να περιθωριοποιήσει τη χρησιμότητα της ενέργειας από βιομάζα, επειδή έχει χαμηλή ενεργειακή απόδοση σε σχέση με την επένδυση εισροών. Για να

ελαχιστοποιηθεί αυτή η πρόκληση, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να μετατοπιστεί από κεντρικές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας σε μικρότερες τοπικές και περιφερειακές εγκαταστάσεις. Με την πάροδο του χρόνου, σε κάποιο βαθμό, τα πληθυσμιακά κέντρα θα μπορούσαν να μετατοπιστούν ώστε να χρησιμοποιούν αποτελεσματικότερα τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Abas, Kalair & Khan, 2015).

4.4.4 Εμπόδια στις μεταφορές

Σχεδόν όλες οι μεταφορές στις ανεπτυγμένες χώρες κινούνται πλέον με βενζίνη και ντίζελ που προέρχονται από πετρέλαιο. Το πετρέλαιο είναι κατάλληλο για μεταφορές επειδή είναι πυκνό σε ενέργεια, φορητό και μεταφέρεται εύκολα με αγωγούς και βυτιοφόρα. Αν και το πετρέλαιο έχει γίνει πολύ ακριβότερο τα τελευταία 20 χρόνια, εξακολουθεί να είναι σχετικά φθηνό σε σύγκριση με το κόστος των εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Στις ΗΠΑ, οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν περίπου το 28% της χρήσης ενέργειας, ενώ το 95% τροφοδοτείται από πετρέλαιο. Σε όλο τον κόσμο σχεδόν όλες οι αναπτυσσόμενες χώρες εφαρμόζουν συστήματα μεταφορών που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο πετρέλαιο, όπως στις ΗΠΑ και την Ευρώπη. Η παγκόσμια ζήτηση για πετρέλαιο, που σήμερα ανέρχεται σε 100 εκατομμύρια βαρέλια την ημέρα, αυξάνεται με ρυθμό άνω του 1% ετησίως, αλλά αναμένεται να αυξηθεί κατά μέσο όρο κατά 0,6% ετησίως τα επόμενα 30 χρόνια. Προκειμένου να επιλυθούν τα δύο προβλήματα, της εξάντλησης του πετρελαίου και της αύξησης των εκπομπών ορυκτών καυσίμων, η μετάβαση στην ηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα για την ηλεκτροδότηση των μεταφορών θεωρούνται ως οι πρωταρχικές λύσεις. Ωστόσο, διάφορες ενεργειακές αρχές θεωρούν ότι αυτές οι αλλαγές αποτελούν τεράστια, αν όχι ανυπέρβλητη πρόκληση (Abas, Kalair & Khan, 2015).

Η μετάβαση σε ηλεκτρικά οχήματα περιλαμβάνει μια μεγάλη πρόκληση και πολλές μικρότερες προκλήσεις. Παρόλο που η τεχνολογία των μπαταριών βελτιώνεται ραγδαία, ακόμη και οι καλύτερες θεωρητικά μπαταρίες έχουν πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τα καύσιμα που βασίζονται στο πετρέλαιο. Η χρήση ελαφρών οχημάτων για τη μετακίνηση ανθρώπων μπορεί να ξεπεραστεί, αλλά για μεγάλα βαρέα οχήματα (φορτηγά, τρακτέρ, φορτηγά πλοία), οι μπαταρίες που απαιτούνται είναι πολύ βαριές για να είναι πρακτικά εφαρμόσιμες. Δύο άλλες σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται με την ηλεκτροκίνηση των μεταφορών αφορούν την αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και την πίεση που θα ασκήσει αυτή η ζήτηση στα τοπικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατά προσέγγιση πλήρης μετατροπή σε ηλεκτρικά οχήματα για τις μετακινήσεις επιβατών στις ΗΠΑ θα αυξήσει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 29%. Αυτή η μετάβαση θα μειώνει τις εκπομπές CO₂ κατά 6 έως 7% (Aluko & Obalade, 2020).

Τα βιοκαύσιμα που παράγονται από γεωργικές καλλιέργειες, υπολείμματα βλάστησης από δάση και βοσκοτόπια και φύκια μπορεί να φαίνονται ως λύση για την τροφοδοσία φορτηγών, πλοίων και αεροσκαφών, αλλά έχουν αρκετά μειονεκτήματα.

Οι προκλήσεις της μετατροπής σε βιοκαύσιμα για τις μεταφορές περιλαμβάνουν το κόστος, την επεκτασιμότητα, την ενεργειακή αποδοτικότητα και τα περιβαλλοντικά συμβιβαστικά. Βασικά, η ποσότητα ενέργειας που επιστρέφεται από την παραγωγή των περισσότερων βιοκαυσίμων σε σχέση με τις ενεργειακές εισροές είναι πολύ χαμηλή για την κερδοφορία. Η εκτροπή της γης από την παραγωγή τροφίμων και η απώλεια της βιοποικιλότητας είναι δύο άλλα σοβαρά μειονεκτήματα της χρήσης βιοκαυσίμων σε μεγάλη κλίμακα για την ηλεκτροδότηση των μεταφορών. Μια άλλη πρόκληση είναι ότι η μετασκευή φορτηγών, αεροπλάνων και πλοίων για την καύση βιοκαυσίμων είναι δαπανηρή. Ως εκ τούτου, η αντικατάσταση του πετρελαίου ως πηγής καυσίμου με βιοκαύσιμα για τις μεταφορές σε μεγάλη κλίμακα είναι επί του παρόντος ανέφικτη. Υπήρχε κάποια ελπίδα ότι τα βιοκαύσιμα που προέρχονται από φύκια θα μπορούσαν τελικά να γίνουν ένα πρακτικό καύσιμο για αεροπλάνα, αλλά τώρα φαίνεται να είναι ανέφικτο λόγω των προκλήσεων της καλλιέργειας, της συλλογής και της ξήρανσής τους μαζί με τις κεφαλαιακές ανάγκες (Aluko & Obalade, 2020).

4.4.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τα αιολικά, τα ηλιακά και τα βιοκαύσιμα έχουν σοβαρές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδίως όταν επεκτείνονται ώστε να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών. Οι ανεμογεννήτριες απαιτούν υψηλές ποσότητες σιδήρου και χαλκού που απαιτούν περισσότερες εξορύξεις, υποβαθμίζουν τις αισθητικές αξίες των φυσικών τοπίων, μπορεί να είναι επιβλαβείς για τα πτηνά και οι άνθρωποι που ζουν κοντά τους παραπονιούνται για το θόρυβο και την απώλεια ύπνου. Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας απαιτεί μεγάλες ποσότητες μετάλλων, όπως αλουμίνιο, χαλκό και λανθανίδια, τα οποία θα μπορούσαν να γίνουν απαγορευτικά δαπανηρά λόγω εξάντλησης, εάν αποτελέσουν τους κύριους παρόχους ενέργειας σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Θα υποβαθμίσουν επίσης τη βόσκηση, την άγρια ζωή και τις αισθητικές αξίες σε εκτεταμένα λιβαδικά τοπία, εάν χρησιμοποιηθούν ως κύριες πηγές ενέργειας για τα ηλεκτρικά δίκτυα. Τα βιοκαύσιμα, εκτός από την πρόκληση μεγάλης μείωσης των καλλιεργήσιμων εκτάσεων για την παραγωγή τροφίμων, θα συμβάλουν στη διάβρωση του εδάφους, στην εξάντληση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους (ιδίως του φωσφόρου) και στην απώλεια ενδιαιτημάτων της άγριας ζωής, εάν η παραγωγή τους επεκταθεί σε επίπεδο που θα αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα ως κύρια παγκόσμια πηγή ενέργειας (Cantarero, 2020).

4.4.6 Διαθεσιμότητα γης

Η διαθεσιμότητα γης μπορεί να αποτελέσει άλλη μια σημαντική πρόκληση για την αιολική και την ηλιακή ενέργεια ως αντικαταστάτες των ορυκτών καυσίμων. Μια πρόσφατη ανασκόπηση και μετα-ανάλυση των χωρικών απαιτήσεων των διαφόρων

ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έδειξε ότι η αιολική ενέργεια απαιτεί περίπου 370 φορές περισσότερη γη για την παραγωγή ενός μεγαβάτ ενέργειας από ό,τι το φυσικό αέριο. Για την ηλιακή ενέργεια, η αναλογία γης ανά μονάδα ισχύος μειώνεται σε 140 φορές σε σχέση με το φυσικό αέριο. Αντίθετα, η πυρηνική ενέργεια απαιτεί μόνο τρεις φορές περισσότερη γη από το φυσικό αέριο ανά μονάδα παραγωγής ενέργειας. Στις μελέτες του Πανεπιστημίου Princeton για την καθαρή μηδενική Αμερική, για την παραγωγή ενός γιγαβάτ ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο σε σύγκριση με την πυρηνική ενέργεια απαιτούνταν περίπου 1000 φορές περισσότερη γη. Υπολογίστηκε ότι θα χρειαστεί τετραπλάσια αύξηση της έκτασης που αφιερώνεται στην παραγωγή ενέργειας, εάν η αιολική και η ηλιακή ενέργεια επιλεγούν ως βασικά στοιχεία για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος για μηδενικές εκπομπές CO₂ έως το 2050. Αυτό θα συνεπαγόταν ένα ενεργειακό αποτύπωμα σε περίπου 16% της χερσαίας έκτασης των συνεχόμενων ΗΠΑ. Μια άλλη πρόσφατη εκτίμηση δείχνει ότι θα χρειαζόταν πάνω από το ένα τρίτο της χερσαίας έκτασης των ηπειρωτικών ΗΠΑ για να καλυφθεί η σημερινή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας με αποκλειστική χρήση αιολικών και ηλιακών πάρκων. Πρόκειται για 5 έως 10 φορές περισσότερη γη από ό,τι θεωρούνταν προηγουμένως. Ανεξάρτητα από το ποια εκτίμηση αποδεικνύεται πιο αξιόπιστη, είναι σαφές ότι η μετατροπή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην αιολική και την ηλιακή ενέργεια θα συνεπάγεται σημαντική αύξηση (τριπλασιασμό έως πενταπλασιασμό) του παγκόσμιου ενεργειακού αποτυπώματος (Vakulchuk, Overland & Scholten, 2020).

Στις ΗΠΑ, μία από τις πιο δύσκολες προκλήσεις θα είναι η χωροθέτηση και η κατασκευή γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σε όλα τα σενάρια αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων, η αδειοδότηση και η κατασκευή γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίστηκε ως σοβαρό εμπόδιο. Εάν δοθεί έμφαση στην αιολική και την ηλιακή ενέργεια σε αντίθεση με την πυρηνική ενέργεια και το φυσικό αέριο με δέσμευση άνθρακα, η ανάγκη για χωρητικότητα γραμμών μεταφοράς θα υπερτριπλασιαστεί πιθανότατα. Εάν οι ΗΠΑ αποφασίσουν να επιτύχουν μια οικονομία χωρίς άνθρακα έως το 2050 χρησιμοποιώντας τη μικρότερη δυνατή έκταση γης, θα χρειαστεί να κατασκευάσουν εκατοντάδες πυρηνικούς σταθμούς και σταθμούς φυσικού αερίου με συστήματα δέσμευσης άνθρακα αντί να επικεντρωθούν σε μεγάλο βαθμό στην αιολική και την ηλιακή ενέργεια (Vakulchuk, Overland & Scholten, 2020).

Κεφάλαιο 5ο

5.1 Διαχείριση Κλιματικού Κινδύνου

Ο κλιματικός κίνδυνος θα βρεθεί σίγουρα στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος του χρηματοπιστωτικού κλάδου τα επόμενα χρόνια. Ακόμη και οι συμμετέχοντες στην αγορά που δεν έχουν ακόμη ενστερνιστεί την ιδέα της βιώσιμης επένδυσης διερευνούν πώς η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τις εταιρείες χαρτοφυλακίου τους. Αυτό δεν θα πρέπει να αποτελεί έκπληξη αν αναλογιστεί κανείς ότι στις αρχές του τρέχοντος έτους σημειώθηκε η πρώτη πτώχευση που προκλήθηκε εν μέρει από την κλιματική αλλαγή και την ανεπαρκή ανταπόκριση των εταιρειών στις προκλήσεις της: Η μεγαλύτερη εταιρεία κοινής ωφέλειας της Καλιφόρνιας, η Pacific Gas & Electric (PG&E) κατέθεσε αίτηση για την αποκαλούμενη στις Ηνωμένες Πολιτείες προστασία της πτώχευσης κατά το κεφάλαιο 11, ως αποτέλεσμα των υποχρεώσεων ύψους 30 δισεκατομμυρίων δολαρίων και 750 αγωγών που συνδέονται με τις πυρκαγιές της πολιτείας. Πράγματι, η πτώχευση αυτή ήταν αποτέλεσμα του ότι η PG&E δεν μείωσε επαρκώς τους κινδύνους που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή για το δίκτυο ηλεκτροδότησης (Gold, 2019).

Ως εκ τούτου, δεν είναι περίεργο που οι ρυθμιστικές αρχές εξετάζουν επίσης τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη χρηματοπιστωτική σταθερότητα. Επί του παρόντος, οι γνωστοποιήσεις των κλιματικών κινδύνων είναι μόνο εθελοντικές, αλλά σε αρκετές δικαιοδοσίες διεξάγονται συζητήσεις σχετικά με την υποχρεωτική τους εφαρμογή. Για παράδειγμα, σε μια πρόσφατη πρόταση, η Αρχή Χρηματοοικονομικής Συμπεριφοράς του Ηνωμένου Βασιλείου συνέστησε ότι όλες οι εισηγμένες στο Ηνωμένο Βασίλειο εταιρείες θα πρέπει να υποχρεούνται να γνωστοποιούν τους κλιματικούς κινδύνους τους από το 2020 και μετά (Gold, 2019).

Αναμφισβήτητα, η σημαντικότερη εξέλιξη στο χώρο προήλθε από τις συστάσεις της Ομάδας Εργασίας για τις Χρηματοοικονομικές Γνωστοποιήσεις που σχετίζονται με το Κλίμα (Task Force on Climate-Related Financial Disclosures - TCFD) του Συμβουλίου Χρηματοπιστωτικής Σταθερότητας σχετικά με τον τρόπο παροχής πληροφοριών για τον κλιματικό κίνδυνο στους επενδυτές και σε άλλα ενδιαφερόμενα μέρη. Αυτό αύξησε τη γενική ευαισθητοποίηση σχετικά με τις οικονομικές επιπτώσεις των κινδύνων που σχετίζονται με το κλίμα, εν μέρει λόγω των υποστηρικτών του υψηλού προφίλ, όπως ο φιλόanthropos και πρώην δήμαρχος της Νέας Υόρκης Michael Bloomberg και ο διοικητής της Κεντρικής Τράπεζας του Ηνωμένου Βασιλείου Mark Carney. Μια πρόσφατη έρευνα για τους επενδυτές από την LGT Capital Partners επιβεβαίωσε επίσης αυτή την τάση. Ως απάντηση στην ερώτηση "Ποια είναι τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά θέματα για εσάς;", η μεγάλη πλειοψηφία των επενδυτών απάντησε με την κλιματική αλλαγή/εκπομπές άνθρακα (Binham & Hook, 2019).

Η κλιματική αλλαγή είναι ίσως το πιο εύκολο θέμα ESG να κατανοηθεί, δεδομένου του καθολικού χαρακτήρα του συνολικού της αντίκτυπου, ακόμη και αν η κλίμακα των επιπτώσεων και τα είδη των συνεπειών της διαφέρουν για διαφορετικές τοποθεσίες, οικονομικούς τομείς και κοινωνίες. Επίσης, οι οικονομικές συνέπειες της ανεπαρκούς

διαχείρισης του κλιματικού κινδύνου γίνονται ευρύτερα κατανοητές. Εκτιμάται ότι κόστος των καταστροφών που σχετίζονται με το κλίμα σε παγκόσμιο επίπεδο ανήλθε σε 650 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ, ή 0,28 % του παγκόσμιου ΑΕΠ, μεταξύ 2016 και 2019. Ως εκ τούτου, οι ευκαιρίες βιώσιμων επενδύσεων που εστιάζουν στον μετριασμό του κλίματος και την προσαρμογή θα γίνουν ακόμη πιο ελκυστικές μεταξύ των επενδυτών κατά τα επόμενα χρόνια (Binham & Hook, 2019).

5.2 Ευθυγράμμιση με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης

Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ (Sustainable Development Goals - SDG) απαιτούν επενδύσεις ύψους 5 έως 7 τρισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ ετησίως μέχρι το 2030. Καθώς το ποσό αυτό υπερβαίνει κατά πολύ τον προϋπολογισμό των κυβερνήσεων, ένα μεγάλο μέρος της χρηματοδότησης πρέπει να προέλθει από ιδιωτικές πηγές. Σε αυτό το σημείο οι βιώσιμες επενδύσεις θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο. Το θετικό είναι ότι υπάρχει ισχυρή πολιτική βούληση σε παγκόσμιο επίπεδο για να συμβεί αυτό. Η κινητοποίηση των χρηματοοικονομικών ροών σε έργα που συνάδουν με τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης είναι ψηλά στην πολιτική ατζέντα (Hák, Janoušková & Moldan, 2016).

Αυτό αποδεικνύεται και από την ιστορική συμφωνία των κρατών μελών του ΟΗΕ για το θέμα αυτό, που ονομάζεται Ατζέντα Δράσης της Addis Ababa. Περιλαμβάνει πάνω από 100 συγκεκριμένα μέτρα για τη χρηματοδότηση της βιώσιμης ανάπτυξης, τον μετασχηματισμό της παγκόσμιας οικονομίας και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Μακροπρόθεσμα, αυτή η πολιτική στήριξη θα πρέπει να μεταφραστεί σε νέους κανονισμούς που ευνοούν τις βιώσιμες επενδύσεις και σε καινοτόμες λύσεις μικτής χρηματοδότησης για την απομείωση του κινδύνου των επιλέξιμων έργων. Αυτό θα δημιουργήσει ευκαιρίες για επενδύσεις που είναι ευθυγραμμισμένες με τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης (Hák, Janoušková & Moldan, 2016).

Ο χρηματοπιστωτικός κλάδος έχει αγκαλιάσει τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης πολύ περισσότερο από ό,τι τους προηγούμενους Αναπτυξιακούς Στόχους της Χιλιετίας, εν μέρει λόγω της εστίασης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης στην κοινή ευθύνη. Πράγματι, η βιώσιμη επένδυση αναφέρεται πλέον συχνά ως επένδυση σε στόχους βιώσιμης ανάπτυξης. Επίσης, τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα χρησιμοποιούν συχνά τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης ως σημεία αναφοράς στις εκθέσεις περιβαλλοντικού, κοινωνικού και διοικητικού αντικτύπου τους. Σύμφωνα με την έρευνα του Παγκόσμιου Δικτύου Επενδύσεων Επιπτώσεων (Global Impact Investing Network - GIIN), πάνω από το 60 % των επενδυτών που επενδύουν σε επιπτώσεις παρακολουθούν κάποιες ή όλες τις επιδόσεις τους σε σχέση με τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης (Mudaliar & Dithrich, 2019).

Οι ιδιόκτητες μεθοδολογίες αξιολόγησης του περιβάλλοντος, της κοινωνικής και της διακυβέρνησης βασίζονται στους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης κατά τον καθορισμό των δεικτών για τη μέτρηση των επιπτώσεων. Πράγματι, με βάση μια έρευνα, το 89% των επενδυτών δηλώνει ότι οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης θα διαδραματίσουν

σημαντικό ρόλο στη βοήθεια του χρηματοπιστωτικού κλάδου για τη μέτρηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών αποτελεσμάτων.

Οι Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης θα αποτελέσουν ένα πλαίσιο επιρροής για τον τρόπο με τον οποίο θα αναπτυχθεί η βιώσιμη επένδυση τα επόμενα χρόνια. Θα παρέχουν καθοδήγηση στον χρηματοπιστωτικό κλάδο σχετικά με το ποιες είναι οι πιο πειστικές παγκόσμιες περιβαλλοντικές και κοινωνικές προκλήσεις και σε ποιους τομείς πρέπει να επικεντρωθούν οι επενδυτές κατά την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και διακυβέρνησης στο χαρτοφυλάκιο τους (Assembly, 2015).

5.3 Χρηματοοικονομική καινοτομία

Απαιτούνται καινοτόμα χρηματοδοτικά μέσα για την αντιμετώπιση των διαφόρων προκλήσεων βιωσιμότητας του κόσμου. Από τη μία πλευρά, είναι σημαντικές για επενδύσεις που διαφορετικά δεν θα είχαν ελκυστικό προφίλ απόδοσης κινδύνου, αλλά αναμένεται να προσφέρουν εξαιρετικά υψηλό περιβαλλοντικό, κοινωνικό και διοικητικό αντίκτυπο. Από την άλλη πλευρά, καθώς οι βιώσιμες επενδύσεις γίνονται κυρίαρχες, είναι ζωτικής σημασίας οι συμμετέχοντες στις χρηματοπιστωτικές αγορές να διαθέτουν αρκετά μεγάλη δεξαμενή πράσινων τίτλων σε όλες τις κατηγορίες περιουσιακών στοιχείων για να δημιουργήσουν χαρτοφυλάκια συμβατά με το περιβάλλον, την κοινωνία και τη διακυβέρνηση (Uzsoki, 2020).

Πράγματι, η χρηματοοικονομική καινοτομία στις βιώσιμες επενδύσεις επιταχύνεται τα τελευταία χρόνια, προσπαθώντας να καλύψει τις ποικίλες ανάγκες τόσο των επενδυτών όσο και των έργων. Από τότε που η Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων εξέδωσε το πρώτο πράσινο ομόλογο το 2007, η έκδοση βιώσιμων χρεογράφων έχει εξελιχθεί σημαντικά. Οι εκδότες άρχισαν να κοιτάζουν πέρα από το "πράσινο" προκειμένου να αντιμετωπίσουν ένα ευρύτερο σύνολο Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης, δοκιμάζοντας την όρεξη των επενδυτών για ομόλογα βιωσιμότητας και κοινωνικά ομόλογα. Μόνο το 2018 η συνολική έκδοση αυτών των τίτλων σταθερού εισοδήματος έφτασε τα 58,8 δισεκατομμύρια δολάρια και αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά το 2019 (Taneja & Özen, 2023).

Άλλα καινοτόμα μέσα που έχουν εμφανιστεί σε αυτόν τον χώρο περιλαμβάνουν δάνεια που συνδέονται με τη βιωσιμότητα, όπου οι όροι του δανείου καθορίζονται με βάση προκαθορισμένους στόχους βιωσιμότητας. Ακολουθώντας μια παρόμοια αρχή, η ING Bank εισήγαγε την πρώτη ανταλλαγή επιτοκίων, της οποίας το πιστωτικό περιθώριο εξαρτάται από τις επιδόσεις βιωσιμότητας της υποκείμενης εταιρείας. Τα ομόλογα καταστροφών έχουν επίσης κερδίσει πρόσφατα δημοτικότητα. Επιτρέπουν στους εκδότες να μεταφέρουν ορισμένους κινδύνους που σχετίζονται με το κλίμα στους επενδυτές. Θα αποτελέσουν σημαντικό μέσο για τη διαχείριση των υποχρεώσεων που σχετίζονται με το κλίμα. Επίσης, η μεγαλύτερη εταιρεία ακινήτων της Σουηδίας, η Vasakronan AB, εξέδωσε πρόσφατα το πρώτο πράσινο εμπορικό χαρτί. Αυτό ήταν το πρώτο βραχυπρόθεσμο χρηματοδοτικό μέσο του οποίου τα έσοδα προορίζονταν σαφώς για πράσινα περιουσιακά στοιχεία (Uzsoki, 2020).

Όλη αυτή η καινοτομία έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των βιώσιμων τίτλων. Σύμφωνα με το Bloomberg New Energy Finance (NEF), οι χρεωστικοί τίτλοι βιωσιμότητας έφτασαν πρόσφατα το 1 τρισεκατομμύριο δολάρια ΗΠΑ σε συνολική έκδοση. Όπως είναι αναμενόμενο, τα πράσινα ομόλογα πρωτοστατούν, αλλά αναμένω ότι άλλες μορφές βιώσιμου χρέους θα καλύψουν τη διαφορά τα επόμενα χρόνια, καθώς η βιώσιμη επένδυση γίνεται πιο mainstream (Henze, 2019).

Υπάρχουν πολλές δυνατότητες στο σχεδιασμό μέσων που συνδέονται με τη βιωσιμότητα για άλλες κατηγορίες περιουσιακών στοιχείων εκτός από τα χρεόγραφα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των μετοχών, τα μερίσματα θα μπορούσαν να συνδεθούν με τις επιδόσεις βιωσιμότητας της εταιρείας. Επίσης, η χρηματοοικονομική καινοτομία θα διαδραματίσει ουσιαστικό ρόλο στη βελτίωση της κλιματικής ανθεκτικότητας των επιχειρήσεων και των έργων. Αναμένω να δούμε χρηματοπιστωτικά μέσα που θα συνδέονται με τους κλιματικούς κινδύνους του υποκείμενου περιουσιακού στοιχείου. Θα είναι σχεδιασμένα ώστε να δίνουν κίνητρα στις εταιρείες να διαχειρίζονται ενεργά την έκθεσή τους στο κλίμα. Στην περίπτωση των χρεωστικών μέσων, ο εκδότης θα πρέπει να καταβάλει υψηλότερο κουπόνι αν δεν επιτύχει τους προκαθορισμένους βασικούς δείκτες επιδόσεων για τον κλιματικό κίνδυνο (Taneja & Özen, 2023).

Ένας άλλος ενδιαφέρων τομέας που αναμένω ότι θα αποκτήσει μεγαλύτερη απήχηση, δεδομένων των εξελίξεων που έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα, είναι τα στοιχήματα εναντίον (δηλαδή οι ανοιχτές πωλήσεις) εταιρειών που δεν καταφέρνουν να κάνουν τη στροφή προς τη βιωσιμότητα. Οι διαχειριστές περιουσιακών στοιχείων πειραματίζονται με δομές, όπου όχι μόνο αγοράζουν πράσινες εταιρείες, αλλά και πωλούν ανοικτά τις μη βιώσιμες. Πράγματι, πρόκειται για μια ελκυστική επενδυτική πρόταση, ιδίως υπό το πρίσμα των "αρνητικών φούσκων περιουσιακών στοιχείων" που συζητήθηκαν προηγουμένως, όπου οι επενδυτές αποσύρονται μαζικά από τους ίδιους αμαρτωλούς τομείς και εταιρείες. Μεταξύ άλλων, η BNP Paribas θα εγκαινιάσει το επόμενο έτος ένα θεματικό αμοιβαίο κεφάλαιο long/short, το οποίο θα σορτάρει επίσης εταιρείες που είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένες στον κίνδυνο μετάβασης. Προβλέπεται ότι αυτή η τάση χρηματοοικονομικής καινοτομίας θα συνεχιστεί και θα επιταχυνθεί περαιτέρω, καθώς η βιώσιμη επένδυση θα γίνει mainstream. Στο τέλος της ημέρας, οι συμμετέχοντες στη χρηματοπιστωτική αγορά θα πρέπει να διαθέτουν μια βιώσιμη εκδοχή του ίδιου συνόλου χρηματοπιστωτικών μέσων που χρησιμοποιούν για τη δημιουργία χαρτοφυλακίων και την εξυπηρέτηση των πελατών τους (De Paoli, 2022).

5.4 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Η υπάρχουσα βιβλιογραφία έχει επικεντρωθεί στη διερεύνηση της πολύπλοκης διασταυρούμενης σχέσης μεταξύ της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και της οικονομικής ανάπτυξης. Οι επενδύσεις σε καθαρή ενέργεια αποτελούν κεντρικό θέμα

παγκοσμίως όσον αφορά την κλιματική αλλαγή και τις προοπτικές αντιστάθμισης της οικο-οικονομικής ανάπτυξης.

Οι Moner-Girona et al. (2021) μελέτησαν μια πολυδιάστατη στρατηγική υψηλής ανάλυσης για την ενίσχυση των αποκεντρωμένων ενεργειακών επενδύσεων στην υποσαχάρια Αφρική. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι επενδύσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να έχουν τα πιο απίστευτα κοινωνικά οφέλη. Οι Meng et al. (2021) ανέλυσαν τις προτεραιότητες δημιουργικής επίλυσης προβλημάτων για επενδύσεις στην αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας. Εξέφρασαν την άποψη ότι οι επενδύσεις στην αποθήκευση ανανεώσιμης ενέργειας είναι ουσιαστικές για τις περιβαλλοντικές ανησυχίες. Οι Zhou et al. (2021) εξέτασαν τις προτεραιότητες κινδύνου για επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιώντας ασαφή μοντελοποίηση λήψης αποφάσεων με περικοπές άλφα. Απέδειξαν ότι η αποδοτικότητα του κόστους και η οργανωτική αποτελεσματικότητα είναι κρίσιμα στοιχεία των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι Xie et al. (2021) εξέφρασαν ότι οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την επενδυτική συμπεριφορά μιας επιχείρησης και ότι η διαρθρωτική επενδυτική αισιοδοξία είναι ζωτικής σημασίας για την πράσινη ανάπτυξη (Khan & Hou, 2021).

Οι Guo et al. (2021) μελέτησαν τις πράσινες επενδύσεις και την καινοτομία στην ενέργεια για την ποιότητα του περιβάλλοντος. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην ενεργειακή βιομηχανία συμβάλλουν πειστικά στην εξήγηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι Ahmad και Zhao (2018) διερεύνησαν τις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των ενεργειακών επενδύσεων και της οικονομικής ανάπτυξης. Εξήγησαν ότι οι ενεργειακές επενδύσεις έχουν πολλαπλές επιπτώσεις στην ανάπτυξη και την εξέλιξη. Οι Zhang et al. (2021) μελέτησαν τον αντίκτυπο των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα της Κίνας. Τα ευρήματά τους διασαφήνισαν την ύπαρξη της υπόθεσης της Περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets (Environmental Kuznets Curve - EKC) για τις επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Υποστήριξαν ότι στο αρχικό στάδιο, οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να επιδεινώσουν το περιβάλλον- στη μέση φάση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας άρχισαν να παίζουν ρόλο στη μείωση των εκπομπών. Οι Abban και Hasan (2021) επανεξέτασαν τους καθοριστικούς παράγοντες των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το πάνελ 60 χωρών. Υποστήριξαν ότι οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι απαραίτητες για την προστασία του περιβάλλοντος.

Ένα μεγάλο μέρος της υπάρχουσας βιβλιογραφίας εξέτασε τον αντίκτυπο της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την οικονομική ανάπτυξη. Οι Khan και Ozturk (2021) εξέτασαν τις άμεσες και έμμεσες επιδράσεις της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης στις εκπομπές CO₂ 88 αναπτυσσόμενων χωρών. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι έμμεσοι δίαυλοι της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, ανέφεραν ότι η υπόθεση του ουρανού της ρύπανσης υφίσταται όταν η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη ξεπερνά

ορισμένα όρια. Οι Ibrahim και Vo (2021) μελέτησαν τη χρηματοπιστωτική ανάπτυξη και την περιβαλλοντική ρύπανση στις επιλεγμένες βιομηχανικές οικονομίες από το 1991 έως το 2014. Υποστήριξαν ότι η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη προωθεί την περιβαλλοντική επιδείνωση. Οι Aluko και Obalade (2020) διερεύνησαν τη σχέση χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής ποιότητας στην υποσαχάρια Αφρική από το 1985 έως το 2014. Απέδειξαν ότι η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη αποτελεί θετικό παράγοντα και έχει δυσμενείς τεχνολογικές επιπτώσεις στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Οι Zhao et al. (2021) ανέλυσαν τον αντίκτυπο της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης στο περιβάλλον της Κίνας από το 1953 έως το 2006. Τα συμπεράσματά τους έδειξαν ότι η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη έχει βελτιώσει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ότι η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη δεν έγινε εις βάρος της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Οι Xu et al. (2021) εξέτασαν τις διαδρομές επιρροής της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης στην ποιότητα του περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας παλινδρομήσεις ομαλής μετάβασης από το 2001 έως το 2017. Υποστήριξαν ότι η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη έχει έμμεσες θετικές επιδράσεις στο περιβάλλον μέσω διαφόρων μονοπατιών. Ο αντίκτυπος αυτών των μονοπατιών είναι διαφορετικός σε διαφορετικές περιοχές με υψηλά ή χαμηλά επίπεδα χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης.

Τα στοιχεία έδειξαν ότι η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική μεγέθυνση και ενισχύει ουσιαστικά την ανάπτυξη και την ανάπτυξη (Khan et al. 2021). Οι Li και Wei (2021) μελέτησαν τον αντίκτυπο της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης στην οικονομική ανάπτυξη σε 30 κινεζικές επαρχίες από το 1987 έως το 2017. Υποστήριξαν ότι υπάρχουν τόσο γραμμικές όσο και μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης και της οικονομικής ανάπτυξης. Οι Ahmed et al. (2021) εξέτασαν την επίδραση της χρηματοπιστωτικής ανάπτυξης στη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη των χωρών της Νότιας Ασίας από το 2000 έως το 2018. Απέδειξαν ότι η χρηματοπιστωτική ανάπτυξη αποτελεί κινητήριο παράγοντα για την προώθηση της πράσινης οικονομικής ανάπτυξης.

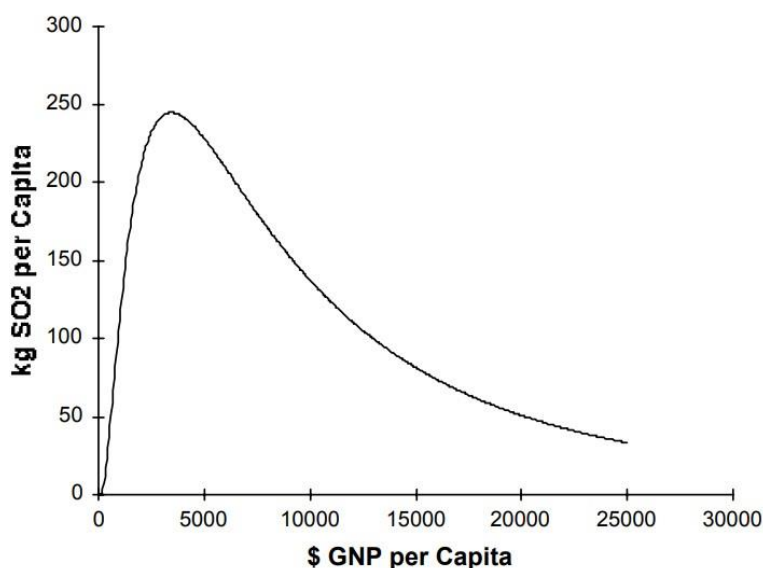
Οι μεταποιητικές βιομηχανίες συμβάλλουν στη ρύπανση των υδάτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Η απαγορευμένη απόρριψη επιβλαβών αερίων, μολυσμένου νερού, βαρέων μετάλλων, χημικών και ραδιενεργών υλικών στις υδάτινες οδούς έβλαψε το περιβάλλον. Ωστόσο, υπάρχει πολύ λίγη βιβλιογραφία για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του μεταποιητικού τομέα. Η βιώσιμη μεταποίηση είναι ένας από τους βασικούς στόχους των προηγμένων μεταποιητικών εταιρειών για τη μείωση των εκπομπών που σχετίζονται με την κατασκευή (Khan et al. 2021).

Οι Harun et al. (2013) εξέφρασαν ότι ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της μεταποίησης εξαρτάται από τον σχεδιασμό του προϊόντος και την επιλογή των υλικών. Επιπλέον, ο τομέας της μεταποίησης έχει εμπλέξει μαζικά ενέργεια και πόρους, με αποτέλεσμα να έχει τεράστιο αντίκτυπο στην οικονομική ανάπτυξη. Υπάρχει σαφής ένδειξη ότι ένας ευημερών τομέας μεταποίησης είναι θεμελιώδης για την ενίσχυση της παραγωγής σε μια οικονομία και την οικονομική ανάπτυξη.

Κεφάλαιο 6ο

6.1 Εισαγωγή στην περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets

Η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets (Environmental Kuznets Curve - EKC) είναι μια υποθετική σχέση μεταξύ διαφόρων δεικτών περιβαλλοντικής υποβάθμισης και του κατά κεφαλήν εισοδήματος. Στα πρώτα στάδια της οικονομικής ανάπτυξης η υποβάθμιση και η ρύπανση αυξάνονται, αλλά πέρα από κάποιο επίπεδο κατά κεφαλήν εισοδήματος (το οποίο ποικίλλει για διαφορετικούς δείκτες) η τάση αντιστρέφεται, έτσι ώστε σε υψηλά επίπεδα εισοδήματος η οικονομική ανάπτυξη να οδηγεί σε περιβαλλοντική βελτίωση. Αυτό σημαίνει ότι ο δείκτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι μια αντίστροφη συνάρτηση σχήματος U του κατά κεφαλήν εισοδήματος. Συνήθως, ο λογάριθμος του δείκτη μοντελοποιείται ως τετραγωνική συνάρτηση του λογαρίθμου του εισοδήματος (Stern, 2018).



Διάγραμμα 1: Περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets για τις εκπομπές θείου.

Πηγή: Stern, Common & Barbier, 1996.

Η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets πήρε το όνομά της από τον Kuznets (1955), ο οποίος υπέθεσε ότι η εισοδηματική ανισότητα πρώτα αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται καθώς προχωρά η οικονομική ανάπτυξη.

Η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets είναι ουσιαστικά ένα εμπειρικό φαινόμενο, αλλά το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας για την περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets είναι οικονομικά αδύναμο. Είναι πολύ εύκολο να κάνει κανείς κακή οικονομετρία και η ιστορία της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets αποτελεί

παράδειγμα για το τι μπορεί να πάει στραβά. Η ιδέα της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets έγινε γνωστή επειδή λίγοι έδωσαν επαρκή προσοχή στις οικονομετρικές διαγνωστικές στατιστικές. Λίγη ή καθόλου προσοχή δόθηκε στις στατιστικές ιδιότητες των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, όπως η σειριακή εξάρτηση ή οι στοχαστικές τάσεις στις χρονοσειρές, και λίγοι έλεγχοι της επάρκειας του μοντέλου πραγματοποιήθηκαν ή παρουσιάστηκαν. Ωστόσο, ένας από τους κύριους σκοπούς της οικονομετρίας είναι να ελέγξει ποιες φαινομενικές σχέσεις, ή "τυποποιημένα γεγονότα", είναι έγκυρες και ποιες είναι ψευδείς συσχετίσεις (Stern, 2018).

Όταν λαμβάνονται υπόψη τέτοια στατιστικά στοιχεία και χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες τεχνικές, διαπιστώνεται ότι η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets δεν υπάρχει. Αντ' αυτού προκύπτει μια πιο ρεαλιστική εικόνα της επίδρασης της οικονομικής ανάπτυξης και των τεχνολογικών αλλαγών στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Φαίνεται ότι οι περισσότεροι δείκτες περιβαλλοντικής υποβάθμισης αυξάνονται μονοτονικά με το εισόδημα αν και η "εισοδηματική ελαστικότητα" είναι μικρότερη από τη μονάδα και δεν είναι απλή συνάρτηση μόνο του εισοδήματος. Οι επιδράσεις που σχετίζονται με το χρόνο μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε χώρες με όλα τα επίπεδα εισοδήματος. Ωστόσο, στις ταχέως αναπτυσσόμενες χώρες μεσαίου εισοδήματος το φαινόμενο της κλίμακας, το οποίο αυξάνει τη ρύπανση και άλλη υποβάθμιση, υπερκαλύπτει το φαινόμενο του χρόνου. Στις πλούσιες χώρες, η ανάπτυξη είναι πιο αργή και οι προσπάθειες μείωσης της ρύπανσης μπορούν να ξεπεράσουν το φαινόμενο της κλίμακας. Αυτή είναι η προέλευση του φαινομενικού φαινομένου της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets (Yandle et al., 2002).

Τα οικονομετρικά αποτελέσματα υποστηρίζονται από πρόσφατα στοιχεία ότι, στην πραγματικότητα, τα προβλήματα ρύπανσης αντιμετωπίζονται και διορθώνονται στις αναπτυσσόμενες οικονομίες (Yandle et al., 2002).

6.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η έννοια της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με την πρωτοποριακή μελέτη των Grossman και Krueger (1991) για τις πιθανές επιπτώσεις της NAFTA και τη μελέτη υπόβαθρου των Shafik και Bandyopadhyay (1992) για την Παγκόσμια Έκθεση για την Ανάπτυξη του 1992. Ωστόσο, η ιδέα ότι η οικονομική ανάπτυξη είναι απαραίτητη προκειμένου να διατηρηθεί ή να βελτιωθεί η ποιότητα του περιβάλλοντος αποτελεί ουσιαστικό μέρος του επιχειρήματος της βιώσιμης ανάπτυξης που διακηρύχθηκε από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη στην έκθεση *"Το κοινό μας μέλλον"*.

Το θέμα της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets διαδόθηκε από την Παγκόσμια Έκθεση για την Ανάπτυξη της Παγκόσμιας Τράπεζας το 1992, η οποία υποστήριξε ότι η άποψη ότι η μεγαλύτερη οικονομική δραστηριότητα βλάπτει αναπόφευκτα το περιβάλλον βασίζεται σε στατικές υποθέσεις σχετικά με την τεχνολογία, τις προτιμήσεις και τις περιβαλλοντικές επενδύσεις και ότι καθώς τα εισοδήματα αυξάνονται, η ζήτηση για βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος θα αυξηθεί, όπως

και οι διαθέσιμοι πόροι για επενδύσεις. Άλλοι έχουν αναπτύξει αυτή τη θέση ακόμη πιο έντονα, υποστηρίζοντας ότι υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι, αν και η οικονομική ανάπτυξη οδηγεί συνήθως σε περιβαλλοντική υποβάθμιση στα πρώτα στάδια της διαδικασίας, στο τέλος ο καλύτερος - και πιθανώς ο μόνος - τρόπος για να επιτευχθεί ένα αξιοπρεπές περιβάλλον στις περισσότερες χώρες είναι να γίνει κανείς πλούσιος. Ωστόσο, η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets δεν έχει αποδειχθεί ποτέ ότι ισχύει για όλους τους ρύπους ή τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και πρόσφατα στοιχεία αμφισβητούν την έννοια της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets γενικά (Stern, 2017).

Εάν δεν υπήρχε καμία αλλαγή στη δομή ή την τεχνολογία της οικονομίας, η καθαρή αύξηση της κλίμακας της οικονομίας θα οδηγούσε σε ανάλογη αύξηση της ρύπανσης και άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό ονομάζεται φαινόμενο κλίμακας. Η παραδοσιακή άποψη ότι η οικονομική ανάπτυξη και η ποιότητα του περιβάλλοντος είναι αντικρουόμενοι στόχοι αντανακλά μόνο το φαινόμενο της κλίμακας. Οι υποστηρικτές της υπόθεσης της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets υποστηρίζουν ότι σε υψηλότερα επίπεδα ανάπτυξης, η διαρθρωτική αλλαγή προς βιομηχανίες και υπηρεσίες έντασης πληροφορίας, σε συνδυασμό με την αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση, την επιβολή περιβαλλοντικών κανονισμών, την καλύτερη τεχνολογία και τις υψηλότερες περιβαλλοντικές δαπάνες, οδηγούν σε εξομάλυνση και σταδιακή μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης (Stern, 2017).

Επομένως, σε ένα επίπεδο η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets εξηγείται από τους ακόλουθους άμεσους παράγοντες (Shahbaz et al., 2013):

1. Η κλίμακα παραγωγής συνεπάγεται την επέκταση της παραγωγής σε δεδομένες αναλογίες συντελεστών εισροών, μείγματος παραγωγής και κατάστασης της τεχνολογίας.
2. Οι διάφοροι κλάδοι έχουν διαφορετική ένταση ρύπανσης και συνήθως, κατά τη διάρκεια της οικονομικής ανάπτυξης, το μείγμα παραγωγής αλλάζει.
3. Οι αλλαγές στο μείγμα εισροών συνεπάγονται την υποκατάσταση των λιγότερο επιβλαβών για το περιβάλλον εισροών από τις περισσότερο επιβλαβείς εισροές και το αντίστροφο.
4. Οι βελτιώσεις στην κατάσταση της τεχνολογίας συνεπάγονται αλλαγές και στα δύο:
 - i. Την αποδοτικότητα της παραγωγής όσον αφορά τη χρήση λιγότερων ρυπογόνων εισροών ανά μονάδα προϊόντος.
 - ii. Ειδικές αλλαγές στις εκπομπές που έχουν ως αποτέλεσμα την εκπομπή λιγότερων ρύπων ανά μονάδα εισροών.

Αυτές οι άμεσες μεταβλητές μπορούν με τη σειρά τους να οδηγηθούν από αλλαγές στις υποκείμενες μεταβλητές, όπως η περιβαλλοντική ρύθμιση, η ευαισθητοποίηση και η εκπαίδευση κατά τη διάρκεια της οικονομικής ανάπτυξης. Ορισμένες εργασίες έχουν αναπτύξει θεωρητικά μοντέλα σχετικά με το πώς οι προτιμήσεις και η τεχνολογία μπορούν να αλληλοεπιδράσουν και να οδηγήσουν σε διαφορετικές χρονικές πορείες της ποιότητας του περιβάλλοντος (Shahbaz et al., 2013).

Οι διάφορες μελέτες κάνουν διαφορετικές απλουστευτικές παραδοχές για την οικονομία. Οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες μπορούν να δημιουργήσουν μια καμπύλη σχήματος ανεστραμμένου U της έντασης της ρύπανσης, αλλά δεν υπάρχει καμία αναπόφευκτη συνέπεια σε αυτό. Το αποτέλεσμα εξαρτάται από τις παραδοχές που γίνονται και την τιμή συγκεκριμένων παραμέτρων.

Οι Stern et al. (1996) και οι Özokcu και Özdemir (2017) υποθέτουν ότι οι παράγοντες ζουν απεριόριστα, ότι οι τεχνολογικές αλλαγές είναι εξωγενείς και ότι η ρύπανση παράγεται από την παραγωγή και όχι από την κατανάλωση. Οι Shahbaz et al. (2013) αναπτύσσουν υποδείγματα που βασίζονται σε επικαλυπτόμενες γενεές, όπου η ρύπανση παράγεται από την κατανάλωση και όχι από τις παραγωγικές δραστηριότητες. Οι Apergis και Ozturk (2015) επιτρέπει την ενδογενή τεχνική αλλαγή. Φαίνεται αρκετά εύκολο να αναπτυχθούν μοντέλα που παράγουν την περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets υπό κατάλληλες παραδοχές, αλλά κανένα από αυτά τα θεωρητικά μοντέλα δεν έχει δοκιμαστεί εμπειρικά. Επιπλέον, αν στην πραγματικότητα η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets για τις εκπομπές είναι μονοτονική, όπως δείχνουν πιο πρόσφατα στοιχεία, η ικανότητα ενός μοντέλου να παράγει μια ανεστραμμένη καμπύλη σχήματος U δεν είναι απαραίτητα μια επιθυμητή ιδιότητα.

6.3 Οικονομετρικό πλαίσιο

Οι πρώτες περιβαλλοντικές καμπύλες Kuznets ήταν απλές τετραγωνικές συναρτήσεις των επιπέδων του εισοδήματος. Ωστόσο, η οικονομική δραστηριότητα συνεπάγεται αναπόφευκτα τη χρήση πόρων και σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής, η χρήση πόρων συνεπάγεται αναπόφευκτα την παραγωγή αποβλήτων. Οι παλινδρομήσεις που επιτρέπουν στα επίπεδα των δεικτών να γίνουν μηδενικά ή αρνητικά είναι ακατάλληλες, εκτός από την περίπτωση της αποψίλωσης των δασών, όπου μπορεί να συμβεί αναδάσωση (Stern & Common, 2001).

Ο περιορισμός αυτός μπορεί να εφαρμοστεί με τη χρήση λογαριθμικής εξαρτημένης μεταβλητής. Το τυπικό μοντέλο παλινδρόμησης της Περιβαλλοντικής Καμπύλης Kuznets είναι (Stern & Common, 2001):

$$\ln(E/P)_{it} = \alpha_1 + \gamma_t + \beta_1 \ln(\text{GDP}/P)_{it} + \beta_2 (\ln(\text{GDP}/P))_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

όπου E είναι οι εκπομπές, P είναι ο πληθυσμός, και το \ln υποδηλώνει φυσικούς λογαρίθμους. Οι δύο πρώτοι όροι είναι παράμετροι παρεμβολής που ποικίλλουν μεταξύ των χωρών ή των περιφερειών i και των ετών t . Η υπόθεση είναι ότι, αν και το επίπεδο των εκπομπών κατά κεφαλήν μπορεί να διαφέρει μεταξύ των χωρών σε κάθε συγκεκριμένο επίπεδο εισοδήματος, η εισοδηματική ελαστικότητα είναι η ίδια σε όλες τις χώρες σε ένα δεδομένο επίπεδο εισοδήματος. Οι χρονικές παρεμβολές αποσκοπούν στο να ληφθούν υπόψη οι χρονικά μεταβαλλόμενες παραλειπόμενες μεταβλητές και τα στοχαστικά σοκ που είναι κοινά για όλες τις χώρες (Stern & Common, 2001).

Συνήθως το υπόδειγμα εκτιμάται με δεδομένα πάνελ. Οι περισσότερες μελέτες επιχειρούν να εκτιμήσουν τόσο το μοντέλο σταθερών επιδράσεων όσο και το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων. Το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων αντιμετωπίζει τα α_i και γ_i ως παραμέτρους παλινδρόμησης, ενώ το υπόδειγμα τυχαίων επιδράσεων τα αντιμετωπίζει ως συνιστώσες της τυχαίας διαταραχής. Εάν οι επιδράσεις α_i και γ_i και οι επεξηγηματικές μεταβλητές συσχετίζονται, τότε το υπόδειγμα τυχαίων επιδράσεων δεν μπορεί να εκτιμηθεί με συνέπεια. Μόνο το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων μπορεί να εκτιμηθεί με συνέπεια (Stern & Common, 2001).

Ο έλεγχος Hausman (1978) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ασυνέπειας στην εκτίμηση των τυχαίων επιδράσεων συγκρίνοντας τις παραμέτρους κλίσης των σταθερών επιδράσεων και των τυχαίων επιδράσεων. Μια σημαντική διαφορά υποδεικνύει ότι το υπόδειγμα τυχαίων επιδράσεων εκτιμάται ασυνεπώς, λόγω συσχέτισης μεταξύ των επεξηγηματικών μεταβλητών και των συνιστωσών σφάλματος. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν άλλα στατιστικά προβλήματα, το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων μπορεί να εκτιμηθεί με συνέπεια, αλλά οι εκτιμώμενες παράμετροι εξαρτώνται από τις επιδράσεις της χώρας και του χρόνου στο επιλεγμένο δείγμα δεδομένων. Επομένως, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρέκταση σε άλλα δείγματα δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι μία περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets που εκτιμάται με σταθερές επιδράσεις χρησιμοποιώντας μόνο δεδομένα αναπτυγμένων χωρών μπορεί να λέει λίγα πράγματα για τη μελλοντική συμπεριφορά των αναπτυσσόμενων χωρών.

Πολλές μελέτες υπολογίζουν το στατιστικό Hausman και διαπιστώνοντας ότι το υπόδειγμα τυχαίων επιδράσεων δεν μπορεί να εκτιμηθεί με συνέπεια εκτιμούν το υπόδειγμα σταθερών επιδράσεων. Αλλά λίγες έχουν αναλογιστεί τις βαθύτερες συνέπειες της αποτυχίας αυτού του ελέγχου ορθογωνιότητας.

Οι Perman και Stern (2003) χρησιμοποιούν κάποιους πρόσφατα αναπτυγμένους ελέγχους μοναδιαίας ρίζας και συνολοκλήρωσης σε πάνελ και διαπιστώνουν ότι οι εκπομπές θείου και το κατά κεφαλήν ΑΕΠ μπορεί να είναι ολοκληρωμένες μεταβλητές. Οι Coondoo και Dinda (2002) δίνουν παρόμοια αποτελέσματα για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Εάν οι παλινδρομήσεις της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets δεν συνολοκληρώνονται τότε οι εκτιμήσεις θα είναι ψευδείς. Πολύ λίγες μελέτες έχουν αναφέρει διαγνωστικά στατιστικά στοιχεία για την ολοκλήρωση των μεταβλητών ή τη συνολοκλήρωση των παλινδρομήσεων και έτσι δεν είναι σαφές τι μπορεί να προκύψει ως συμπέρασμα από την πλειονότητα των μελετών της Περιβαλλοντικής Καμπύλης Kuznets.

6.4 Αποτελέσματα μελετών περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets

Τα βασικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις μελέτες για την περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets για διαφορετικούς ρύπους, δεδομένα κ.λπ. μπορούν να παρουσιαστούν με την ανασκόπηση μερικών από τις πρώτες μελέτες και την λεπτομερέστερη εξέταση ενός μόνο δείκτη (θείου) (Perman & Stern, 2003).

Οι πρώτες μελέτες για την περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets φάνηκε να δείχνουν ότι οι τοπικοί ρύποι ήταν πιο πιθανό να εμφανίζουν σχέση σχήματος ανεστραμμένου U με το εισόδημα, ενώ οι παγκόσμιες επιπτώσεις όπως το διοξείδιο του άνθρακα δεν το έκαναν. Αυτή η εικόνα ταιριάζει με τη θεωρία των περιβαλλοντικών οικονομικών - οι τοπικές επιπτώσεις εσωτερικεύονται σε μια οικονομία ή μια περιοχή και είναι πιθανό να οδηγήσουν σε περιβαλλοντικές πολιτικές για τη διόρθωση των εξωτερικών επιπτώσεων στους ρυπαίνοντες πριν εφαρμοστούν τέτοιες πολιτικές σε προβλήματα που εξωτερικεύονται σε παγκόσμιο επίπεδο (Grossman & Krueger, 1991; Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Selden & Song, 1994).

Οι Grossman και Krueger (1991) εκπόνησαν την πρώτη μελέτη αναφορικά με την περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets στο πλαίσιο μιας μελέτης των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της NAFTA. Εκτίμησαν η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets για το SO₂, τη σκοτεινή ύλη (λεπτός καπνός) και τα αιωρούμενα σωματίδια (suspended particles - SPM) χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων GEMS. Αυτό το σύνολο δεδομένων είναι ένας πίνακας μετρήσεων περιβάλλοντος από διάφορες τοποθεσίες σε πόλεις σε όλο τον κόσμο. Κάθε παλινδρόμηση περιλάμβανε μια κυβική συνάρτηση σε επίπεδα (όχι λογάριθμους) της ισοτιμίας αγοραστικής δύναμης προσαρμοσμένης στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ και σε διάφορες μεταβλητές που σχετίζονται με τοποθεσίες, μια χρονική τάση και μια μεταβλητή έντασης συναλλαγών. Τα σημεία καμπής για το SO₂ και τη σκοτεινή ύλη βρίσκονται γύρω στα 4000-5000 δολάρια, ενώ η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων φάνηκε να μειώνεται ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα εισοδήματος.

Η μελέτη των Shafik και Bandyopadhyay (1992) είχε ιδιαίτερη επιρροή καθώς τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν στην Παγκόσμια Έκθεση για την Ανάπτυξη του 1992. Εκτίμησαν περιβαλλοντικές καμπύλες Kuznets για δέκα διαφορετικούς δείκτες χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές λειτουργικές μορφές. Διαπιστώθηκε ότι η έλλειψη καθαρού νερού και η έλλειψη αστικής υγιεινής μειώνονται ομοιόμορφα με την αύξηση του εισοδήματος και με την πάροδο του χρόνου. Και οι δύο παλινδρομήσεις για την αποψίλωση των δασών δεν έδειξαν καμία σχέση μεταξύ του εισοδήματος και της αποψίλωσης των δασών. Η ποιότητα των ποταμών έτεινε να επιδεινώνεται με την αύξηση του εισοδήματος. Οι τοπικές συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων, ωστόσο, ήταν σύμφωνες με την υπόθεση της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets με σημεία καμπής μεταξύ 3000 και 4000 δολαρίων. Τέλος, τόσο τα αστικά απόβλητα όσο και οι κατά κεφαλήν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκαν μονοσήμαντα με την αύξηση του εισοδήματος.

Οι Selden και Song (1994) υπολόγισαν τις περιβαλλοντικές καμπύλες Kuznets για τέσσερις σειρές εκπομπών: SO₂, NO_x, SPM και CO χρησιμοποιώντας διαχρονικά δεδομένα από το World Resources. Τα δεδομένα προέρχονται κυρίως από ανεπτυγμένες χώρες. Τα εκτιμώμενα σημεία καμπής είναι όλα πολύ υψηλά σε σύγκριση με τις προηγούμενες μελέτες:

- SO₂, \$10391
- NO_x, \$13383

- SPM, \$12275
- CO, \$7114

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι το σημείο καμπής για τις εκπομπές είναι πιθανό να είναι υψηλότερο από εκείνο για τις συγκεντρώσεις στο περιβάλλον. Στα αρχικά στάδια της οικονομικής ανάπτυξης η αστική και βιομηχανική ανάπτυξη τείνει να συγκεντρώνεται περισσότερο σε μικρότερο αριθμό πόλεων, οι οποίες έχουν επίσης αυξανόμενη πυκνότητα κεντρικού πληθυσμού, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει στα μεταγενέστερα στάδια της ανάπτυξης. Έτσι, είναι δυνατόν οι συγκεντρώσεις ρύπανσης στο περιβάλλον να μειωθούν όσο αυξάνεται το εισόδημα, ακόμη και αν οι συνολικές εθνικές εκπομπές αυξάνονται (Selden & Song, 1994).

Μεταξύ των εκτιμήσεων που βασίζονται στις εκπομπές, τόσο οι Selden και Song (1994) όσο και οι Cole et al. (1997) χρησιμοποιούν βάσεις δεδομένων που κυριαρχούνται ή αποτελούνται αποκλειστικά από εκπομπές από χώρες του ΟΟΣΑ. Τα εκτιμώμενα σημεία καμπής τους είναι \$10391 και \$8232 αντίστοιχα. Οι List και Gallet (1999) χρησιμοποιούν δεδομένα για την περίοδο 1929-1994 για τις πενήντα πολιτείες των ΗΠΑ. Το εκτιμώμενο σημείο καμπής τους είναι το δεύτερο υψηλότερο στον πίνακα. Το κατά κεφαλήν εισόδημα στο δείγμα τους κυμαίνεται από 1162 έως 22462 δολάρια ΗΠΑ το 1987. Αυτό είναι μεγαλύτερο εύρος εισοδηματικών επιπέδων από ό,τι συναντάται στους πίνακες που βασίζονται στον ΟΟΣΑ. Αυτό υποδηλώνει ότι η συμπερίληψη στο δείγμα περισσότερων σημείων δεδομένων χαμηλού εισοδήματος θα μπορούσε να αποδώσει υψηλότερο σημείο καμπής. Οι Stern και Common (2001) εκτίμησαν το σημείο καμπής σε πάνω από 100.000 δολάρια. Χρησιμοποίησαν μια βάση δεδομένων για τις εκπομπές που παρήγαγε για το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, η οποία καλύπτει μεγαλύτερο εύρος εισοδηματικών επιπέδων και περιλαμβάνει περισσότερα σημεία δεδομένων από οποιαδήποτε άλλη μελέτη της καμπύλης Kuznet για το περιβάλλον του θείου.

Οι μελέτες που χρησιμοποιούν πιο αντιπροσωπευτικά δείγματα δεδομένων διαπιστώνουν ότι υπάρχει μονοτονική σχέση μεταξύ των εκπομπών θείου και του εισοδήματος, όπως ακριβώς υπάρχει και μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα και του εισοδήματος. Είναι ενδιαφέρον ότι οι Dijkgraaf και Vollebergh (1998) εκτιμούν περιβαλλοντικές καμπύλες Kuznets για ένα σύνολο δεδομένων πάνελ των χωρών του ΟΟΣΑ, διαπιστώνοντας μια περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets σε σχήμα ανεστραμμένου U στο σύνολο του δείγματος. Το σημείο καμπής βρίσκεται μόλις στο 54% του μέγιστου ΑΕΠ του δείγματος. Όλες αυτές οι μελέτες υποδηλώνουν ότι οι διαφορές στα σημεία καμπής που έχουν βρεθεί για διάφορους ρύπους μπορεί να οφείλονται, τουλάχιστον εν μέρει, στα διαφορετικά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν.

Ορισμένες μελέτες βασίστηκαν στο βασικό υπόδειγμα περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets με την εισαγωγή πρόσθετων επεξηγηματικών μεταβλητών που αποσκοπούσαν στη μοντελοποίηση υποκείμενων ή άμεσων παραγόντων, όπως η "πολιτική ελευθερία" ή η διάρθρωση της παραγωγής, ή το εμπόριο. Στο σύνολό τους, οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται αποδεικνύονται σημαντικές σε παραδοσιακά επίπεδα σημαντικότητας. Ωστόσο, ο έλεγχος των διαφόρων μεταβλητών μεμονωμένα υπόκειται

στο πρόβλημα της πιθανής μεροληψίας των παραλειπόμενων μεταβλητών. Περαιτέρω, οι μελέτες αυτές δεν αναφέρουν στατιστικά στοιχεία συνολοκλήρωσης που θα μπορούσαν να αναφέρουν αν η μεροληψία των παραλειπόμενων μεταβλητών είναι πιθανό να αποτελεί πρόβλημα ή όχι. Επομένως, δεν είναι πραγματικά σαφές τι μπορεί να συμπεράνει κανείς (Grossman & Krueger, 1991; Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Selden & Song, 1994).

Τα μόνα ισχυρά συμπεράσματα από τη βιβλιογραφία για τις περιβαλλοντικές καμπύλες Kuznets φαίνεται να είναι ότι οι συγκεντρώσεις ρύπων μπορεί να μειώνονται από τα επίπεδα του μεσαίου εισοδήματος, ενώ οι εκπομπές τείνουν να είναι μονοτονικές με το εισόδημα. Οι εκπομπές μπορεί να μειώνονται με την πάροδο του χρόνου σε χώρες με πολλά διαφορετικά επίπεδα ανάπτυξης. Δεδομένων των φτωχών στατιστικών ιδιοτήτων των περισσότερων μοντέλων της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets, είναι δύσκολο να προκύψει ένα συμπεράσματα σχετικά με το ρόλο άλλων πρόσθετων μεταβλητών, όπως το εμπόριο (Stern, 2018).

6.5 Θεωρητική κριτική των περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets

Η κριτική του Stern (2014) ήταν ότι το υπόδειγμα της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets, όπως παρουσιάζεται στην Παγκόσμια Έκθεση για την Ανάπτυξη του 1992, υποθέτει ότι δεν υπάρχει ανατροφοδότηση από την περιβαλλοντική ζημία στην οικονομική παραγωγή, καθώς το εισόδημα θεωρείται εξωγενής μεταβλητή. Η υπόθεση είναι ότι η περιβαλλοντική ζημία δεν μειώνει την οικονομική δραστηριότητα επαρκώς ώστε να σταματήσει η αναπτυξιακή διαδικασία και ότι η τυχόν μη αναστρεψιμότητα δεν είναι τόσο σοβαρή ώστε να μειώσει το επίπεδο του εισοδήματος στο μέλλον. Με άλλα λόγια, υπάρχει η υπόθεση ότι η οικονομία είναι βιώσιμη. Όμως, αν τα υψηλότερα επίπεδα οικονομικής δραστηριότητας δεν είναι βιώσιμα, η προσπάθεια γρήγορης ανάπτυξης στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης, όταν η περιβαλλοντική υποβάθμιση αυξάνεται, μπορεί να αποδειχθεί αντιπαραγωγική.

Είναι σαφές ότι τα επίπεδα πολλών ρύπων ανά μονάδα παραγωγής σε συγκεκριμένες διεργασίες έχουν μειωθεί στις αναπτυγμένες χώρες με την πάροδο του χρόνου με όλο και πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς και τεχνικές καινοτομίες. Ωστόσο, το μείγμα των αποβλήτων έχει μετατοπιστεί από τα οξείδια του θείου και του αζώτου στο διοξείδιο του άνθρακα και στα στερεά απόβλητα, έτσι ώστε τα συνολικά απόβλητα να εξακολουθούν να είναι υψηλά και τα κατά κεφαλήν απόβλητα να μην έχουν μειωθεί. Η οικονομική δραστηριότητα αναπόφευκτα διαταράσσει με κάποιο τρόπο το περιβάλλον. Η ικανοποίηση των υλικών αναγκών των ανθρώπων απαιτεί τη χρήση και τη διατάραξη ενεργειακών ροών και υλικών. Επομένως, μια προσπάθεια μείωσης ορισμένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορεί απλώς να επιδεινώσει άλλα προβλήματα. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets για τη συνολική χρήση ενέργειας είναι μία προσπάθεια καταγραφής των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανεξάρτητα από τη φύση τους (Stern, 2018).

Οι Stern et al. (1996) υποστήριξε ότι αν υπάρχει σχέση τύπου Περιβαλλοντικής Καμπύλης Kuznets, αυτή μπορεί να είναι εν μέρει ή σε μεγάλο βαθμό αποτέλεσμα των επιπτώσεων του εμπορίου στην κατανομή των ρυπογόνων βιομηχανιών. Η εμπορική θεωρία των Hecksher-Ohlin (στο Leamer, 1995) υποδηλώνει ότι, στο πλαίσιο του ελεύθερου εμπορίου, οι αναπτυσσόμενες χώρες θα ειδικευτούν στην παραγωγή αγαθών που είναι εντατικά σε παράγοντες με τους οποίους είναι προικισμένες σε σχετική αφθονία: εργασία και φυσικοί πόροι. Οι ανεπτυγμένες χώρες θα εξειδικεύονταν σε δραστηριότητες έντασης ανθρώπινου κεφαλαίου και βιομηχανικού κεφαλαίου. Μέρος της μείωσης των επιπέδων περιβαλλοντικής υποβάθμισης στις ανεπτυγμένες χώρες και της αύξησης της περιβαλλοντικής υποβάθμισης στις χώρες μεσαίου εισοδήματος μπορεί να αντανακλά αυτή την εξειδίκευση. Οι περιβαλλοντικές ρυθμίσεις στις ανεπτυγμένες χώρες μπορεί να ενθαρρύνουν περαιτέρω τις ρυπογόνες δραστηριότητες να στραφούν προς τις αναπτυσσόμενες χώρες.

Τα αποτελέσματα αυτά θα υπερβάλλουν σε οποιαδήποτε φαινομενική μείωση της έντασης της ρύπανσης με την αύξηση του εισοδήματος κατά μήκος της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets. Στον πεπερασμένο κόσμο, οι φτωχές χώρες του σήμερα δεν θα μπορούσαν να βρουν άλλες χώρες από τις οποίες να εισάγουν προϊόντα έντασης πόρων καθώς οι ίδιες θα γίνονταν πλούσιες. Όταν οι φτωχότερες χώρες εφαρμόζουν παρόμοια επίπεδα περιβαλλοντικών ρυθμίσεων, θα αντιμετώπιζαν το δυσκολότερο έργο της μείωσης αυτών των δραστηριοτήτων αντί της ανάθεσης τους σε άλλες χώρες (Stern et al., 1996).

Ορισμένες μελέτες περιβαλλοντικών καμπυλών Kuznets έδειξαν ότι ένας αριθμός δεικτών: Οι εκπομπές SO₂, NO_x και η αποψίλωση των δασών, κορυφώνονται σε επίπεδα εισοδήματος γύρω από το σημερινό μέσο παγκόσμιο κατά κεφαλήν εισόδημα. Μια πρόχειρη ματιά στις διαθέσιμες οικονομικές εκτιμήσεις θα μπορούσε να οδηγήσει κάποιον να πιστέψει ότι, δεδομένων των πιθανών μελλοντικών επιπέδων του μέσου κατά κεφαλήν εισοδήματος, η περιβαλλοντική υποβάθμιση θα πρέπει να μειωθεί από τώρα και στο εξής. Αυτή η ερμηνεία είναι εμφανής στην Έκθεση Ανάπτυξης της Παγκόσμιας Τράπεζας. Ωστόσο, το εισόδημα δεν κατανέμεται κανονικά, αλλά είναι πολύ λοξό, με πολύ μεγαλύτερο αριθμό ατόμων κάτω από το μέσο κατά κεφαλήν εισόδημα από ό,τι πάνω από αυτό. Επομένως, η σχετική μεταβλητή είναι το διάμεσο και όχι το μέσο εισόδημα (Stern et al., 1996).

Οι Selden και Song (1994) και οι Stern et al., (1996) πραγματοποίησαν προσομοιώσεις που, υποθέτοντας ότι η σχέση της Περιβαλλοντικής Καμπύλης Kuznets είναι έγκυρη, έδειξαν ότι η παγκόσμια περιβαλλοντική υποβάθμιση θα αυξανόταν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πιο πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι το σημείο καμπής είναι υψηλότερο και επομένως δεν θα πρέπει να υπάρχει περιθώριο σύγχυσης για το θέμα αυτό.

6.6 Οικονομετρική κριτική της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets

Οι οικονομετρικές επικρίσεις της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets αφορούν τέσσερα κύρια ζητήματα:

1. ετεροσκεδαστικότητα
2. ταυτόχρονη ύπαρξη
3. μεροληψία παραλειπόμενων μεταβλητών
4. ζητήματα συνολοκλήρωσης

Οι Stern et al. (1996) έθεσαν το ζήτημα της ετεροσκεδαστικότητας που μπορεί να είναι σημαντικό στο πλαίσιο των διατομικών παλινδρομήσεων ομαδοποιημένων δεδομένων. Η προσαρμογή της ετεροσκεδαστικότητας στην εκτίμηση βελτίωσε σημαντικά την καλή προσαρμογή των παγκοσμίως συγκεντρωτικών προσαρμοσμένων εκπομπών στις πραγματικές εκπομπές.

Οι Cole et al. (1997) χρησιμοποίησαν ελέγχους Hausman για την εξωγένεια του παλινδρομητή για να αντιμετωπίσουν άμεσα το ζήτημα της ταυτόχρονης λειτουργίας. Δεν διαπίστωσαν ενδείξεις ταυτόχρονης λειτουργίας. Σε κάθε περίπτωση, η μεροληψία ταυτόχρονης εμφάνισης είναι λιγότερο σοβαρή στα υποδείγματα που περιλαμβάνουν ολοκληρωμένες μεταβλητές από ό,τι στο παραδοσιακό στάσιμο οικονομετρικό υπόδειγμα (Perman & Stern, 2003).

Οι Coondoo και Dinda (2002) ελέγχουν την αιτιότητα κατά Granger μεταξύ των εκπομπών CO₂ και του εισοδήματος σε διάφορες επιμέρους χώρες και περιφέρειες. Το γενικό μοτίβο που προκύπτει είναι ότι η αιτιότητα τρέχει από το εισόδημα στις εκπομπές ή ότι δεν υπάρχει σημαντική σχέση στις αναπτυσσόμενες χώρες, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες η αιτιότητα τρέχει από τις εκπομπές στο εισόδημα. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση η σχέση είναι θετική, οπότε δεν υπάρχει επίδραση τύπου Περιβαλλοντικής Καμπύλης Kuznets.

Οι Stern et al. (1996) εκτιμούν μία περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets για τις εκπομπές θείου για 74 χώρες για την περίοδο 1960-90. Χρησιμοποιούν τρία στοιχεία για να υποδείξουν ότι η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets είναι ένα ατελές υπόδειγμα και ότι οι εκτιμήσεις της περιβαλλοντικής καμπύλης Kuznets σε επίπεδα μπορεί να υποφέρουν από σημαντική μεροληψία παραλειπόμενων μεταβλητών:

1. Διαφορές μεταξύ των παραμέτρων των υποδειγμάτων τυχαίων επιδράσεων και σταθερών επιδράσεων, που ελέγχονται με τη χρήση του τεστ Hausman
2. Διαφορές μεταξύ των εκτιμώμενων συντελεστών σε διαφορετικά υποδείγματα
3. Έλεγχοι για σειριακή συσχέτιση.

Η στατιστική του τεστ Hausman έδειξε σημαντική διαφορά στις εκτιμήσεις των παραμέτρων για το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων και το μοντέλο σταθερών επιδράσεων. Αυτό δείχνει ότι οι παλινδρομείς - το επίπεδο και το τετράγωνο του λογαρίθμου του κατά κεφαλήν εισοδήματος συσχετίζονται με τις επιδράσεις της χώρας και τις επιδράσεις του χρόνου, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι παλινδρομείς είναι πιθανό να συσχετίζονται με παραλειπόμενες μεταβλητές και οι συντελεστές

παλινδρόμησης είναι μεροληπτικοί. Όπως αναμενόταν, δεδομένων των αποτελεσμάτων του τεστ Hausman, οι εκτιμήσεις των παραμέτρων αποδείχθηκε ότι εξαρτώνται από το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε, με τις εκτιμήσεις των χωρών εκτός ΟΟΣΑ να εμφανίζουν σημείο καμπής σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα εισοδήματος και τις εκτιμήσεις του ΟΟΣΑ ένα σημείο καμπής εντός του δείγματος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αποτελέσματα αυτά είναι ακριβώς παράλληλα με εκείνα για τα δείγματα αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Υπήρχε επίσης ένα πολύ υψηλό επίπεδο σειριακής συσχέτισης που υποδηλώνει εσφαλμένη εξειδίκευση είτε από την άποψη των παραλειπόμενων μεταβλητών είτε από την άποψη της ελλείπουσας δυναμικής.

Οι Perman και Stern (2003) ελέγχουν τα δεδομένα και τα υποδείγματα για μοναδιαίες ρίζες και συνολοκλήρωση αντίστοιχα. Οι έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας σε πάνελ δείχνουν ότι και οι τρεις σειρές - λογάριθμος εκπομπών θείου ανά κάτοικο, λογάριθμος ΑΕΠ ανά κάτοικο και το τετράγωνό του - έχουν στοχαστικές τάσεις. Τα αποτελέσματα για τη συνολοκλήρωση είναι λιγότερο σαφή. Περίπου οι μισές από τις παλινδρομήσεις της Περιβαλλοντικής Καμπύλης Kuznets των επιμέρους χωρών συνολοκληρώνονται, αλλά πολλές από αυτές έχουν παραμέτρους με "λανθασμένα πρόσημα". Ορισμένοι έλεγχοι συνολοκλήρωσης πάνελ δείχνουν συνολοκλήρωση σε όλες τις χώρες και ορισμένοι αποδέχονται την υπόθεση της μη συνολοκλήρωσης. Αλλά ακόμη και όταν διαπιστώνεται συνολοκλήρωση, η μορφή της σχέσης της Περιβαλλοντικής Καμπύλης Kuznets διαφέρει ριζικά μεταξύ των χωρών, με πολλές χώρες να έχουν Περιβαλλοντικές Καμπύλες Kuznets σε σχήμα U. Ένα κοινό διάνυσμα συνολοκλήρωσης σε όλες τις χώρες απορρίπτεται έντονα.

Κεφάλαιο 7ο

Για τη διερεύνηση των παραπάνω θεωρητικών κατευθύνσεων, η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει και ποσοτική ανάλυση για να εκτιμηθούν τα πρακτικά αποτελέσματα ως προς την καμπύλη Kuznets. Το πρακτικό τμήμα της εργασίας θα εκτιμήσει κατά πόσο η πρόβλεψη της καμπύλης είναι στατιστικά σημαντική. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η καμπύλη δίνεται από τον τύπο

$$\ln(E/P)_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 \ln(GDP/P)_{it} + \beta_2 (\ln(GDP/P))_{it}^2 + \varepsilon_{it}$$

όπου E είναι οι εκπομπές, P είναι ο πληθυσμός, και το \ln υποδηλώνει φυσικούς λογαρίθμους, με τους δύο πρώτους όρους να είναι παράμετροι παρεμβολής που ποικίλλουν μεταξύ των χωρών ή των περιφερειών i και των ετών t . Για τη διεκπεραίωση της πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία του ΟΟΣΑ που αφορούν τον πληθυσμό των χωρών, τις εκπομπές σε CO₂ και το ΑΕΠ τους από το 1990 ως το 2021. Τα δεδομένα κατέβηκαν από το site του ΟΟΣΑ, κωδικοποιήθηκαν κατάλληλα, ενοποιήθηκαν σε μια ενιαία database με κοινά έτη, υπολογίστηκε ο λογάριθμος του κάθε μεγέθους και περάστηκαν στο SPSS για να πραγματοποιηθεί η παλινδρόμηση για την κάθε περίπτωση. Συνολικά προσεγγίστηκαν 9 διαφορετικές χώρες με τυχαία επιλογή : Η Αυστρία, ο Καναδάς, η Γαλλία, η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ιαπωνία, το Μεξικό, η Σουηδία και οι ΗΠΑ . Για κάθε περίπτωση χώρας διενεργείται παλινδρόμηση για να διαπιστωθεί η σημαντικότητα πρόβλεψης. Για κάθε περίπτωση θα παρουσιάζονται πίνακες της παλινδρόμησης ανά τρεις: το συνολικό μοντέλο και το ποσοστό εξήγησης της διακύμανσής του, η στατιστική του σημαντικότητα και η σημαντικότητα των παραγόντων.

Για την περίπτωση της Αυστρίας

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν το 52% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,001). Η εξίσωση παλινδρόμησης είναι της μορφής:

$$\ln E/P = 3,881 - 1,140 * \ln(\text{GDP}/P) + 0,225 * (\ln(\text{GDP}/P))^2$$

Πίνακας 1 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΑΥΣΤΡΙΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,722 ^a	,521	,488	,72217312

a. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 2 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΑΥΣΤΡΙΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	16,458	2	8,229	15,778	<,001 ^b
	Residual	15,124	29	,522		
	Total	31,582	31			

a. Dependent Variable: ln(E/P)

b. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 3 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΑΥΣΤΡΙΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3,881	,384		10,109	<,001
	ln(GDP/P)	-1,140	,236	-1,561	-4,822	<,001
	(ln(GDP/P)) ²	,225	,040	1,803	5,570	<,001

a. Dependent Variable: ln(E/P)

Για την περίπτωση του Καναδά

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν μονάχα το 28,7% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,007). Όμως η ανάλυση έδειξε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν είναι στατιστικά σημαντικός εκτιμητής της εκπομπής CO₂ (sig = 0,083).

Πίνακας 4 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΚΑΝΑΔΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,536 ^a	,287	,238	,93846068

a. Predictors: (Constant), $\ln(\text{GDP/P})^2$, $\ln(\text{GDP/P})$

Πίνακας 5 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΚΑΝΑΔΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10,286	2	5,143	5,840	,007 ^b
	Residual	25,541	29	,881		
	Total	35,827	31			

a. Dependent Variable: $\ln(\text{E/P})$

b. Predictors: (Constant), $\ln(\text{GDP/P})^2$, $\ln(\text{GDP/P})$

Πίνακας 6 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΚΑΝΑΔΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3,380	,913		3,704	<,001
	$\ln(\text{GDP/P})$	-,932	,519	-,883	-1,796	,083
	$\ln(\text{GDP/P})^2$,205	,078	1,293	2,629	,014

a. Dependent Variable: $\ln(\text{E/P})$

Για την περίπτωση της Γαλλίας

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν το 61% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,001). Όμως η ανάλυση έδειξε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν είναι στατιστικά σημαντικός εκτιμητής της εκπομπής CO₂ (sig = 0,232).

Πίνακας 7 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΓΑΛΛΙΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,781 ^a	,610	,583	1,03243980

a. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 8 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΓΑΛΛΙΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	48,256	2	24,128	22,635	<,001 ^b
	Residual	30,912	29	1,066		
	Total	79,168	31			

a. Dependent Variable: ln(E/P)

b. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 9 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΓΑΛΛΙΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,662	,502		1,318	,198
	ln(GDP/P)	-,290	,238	-,295	-1,220	,232
	(ln(GDP/P)) ²	,136	,032	1,026	4,246	<,001

a. Dependent Variable: ln(E/P)

Για την περίπτωση της Ελλάδας

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν περίπου το 60% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,001). Όμως η ανάλυση έδειξε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν είναι στατιστικά σημαντικός εκτιμητής της εκπομπής CO₂ (sig = 0,124).

Πίνακας 10 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΕΛΛΑΔΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,772 ^a	,596	,568	,88235796

a. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))2 , ln(GDP/P)

Πίνακας 11 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΕΛΛΑΔΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	33,319	2	16,659	21,398	<,001 ^b
	Residual	22,578	29	,779		
	Total	55,897	31			

a. Dependent Variable: ln(E/P)

b. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))2 , ln(GDP/P)

Πίνακας 12 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΕΛΛΑΔΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,366	,328		4,165	<,001
	ln(GDP/P)	-,259	,163	-,329	-1,585	,124
	(ln(GDP/P))2	,125	,025	1,020	4,911	<,001

a. Dependent Variable: ln(E/P)

Για την περίπτωση της Ιταλίας

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν περίπου το 55% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,001). Οι εκτιμητές είναι αμφοτεροί στατιστικά σημαντικοί και η εξίσωση παλινδρόμησης γίνεται ως εξής:

$$\ln E/P = 3,078 - 1,095 * \ln(\text{GDP}/P) + 0,201 * (\ln(\text{GDP}/P))^2$$

Πίνακας 13 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΙΤΑΛΙΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,744 ^a	,554	,523	,84906094

a. Predictors: (Constant), $(\ln(\text{GDP}/P))^2$, $\ln(\text{GDP}/P)$

Πίνακας 14 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΙΤΑΛΙΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	25,979	2	12,990	18,019	<,001 ^b
	Residual	20,906	29	,721		
	Total	46,886	31			

a. Dependent Variable: $\ln(E/P)$

b. Predictors: (Constant), $(\ln(\text{GDP}/P))^2$, $\ln(\text{GDP}/P)$

Πίνακας 15 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΙΤΑΛΙΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3,078	,961		3,203	,003
	$\ln(\text{GDP}/P)$	-1,095	,449	-,987	-2,440	,021
	$(\ln(\text{GDP}/P))^2$,201	,050	1,619	4,005	<,001

a. Dependent Variable: $\ln(E/P)$

Για την περίπτωση της ΙΑΠΩΝΙΑΣ

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν το 97% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,001). Όμως η ανάλυση έδειξε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν είναι στατιστικά σημαντικός εκτιμητής της εκπομπής CO₂ (sig = 0,479).

Πίνακας 16 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΙΑΠΩΝΙΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,987 ^a	,974	,972	,53634289

a. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 17 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΙΑΠΩΝΙΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	313,789	2	156,894	545,409	<,001 ^b
	Residual	8,342	29	,288		
	Total	322,131	31			

a. Dependent Variable: ln(E/P)

b. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 18 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΙΑΠΩΝΙΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,198	,537		2,229	,034
	ln(GDP/P)	,145	,202	,147	,718	,479
	(ln(GDP/P)) ²	,063	,015	,842	4,120	<,001

a. Dependent Variable: ln(E/P)

Για την περίπτωση του ΜΕΞΙΚΟΥ

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν μόνο το 32% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,004). Όμως η ανάλυση έδειξε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν είναι στατιστικά σημαντικός εκτιμητής της εκπομπής CO₂ (sig = 0,131).

Πίνακας 19 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΜΕΞΙΚΟ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,567 ^a	,321	,274	1,19718055

a. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 20 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΜΕΞΙΚΟ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	19,645	2	9,822	6,853	,004 ^b
	Residual	41,564	29	1,433		
	Total	61,209	31			

a. Dependent Variable: ln(E/P)

b. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 21 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΜΕΞΙΚΟ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,188	,681		1,744	,092
	ln(GDP/P)	-,730	,470	-,590	-1,553	,131
	(ln(GDP/P)) ²	,239	,086	1,054	2,775	,010

a. Dependent Variable: ln(E/P)

Για την περίπτωση της ΣΟΥΗΔΙΑΣ

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν μόνο το 16,6% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη ΔΕΝ είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,072). Αντίστοιχα η ανάλυση έδειξε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ δεν είναι στατιστικά σημαντικός εκτιμητής της εκπομπής CO₂ (sig = 0,241), όπως ούτε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ² (sig = 0,098).

Πίνακας 22 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΣΟΥΗΔΙΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,407 ^a	,166	,108	,88801601

a. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 23 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΣΟΥΗΔΙΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4,544	2	2,272	2,881	,072 ^b
	Residual	22,869	29	,789		
	Total	27,412	31			

a. Dependent Variable: ln(E/P)

b. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 24 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΣΟΥΗΔΙΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2,048	1,115		1,836	,077
	ln(GDP/P)	-,817	,683	-,761	-1,197	,241
	(ln(GDP/P)) ²	,184	,108	1,086	1,708	,098

a. Dependent Variable: ln(E/P)

Για την περίπτωση της ΗΠΑ

Το μοντέλο παλινδρόμησης δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές της καμπύλης Kuznets (κατά κεφαλήν ΑΕΠ, κατά κεφαλήν ΑΕΠ²) προβλέπουν μόνο το 17% της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (εκπομπές CO₂). Συνολικά η πρόβλεψη είναι στατιστικά σημαντική (sig = 0,045). Αντίστοιχα, η ανάλυση έδειξε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ είναι στατιστικά σημαντικός εκτιμητής της εκπομπής CO₂ (sig = 0,023), όπως και το κατά κεφαλήν ΑΕΠ² (sig = 0,038). Συνολικά η εξίσωση παλινδρόμησης είναι της μορφής :

$$\ln E/P = 6,194 + 3,275 * \ln(\text{GDP}/P) + 0,637 * (\ln(\text{GDP}/P))^2$$

Πίνακας 25 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΗΠΑ (1)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,415 ^a	,172	,115	1,18415193

a. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 26 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΗΠΑ (2)

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8,454	2	4,227	3,015	,045 ^b
	Residual	40,664	29	1,402		
	Total	49,118	31			

a. Dependent Variable: ln(E/P)

b. Predictors: (Constant), (ln(GDP/P))², ln(GDP/P)

Πίνακας 27 – Μοντέλο Παλινδρόμησης για ΗΠΑ (3)

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	6,194	1,646		3,763	<,001
	ln(GDP/P)	3,275	1,363	1,492	2,402	,023
	(ln(GDP/P)) ²	,637	,293	1,350	2,173	,038

a. Dependent Variable: ln(E/P)

Κεφάλαιο 8ο

8.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στη διπλωματική εργασία παρατέθηκε η σημασία της χρήσης πιο βιώσιμων πηγών ενέργειας ως μέθοδοι απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Συνεπώς εξετάστηκε η Περιβαλλοντική Καμπύλη Kuznets η οποία δείχνει τη σχέση περιβάλλοντος και οικονομικής ανάπτυξης. Η κλιματική αλλαγή θεωρείται πλέον από κορυφαίους επιστήμονες ως η σημαντικότερη απειλή για το μέλλον της ανθρωπότητας. Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε σύγκριση με την προβιομηχανική εποχή είναι σημαντική και ικανή για μεγάλες καταστροφές στο περιβάλλον μας.

Παρά τα παραπάνω, η σύγχρονη κοινωνία δεν μπορεί να μεταβεί εύκολα από τα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με βασικούς λόγους την ενεργειακή πυκνότητα, τη διαλείπουσα ενέργεια, την τοποθεσία, τα σημεία συμφόρησης στις μεταφορές, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη διαθεσιμότητα γης, οι οποίοι συζητούνται σε διάφορες εργασίες. Ως εκ τούτου, ο κλιματικός κίνδυνος βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος όχι μονάχα των επιστημόνων, των θεσμών και των κυβερνήσεων αλλά και του χρηματοπιστωτικού κλάδου.

Η περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets (Environmental Kuznets Curve - EKC) είναι μια υποθετική σχέση μεταξύ διαφόρων δεικτών περιβαλλοντικής υποβάθμισης και του κατά κεφαλήν εισοδήματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η καμπύλη δεν μπορεί να προβλέψει σε όλες τις περιπτώσεις την περιβαλλοντική όχληση. Η πειραματική μελέτη έδειξε ότι από τις 9 περιπτώσεις χωρών που εξετάστηκαν από τα έτη 1990 ως 2021, μονάχα οι 3 από αυτές επιβεβαιώνουν πλήρως την πρόβλεψη για την καμπύλη. Στις υπόλοιπες 6, για την πλειοψηφία των περιπτώσεων, δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική πρόβλεψη για την καμπύλη.

8.2 Όρια και περιορισμοί της έρευνας

Η συγκεκριμένη μελέτη έχει κάποιους περιορισμούς που προκύπτουν τόσο ως προς τη μεθοδολογία, δηλαδή την χρησιμοποίηση της Καμπύλης Kuznets (ΕΚΚ) όσο και ως προς τα αποτελέσματά της, δηλαδή τα ευρήματα του προηγούμενου κεφαλαίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ΕΚΚ δεν μπορεί να αποτελέσει σε όλες τις περιπτώσεις ένα αξιόπιστο εργαλείο για την εκτίμηση της σχέσης της περιβαλλοντικής ποιότητας και της οικονομικής ανάπτυξης, καθώς οι εκτιμητές δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις στατιστικά σημαντικοί. Ενώ αυτό το μοντέλο μπορεί να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις, η χρήση του για την αξιολόγηση της παραπάνω σχέσης, έχει επικριθεί για διάφορους λόγους οι οποίοι αποτελούν περιορισμό στην ποσοτική έρευνα. Η ΕΚΚ ισχύει για ορισμένους ρύπους όπως το διοξείδιο του άνθρακα και του θείου, αλλά δεν ισχύει για άλλους. Επίσης, σε ότι αφορά το διοξείδιο του άνθρακα που είναι υπεύθυνο για την υπερθέρμανση του πλανήτη, η ΕΚΚ δεν συμπεριφέρεται ως ανεστραμμένο σχήμα U για όλους τους τύπους περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Ακόμη, η ΕΚΚ αγνοεί το ζήτημα του outsourcing. Ενώ το περιβάλλον μπορεί να βελτιωθεί στις ανεπτυγμένες χώρες καθώς γίνονται πλουσιότερες, μπορεί να είναι εις βάρος του περιβάλλοντος σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες όπου βρίσκονται βιομηχανίες έντασης ρύπανσης. Αυτό γίνεται κυρίως γιατί η ΕΚΚ αδυνατεί εκτιμήσει επαρκώς τις επιπτώσεις του διεθνούς εμπορίου. Οι πλουσιότερες χώρες μπορεί να παρουσιάσουν βελτίωση σε ορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες όχι λόγω άμεσης σχέσης με το εισόδημα, αλλά επειδή έχουν αναθέσει τις πιο ρυπογόνες βιομηχανίες τους σε φτωχότερες χώρες. Επίσης, η ΕΚΚ υποθέτει ότι όλες οι χώρες θα ακολουθήσουν τον ίδιο δρόμο, αγνοώντας μοναδικούς ιστορικούς, γεωγραφικούς και πολιτιστικούς παράγοντες. Το πλαίσιο το οποίο λειτούργησε για μια χώρα σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή μπορεί να μην λειτουργεί για μια άλλη σε διαφορετική χρονική στιγμή. Ένα ακόμη στοιχείο είναι το γεγονός ότι η καμπύλη δεν αποτυπώνει ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ένα παράδειγμα είναι ότι ορισμένοι τύποι περιβαλλοντικής βλάβης, όπως η απώλεια της βιοποικιλότητας ή η σημαντική κλιματική αλλαγή, μπορεί να είναι μη αναστρέψιμες ή να έχουν μακροχρόνιες επιπτώσεις κάτι που δεν αποτυπώνεται επαρκώς στην ΕΚΚ. Τέλος, το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη την

κατανομή των περιβαλλοντικών βλαβών εντός μιας χώρας. Η οικονομική ανάπτυξη μπορεί να οδηγήσει σε συνολική μείωση της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, αλλά ταυτόχρονα να αυξήσει τη διαφορά ως προς το ποιος φέρει την περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Συμπερασματικά, ενώ η ΕΚC παρέχει ένα χρήσιμο εννοιολογικό πλαίσιο, δεν θα πρέπει να είναι το μοναδικό μοντέλο για την αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ ποιότητας περιβάλλοντος και οικονομικής ανάπτυξης. Πρέπει να συμπληρωθεί με άλλα μοντέλα και πλαίσια που λαμβάνουν υπόψη τις πολυπλοκότητες και τις αποχρώσεις της αλληλεπίδρασης περιβάλλοντος-οικονομίας.

8.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Σε αυτό το τμήμα της εργασίας θα αναφερθούν προτάσεις και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα. Στην διπλωματική εργασία χρησιμοποιήσαμε την Περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets για την εκτίμηση της σχέσης ανάπτυξης με περιβάλλον. Μετά τα αποτελέσματα της έρευνας διαπιστώθηκε η μη στατιστικά σημαντική πρόβλεψή της για ένα σημαντικό εύρος περιπτώσεων. Η Περιβαλλοντική καμπύλη Kuznets (ΕΚC), είναι ένα αρκετά παλιό μοντέλο εκτίμησης της σχέσης οικονομικής ανάπτυξης και περιβάλλον. Από την εποχή της, έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από παρόμοια ή εναλλακτικά μοντέλα και προσεγγίσεις για την καλύτερη κατανόηση της σχέσης αυτής. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το οικολογικό αποτύπωμα, που μετρά την ποσότητα της βιολογικά παραγωγικής χερσαίας και θαλάσσιας περιοχής που είναι απαραίτητη για την παροχή των πόρων που καταναλώνει ένας ανθρώπινος πληθυσμός και για την αφομοίωση των σχετικών αποβλήτων. Σε αντίθεση με το ΕΚC, τονίζει τον αντίκτυπο της κατανάλωσης και όχι του εισοδήματος και αντιμετωπίζει την κλίμακα της οικονομικής δραστηριότητας.

Ακόμη, η εξίσωση IPAT, που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του αντίκτυπου της ανθρώπινης δραστηριότητας στο περιβάλλον. Αυτό το μοντέλο αναγνωρίζει ότι ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος δεν είναι μόνο συνάρτηση του μεγέθους του πληθυσμού, αλλά και του επιπέδου κατανάλωσης (ευημερία) και των τύπων των τεχνολογιών που

χρησιμοποιούνται. Ένας παρόμοιος δείκτης είναι και η Περιβαλλοντική Απόδοση (EPI) που αναπτύχθηκε από τα Πανεπιστήμια Yale και Columbia για τον ποσοτικό προσδιορισμό και την αριθμητική συγκριτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των πολιτικών ενός κράτους. Χρησιμοποιεί διάφορους δείκτες σε όλες τις κατηγορίες πολιτικών που περιλαμβάνουν τόσο την περιβαλλοντική δημόσια υγεία όσο και τη ζωτικότητα του οικοσυστήματος.

Επίσης η Ανάλυση ροής υλικού (MFA), που μελετά τη ροή των υλικών σε ένα σύστημα, γεγονός που επιτρέπει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να κατανοήσουν ποιοι τομείς χρησιμοποιούν πιο εντατικά υλικά, παρέχοντας μια βάση για στοχευμένες παρεμβάσεις. Τέλος, μια ευρύτερη αντίληψη είναι τα Οικολογικά Οικονομικά, ένα διεπιστημονικό πεδίο που επιδιώκει να αντιμετωπίσει την αλληλεξάρτηση και τη συνεξέλιξη των ανθρώπινων οικονομιών και των φυσικών οικοσυστημάτων στο χρόνο και στο χώρο. Διακρίνεται από την κλασική οικονομία από τον ισχυρισμό της ότι η οικονομία είναι ενσωματωμένη σε ένα περιβαλλοντικό σύστημα.

Όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις έχουν η καθεμία τα δικά της πλεονεκτήματα και αδυναμίες, και όπως η ΕΚC, όλες επιδιώκουν να κατανοήσουν τη σύνθετη σχέση μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής αλλαγής. Συνεπώς προτείνεται η χρήση πολλαπλών δεικτών και όχι μονάχα της ΕΚC για να κατανοηθεί η σχέση του φυσικού περιβάλλοντος με την οικονομική ανάπτυξη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abas, N., Kalair, A., & Khan, N. (2015). Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures*, 69, 31-49.
- Abban, A. R., & Hasan, M. Z. (2021). Revisiting the determinants of renewable energy investment-New evidence from political and government ideology. *Energy Policy*, 151, 112184.
- Ahmad, M., & Zhao, Z. Y. (2018). Causal linkages between energy investment and economic growth: a panel data modelling analysis of China. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 13(8), 363-374.
- Ahmed, F., Kousar, S., Pervaiz, A., & Shabbir, A. (2022). Do institutional quality and financial development affect sustainable economic growth? Evidence from South Asian countries. *Borsa Istanbul Review*, 22(1), 189-196.
- Al Sayed, A. R., & Sek, S. K. (2013). Environmental Kuznets curve: evidences from. *Applied Mathematical Sciences*, 7(22), 1081-1092.
- Al-Mulali, U., Saboori, B., & Ozturk, I. (2015). Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Vietnam. *Energy policy*, 76, 123-131.
- Aluko, O. A., & Obalade, A. A. (2020). Financial development and environmental quality in sub-Saharan Africa: Is there a technology effect?. *Science of the Total Environment*, 747, 141515.
- Apergis, N., & Ozturk, I. (2015). Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Asian countries. *Ecological indicators*, 52, 16-22.
- Assembly, G. (2015). Sustainable development goals. *SDGs Transform Our World*, 2030, 6-28.
- Binham, C., & Hook, L. (2019). Markets watchdog seeks to force companies to disclose climate risk. *Financial Times*.
- Braungardt, S., van den Bergh, J., & Dunlop, T. (2019). Fossil fuel divestment and climate change: Reviewing contested arguments. *Energy Research & Social Science*, 50, 191-200.
- Cantarero, M. M. V. (2020). Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. *Energy Research & Social Science*, 70, 101716.
- Carley, S., & Konisky, D. M. (2020). The justice and equity implications of the clean energy transition. *Nature Energy*, 5(8), 569-577.

- Chachuli, F. S. M., Ludin, N. A., Jedi, M. A. M., & Hamid, N. H. (2021). Transition of renewable energy policies in Malaysia: Benchmarking with data envelopment analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *150*, 111456.
- Chien, F., Chau, K. Y., & Sadiq, M. (2023). Impact of climate mitigation technology and natural resource management on climate change in China. *Resources Policy*, *81*, 103367.
- Chlyeh, D. (2020). *The impact of renewable energy performance on corporate financial performance* (Master's thesis, İbn Haldun Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Christophers, B. (2022). Fossilised capital: Price and profit in the energy transition. *New political economy*, *27*(1), 146-159.
- Churchill, S. A., Inekwe, J., Ivanovski, K., & Smyth, R. (2018). The environmental Kuznets curve in the OECD: 1870–2014. *Energy economics*, *75*, 389-399.
- Cole, M. A., Rayner, A. J., & Bates, J. M. (1997). The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and development economics*, *2*(4), 401-416.
- Coondoo, D., & Dinda, S. (2002). Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis. *Ecological Economics*, *40*(3), 351-367.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., & Wheeler, D. (2002). Confronting the environmental Kuznets curve. *Journal of economic perspectives*, *16*(1), 147-168.
- De Paoli, F. (2022). Assessing the Environmental Leadership of the European Union through European speeches.
- Dijkgraaf, E., & Vollebergh, H. R. (1998). *Environmental Kuznets revisited. Time-series versus panel estimation. The CO2-case* (No. OCFEB-RM--9806). Research Centre for Economic Policy OCfEB.
- Gold, R. (2019). PG&E: The first climate-change bankruptcy, probably not the last. *Wall Street Journal*, *18*.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement.
- Guo, J., Zhou, Y., Ali, S., Shahzad, U., & Cui, L. (2021). Exploring the role of green innovation and investment in energy for environmental quality: An empirical appraisal from provincial data of China. *Journal of Environmental Management*, *292*, 112779.
- Hák, T., Janoušková, S., & Moldan, B. (2016). Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. *Ecological indicators*, *60*, 565-573.
- Hansen, K., Mathiesen, B. V., & Skov, I. R. (2019). Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *102*, 1-13.

- Harun, M. H. S., Taha, Z., & Salaam, H. A. (2013, December). Sustainable manufacturing: Effect of material selection and design on the environmental impact in the manufacturing process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 50, No. 1, p. 012060). IOP Publishing.
- Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1251-1271.
- Hosseini, S. E., & Wahid, M. A. (2020). Hydrogen from solar energy, a clean energy carrier from a sustainable source of energy. *International Journal of Energy Research*, 44(6), 4110-4131.
- Ibrahim, M., & Vo, X. V. (2021). Exploring the relationships among innovation, financial sector development and environmental pollution in selected industrialized countries. *Journal of Environmental Management*, 284, 112057.
- Johnsson, F., Kjärstad, J., & Rootzén, J. (2019). The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. *Climate Policy*, 19(2), 258-274.
- Khan, I., & Hou, F. (2021). Does multilateral environmental diplomacy improve environmental quality? The case of the United States. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 23310-23322.
- Khan, I., Hou, F., Le, H. P., & Ali, S. A. (2021). Do natural resources, urbanization, and value-adding manufacturing affect environmental quality? Evidence from the top ten manufacturing countries. *Resources Policy*, 72, 102109.
- Khan, M., & Ozturk, I. (2021). Examining the direct and indirect effects of financial development on CO2 emissions for 88 developing countries. *Journal of environmental management*, 293, 112812.
- Kreps, B. H. (2020). The rising costs of fossil-fuel extraction: an energy crisis that will not go away. *American journal of economics and sociology*, 79(3), 695-717.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.
- Leamer, E. E. (1995). The Heckscher-Ohlin model in theory and practice.
- Li, G., & Wei, W. (2021). Financial development, openness, innovation, carbon emissions, and economic growth in China. *Energy Economics*, 97, 105194.
- Li, H. X., Edwards, D. J., Hosseini, M. R., & Costin, G. P. (2020). A review on renewable energy transition in Australia: An updated depiction. *Journal of cleaner production*, 242, 118475.
- List, J. A., & Gallet, C. A. (1999). The environmental Kuznets curve: does one size fit all?. *Ecological economics*, 31(3), 409-423.
- Lyu, L., Khan, I., & Zakari, A. (2021). A study of energy investment and environmental sustainability nexus in China: a bootstrap replications analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-9.

- Meng, Y., Zhou, R., Dinçer, H., Yüksel, S., & Wang, C. (2021). Analysis of inventive problem-solving capacities for renewable energy storage investments. *Energy Reports*, 7, 4779-4791.
- Moner-Girona, M., Bender, A., Becker, W., Bódis, K., Szabó, S., Kararach, A. G., & Anadon, L. D. (2021). A multidimensional high-resolution assessment approach to boost decentralised energy investments in Sub-Saharan Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111282.
- Mudaliar, A., & Dithrich, H. (2019). Sizing the impact investing market. *Sizing the impact investing market*.
- Özokcu, S., & Özdemir, Ö. (2017). Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 639-647.
- Perman, R., & Stern, D. I. (2003). Evidence from panel unit root and cointegration tests that the environmental Kuznets curve does not exist. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 47(3), 325-347.
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?. *Journal of Environmental Economics and management*, 27(2), 147-162.
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). Economic growth and environmental quality: time-series and cross-country evidence (Vol. 904). World Bank Publications.
- Shahbaz, M., Ozturk, I., Afza, T., & Ali, A. (2013). Revisiting the environmental Kuznets curve in a global economy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 494-502.
- Stern, D. I. (2014). *The environmental Kuznets curve: A primer* (No. 450-2016-34062).
- Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve after 25 years. *Journal of Bioeconomics*, 19, 7-28.
- Stern, D. I. (2018). The environmental Kuznets curve. *Companion to Environmental Studies*, 49(54), 49-54.
- Stern, D. I., & Common, M. S. (2001). Is there an environmental Kuznets curve for sulfur?. *Journal of environmental economics and management*, 41(2), 162-178.
- Stern, D. I., Common, M. S., & Barbier, E. B. (1996). Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. *World development*, 24(7), 1151-1160.
- Taneja, S., & Özen, E. (2023). To analyse the relationship between bank's green financing and environmental performance. *International Journal of Electronic Finance*, 12(2), 163-175.
- Uzsoki, D. (2020). Sustainable investing. International Institute for Sustainable Development.

- Vakulchuk, R., Overland, I., & Scholten, D. (2020). Renewable energy and geopolitics: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 122, 109547.
- Wood, N., & Roelich, K. (2019). Tensions, capabilities, and justice in climate change mitigation of fossil fuels. *Energy Research & Social Science*, 52, 114-122.
- Xie, L., Li, Z., Ye, X., & Jiang, Y. (2021). Environmental regulation and energy investment structure: empirical evidence from China's power industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120690.
- Xu, X., Huang, S., An, H., Vigne, S., & Lucey, B. (2021). The influence pathways of financial development on environmental quality: New evidence from smooth transition regression models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111576.
- Yadav, K., & Sircar, A. (2021). Geothermal energy provinces in India: A renewable heritage. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(1), 93-107.
- Yandle, B., Vijayaraghavan, M., & Bhattarai, M. (2002). The environmental Kuznets curve. *A Primer, PERC Research Study*, 2(1), 1-38.
- Yang, X., & Khan, I. (2022). Dynamics among economic growth, urbanization, and environmental sustainability in IEA countries: the role of industry value-added. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4116-4127.
- Zahoor, Z., Khan, I., & Hou, F. (2022). Clean energy investment and financial development as determinants of environment and sustainable economic growth: Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11.
- Zhang, M., Yang, Z., Liu, L., & Zhou, D. (2021). Impact of renewable energy investment on carbon emissions in China-An empirical study using a nonparametric additive regression model. *Science of The Total Environment*, 785, 147109.
- Zhao, J., Zhao, Z., & Zhang, H. (2021). The impact of growth, energy and financial development on environmental pollution in China: New evidence from a spatial econometric analysis. *Energy Economics*, 93, 104506.
- Zhou, P., Luo, J., Cheng, F., Yüksel, S., & Dinçer, H. (2021). Analysis of risk priorities for renewable energy investment projects using a hybrid IT2 hesitant fuzzy decision-making approach with alpha cuts. *Energy*, 224, 120184.