



Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Διδακτορική Διατριβή

**Ανάπτυξη και σύγκριση μεθόδων αξιολόγησης του
ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου στα πλαίσια της
αιφόρου ανάπτυξης.**

Μιχαήλ Τσάγγας

Επιβλέπων: Δρ. Αντώνης Α. Ζορπάς

Σεπτέμβριος 2022

Copyright © Μιχαήλ Τσάγγας 2022

ISBN 978-9963-695-80-5

Σελίδα Εγκυρότητας

Υποψήφιος Διδάκτωρ: Μιχαήλ Τσάγγας

Τίτλος Διατριβής: Ανάπτυξη και σύγκριση μεθόδων αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης.

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος στο Πρόγραμμα «Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος» και εγκρίθηκε στις 30 Σεπτεμβρίου 2022 από τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής.

Σύνθεση Εξεταστικής Επιτροπής:

Δρ. Χρήστος Αργυρούσης	Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Πρόεδρος)
Δρ. Αντώνης Α. Ζορπάς	Αναπληρωτής Καθηγητής, Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου (Μέλος)
Δρ. Πέτρος Σαμαράς	Καθηγητής, Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδας (Μέλος)
Δρ. Mejdi Jeguirim	Καθηγητής, Université de Haute Alsace, Γαλλία (Μέλος)
Δρ. Αγάπιος Αγαπίου	Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου (Μέλος)

.....

Δρ. Αντώνης Α. Ζορπάς – επιβλέπων

Αναπληρωτής Καθηγητής

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Υπεύθυνη Δήλωση Υποψήφιου Διδάκτορα

Η παρούσα διατριβή υποβάλλεται προς συμπλήρωση των απαιτήσεων για απονομή Διδακτορικού Τίτλου του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου. Είναι προϊόν πρωτότυπης εργασίας αποκλειστικά δικής μου, εκτός των περιπτώσεων που ρητώς αναφέρονται μέσω βιβλιογραφικών αναφορών, σημειώσεων ή και άλλων δηλώσεων.

.....

Μιχαήλ Τσάγγας

Περίληψη

Ο αειφόρος ενεργειακός σχεδιασμός έχει ιδιαίτερη σημασία στην εποχή μας. Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και οι άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, καθώς και η οικονομική και κοινωνική διάσταση που συνδέονται με την διαθεσιμότητα, παραγωγή αλλά και χρήση της ενέργειας, επιτάσσουν κάθε οργανισμός ή κράτος να διαθέτει ένα αποτελεσματικό στρατηγικό σχέδιο για την αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων. Σε αυτό το πλαίσιο, η παρούσα διατριβή εξετάζει δύο εναλλακτικές μεθόδους αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού, που έχουν σχεδιαστεί και αξιοποιεί τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους για την περίπτωση της Κύπρου, για να δώσει απαντήσεις σε ερευνητικά ερωτήματα που έχουν τεθεί και να διατυπώσει συμπεράσματα και εισηγήσεις.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους βασικούς όρους και ορισμούς που σχετίζονται με την ενέργεια και τους ενεργειακούς πόρους και αναλύεται το υπόβαθρο, το αντικείμενο, η αναγκαιότητα και ο σκοπός της έρευνας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια συστηματική ανασκόπηση και ανάλυση της βιβλιογραφίας που αφορά την αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού και τις προσεγγίσεις, τις μεθόδους, τα κριτήρια και τους δείκτες που χρησιμοποιούνται σε δημοσιευμένα άρθρα που εντοπίζονται σχετικά με το θέμα. Το τρίτο κεφάλαιο περιέχει μία συνοπτική παρουσίαση των σύγχρονων επιταγών και τάσεων για στρατηγικό ενεργειακό σχεδιασμό και σχετικές πολιτικές διεθνώς και ανάλυση της κατάστασης και των δεδομένων σχετικά με την ενέργεια και την ενεργειακή πολιτική για την Κύπρο.

Κατόπιν στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ύλη και η μέθοδος για την παρούσα έρευνα. Διατυπώνονται τα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα και οι ερευνητικές υποθέσεις. Επεξηγούνται οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης της αειφορίας που έχουν σχεδιαστεί και θα εφαρμοστούν, καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους. Η μία μέθοδος χρησιμοποιεί την προσέγγιση της πολυκριτηριακής μεθόδου Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων για την ιεραρχική δόμηση του προβλήματος αξιολόγησης, συνδυάζει τις μεθόδους ανάλυσης PESTEL (Political, Economic, Social, Technical, Environmental, Legal) και SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) για τον εντοπισμό δεικτών αειφορίας και τους ποσοτικοποιεί με βάση μία διαδικασία που επίσης βασίζεται στη μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, χρησιμοποιώντας συγκριτικές αξιολογήσεις ειδικών. Η άλλη μέθοδος προτείνει μία προσέγγιση, που βασίζεται στη διαδικασία ετοιμασίας μίας μελέτης Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής για τον καθορισμό δεικτών αειφορίας, οι οποίοι λαμβάνουν μέγεθος βάση εκτιμήσεων από ειδικούς. Η δοκιμή των μεθόδων

προτείνεται να γίνει με την εφαρμογή τους για εναλλακτικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού, ενώ προτείνεται και η σύγκριση τους βάση πολλαπλών κριτηρίων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εκτενώς τα αποτελέσματα της εφαρμογής των δύο μεθόδων. Αναλύονται τα τρία εναλλακτικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού και εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων για την Κύπρο για τα οποία γίνεται εφαρμογή, οι δείκτες αειφορίας που προέκυψαν βάση της ανάλυσης για την κάθε μέθοδο και τα μεγέθη των δεικτών, όπως υπολογίστηκαν, βάση των δεδομένων που συλλέχθηκαν με ερωτηματολόγια για την κάθε μία και το κάθε σενάριο. Επίσης παρατίθενται τα αποτελέσματα σύγκρισης που αναδεικνύουν την μέθοδο συνδυασμού PESTEL-SWOT με την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων ως την καταλληλότερη. Τέλος, το έκτο κεφάλαιο περιέχει μία εκτενή συζήτηση των ευρημάτων, συμπεράσματα και εισηγήσεις. Ένα προγραμματισμένο σενάριο λήψης μέτρων για περιορισμό της κλιματικής αλλαγής, αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας φαίνεται να είναι το πλέον αειφόρο για την Κύπρο.

Summary

Nowadays, sustainable energy planning is important. Climate change, the other environmental impacts, as well as the economic and social dimensions connected to the availability, production and use of energy, make necessary, every organization or state to own an effective strategic plan for energy sources exploitation. This work examines two alternative methods that have been designed to assess the sustainability of the energy planning and use the results of their implementation for Cyprus, in order to export answers to research questions that have been put and to formulate conclusions and recommendations.

The first chapter includes the main terms and definitions regarding energy and the energy sources, as well as the analysis of the background, the subject, the necessity and the scope of present research. In the second chapter is presented the systematic literature review regarding the assessment of the sustainability of the energy planning and the approaches, the methods, the criteria and the indexes have been used in published scientific papers relevant to the topic under study. The third chapter includes a concise presentation of the modern international requirements and trends for strategic energy planning and the relevant policies as well as an analysis of the situations and the data regarding the energy and the energy policy in Cyprus.

In the fourth chapter, are presented the material and methods. The individual research questions are formulated as well as the hypotheses to be tested. The two alternative methods to assess the sustainability that have been designed and will be implemented are also explained as well as their application way. The one method uses the approach of the multi-criteria method Analytical Hierarchy Process to hieratically construct the assessment problem, combines the analysis methods PESTEL (Political, Economic, Social, Technical, Environmental, Legal) and SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) to detect sustainability indicators and quantifies them according to an approach, also based on the Analytical Hierarchy Process, by using assessment comparisons by experts. The other method proposes an approach, that is based on the procedure to prepare a Life Cycle Assessment study, in order to determine sustainability indicators which are sized according to estimations by experts. Furthermore, it is proposed the methods to be tested by applying them for alternative scenarios. Their comparison according to multiple criteria is also suggested.

In the fifth chapter, the results are presented. It includes the three alternative scenarios, for which the application is done, the sustainability indicators that have been emerged,

according to the analysis for each method and the calculated sizes of them, according to the data that have been collected with questionnaires for each method and each scenario. Moreover, includes the comparison results, showing that the method which combines PESTEL-SWOT with the Analytical Hierarchy Process is the most suitable. At the end, the sixth chapter include an extensive discussion of the research findings, conclusions and recommendations. A planned scenario including measures to mitigate the climate change, to increase the renewable energy sources share and to improve energy efficiency seems to be the most sustainable for Cyprus.

Ευχαριστίες

Η διαδρομή για την εκπόνηση αυτής της διατριβής είχε πολύ ενδιαφέρον και οι γνώσεις, εμπειρίες και δεξιότητες που απέκτησα στη διάρκεια της είναι ανεκτίμητες. Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα **Δρ. Αντώνη Ζορπά** για την ευκαιρία που μου έδωσε, την καθοδήγηση, τη βοήθεια, την υποστήριξη και για το παράδειγμα σε πολλές περιπτώσεις. Επίσης θερμές ευχαριστίες στον **Δρ. Πέτρο Σαμαρά** και τον **Δρ. Mejdi Jeguirim**, μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, όπως και στους **Δρ. Χρήστο Αργυρούση** και **Δρ. Αγάπιο Αγαπίου** πρόεδρο και μέλος της εξεταστικής επιτροπής αντίστοιχα.

Θα ήταν παράλειψη να μην αναφέρω τους συμφοιτητές μου στο Εργαστήριο Χημικής Μηχανικής και Μηχανικής Αειφορίας, βοηθά πάρα πολύ να ξέρεις ότι έχεις κοινό στόχο και με άλλους. Ευχαριστίες και σε όσους ανταποκρίθηκαν στην έρευνα, χωρίς τη συμβολή τους δεν θα υπήρχε αποτέλεσμα.

Στις κόρες μου, τη Δέσποινα και τη Χρύσα.

Σεπτέμβριος 2022

Μιχαήλ Τσάγγας

Περιεχόμενα

Κατάλογος γραφικών παραστάσεων/εικόνων.	12
Κατάλογος πινάκων.	13
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	15
1.1 Προοίμιο.....	15
1.2 Όροι και ορισμοί	17
1.3 Ενεργειακοί πόροι.....	19
1.3.1 Γαιάνθρακας	19
1.3.2 Πετρέλαιο	20
1.3.3 Φυσικό αέριο	21
1.3.4 Μη συμβατικοί ορυκτοί ενεργειακοί πόροι	22
1.3.5 Πυρηνική ενέργεια.....	22
1.3.6 Ηλιακή ενέργεια.....	23
1.3.7 Αιολική ενέργεια.....	24
1.3.8 Γεωθερμία.....	24
1.3.9 Βιομάζα.....	25
1.3.10 Υδροηλεκτρική ενέργεια	26
1.3.11 Θαλάσσια ενέργεια	27
1.3.12 Υδρογόνο	27
1.4 Ενεργειακές ανάγκες.....	28
1.5 Κλιματική αλλαγή.....	29
1.6 Ενέργεια και αιεφορία.....	30
1.7 Σημασία του ενεργειακού σχεδιασμού	30
1.8 Ερευνητικό πλαίσιο.....	31
1.9 Ερευνητικό ερώτημα.....	34
Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	37
2.1 Εισαγωγή.....	37
2.2 Μεθοδολογία Ανασκόπησης.....	37
2.3 Χρονική κατανομή δημοσιεύσεων.....	39
2.4 Χωρική κατανομή δημοσιεύσεων	40
2.5 Μέθοδοι αξιολόγησης.....	42
2.5.1 Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων.....	48
2.5.2 Δείκτες αξιολόγησης.....	60
2.5.3 Μέθοδοι Ανάλυσης.....	64
2.5.4 Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (AKZ)	64
2.5.5 Μέθοδοι Μοντελοποίησης.....	66

2.5.6	Άλλες μέθοδοι.....	67
2.6	Συμπεράσματα	67
Κεφάλαιο 3. Διεθνείς ενεργειακές στρατηγικές και πολιτικές και Κύπρος.....		70
3.1	Εισαγωγή.....	70
3.2	Σύγχρονες τάσεις ενεργειακής πολιτικής.....	71
3.3	Η Ενεργειακή Πολιτική της Κύπρου	75
3.3.1	Γενικές πληροφορίες.....	75
3.3.2	Το ενεργειακό σύστημα της Κύπρου.....	76
3.3.3	Πλαίσιο ενεργειακής πολιτικής στην Κύπρο.....	79
Κεφάλαιο 4. Ύλη και μεθοδολογία έρευνας		85
4.1	Εισαγωγή.....	85
4.2	Σκοπός και στόχοι της έρευνας.....	85
4.3	Διαδικασία εκπόνησης έρευνας και ερευνητικές υποθέσεις.....	86
4.4	Ερευνητικά εργαλεία.....	89
4.4.1	Δείκτες αιφορίας	90
4.4.2	Ανάλυση PESTEL	90
4.4.3	Ανάλυση SWOT	91
4.4.4	Η πολυκριτηριακή μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process - AHP)	92
4.4.5	Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής	94
4.4.6	Εναλλακτικά σενάρια	95
4.5	Εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης της αιφορίας.....	96
4.5.1	Μέθοδος PESTEL – SWOT – Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων.....	96
4.5.1.1	Ιεραρχική Δόμηση Προβλήματος.....	96
4.5.1.2	Ποσοτικοποίηση δεικτών.....	98
4.5.1.3	Αξιολόγηση αιφορίας σεναρίων βάση επιλογών	100
4.5.2	Μέθοδος Αξιολόγησης βάση της ΑΚΖ.....	100
4.5.2.1	Η προσέγγιση αιφορίας στον κύκλο ζωής	100
4.5.2.2	Μέθοδος Αξιολόγησης βάση του Κύκλου Ζωής.....	101
4.5.3	Μεθοδολογία Σύγκρισης Μεθόδων Αξιολόγησης.....	104
4.5.3.1	Κριτήρια αξιολόγησης μεθόδων	104
4.5.3.2	Μέθοδος σύγκρισης.....	105
4.5.4	Συλλογή Δεδομένων	105
4.5.5	Δείγμα πρωτογενούς έρευνας	106
Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα		108
5.1	Εισαγωγή.....	108
5.2	Σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο.....	108

5.3	Μέθοδος συνδυασμού PESTEL-SWOT-Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων	110
5.3.1	Πολιτικό πλαίσιο	110
5.3.2	Οικονομικό πλαίσιο	112
5.3.3	Κοινωνικό πλαίσιο	113
5.3.4	Τεχνολογικό πλαίσιο.....	114
5.3.5	Περιβαλλοντικό πλαίσιο	114
5.3.6	Νομικό πλαίσιο	115
5.3.7	Ανάλυση SWOT	115
5.3.8	Ερωτηματολόγιο έρευνας	118
5.3.9	Δείγμα έρευνας	118
5.3.10	Αποτελέσματα έρευνας.....	119
5.3.11	Ανάλυση αποτελεσμάτων	123
5.3.12	Έλεγχος συνέπειας αποτελεσμάτων	130
5.4	Μέθοδος Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής	132
5.4.1	Σκοπός και στόχοι AKZ.....	132
5.4.2	Ο Κύκλος Ζωής του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου.....	133
5.4.3	Απογραφή συστήματος Κύκλου Ζωής.....	134
5.4.4	Παραδοχές.....	134
5.4.5	Επιπτώσεις του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου.....	135
5.4.6	Δείκτες χαρακτηρισμού επιπτώσεων	138
5.4.7	Δεδομένα για υπολογισμό δεικτών	141
5.4.7.1	Σημασία δεικτών.....	141
5.4.7.2	Βέλτιστο σενάριο σύμφωνα με την AKZ	143
5.4.7.3	Υπολογισμός δεικτών	146
5.4.7.4	Ποιότητα Δεδομένων	152
5.4.8	Σύγκριση Μεθόδων Αξιολόγησης	152
5.4.8.1	Βαρύτητα κριτηρίων	153
5.5	Έλεγχος ερευνητικών υποθέσεων	157
	Παράρτημα Α. Questionnaire 1.	160
	Παράρτημα Β. Questionnaire 2.	165
	Παράρτημα Γ. Questionnaire 3.....	170
	Κεφάλαιο 6. Συζήτηση / Συμπεράσματα	172
6.1	Εισαγωγή.....	172
6.2	Απαντήσεις ερευνητικών ερωτημάτων	173
6.3	Συζήτηση αποτελεσμάτων	176
6.3.1	Μέθοδοι αξιολόγησης.....	176

6.3.2	Δείκτες αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού	178
6.3.2.1	Δείκτες PESTEL / SWOT.....	178
6.3.2.2	Δείκτες AKZ.....	181
6.3.2.3	Δείκτες αειφορίας	182
6.3.3	Σύγκριση μεθόδων	182
6.3.4	Σύγκριση σεναρίων ενεργειακού σχεδιασμού	185
6.3.5	Ερμηνεία επιμέρους αποτελεσμάτων	187
6.4	Συμπεράσματα	189
6.5	Σημερινή κατάσταση.....	191
6.6	Περιορισμοί έρευνας.....	192
6.7	Εισηγήσεις.....	193
6.8	Πεδίο για περαιτέρω έρευνα	196
	Βιβλιογραφία	198

Κατάλογος γραφικών παραστάσεων/εικόνων.

Σχεδιάγραμμα 2.1. Διάγραμμα ροής για εντοπισμό βιβλιογραφίας.

Σχεδιάγραμμα 2.2. Χρονική κατανομή δημοσιευμένων άρθρων.

Σχεδιάγραμμα 2.3. Κατανομή δημοσιευμένων άρθρων ανά ήπειρο μελέτης.

Σχεδιάγραμμα 2.4. Κατανομή δημοσιευμένων άρθρων ανά κράτος ή περιοχή μελέτης.

Σχεδιάγραμμα 2.5. Ομαδοποίηση μεθόδων αξιολόγησης.

Σχεδιάγραμμα 2.6. Κατανομή κριτηρίων πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Σχεδιάγραμμα 4.1. Διαδικασία εκπόνησης της έρευνας.

Σχεδιάγραμμα 4.2. Συνδυασμός ανάλυσης PESTEL με ανάλυση SWOT (Tsangas *et al.*, 2019).

Σχεδιάγραμμα 4.3. Ιεραρχική ανάλυση αξιολόγησης.

Σχεδιάγραμμα 4.4. Μέθοδος προσδιορισμού δεικτών Κύκλου Ζωής.

Σχεδιάγραμμα 5.1. Κατανομή συμμετεχόντων σε έρευνα για την εφαρμογή της μεθόδου PESTEL-SWOT-Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων

Σχεδιάγραμμα 5.2. Μέγεθος αξιολόγησης επιλογών από μέθοδο PESTEL-SWOT – Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων

Σχεδιάγραμμα 5.3. Όρια συστήματος κύκλου ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου

Σχεδιάγραμμα 5.4. Σύστημα Κύκλου Ζωής ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο.

Σχεδιάγραμμα 5.5. Αριθμός επιλογών δεικτών AKZ

Σχεδιάγραμμα 5.6. Κατανομή επιλογών δεικτών AKZ

Σχεδιάγραμμα 5.7. Αειφορία σεναρίων ανά δείκτη AKZ.

Σχεδιάγραμμα 5.8 Συγκριτικό μέγεθος δεικτών κύκλου ζωής.

Σχεδιάγραμμα 5.9 Συγκριτικό σταθμισμένο μέγεθος επιπτώσεων κύκλου ζωής.

Σχεδιάγραμμα 5.10 Βαρύτητα Κριτηρίων Αξιολόγησης Μεθόδων.

Σχεδιάγραμμα 5.11. Σχετικό σταθμισμένο μέγεθος κριτηρίων σύγκρισης μεθόδων.

Κατάλογος πινάκων.

Πίνακας 2.1.: Μέθοδοι αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού.

Πίνακας 2.2. Κριτήρια πολυκριτηριακής αξιολόγησης από βιβλιογραφία.

Πίνακας 3.1. Ετήσια τοποθετούμενη ισχύς ΑΠΕ στην Κύπρο (CERA, 2021a).

Πίνακας 3.2. Ετήσια ηλεκτροπαραγωγή (GWh) από ΑΠΕ στην Κύπρο (CERA, 2021a).

Πίνακας 5.1. Πλέγμα PESTEL – SWOT ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου.

Πίνακας 5.2. Ειδικότητες συμμετεχόντων στην έρευνα για τη μέθοδο PESTEL-SWOT-Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων.

Πίνακας 5.3. Απαντήσεις συνόλου συμμετεχόντων για σενάριο Α.

Πίνακας 5.4. Απαντήσεις συνόλου συμμετεχόντων για σενάριο Β.

Πίνακας 5.5. Απαντήσεις συνόλου συμμετεχόντων για σενάριο Γ.

Πίνακας 5.6. Βαρύτητα κριτηρίων ανά ομάδα συμμετεχόντων και ανά σενάριο.

Πίνακα 5.7. Συγκριτικά αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου PESTEL-SWOT – Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Πίνακας 5.8. Μέσος όρος (Μ.Ο.) βαρύτητας κριτηρίων.

Πίνακας 5.9. Μεγέθη δεικτών μεθόδου PESTEL-SWOT – Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Πίνακας 5.10. Αξιολόγηση αιεφορίας σεναρίων ενεργειακού σχεδιασμού, ανά δείκτη PESTEL/SWOT, από συμμετέχοντες.

Πίνακας 5.11. Επιπτώσεις Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου.

Πίνακας 5.12. Δείκτες χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου.

Πίνακας 5.13. Σημασία δεικτών χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος.

Πίνακας 5.14. Επιλογές περισσότερο αιεφόρου σεναρίου ανά δείκτη ΑΚΖ.

Πίνακας 5.15. Μέγεθος δεικτών χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου.

Πίνακας 5.16. Μέγεθος δεικτών χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος με βαρύτητα.

Πίνακας 5.17. Ποιότητα δεδομένων εφαρμογής μεθόδου ΑΚΖ.

Πίνακας 5.18. Βαρύτητα κριτηρίων σύγκρισης μεθόδων.

Πίνακας 5.19. Επιλογές σύγκρισης μεθόδων.

Πίνακας 5.20. Ανάλυση σταθμισμένου αθροίσματος επιλογών σύγκρισης μεθόδων.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Προοίμιο

Κάθε δραστηριότητα στη φύση απαιτεί ενέργεια για την υλοποίηση και εξέλιξη της. Αντίστοιχα, το ανθρώπινο σώμα έχει ανάγκη από τροφή. Ενώ, όπως και κάθε οικοσύστημα, η οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα και η παραγωγή οποιουδήποτε έργου από τον άνθρωπο, βασίζεται στη διαθεσιμότητα ενέργειας και συνεπαγόμενα, στη διαθεσιμότητα πόρων από τους οποίους μπορεί αυτή να παραχθεί. Ωστόσο, ενώ η ενέργεια στη γη προκύπτει από την ηλιακή δραστηριότητα, έχει διάφορες μορφές, είναι άφθονη και οι πηγές της ανεξάντλητες, δεν είναι πάντα δυνατό να είναι διαθέσιμη και να χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για τη λειτουργία της ανθρώπινης κοινωνίας, την παραγωγή έργου και την ανάπτυξη.

Στην διάρκεια της ιστορίας, ο άνθρωπος έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους, με τις οποίες να μπορεί να αξιοποιεί τις πηγές ενέργειας που υπάρχουν στη γη και να καλύπτει τις ανάγκες του. Αρχικά η εξασφάλιση τροφής, αλλά και η προετοιμασία της για κατανάλωση, έπειτα η εξασφάλιση στέγης για την αντιμετώπιση των καιρικών συνθηκών και των άλλων κινδύνων από τη φύση και αργότερα η επικοινωνία και κοινωνικοποίηση διευκολύνθηκαν ή και έγιναν δυνατές με τη χρήση ενεργειακών πόρων. Για να ικανοποιηθούν αυτές οι βασικές ανθρώπινες ανάγκες αρχικά και για μεγάλο διάστημα, αξιοποιήθηκαν απλές και άμεσα διαθέσιμες μορφές ενέργειας όπως η βιομάζα με τη μορφή καρπών, φύλων και ξύλου, η ηλιακή ακτινοβολία και ο άνεμος. Με το πέρασμα του χρόνου όμως, οι ανάγκες του ανθρώπου εξελίχθηκαν τόσο σε ποσότητα, όσο και σε ποιότητα. Από τη μια η αύξηση του αριθμού των ανθρώπων και από την άλλη η διαφοροποίηση και αύξηση των αναγκών, όπως για παράδειγμα για κάλυψη αποστάσεων ή για ευνοϊκότερες συνθήκες ζωής, οδήγησαν σε νέες ανάγκες για ενέργεια και σε μεγαλύτερες απαιτήσεις για αποθήκευση και εύκολη διάθεση της, οι οποίες ήταν όλο και πιο δύσκολο να καλυφθούν. Επομένως, αντίστοιχα προέκυψε η ανάγκη για την εξέλιξη και αύξηση των μορφών ενέργειας που θα ήταν δυνατό να αξιοποιηθούν και η απαίτηση για αποτελεσματικές τεχνολογίες που θα έδιναν αυτή τη δυνατότητα, όπως για παράδειγμα οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι.

Μετά την βιομάζα, με την απλή μορφή των καρπών και του ξύλου ή των φύλλων και την αξιοποίηση της ακτινοβολίας του ήλιου για την παραγωγή θερμότητας ή την αξιοποίηση του ανέμου για κίνηση, έγινε σταδιακά τεχνολογικά εφικτό οι συγκεκριμένοι πόροι να χρησιμοποιούνται περισσότερο αποδοτικά, αλλά και να είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν

και άλλοι όπως και τα ορυκτά καύσιμα. Έτσι φθάσαμε σήμερα να επιτυγχάνονται σημαντικοί βαθμοί απόδοσης, δηλαδή σημαντικά ποσοστά ενέργειας που παράγει έργο σε σχέση με αυτά που εμπεριέχονται σε κάθε πόρο, αλλά και να αξιοποιούνται πόροι οι οποίοι ήταν αδύνατο στο παρελθόν να γίνει κάτι τέτοιο αποδοτικά, όπως η κίνηση των κυμάτων της θάλασσας και η γεωθερμία. Ωστόσο, στο πέρασμα του χρόνου, η πηγή ενέργειας που αξιοποιήθηκε αποδοτικά κατά κόρον και έδωσε τη δυνατότητα για ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας είναι οι ορυκτοί πόροι. Ο γαιάνθρακας αρχικά και κατόπιν το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αργότερα.

Εντούτοις, η διαθεσιμότητα και αξιοποίηση των ορυκτών πόρων είναι, μεταξύ άλλων, συνδεδεμένη με δύο σοβαρά προβλήματα για την ανθρωπότητα. Από τη μια η παραγωγή ενέργειας από τους ορυκτούς πόρους απαιτεί την καύση τους, με συνέπεια την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα και αύξηση της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα της γης. Αυτό το φαινόμενο είναι πλέον δεδομένο και κοινά αποδεκτό ότι προκαλεί αλλαγές στο κλίμα και αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στον πλανήτη, με σημαντικές συνέπειες στην ανθρώπινη ζωή. Από την άλλη η συνεχή εξόρυξη και χρήση των ορυκτών πόρων είναι βέβαιο ότι αργά ή γρήγορα οδηγεί στην εξάλειψη τους με πιθανή συνέπεια την αδυναμία πρόσβασης των μελλοντικών γενεών σε αποδοτικές μορφές ενέργειας. Οπότε, υπάρχει πλέον σημαντική προσπάθεια να αναπτυχθούν και άλλοι ενεργειακοί πόροι για να αντικαταστήσουν σε μεγάλο βαθμό τους ορυκτούς. Αυτοί είναι σκόπιμο από τη μια να μην παράγουν διοξείδιο του άνθρακα και από την άλλη να είναι ανανεώσιμοι, ώστε να μην υπάρχει ο κίνδυνος εξάλειψής τους.

Παράλληλα υπάρχουν και άλλα θέματα τα οποία συνδέονται με τη διαθεσιμότητα, παραγωγή και χρήση ενέργειας και είναι εξίσου σημαντικά. Ένα από αυτά είναι η διαθεσιμότητα της στον χρόνο και το χώρο, ώστε να είναι αποδοτική η χρήση της. Άλλο είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος που μπορεί να προκαλέσει η παραγωγή της. Επίσης η εξάλειψη ή και υποβάθμιση άλλων πόρων όπως για παράδειγμα το νερό και η γη από τις δραστηριότητες για την αξιοποίηση της ή και οι επιπτώσεις, αρνητικές αλλά και ενδεχόμενα θετικές, στις ανθρώπινες κοινωνίες από τις εγκαταστάσεις που απαιτούνται ή και τις μεθόδους που πρέπει να εφαρμοστούν. Σημαντική επίσης είναι η οικονομική διάσταση που συνδέεται με την ενέργεια, το κόστος της και η συμβολή της διαθεσιμότητας της στην οικονομική ανάπτυξη.

Οπότε, είναι σημαντικός ο ενεργειακός σχεδιασμός. Κάθε ανθρώπινη κοινότητα και κατά επέκταση κάθε οργανισμός ή και κράτος πρέπει να εφαρμόζει μία μέθοδο με την οποία να διασφαλίζει ότι θα έχει διαθέσιμη την απαραίτητη ενέργεια στη διάρκεια του χρόνου, στο

χώρο που απαιτείται, με τις λιγότερες δυνατές συνέπειες στο περιβάλλον και στην κοινωνία και με το μικρότερο δυνατό κόστος, αλλά και το μεγαλύτερο δυνατό οικονομικό όφελος από την αξιοποίηση της. Δηλαδή, λαμβάνοντας υπόψη έναν όρο που είναι πλέον κοινά ζητούμενος, να διασφαλίζει την απαραίτητη ενέργεια με αειφόρο τρόπο για την αειφόρο ανάπτυξη της. Ειδικά όσον αφορά κράτη, η σημασία της ενέργειας για την επιβίωση και ανάπτυξη τους, απαιτεί την χάραξη αειφόρου ενεργειακής στρατηγικής και αντίστοιχων πολιτικών.

Ωστόσο, ενώ το ζητούμενο φαίνεται να είναι γενικά ένα, η διασφάλιση της αναγκαίας ενέργειας για τη λειτουργία και την αειφόρο ανάπτυξη, υπάρχουν διάφορες επιλογές, αλλά και διάφορες κατευθύνσεις που είναι δυνατό να ακολουθηθούν, όπως και αρκετές συνθήκες που πρέπει να συνυπολογίζονται ως προαπαιτούμενα σε κάθε περίπτωση. Η διαθεσιμότητα ενεργειακών πόρων, οι ανάγκες για προστασία του περιβάλλοντος, οι επιταγές και ανάγκες κάθε κοινωνίας, οι οικονομικές δυνατότητες και οικονομικές απαιτήσεις, αλλά και οι πολιτικές συνθήκες και πολιτικές δεσμεύσεις. Οπότε, φαίνεται να υπάρχει ανάγκη για μεθόδους με τις οποίες ο ενεργειακός σχεδιασμός και η εκάστοτε ενεργειακή στρατηγική και οι συνδεόμενες πολιτικές να είναι δυνατό να αξιολογηθούν, ώστε να μπορεί να υπάρχει σαφή ένδειξη, εάν τα προαπαιτούμενα που τίθενται σε κάθε περίπτωση ικανοποιούνται.

Σε αυτά τα πλαίσια, η παρούσα διατριβή ασχολείται με την αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού και προτείνει μεθόδους που είναι δυνατόν και πρακτικό να χρησιμοποιηθούν, αξιολογώντας τες παράλληλα και καταλήγοντας και σε προτάσεις από την εφαρμογή αυτών των μεθόδων. Ως περίπτωση για μελέτη έχει επιλεγεί η Κύπρος, τόσο γιατί είναι η χώρα που εκπονείται η διατριβή, αλλά και γιατί η Κυπριακή Δημοκρατία παρουσιάζει ένα αρκετά πολύπλοκο και ενδιαφέρον πλαίσιο, όσον αφορά τον ενεργειακό τομέα. Είναι ένα απομονωμένο νησιώτικο κράτος, εξαρτώμενο ενεργειακά σε μεγάλο βαθμό σήμερα, από εισαγόμενους ορυκτούς πόρους, με σημαντικό ωστόσο ενεργειακό δυναμικό όσο αφορά ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και διαθέσιμα αποθέματα ορυκτών πόρων, των οποίων η αξιοποίηση ακόμη δεν έχει ξεκινήσει. Παράλληλα είναι μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης και δεσμεύεται τόσο από την ενεργειακή στρατηγική όσο και από τις πολιτικές της για αειφόρο ανάπτυξη.

1.2 Όροι και ορισμοί

Η ενέργεια ορίζεται ως η δυνατότητα παραγωγής έργου και είναι απαραίτητη για τη ζωή. Ξεκινώντας από τον ήλιο, ρέει δια μέσου των οικοσυστημάτων και παρέχει σε όλα τα έμβια όντα, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, τη δυνατότητα να ζουν, να αναπαράγονται και

να εκτελούν εργασίες (Randolph and Masters, 2018). Στην καθημερινή ζωή την αντιλαμβανόμαστε ως τρόφιμα και ως καύσιμα για μεταφορές, θέρμανση και ηλεκτρισμό για φωτισμό και λειτουργία συσκευών (Halliday, Resnick and Walker, 2010), όμως στην πραγματικότητα αυτά είναι απλώς τα μέσα ροής της. Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής που διατυπώθηκε από τον James Prescott Joule (Smil, 2012), η ενέργεια ούτε δημιουργείται, ούτε καταναλώνεται παρά μόνο αλλάζει μορφές. Σε κάθε διεργασία, η εισερχόμενη ενέργεια είναι ίση με την εξερχόμενη, αλλά μπορεί να έχει αλλάξει μορφή, ενώ δεν υπάρχει περιορισμός στην μετατροπή, στο βαθμό που η συνολική ποσότητα διατηρείται (Skipka and Theodore, 2014).

Αλλά, με αυτές τις αλλαγές μορφής η ενέργεια χάνει σταδιακά την ικανότητα της να παράγει χρήσιμο έργο μετατρέπόμενη στο τέλος σε εντροπία. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής, που διαμορφώθηκε από τον Rudolf Clausius (Smil, 2012), διατυπώνει ότι η εντροπία του σύμπαντος αυξάνει με το χρόνο, οπότε αν και δεν υπάρχει απώλεια της ποσότητας ενέργειας, υπάρχει απώλεια στην ποιότητα της. Ενώ το έργο μπορεί να μετατραπεί πλήρως σε θερμότητα το αντίστροφο δεν είναι δυνατόν (Randolph and Masters, 2018). Μέχρι το απόλυτο μηδέν ή σχεδόν τους $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπου σύμφωνα με τον τρίτο νόμο της θερμοδυναμικής, όπως αρχικά διαμορφώθηκε το 1906 στο θεώρημα της θερμότητας του Walther Nernst, τα άτομα σταματάνε να κινούνται (Smil, 2012), όλες οι διεργασίες διακόπτονται και η εντροπία πλέον δεν μεταβάλλεται.

Η ενέργεια υπάρχει σε διάφορες μορφές, όπως η μηχανική ενέργεια που περιλαμβάνει τις δύο βασικές, την κινητική που κινεί τα αντικείμενα και τη δυναμική ενέργεια η οποία είναι η ενέργεια που απαιτείται για να ανυψωθεί ένα αντικείμενο, αλλά και όπως η θερμική ενέργεια που είναι η ενέργεια της κίνησης των ατόμων, η ηλεκτρική ενέργεια που είναι η ενέργεια της κίνησης των ηλεκτρονίων, η χημική ενέργεια που προκύπτει από τις χημικές αντιδράσεις, η ηλιακή ενέργεια που προκύπτει από την σχάση των μορίων υδρογόνου για την παραγωγή ηλίου στον ήλιο και η ατομική ενέργεια που προκύπτει από τη διάσπαση των ατόμων (Randolph et al., 2018) και το φως ή την ενέργεια από την ακτινοβολία (Viswanathan, 2016). Ένα άλλο σημαντικό μέγεθος είναι η ισχύς η οποία ορίζεται ως ο ρυθμός παραγωγής του έργου από την οποιαδήποτε μορφής ενέργεια.

Στη γη υπάρχουν διαθέσιμοι ποικίλοι ενεργειακοί πόροι. Είτε μη ανανεώσιμοι, όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα που υπάρχουν σε αέρια, υγρή και στέρεα μορφή και τα ορυκτά με πυρηνική ενέργεια, είτε ανανεώσιμοι όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η βιοενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια και η ενέργεια από τη θάλασσα (Viswanathan, 2016; Roy and Das, 2018). Ο βαθμός απόδοσης είναι το ποσοστό

ενέργειας που καταναλώνεται, παράγοντας έργο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σχέση με τη συνολική κατανάλωση. Κάποιοι ενεργειακοί πόροι είναι περισσότερο αποδοτικοί και κάποιοι λιγότερο. Ενώ μπορεί να αποδίδουν την ίδια ποσότητα ενέργειας, είτε καθαυτή η μορφή τους και ο τρόπος χρήσης τους, είτε οι διαθέσιμες τεχνολογίες αξιοποίησης τους επηρεάζουν το μέγεθος του έργου που παράγεται, ενώ σημαντικό ρόλο έχει και η ισχύ που μπορεί να επιτευχθεί.

Ο ενεργειακός σχεδιασμός είναι η προσπάθεια ανεύρεσης ενεργειακών πόρων και μεθόδων μετατροπής τους ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες όλων των απαιτήσεων με το βέλτιστο τρόπο και μπορεί να γίνεται είτε σε κεντρικό, είτε σε μη κεντρικό επίπεδο. Ενώ τα ενεργειακά μοντέλα είναι απλοποιημένες αναπαραστάσεις πραγματικών συστημάτων και αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για τις περιπτώσεις που οι πραγματικές δοκιμές είτε δεν είναι πρακτικές ή είναι πολύ ακριβές ή και αδύνατες (Hiremath, Shikha and Ravindranath, 2007). Τέλος ενεργειακό σύστημα μπορεί να ονομαστεί η διεργασία που περιλαμβάνει μετατροπείς μορφών ενέργειας και παραγωγούς και έχει ως εισερχόμενο ενέργεια και εξερχόμενα ενέργεια, έργο και εντροπία σε οποιοδήποτε επίπεδο από έναν οργανισμό ως μια κοινωνία ή και ένα κράτος.

1.3 Ενεργειακοί πόροι

Οι διαθέσιμοι ενεργειακοί πόροι στην εποχή μας είναι ποικίλοι. Υπάρχουν οι μη ανανεώσιμοι, οι οποίοι είναι τα γνωστά ορυκτά καύσιμα. Περιλαμβάνουν τον γαιάνθρακα, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο τα οποία υπάρχουν αποθηκευμένα στο φλοιό της γης. Επίσης υπάρχει η πυρηνική ενέργεια, ενώ σημαντικό μερίδιο αποκτούν πλέον και οι ανανεώσιμοι, οι οποίοι περιλαμβάνουν την ηλιακή ενέργεια, την αιολική ενέργεια, τη γεωθερμία, τη βιομάζα, την υδροηλεκτρική ενέργεια και την ενέργεια από τη θάλασσα.

1.3.1 Γαιάνθρακας

Σύμφωνα με τους (Skipka and Theodore, 2014) ο γαιάνθρακας είναι στέρεο ορυκτό καύσιμο με μαύρο ή σκούρο καφέ χρώμα και περιέχει κυρίως άνθρακα και υδρογόνο, θείο, οξυγόνο και άζωτο σε μικρότερες ποσότητες. Προέκυψε από την αποσύνθεση φυτών υπό πίεση εντός του φλοιού της γης και διακρίνεται σε φυτάνθρακα που είναι το αρχικό παράγωγο της διαδικασίας δημιουργίας του γαιάνθρακα και περιέχει υψηλό ποσοστό υγρασίας περίπου 70%, σε λιγνίτη που εντοπίζεται σε νεαρές σχετικά γεωλογικές αποθέσεις και έχει χαμηλή σχετικά ενεργειακή αξία με υγρασία περίπου 30%, σε υπο-ασφαλτούχο γαιάνθρακα με υγρασία μεταξύ 15 και 30% και σχετικά υψηλότερη ενεργειακή αξία, τον ασφαλτούχο γαιάνθρακα που περιέχει άνθρακα σε ποσοστό 70 έως 85% και τον ανθρακίτη που αποτελεί

την υψηλότερη τάξη γαιάνθρακα με περιεχόμενο σε άνθρακα από 85 έως 98%. Λόγω της διαφοράς της γεωλογικής ηλικίας και του σταδίου αποσύνθεσης υπάρχει ποικιλία της ποιότητας στα αποθέματα που υπάρχουν σε διάφορα σημεία.

Λόγω του χαμηλότερου κόστους παραγωγής ο γαιάνθρακας χρησιμοποιείται για το 41% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής (Skipka and Theodore, 2014; Sarker *et al.*, 2018). Υπολογίζεται ότι τα αποδεδειγμένα αποθέματα γαιάνθρακα είναι παγκόσμια σχεδόν ένα δισεκατομμύριο τόνοι. Αυτά μπορούν να εξορυχθούν οικονομικά. Η εξόρυξη γίνεται είτε επιφανειακά είτε υπόγεια και αφού το ορυκτό καθαριστεί από προσμίξεις, μπορεί να μεταφερθεί στον ηλεκτροπαραγωγό σταθμό για καύση για την παραγωγή ατμού και χρήση σε ατμοστρόβιλους. Η μεταφορά μπορεί να γίνεται είτε με ταινίες, είτε με φορτηγά, τρένα ή πλοία αλλά και με σωληνώσεις με την προσθήκη νερού, αλλά θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το κόστος της μπορεί να υπερβαίνει το κόστος του ορυκτού. Ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκαλεί η χρήση του γαιάνθρακα είναι η παραγωγή αέριων ρύπων κατά την καύση του που περιλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, νιτρώδη οξέα, υδράργυρο και άλλα τοξικά αέρια. Το κόστος κατάλυσης αυτών των ρύπων, ώστε να υπάρχει συμμόρφωση με τις νομοθετικές απαιτήσεις, θα κρίνει της ανταγωνιστικότητα του συγκεκριμένου ενεργειακού πόρου σε σχέση με τους άλλους και τη μελλοντική χρήση του. Παράλληλα ο γαιάνθρακας αποτελεί και πρώτη ύλη για άλλες εφαρμογές όπως η παραγωγή ενεργού άνθρακα, ινών άνθρακα, σιλικόνης για παραγωγή λιπαντικών, καλλυντικών και άλλων προϊόντων και νανοσωλήνων άνθρακα με καινοφανείς δομικές, ηλεκτρονικές και μηχανικές ιδιότητες (Skipka and Theodore, 2014).

1.3.2 Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο δημιουργήθηκε στον φλοιό της γης από την αποσύνθεση βιολογικού υλικού σε εκατομμύρια χρόνια και έχει υγρή μορφή (Skipka and Theodore, 2014). Είναι υδρογονάνθρακας με καφετί πράσινο έως σκούρο μαύρο χρώμα και περιέχει 0 – 35 % νάφθα και διάφορα ποσοστά κηροζίνης, βενζίνης και άλλων συστατικών με υψηλότερο σημείο βρασμού (Speight, 2015). Ενώ το 2014 υπολογιζόταν ότι τα αποθέματα πετρελαίου ήταν περίπου 2000 δισεκατομμύρια βαρέλια με τα μισά από αυτά να βρίσκονται στη μέση ανατολή και το ένα τρίτο στην πρώην Σοβιετική Ένωση και την Κίνα (Skipka and Theodore, 2014), άλλες εκτιμήσεις το 2011 τα υπολογίζουν περίπου στα 3000 δισεκατομμύρια βαρέλια (Seljom and Rosenberg, 2011). Υπάρχει αβεβαιότητα πόσο θα διαρκέσουν τα αποθέματα (Seljom and Rosenberg, 2011) ενώ το τέλος της εποχής του πετρελαίου θα φθάσει σύντομα και η αυξανόμενη ζήτηση του αποτελεί πρόκληση (Skipka and Theodore, 2014).

Η εξόρυξη του πετρελαίου γίνεται από κοιτάσματα τα οποία μπορεί να βρίσκονται είτε στην ξηρά, είτε στη θάλασσα και κατόπιν αυτό μεταφέρεται με αγωγούς, με πλοία ή με τρένα σε διυλιστήρια, όπου διυλίζεται για να εξαχθούν τα παράγωγα του. Διάφορα περιβαλλοντικά θέματα συνδέονται με τον συγκεκριμένο ενεργειακό πόρο. Διαρροές σε όλη τη διαδικασία εξαγωγής, διακίνησης και επεξεργασίας του μπορεί να προκαλέσει μόλυνση των νερών και του εδάφους και να θέσουν σε κίνδυνο την άγρια ζωή, ενώ η λειτουργία των διυλιστηρίων όπως και η καύση των διάφορων καυσίμων που παράγονται από αυτό προκαλεί ρύπους που περιλαμβάνουν εκτός από διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, νιτρώδη οξέα, υδράργυρο και άλλα (Skipka and Theodore, 2014).

1.3.3 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι αέριο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο και περιέχει υδρογονάνθρακες, κυρίως μεθάνιο και άλλα συστατικά όπως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μερκαπτάνες και ψήγματα άλλων ουσιών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή άλλων χημικών. Υπάρχει σε κοιτάσματα εντός του φλοιού της γης, είτε μαζί με πετρέλαιο, είτε μόνο του. Ανάλογα με τη σύσταση του χαρακτηρίζεται ως ισχνό, υγρό, ξηρό, οξύ ή υπολειπόμενο ενώ αν συνδέεται με κοιτάσματα πετρελαίου ή όχι διακρίνεται σε συνδεόμενο ή διαλυμένο φυσικό αέριο ή μη συνδεόμενο (Speight, 2015). Έχει επίσης προκύψει από την αποσύνθεση βιολογικών αποθεμάτων και τα παγκόσμια αποθέματα είχαν υπολογιστεί στα 13.000 δισεκατομμύρια κυβικά πόδια, ενώ αυξάνονται (Skipka and Theodore, 2014).

Εξορύσσεται όπως το πετρέλαιο με γεωτρήσεις σε κοιτάσματα και κατόπιν μεταφέρεται σε μονάδες επεξεργασίας όπου αφαιρούνται οι ακαθαρσίες και κατόπιν στέλνεται σε διυλιστήρια. Το προπάνιο, βουτάνιο και αιθάνιο που περιέχει μπορεί να τοποθετηθούν και να πωληθούν σε κυλίνδρους υπό πίεση. Η μεταφορά του γίνεται κυρίως με αγωγούς, ενώ μπορεί να μεταφερθεί συμπιεσμένο σε δεξαμενές, υγροποιημένο. Οι κυριότερες περιβαλλοντικές ανησυχίες που προκαλεί το φυσικό αέριο είναι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, θεικών και νιτρικών οξέων από την καύση του, οι διαρροές από τους αγωγούς, οι κίνδυνοι κατά τη μετακίνηση του υγροποιημένου φυσικού αερίου και τα θέματα ασφάλειας και υγείας. Γενικά υπάρχουν οφέλη από την ανάπτυξη του συγκεκριμένου ενεργειακού πόρου, καθώς θεωρείται ότι η καύση του είναι πιο καθαρή σε σχέση με τον γαιάνθρακα και το πετρέλαιο, ενώ η πρόοδος στις τεχνολογίες εξόρυξης του μειώνουν το πρόβλημα της αυξημένης ζήτησης του (Skipka and Theodore, 2014).

1.3.4 Μη συμβατικοί ορυκτοί ενεργειακοί πόροι

Οι σχιστόλιθοι είναι γεωλογικοί σχηματισμοί από λεπτά πετρώδη στρώματα που βρίσκονται σε πολλά σημεία στη γη. Σε κάποιους από αυτούς, οργανικό υλικό έχει στρωθεί μαζί με το ανόργανο και υπάρχουν αποθέματα σχιστολιθικού πετρελαίου και φυσικού αερίου τα οποία ονομάζονται και μη συμβατικά. Για την εξόρυξη τους που συνεχώς αυξάνεται, εφαρμόζονται τεχνικές θραύσης είτε επί τόπου στο κοίτασμα, είτε σε άλλη εγκατάσταση όπου μεταφέρεται το ορυκτό. Κατόπιν εφαρμόζονται οι μέθοδοι μεταφοράς, όπως και για τα συμβατικούς ορυκτούς πόρους. Οι σχετικές περιβαλλοντικές ανησυχίες είναι ευρείς. Δημιουργείται σημαντική αέρια ρύπανση κατά την εξόρυξη και επεξεργασία, ενώ γίνεται και σημαντική χρήση νερού για τη διαδικασία με τις συνεπαγόμενες συνέπειες στα τοπικά αποθέματα και υδάτινους φορείς, διάβρωση του εδάφους και παράλληλη μόλυνση αυτού που απορρίπτεται. Σημαντικές είναι και οι συνέπειες στην άγρια ζωή και τα άλλα οικοσυστήματα. Επίσης δημιουργούνται σημαντικές ποσότητες στερεών αποβλήτων από τα πετρώματα, ενώ έχει παρατηρηθεί και η δημιουργία οικισμών σε σύντομο διάστημα στις περιοχές εξόρυξης που συνδέονται με κοινωνικές επιπτώσεις (Skipka and Theodore, 2014). Ένα άλλος μη συμβατικός πόρος είναι η ασφαλτος από ασφαλτούχο άμμο που αντιπροσωπεύει μία δυνητικά μεγάλη πηγή ενέργειας (Speight, 2015). Αν και η σημασία αυτών των πόρων έχει αυξηθεί από την αρχή του 21^{ου} αιώνα, δεν είναι βέβαιο ότι θα συνεχίσει με τον ίδιο ρυθμό η ανάπτυξη τους (Solarin, Gil-Alana and Lafuente, 2020)

1.3.5 Πυρηνική ενέργεια

Η πυρηνική ενέργεια προέρχεται από τον πυρήνα των ατόμων και προκύπτει είτε από την τήξη, είτε από τη σχάση τους. Η θερμότητα που παράγεται από αυτές τις διεργασίες χρησιμοποιείται για να κινήσει ένα στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον όμως απαιτείται η εξόρυξη, επεξεργασία και μεταφορά του ουρανίου που είναι το στοιχείο με το οποίο παράγεται, ο εμπλουτισμός και η συσκευασία του σε κατάλληλη μορφή, ο σχεδιασμός και κατασκευή των πυρηνικών αντιδραστήρων και του βοηθητικού εξοπλισμού αλλά και η διάθεση των αποβλήτων που προκύπτουν. Περίπου το 6% της κατανάλωσης ενέργειας και το 15% της ηλεκτρικής ενέργειας παγκόσμια παράγεται με αυτό τον τρόπο. Υπάρχουν όμως σημαντικά περιβαλλοντικά ερωτήματα και θέματα ασφάλειας, όπως τα πυρηνικά ατυχήματα, η διάθεση των αποβλήτων και η ακτινοβολίες (Skipka and Theodore, 2014). Γι' αυτό ενώ θεωρείται ότι μπορεί να συμβάλει στη μείωση χρήσης των ορυκτών πόρων, στην ενεργειακή αειφορία, ανεξαρτησία και ασφάλεια, η ανάπτυξη της είναι υπό συζήτηση (McKie, 2019).

1.3.6 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά και την παραγωγή θερμότητας και δεν εξαντλείται. Κατά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο τα φωτόνια μετακινούν τα ηλεκτρόνια συγκεκριμένων υλικών με συνέπεια να παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα με τα λεγόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα. Επίσης ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να παραχθεί αν η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιηθεί για να θερμάνει κάποιο υγρό το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την κίνηση ενός στροβίλου στα ονομαζόμενα ηλιοθερμικά συστήματα. Άλλες εφαρμογές είναι η θέρμανση νερού για χρήση, αλλά και η ανάπτυξη πολύ υψηλών θερμοκρασιών σε φούρνους για σκοπούς δοκιμών, η ψύξη μέσω της τροφοδοσίας ψυχαντών και η χρήση για επεξεργασία νερού σε ηλιακές μονάδες αφαλάτωσης (Camacho and Berenguel, 2012). Επίσης υπάρχουν εφαρμογές, όπως η ηλιακή αποξήρανση για την αφαίρεση της υγρασίας από αγροτικά προϊόντα και τα παθητικά ηλιακά κτήρια όπου τοποθετούνται στοιχεία για την απορρόφηση, αποθήκευση και απελευθέρωση της ηλιακής ενέργειας τα οποία μειώνουν την ανάγκη για ενέργεια για κλιματισμό (Kalogirou, 2014).

Κατά μέσο όρο υπολογίζεται ότι η ροή ηλιακής ακτινοβολίας στη γη είναι περίπου 630 W/m^2 , η οποία όμως κυμαίνεται ανάλογα με την τοποθεσία, ενώ παρουσιάζει χρονική μεταβολή και δεν είναι διαθέσιμη τη νύχτα. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη για αποθήκευση της ή χρήση της την στιγμή που παράγεται μέσω της μεταφοράς της όπου υπάρχει ανάγκη (Skirka and Theodore, 2014). Εάν μόνο το 1% της ενέργειας από τον ήλιο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με απόδοση 10% τότε θα υπήρχε μία βάση παραγωγής ισχύος 105 TW, ενώ μέχρι το 2050 οι ανάγκες υπολογίζονται στα 25 -30 TW. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες παρέχουν απόδοση περίπου 40% για τα φωτοβολταϊκά συστήματα και 40 - 60% για τα ηλιοθερμικά (Kalogirou, 2014).

Τα ηλιακά συστήματα, φωτοβολταϊκά και ηλιοθερμικά, παρέχουν περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους ορυκτούς πόρους. Μειώνουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και των τοξικών ρύπων, δίνουν χρήση σε υποβαθμισμένη γη, βοηθούν στην βελτίωση της ποιότητας των υδάτινων πόρων και δεν απαιτούν μεγάλα τμήματα δικτύου για σύνδεση. Παρουσιάζουν επίσης περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως η μόλυνση κατά την παραγωγή, εγκατάσταση και συντήρησή τους, ο θόρυβος κατά την κατασκευή τους, η οπτική όχληση και αλλαγή της χρήσης γης, οι οποίες όμως μπορεί να επιλυθούν (Kalogirou, 2014).

1.3.7 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια προκύπτει από τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια η οποία στην συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με τη χρήση των ανεμογεννητριών. Σήμερα υπάρχουν ανεμογεννήτριες με κάθετο και οριζόντιο άξονα, οι οποίες τοποθετούνται συνήθως σε ομάδες είτε στη στεριά, είτε παράκτια όπου δημιουργούνται αιολικά πάρκα. Η απόδοση τους κυμαίνεται στο 30 – 40 % (Skirka and Theodore, 2014) και οι περισσότερες σήμερα είναι με οριζόντιο άξονα. Το 2016 η παγκόσμια ισχύ αυτού του ενεργειακού πόρου ήταν 486,749 MW (Roy and Das, 2018), ενώ το παγκόσμιο δυναμικό παραγωγής στην στεριά που είναι πρακτικά εφικτό υπολογίζεται στα 2 TW τουλάχιστον, το οποίο αποτελεί τα δύο τρίτα της παγκόσμιας ικανότητας ηλεκτροπαραγωγής, με το δυναμικό παραγωγής παράκτια να είναι πολύ μεγαλύτερο (Kalogirou, 2014).

Η ικανότητα παραγωγής εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, την κατεύθυνση και τη χρονική διάρκεια του (Kalogirou, 2014) και διαφέρει από τόπο σε τόπο. Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα αιολικά πάρκα, αυτά πρέπει να συνδεθούν με το δίκτυο. Παράλληλα, ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας συνδέεται με διάφορα εμπόδια και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η έλλειψη αποδοχής από το κοινό, η χρήση γης, η οπτική όχληση, ο θόρυβος, η επίδραση στις τηλεπικοινωνίες και οι επιπτώσεις στην πανίδα και χλωρίδα, τα οποία όμως μπορεί να αντιμετωπιστούν (Kalogirou, 2014). Φαίνεται όμως ότι ο συγκεκριμένος πόρος μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό της ζήτησης ενέργειας στο μέλλον με κόστος όχι ιδιαίτερα υψηλό (Skirka and Theodore, 2014). Σε πολλές χώρες αν συνυπολογιστούν τα εξωτερικά και κοινωνικά κόστη, η αιολική ενέργεια είναι πλέον αρκετά ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια (Kalogirou, 2014).

1.3.8 Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια προκύπτει από το γεγονός ότι η θερμοκρασία από ένα βάθος και κατόπιν στο έδαφος παραμένει σχεδόν σταθερή στη διάρκεια του έτους, ενώ σε κάποια σημεία αυτή είναι αρκετά υψηλή. Με τις σύγχρονες τεχνολογίες η διαθεσιμότητα της μπορεί να είναι σημαντική στα σημεία της γης που υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες (Kalogirou, 2014). Η εκμετάλλευση της γίνεται είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με την απευθείας χρήση της θερμότητας. Οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, του υδροθερμικούς που είναι υπόγεια αποθέματα θερμού νερού ή και ατμού, θερμά τοιχώματα τα οποία βρίσκονται σε βάθος 5- 8 χιλιόμετρα με την παρουσία λίγου ή και

καθόλου υγρού και γεωσυμπιεσμένοι πόροι που είναι θερμά αλατώδη υγρά σε πολύ υψηλή πίεση σε πορώδους σχηματισμούς. Αυτοί γίνονται διαθέσιμοι με γεωτρήσεις, και για την αξιοποίηση τους χρησιμοποιείται νερό το οποίο θερμαίνεται για την παραγωγή ατμού για χρήση σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρισμού (Skirka and Theodore, 2014). Επίσης αντλίες θερμότητας με συστήματα σωληνώσεων χρησιμοποιούνται για αξιοποίηση του εδάφους ως πηγή, δεξαμενή ή αποθήκη θερμότητας για το κλιματισμό κτηρίων (Kalogirou, 2014).

Αν και η ροή της γεωθερμικής ενέργειας από το έδαφος δεν είναι ανανεώσιμος πόρος, επειδή ένα πολύ μικρό μέρος της θερμότητας χάνεται, για πρακτικούς λόγους αυτή θεωρείται ανανεώσιμη και μόνο σε περιπτώσεις υπερεκμετάλλευσης αυτό δεν ισχύει. Επίσης η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία είναι συνήθως οικονομικά ανταγωνιστική (Sorensen, 2011). Περιορίζεται όμως από τις συνθήκες σε κάθε τοποθεσία καθώς η δομή και οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζουν τη θερμοκρασία στα διάφορα βάθη (Kalogirou, 2014). Τέλος ο συγκεκριμένος πόρος θεωρείται καθαρός, αλλά δεν παύει να συνδέεται με περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Διάφορα αέρια, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα αλλά και αμμωνία, μεθάνιο, υδρόθειο και άλλα, όπως και σωματίδια μπορεί να διαρρεύσουν από τη γεώτρηση σε όλη τη φάση εκμετάλλευσης. Η λειτουργία των μονάδων παραγωγής ενέργειας μπορεί να προκαλέσουν μόλυνση των υδάτων. Επιπλέον δημιουργείται θόρυβος από την εκμετάλλευση, ενώ ο επηρεασμός των υπόγειων υδάτων μπορεί να προκαλέσει σεισμούς και δημιουργείται και θέμα χρήσης γης. Τέλος από το θερμό νερό παρατηρείται τοπική ομίχλη γύρω από κάποιες γεωθερμικές πηγές. Εντούτοις αυτές οι επιπτώσεις είναι αντιμετωπίσιμες (Skirka and Theodore, 2014).

1.3.9 Βιομάζα

Η βιομάζα συνεχώς εξελίσσεται σε μία σημαντική εναλλακτική πηγή ενέργειας. Μπορεί να προέλθει από την φυσική αναγέννηση ή την καλλιέργεια δασών, από ετήσιες καλλιέργειες φυτών, από την παραγωγή άλγης ή και από υπολείμματα αυτών. Επίσης μπορεί να εξαχθεί από βιομηχανικές διεργασίες, δημοτικά απόβλητα ή εργασίες καθαρισμού γης. Τα προϊόντα μπορεί να είναι απευθείας θερμότητα ή ισχύ ή υγρά, στερεά ή αέρια καύσιμα για περαιτέρω χρήση. Κοινές μορφές τέτοιων καυσίμων είναι τα πέλλετς, τα τεμάχια ξύλου και η κυτταρική αιθανόλη (Nunes, Causer and Ciolkosz, 2020). Το βιοντίζελ είναι ένα καύσιμο από βιομάζα που παρασκευάζεται από την ανάμιξη οινοπνεύματος με φυτικά έλαια, ζωικά έλαια ή λίπη όπως για παράδειγμα τα χρησιμοποιημένα έλαια από τα εστιατόρια. Κυρίως όμως αναμιγνύεται με το ντίζελ από πετρέλαιο σε διαφορά ποσοστά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους κλασικούς πετρελαιοκινητήρες (Skirka and Theodore, 2014). Άλλη μορφή είναι το

βιοαέριο το οποίο προκύπτει από ζωικά απόβλητα τα οποία μετατρέπονται σε μεθάνιο, μέσω αερόβιας ή αναερόβιας χώνευσης και το οποίο χρησιμοποιείται για την λειτουργία γεννητριών και την παραγωγή ηλεκτρισμού (Kalogirou, 2013).

Η ενέργεια από βιομάζα η οποία μπορεί ανακτάται το 2050 υπολογίζεται στα 206 EJ το έτος (Kalogirou, 2014). Εντούτοις, αν και ο συγκεκριμένος πόρος παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με τους ορυκτούς, υπάρχουν περιβαλλοντικά θέματα τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η καύση παράγει αέριους ρύπους οι οποίοι περιλαμβάνουν, οξείδια του αζώτου, μονοξείδιο του άνθρακα, όξινα αέρια, μικροσωματίδια, μέταλλα και τοξικά οργανικά. Όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η απορρόφηση του από τις καλλιέργειες μπορεί να τις ισορροπήσει. Παράλληλα η χρήση γης για την παραγωγή βιομάζας ανταγωνίζεται τη χρήση της για παραγωγή τροφίμων (Skipka and Theodore, 2014), ενώ η εντατική καλλιέργεια μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση και διάβρωση του εδάφους και οι καλλιέργειες υποστηρίζουν λιγότερα είδη από τα δάση που μπορεί να αντικατασταθούν (Kalogirou, 2014).

1.3.10 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ο πλέον διαδεδομένος ανανεώσιμος πόρος. Είναι μια σημαντική πηγή ηλεκτρισμού με σχεδόν 1 TW εγκατεστημένης ισχύος που κάλυπταν το 2018 το 16.5% της παγκόσμιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αρκετές χώρες καλύπτει έως και το 90% των αναγκών σε ηλεκτρισμό (Randolph and Masters, 2018). Η παραγωγή γίνεται όταν νερό ρέει ή πέφτει λόγω της βαρύτητας κινώντας ένα στρόβιλο και μια γεννήτρια, ενώ η ισχύς εξαρτάται από τη ροή και τη διαφορά ύψους μεταξύ της πηγής και του σημείου εκροής. Τα υδροηλεκτρικά έργα συνήθως αποτελούνται από μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ένα φράγμα που μπορεί να ανοίγει και να κλείνει για τον έλεγχο της ροής και μια τεχνητή λίμνη για την αποθήκευση του νερού και ανάλογα με το μέγεθος μπορούν να χρησιμοποιούνται για παροχή σε τοπικές κοινότητες ή εργοστάσια ή και σύνδεση στο δίκτυο (Skipka and Theodore, 2014).

Ο συγκεκριμένος ενεργειακός πόρος έχει το πλεονέκτημα ότι είναι περισσότερο ευέλικτος από του υπόλοιπους ανανεώσιμους. Ανάλογα με τις ανάγκες μπορεί να παρέχει βασική ισχύ, ισχύ για μέγιστη ζήτηση, στρεφόμενη εφεδρεία και δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας, ενώ οι υδροηλεκτρικές μονάδες μπορούν να ανταποκριθούν στις διακυμάνσεις ζήτησης με μεγαλύτερη ταχύτητα, εύρος και ευελιξία από ότι οι συμβατικές. Παράλληλα ικανοποιούν και άλλες λειτουργίες όπως η προμήθεια νερού, ο έλεγχος των πλημμυρών, η άρδευση και η παροχή αναψυχής (Randolph and Masters, 2018). Τέλος ενώ ο συγκεκριμένος πόρος

παρουσιάζει προοπτικές ανάπτυξης και θεωρείται καθαρός, συνδέεται με κάποιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μπορεί να διαφοροποιηθούν τα ποτάμια συστήματα και τα ενδιαιτήματα της άγριας ζωής, να επηρεαστεί η δυνατότητα των ψαριών να κινούνται αντίθετα στο ρεύμα, να υποβαθμιστεί την ποιότητα του νερού, να μειωθεί η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο, να σκληρύνει ή να μειωθεί η θερμοκρασία του, να καταστραφεί παραγωγική γη, να επηρεαστούν τα υδάτινα οικοσυστήματα, να προκληθεί μετεγκατάσταση πληθυσμού για την κατασκευή τους και να προκληθούν καταστροφές σε περίπτωση αστοχίας των φραγμάτων (Skipka and Theodore, 2014).

1.3.11 Θαλάσσια ενέργεια

Ενέργεια από τη θάλασσα μπορεί να προκύψει από τα κύματα, την κίνηση ή το εύρος της παλίρροιας, τα ρεύματα των ωκεανών, την εναλλαγή θερμότητας στους ωκεανούς και τις διαβαθμίσεις της αλατότητας. Αν και οι σχετικές τεχνολογίες δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένες, υπολογίζεται ότι μπορεί να παραχθεί ισχύς 10 TW (Roy and Das, 2018) οπότε υπάρχουν προοπτικές για το μέλλον. Σε σχέση με άλλες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας όπως την ηλιακή και την αιολική, θεωρείται ότι είναι περισσότερο προβλέψιμη και συνεχής, ενώ το μειονέκτημα της είναι ότι απαιτεί τη λειτουργία μηχανικών συστημάτων σε θαλάσσιο περιβάλλον (Kalogirou, 2014). Επιπλέον συνδέεται και με περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από τα κύματα μπορεί να προκαλέσουν αισθητική όχληση και να επηρεάσουν τα οικοσυστήματα. Η αξιοποίηση της θερμότητας των ωκεανών μπορεί να επηρεάσει το βιολογικό περιβάλλον και το μικροκλίμα, να προκαλέσει διάβρωση ή και διαρροή τοξικών ουσιών (Skipka and Theodore, 2014). Αντίστοιχα η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις στα θαλάσσια είδη και μόλυνση των υδάτων και να έχει και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (Greaves *et al.*, 2016).

1.3.12 Υδρογόνο

Το υδρογόνο δεν είναι πηγή ενέργειας αλλά μέσο μεταφοράς της. Είναι το πιο κοινό στοιχείο στο σύμπαν και αν και δεν υπάρχει ελεύθερο σε μεγάλες ποσότητες μπορεί με την παροχή σημαντικής ποσότητας ενέργειας να εξαχθεί από το νερό με ηλεκτρόλυση ή από τα ορυκτά καύσιμα όπως ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Κατόπιν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου, όπου αντιδρά με οξυγόνο παράγοντας θερμότητα για την παραγωγή ηλεκτρισμού και χωρίς να προκαλεί ρύπανση. Μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο στοιχείο σε ένα αποκεντρωμένο ενεργειακό σύστημα για την τροφοδοσία σε οχήματα, κτήρια και βιομηχανίες. Εντούτοις προκειμένου να είναι καθαρός πόρος η ενέργεια που

χρησιμοποιείται για την εξαγωγή του πρέπει να είναι φιλική στο περιβάλλον (Kalogirou, 2014). Το 96% του υδρογόνου που χρησιμοποιείται σήμερα παράγεται με τη μέθοδο της αναμόρφωσης ατμού και το υπόλοιπο 4% με ηλεκτρόλυση, ενώ το 95% των σημερινών αναγκών καλύπτονται με φυσικό αέριο, αλλά οι βέλτιστες μέθοδοι παραγωγής του για εμπορική χρήση θα πρέπει να αναγνωριστούν (Pareek *et al.*, 2020).

1.4 Ενεργειακές ανάγκες

Η ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για την ανθρώπινη ζωή. Όλες οι δραστηριότητες απαιτούν την διαθεσιμότητα της για να πραγματοποιηθούν. Βασικοί καταναλωτές ενέργειας στην σημερινή οικονομία μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι τα κτήρια, η βιομηχανία ή γενικότερα η παραγωγική διαδικασία και οι μεταφορές. Η κατανάλωση ενέργειας από τα κτήρια μπορεί να διαχωριστεί ως αυτή για οικιστικές ανάγκες και αυτή για εμπορικές (Skipka and Theodore, 2014).

Τα κτήρια, οικιστικά αλλά και εμπορικά καταναλώνουν περίπου το 60% της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο και το 40% πρωτογενούς ενέργειας (Emil and Diab, 2021). Οι ενεργειακές ανάγκες αφορούν κυρίως την λειτουργία τους. Η θέρμανση, ο κλιματισμός, ο εξαερισμός, ο φωτισμός, η παροχή ζεστού νερού, η λειτουργία συσκευών π.χ. για μαγείρεμα αλλά και Η/Υ, τηλεοράσεων κτλ. και οι ανελκυστήρες απαιτούν ενέργεια. Ωστόσο και η παραγωγή των δομικών υλικών, αλλά και η κατασκευή και κατεδάφιση των κτηρίων αποτελούν επίσης καταναλωτές (Zhang *et al.*, 2021). Επιπλέον υπολογίζεται ότι η συμβολή των κτηρίων στην παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου είναι από 20 έως και 36% (Emil and Diab, 2021; López-Ochoa *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Γι' αυτό σε όλο τον κόσμο δίνεται πλέον μεγάλη σημασία στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων (López-Ochoa *et al.*, 2021) και στον σχεδιασμό για κτήρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (Cielo and Subiantoro, 2021; Emil and Diab, 2021; Zhang *et al.*, 2021).

Οι ενεργειακές ανάγκες της παραγωγικής διαδικασίας υπολογίζονται περίπου στο 40% των συνολικών αναγκών (Skipka and Theodore, 2014). Ο αγροτικός τομέας (Tsangas *et al.*, 2020), η βιομηχανία τροφίμων και ποτών (Sovacool *et al.*, 2021), η βιομηχανία μετάλλου (Zhang and Song, 2021; Li *et al.*, 2022), η διαχείριση λυμάτων (Banti *et al.*, 2020), η βιομηχανία οικοδομικών υλικών (Chunark, Hanaoka and Limmeechokchai, 2021) και ο οικοδομικός και κατασκευαστικός τομέας (Pomponi and Stephan, 2021) είναι μεταξύ των παραγωγικών κλάδων από τους οποίους υπάρχει σημαντική ζήτηση ενέργειας με τη συνεπαγόμενη αυξημένη παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου και συμβολή στην κλιματική αλλαγή. Οπότε επίσης σε κάθε περίπτωση απαιτείται η εφαρμογή για βελτίωση της

ενεργειακής απόδοσης και εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στον κάθε κλάδο (Tsangas *et al.*, 2020; Pomponi and Stephan, 2021)

Οι μεταφορές αποτελούν παγκόσμια τον τρίτο σημαντικό καταναλωτή ενέργειας. Κυρίως με την μορφή ορυκτών καυσίμων (Neves and Marques, 2021), κατέχουν ένα σημαντικό μερίδιο στην ενεργειακή κατανάλωση. Για παράδειγμα στην Αμερική απαιτούν περίπου το 27% της συνολικής ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται (Skipka and Theodore, 2014). Τόσο οι οδικές μεταφορές (Yuan *et al.*, 2021), όσο και οι εναέριες (Niedzballa and Schmitt, 2001), αλλά και οι θαλάσσιες (Yahyaoui, Dahmani and Krichen, 2021) και σιδηροδρομικές μεταφορές (Din *et al.*, 2021), απαιτούν σημαντικές ποσότητες ενεργειακών πόρων και επίσης συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και το πρόβλημα τη κλιματικής αλλαγής. Μία κύρια στρατηγική για την μετάβαση στην αιεφόρο ενέργεια θεωρείται ο εξηλεκτρισμός των μεταφορών (Niedzballa and Schmitt, 2001; Oldenbroek *et al.*, 2021; Yuan *et al.*, 2021), ενώ προτείνονται και άλλες μέθοδοι όπως η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η χρήση εναλλακτικών καυσίμων (Neves and Marques, 2021).

1.5 Κλιματική αλλαγή

Την σημερινή εποχή, η κλιματική αλλαγή που συνδέεται με την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, θεωρείται ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Οι επιπτώσεις του φαινομένου, το οποίο οφείλεται στον άνθρωπο, γίνονται όλο και περισσότερο αντιληπτές. Αυτές περιλαμβάνουν την αυξημένη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τις αλλαγές στα φυσικά συστήματα που επηρεάζουν την αγροτική παραγωγή, την παροχή νερού και τα οικοσυστήματα. Το φαινόμενο οφείλεται στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κυρίως CO, CO₂, NO_x, SO_x, CH₄ λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Li, 2018; Randolph and Masters, 2018). Η ενέργεια έχει σημαντική συμβολή στο φαινόμενο, καθώς υπολογίζεται ότι το μερίδιο εκπομπών αυτών των αερίων που οφείλεται στην παραγωγή της φτάνει στο 78% (Randolph and Masters, 2018).

Για την αντιμετώπιση ή και περιορισμό του φαινομένου έχει τεθεί με τη συμφωνία του Παρισιού ένας παγκόσμιος στόχος να συγκρατηθεί η αύξηση του μέσου όρου της παγκόσμιας θερμοκρασίας σε κάτω από 2° C (Gunfaus and Waisman, 2021). Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο τα Ηνωμένα Έθνη έχουν θέσει στόχους και πρωτόκολλα που σχετίζονται άμεσα με την χρήση της ενέργειας και περιλαμβάνουν δράσεις, είτε για την αλλαγή των μορφών ενέργειας που χρησιμοποιούνται από μη ανανεώσιμες σε ανανεώσιμες

είτε με τον περιορισμό χρήσης της μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης. Άλλες λύσεις που συζητούνται αφορούν την συλλογή των εκπομπών άνθρακα (Randolph and Masters, 2018). Παράλληλα μελετώνται και μέτρα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή (Baills, Garcin and Bulteau, 2020).

1.6 Ενέργεια και αειφορία

Η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης εισάχθηκε το 1987 στην έκθεση της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη που είναι γνωστή με το όνομα «Το κοινό μας μέλλον». Στην έκθεση διατυπώθηκε ο ορισμός ότι αειφόρος ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που «συναντά τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακινδυνεύει της δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες» (WCED, 1987). Η ενέργεια αποτελεί ένα στοιχείο της ανθρώπινης κοινωνίας στο οποίο απαιτείται να εφαρμόζεται πλήρως αυτή η έννοια. Από τη μία, για την παραγωγή της απαιτούνται πόροι οι οποίοι σε μεγάλο βαθμό είναι μη ανανεώσιμοι, οπότε η ανάγκη αυτοί να παραμένουν διαθέσιμοι και για τις επόμενες γενεές είναι δεδομένη. Από την άλλη η παραγωγή ενέργειας μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη στο περιβάλλον, είτε με την μορφή ρύπανσης, είτε ως αιτία για την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής. Οπότε η αειφόρος ενέργεια αποτελεί αναγκαιότητα.

1.7 Σημασία του ενεργειακού σχεδιασμού

Οι ενεργειακοί πόροι είτε μη ανανεώσιμοι, είτε ανανεώσιμοι, ενώ είναι άφθονοι, είναι ούτως ή άλλως περιορισμένοι. Τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί, οικονομικοί ή ακόμη και πολιτικοί λόγοι δεν επιτρέπουν την καθολική προσβασιμότητα σε αυτούς. Τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία της γης με κάποιες περιοχές, όπως η Μέση Ανατολή, να συγκεντρώνουν μεγάλο ποσοστό και οι δυνατότητες και το κόστος παραγωγής ισχύος από αυτά περιορίζουν τη διαθεσιμότητα τους (Seljom and Rosenberg, 2011). Αντίστοιχα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ακόμη υψηλό κόστος και εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, ενώ οι σχετικές τεχνολογίες δεν είναι αρκετά ανεπτυγμένες (Roy and Das, 2018). Παράλληλα η ενέργεια είναι θεμελιώδης για όλους τους σύγχρονους τομείς της οικονομίας και υποστηρίζει όλες τις οικονομικές δραστηριότητες (Atems and Hotaling, 2018). Οπότε ο ενεργειακός σχεδιασμός είναι σημαντικός. Ο προγραμματισμός της ανεύρεσης και διάθεσης των ενεργειακών πόρων και του τρόπου και χρόνου μετατροπής του σε μορφή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι απαραίτητη για κάθε οργανισμό αλλά και κοινωνία ή κράτος.

Σε κάθε ενεργειακό σύστημα υπάρχει προσφορά και ζήτηση ενέργειας ή δυνατότητες μετατροπής της ενέργειας σε μορφές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ανάγκες για παραγωγή έργου, ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και ο χρόνος (Sorensen, 2011). Οπότε πρέπει να υπάρχει σχεδιασμός και προγραμματισμός, εάν, τότε και από που ή με ποια μορφή θα υπάρχει διάθεση ενεργειακών πόρων και εάν, τότε και πως αυτοί θα μετατρέπονται σε ενέργεια.

1.8 Ερευνητικό πλαίσιο

Η Κύπρος σήμερα διαθέτει ένα πλήρως απομονωμένο ηλεκτρικό σύστημα, χωρίς διασυνδέσεις, εξαρτημένο σε σημαντικό βαθμό από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα με μια μικρή συμβολή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Taliotis *et al.*, 2020). Η ζήτηση ενέργειας στο νησί προβλέπεται να αυξηθεί κατά 5% έως 44% το 2040 σε σχέση με το 2010 (Zachariadis and Taibi, 2015). Σε αυτά τα πλαίσια ένα υποθαλάσσιο καλώδιο 600 kV DC, για την διασύνδεση των ηλεκτρικών δικτύων του Ισραήλ, της Κύπρου και της Ελλάδας και ένας αγωγός φυσικού αερίου από τα αποθέματα της Ανατολικής Μεσογείου προς την ηπειρωτική Ελλάδα μέσω Κρήτης έχουν χαρακτηριστεί ως Έργα Κοινού Ενδιαφέροντος από την Ευρωπαϊκή Ένωση (European Commission, 2019). Επίσης το ίδιο έχει χαρακτηριστεί και ένα έργο υποδομών έλευσης φυσικού αερίου με ιδιαίτερη σημασία αφού στοχεύει στην άρση της ενεργειακής απομόνωσης της Κύπρου, στη δημιουργία εσωτερικής αγοράς φυσικού αερίου και στη μεταφορά αερίου μεταξύ των γειτονικών κρατών μελών και των χωρών της Ανατολικής Μεσογείου δημιουργώντας και μια αγορά στην ευρύτερη περιοχή (Υπηρεσία Ενέργειας, no date; European Commission, 2019).

Η ύπαρξη αποθεμάτων υδρογονανθράκων στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της Κύπρου θεωρείται πλέον βέβαιη, και η Κυβέρνηση της Κυπριακής Δημοκρατίας έχει ήδη προχωρήσει σε τρεις γύρους χορήγησης αδειών για έρευνα (Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2022a) και έχουν χορηγηθεί άδειες σε διάφορες εταιρείες για έρευνα σε 8 τεμάχια και συγκεκριμένα για τα 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10 και 11 και μία άδεια εκμετάλλευσης για το τεμάχιο 12.

Υπολογίζεται ότι μπορεί να υπάρχουν έως και 200 tcf φυσικού αερίου που αναμένεται να είναι διαθέσιμα τα επόμενα χρόνια (Cyprus Institute of Energy, 2012 cited in Fokaides and Kylili, 2014). Μόνο στο τεμάχιο 12, οι έρευνες το 2011 και 2013 κατέδειξαν κοιτάσματα φυσικού αερίου («Aphrodite») 4,5 τρισεκατομμυρίων κυβικών ποδιών (Υπηρεσία Υδρογονανθράκων, 2022b). Αυτά τα αποθέματα και μόνο είναι αρκετά, ώστε να έχουν αξιοσημείωτη επίδραση στην οικονομική ανάπτυξη και την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας

(Henderson, 2013). Ενώ υπολογίζεται ότι στις έρευνες που συνεχίζονται θα υπάρχουν και νέες ανακαλύψεις, διαθέσιμες για το μέλλον και για ανάκαμψη της Κυπριακής Οικονομίας (Vogler and Thompson, 2015).

Επίσης το φυσικό αέριο μπορεί να αποτελέσει παράγοντα και σημαντικό μοχλό πίεσης για την επίλυση του Κυπριακού προβλήματος (Gürel and Le Cornu, 2014), είναι όμως μη ανανεώσιμος πόρος. Είναι ορυκτό καύσιμο και τα ορυκτά καύσιμα συνεισφέρουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ των οποίων και διοξειδίου του άνθρακα (Randolph and Masters, 2018). Επιπλέον η υπεράκτια έρευνα και εξόρυξη υδρογονανθράκων, συνδέονται με σημαντικές δυνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να περιλαμβάνουν θαλάσσια ρύπανση, επιπτώσεις στην άγρια ζωή, στα πουλιά, στα ψάρια και στο βυθό, βιολογική υποβάθμιση, απώλειες αρχαιολογικής κληρονομιάς, περιστατικά ασφάλειας και υγείας, ατμοσφαιρικούς ρύπους και παραγωγή στερεών και υγρών αποβλήτων (Speight, 2015; Elbisy, 2016). Ατυχήματα σε πλατφόρμες εξόρυξης μπορεί επίσης να προκαλέσουν σοβαρή περιβαλλοντική ζημιά (Stout *et al.*, 2017).

Ταυτόχρονα η Κύπρος, όπως εκτιμάται από τον Διεθνή Οργανισμό Ανανεώσιμης Ενέργειας (IRENA), διαθέτει ένα σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμης ενέργειας ικανό μέχρι το 2030 να μπορεί να καλύψει το 25 – 40 % της συνολικής ανάγκης ηλεκτρισμού (Lin, Wu and Lin, 2016). Το ηλιακό δυναμικό στο νησί έχει υπολογιστεί ως και 1900 KWh/m² ανά έτος, το συνολικό δυναμικό αιολικής ενέργειας μεταξύ των 150 και 250 MW (Pilavachi *et al.*, 2009) και το ετήσιο δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο από βιοαποδομήσιμα απόβλητα σε τουλάχιστον 242 GWh (Kythreotou, Tassou and Florides, 2012). Παρόλο όμως που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ανεξάντλητες και περιβαλλοντικά φιλικές (Roy and Das, 2018) και αυτές συνδέονται με περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Zorpas *et al.*, 2017; Roy and Das, 2018).

Η αειφόρος ανάπτυξη ως έννοια και ζητούμενο έχει διατυπωθεί από το 1987 στην αναφορά Brundtland (WCED, 1987) και έχει βρεθεί από καιρό στην καρδιά της ευρωπαϊκής ιδέας. Οι συνθήκες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) αναγνωρίζουν την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική διάσταση της που πρέπει να αναφέρονται μαζί. Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι δεσμευμένη σε ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες. Μία ζωή με αξιοπρέπεια για όλους στα όρια του πλανήτη που να συμβιβάζει την οικονομική ευημερία και αποδοτικότητα, ειρηνικές κοινωνίες, κοινωνική συμμετοχή και περιβαλλοντική υπευθυνότητα αποτελούν την ουσία της αειφόρου ανάπτυξης (European Commission, 2016b).

Τον Οκτώβριο του 2014, η ΕΕ ανέλαβε ρητή δέσμευση: να επιτύχει έναν δεσμευτικό στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% έως το 2030 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, σε όλο το φάσμα της οικονομίας. Η δέσμευση αυτή, που είναι σύμφωνη με μια οικονομικά αποδοτική πορεία προκειμένου να επιτευχθεί ο μακροπρόθεσμος κλιματικός στόχος της ΕΕ, αποτέλεσε τη βάση για τη διεθνή δέσμευση της ΕΕ στο πλαίσιο της συμφωνίας του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή και θα τηρηθεί από όλα τα κράτη μέλη συλλογικά (European Commission, 2016a), ενώ για το 2030 έχει τεθεί στόχος για τουλάχιστον 32% μερίδιο ανανεώσιμων πηγών στην κατανάλωση ενέργειας από τον οποίο δεσμεύεται και η Κύπρος (Republic of Cyprus, 2020). Πιο πρόσφατα η ΕΕ εισήγαγε στις πολιτικές της την Πράσινη Συμφωνία που προβλέπει στόχο για μείωση 50 – 55% μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990 μέχρι το 2030 (Zorpas, 2020).

Εντούτοις οι περιορισμοί στις εκπομπές CO₂, η έξοδος από την πυρηνική ενέργεια που ανακοινώθηκε από μερικά κράτη μέλη, οι υψηλές εκπομπές από την παραγωγή ενέργειας που βασίζεται στον άνθρακα και τα εμπόδια στην γρήγορη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι παράγοντες που έχουν ωθήσει την Ευρωπαϊκή Ένωση σε υψηλή εξάρτηση από το φυσικό αέριο (Kjärstad and Johnsson, 2008). Παράλληλα, ενώ η Πράσινη Συμφωνία θα επηρεάσει το ρόλο του φυσικού αερίου σε μία μακροχρόνια προοπτική, πιθανότερα μετά το 2050, το φυσικό αέριο θα είναι απαραίτητο τουλάχιστον ως καύσιμο γέφυρα (Hauser, 2021). Επιπλέον, τα οφέλη από την ανάπτυξη της βιομηχανίας φυσικού αερίου σε ένα τουριστικό προορισμό, όπως είναι και η Κύπρος, ενδέχεται να είναι περιορισμένα σε σχέση με τις επιπτώσεις στην περιοχή (Hughes, 2014). Οι βιομηχανίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης δημιουργούν τρεις φορές περισσότερες θέσεις εργασίας από τη βιομηχανία ορυκτών πόρων (Garrett-Peltier, 2017). Στην Κίνα που είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός αερίων του θερμοκηπίου το σύστημα προμήθειας φυσικού αερίου που έχει δημιουργηθεί δεν είναι επαρκώς αειφόρο (Shaikh, Ji and Fan, 2017) και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ η σχέση οικονομικής ανάπτυξης και κατανάλωσης φυσικού αερίου υπήρξε θετική, η σχέση κατανάλωσης φυσικού αερίου και οικονομικής ανάπτυξης υπήρξε αρνητική (Balitskiy *et al.*, 2016). Σε αυτά τα πλαίσια τίθεται το ερώτημα, ποια επιλογή αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, η πρόκριση εξόρυξης και χρήσης των εγχώριων υδρογονανθράκων, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή ένας συνδυασμός, είναι περισσότερο συμβατή με τις απαιτήσεις για αειφόρο ανάπτυξη και πώς;

1.9 Ερευνητικό ερώτημα

Οι στόχοι που είχαν τεθεί σχετικά με την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή, από την Κύπρο για το 2020, και συγκεκριμένα ποσοστό ανανεώσιμης ενέργειας 13% και 5% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το 2005, φαίνεται να έχουν επιτευχθεί (European Commission, 2022). Επιπλέον, η Κυπριακή Δημοκρατία, από το 2020, έχει ετοιμάσει και υποβάλει στην ΕΕ ένα ολοκληρωμένο εθνικό σχέδιο ενέργειας και κλίματος για την περίοδο 2021-2030 (Republic of Cyprus, 2020). Σε αυτό λαμβάνονται υπόψη οι στόχοι για την αειφόρο ανάπτυξη που σχετίζονται με την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή που έχουν τεθεί για το 2030. Ωστόσο από τη μία η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εγείρει θέματα που πρέπει να εξεταστούν, όσον αφορά αυτό το Σχέδιο (European Commission, 2020), από την άλλη φαίνεται να υπάρχουν και επιλογές, ειδικά αυτές που περιλαμβάνουν την εξόρυξη του φυσικού αερίου, οι οποίες μπορεί να λειτουργήσουν ενάντια στην επίτευξη των στόχων ενεργειακής αειφορίας που έχουν τεθεί και ενάντια στο περιβάλλον, την κοινωνία ή και την οικονομία ή να ενισχύσουν τον ένα τομέα μόνο σε βάρος των άλλων. Αυτές οι επιλογές δεν ακολουθήθηκαν πριν το 2020, χωρίς να αποκλείεται η υιοθέτηση τους στο μέλλον. Είναι σκόπιμο οπότε να σχεδιαστούν και να αξιολογηθούν μέθοδοι με τις οποίες θα είναι πρακτικά δυνατό να αξιολογηθεί ο ενεργειακός σχεδιασμός τόσο της Κύπρου αλλά και γενικότερα για οποιοδήποτε Κράτος ή Διεθνή Οργανισμό, ως προς την αειφορία του και να μπορούν να αναδειχθούν οι βέλτιστες επιλογές.

Η αναγνώριση του ότι οι ορυκτοί ενεργειακοί πόροι είναι πεπερασμένοι και ότι η αποκλειστική χρήση τους δεν είναι αειφόρος, ήδη είχε επισημανθεί από την δεκαετία του 1970. Αντίστοιχα από τότε είχε αποτελέσει αντικείμενο έρευνας η αξιολόγηση των ενεργειακών πολιτικών (Limaye and Sharko, 1974; Lee Stephen Windheim, 1977), όπως και η επιλογή των καταλληλότερων ενεργειακών πόρων για κάθε περίπτωση, είτε κοινότητα, είτε έθνος (Ahmed and Husseiny, 1978). Η σχετική έρευνα εξακολουθεί μέχρι και σήμερα (Kochanek, 2021; Bilal *et al.*, 2022). Σε αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την αξιολόγηση της αειφορίας των ενεργειακών στρατηγικών, σχεδίων και πολιτικών. Για παράδειγμα έχουν εφαρμοστεί πολυκριτηριακές μέθοδοι λήψης αποφάσεων (Multi criteria Decision Methods) (Bilal *et al.*, 2022) ή και Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) (Cusenza *et al.*, 2020). Εξακολουθεί όμως να υπάρχει ένα αντικείμενο το οποίο δεν φαίνεται να έχει ακόμη απαντηθεί ή έστω διερευνηθεί επαρκώς. Πέρα από το ποιες είναι οι καταλληλότερες στρατηγικές ή πολιτικές για ενεργειακό σχεδιασμό και με ποια μέθοδο είναι δυνατόν να αξιολογηθούν, τίθεται το ερώτημα, ποια είναι η βέλτιστη

μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί για να διασφαλιστεί ότι γίνεται αποτελεσματικά η αξιολόγηση τους.

Η παρούσα διατριβή έχει γενικότερο σκοπό να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν κατάλληλα εργαλεία, με τα οποία να μπορεί να αξιολογηθεί η αειφορία του στρατηγικού ενεργειακού σχεδιασμού στην Κύπρο, εξετάζοντας τις διαθέσιμες επιλογές και πιθανούς συνδυασμούς για την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων στο νησί στα πλαίσια και των διεθνών στρατηγικών και πολιτικών, όπως καθορίζονται από τις συμφωνίες και στόχους του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών και τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Επιμέρους στόχος είναι να προσδιοριστεί ποια είναι η οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, όπως αυτές καθορίζονται από τον ενεργειακό στρατηγικό σχεδιασμό στο νησί. Επίσης να αναπτυχθούν και να αναδειχθούν τα περισσότερο αποτελεσματικά εργαλεία για την αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού στρατηγικού σχεδιασμού και συγκεκριμένα τα καταλληλότερα για την περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική αξιολόγηση των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων στην Κύπρο. Επίσης να καθοριστούν οι μέθοδοι, δείκτες, κριτήρια, κρίσιμα μεγέθη, μοντέλα μέτρηση της αειφορίας που θα συνθέτουν τα εργαλεία αξιολόγησης.

Άλλος επιμέρους στόχος είναι να εξεταστεί εάν η κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή των διαθέσιμων επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων εμπίπτει στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων, είτε της Κυπριακής Δημοκρατίας, είτε του ΟΗΕ και της ΕΕ. Επιπλέον η έρευνα στοχεύει να εξετάσει, με βάση περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια, εάν η εξόρυξη και χρήση των τοπικών υδρογονανθράκων θα είναι περισσότερο ή λιγότερο αειφόρος και επωφελής σε σχέση με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο. Επίσης άλλος στόχος της έρευνας είναι να προσδιοριστούν και να καθοριστούν ποιες είναι οι μεταβλητές με τις οποίες θα μπορεί να μετρηθεί και να διασφαλιστεί η αειφόρος εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, είτε ορυκτών, είτε ανανεώσιμων. Τέλος δεδομένης της σημασίας της ενέργειας και της διαθεσιμότητας ενεργειακών πόρων και προκειμένου να είναι δυνατή η διερεύνηση των πιο πάνω, θα μελετηθεί ποια είναι τα πιθανά σενάρια γεωστρατηγικών συνθηκών, για την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων της Κύπρου.

Για την διερεύνηση των πιο πάνω μελετάται διεξοδικά η ενεργειακή κατάσταση στην Κύπρο, οι υφιστάμενες επιλογές και η σχετική στρατηγική και σχέδια της Κυπριακής

Δημοκρατίας. Επίσης μελετώνται τα εργαλεία που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού και την απάντηση των πιο πάνω ερωτημάτων. Κατόπιν σχεδιάζονται και προτείνονται δύο εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού. Αυτοί συνδυάζουν εργαλεία αξιολόγησης της αειφορίας όπως είναι οι δείκτες αειφορίας, η ανάλυση PESTEL (αρκτικόλεξο που προκύπτει από τις λέξεις Political, Economic, Social, Technical, Environmental και Legal), η ανάλυση SWOT (αρκτικόλεξο που προκύπτει από τις λέξεις Strengths, Weaknesses, Opportunities και Threats), η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (AKZ) ή LCA (Life Cycle Assessment) και οι Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων ή MCDM (Multi Criteria Decision Methods). Για την δοκιμή των μεθόδων με βάση την ανάλυση και τις διαθέσιμες επιλογές και προοπτικές διαμορφώνεται τρία εναλλακτικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο. Κατόπιν εφαρμόζονται οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι και διερευνάται ποια μέθοδος είναι η καταλληλότερη.

Κεφάλαιο 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η σημασία που έχει η ενέργεια και η διαθεσιμότητα της στο χώρο και το χρόνο, για την αιεφόρο ανάπτυξη, οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η παραγωγή και η χρήση της στην κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον, καθώς και οι εναλλακτικές επιλογές που υπάρχουν, δημιουργούν ερευνητικά ερωτήματα και πεδίο δραστηριοποίησης για αρκετούς ερευνητές. Αντίστοιχα, η αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού και των ενεργειακών στρατηγικών ή πολιτικών έχει αποτελέσει αντικείμενο για σημαντικό αριθμό ερευνητικών εργασιών. Το θέμα προσεγγίζεται είτε από την τεχνική σκοπιά, είτε υπό περιβαλλοντικό, οικονομικό, κοινωνικό ή και πολιτικό πρίσμα. Σε αρκετές περιπτώσεις ερευνάται ποιοτικά και σε άλλες ποσοτικά. Αρκετές εργασίες ασχολούνται με πολιτικές και σχέδια που υφίστανται, έχουν αποφασιστεί ή και έχουν εφαρμοστεί και παρουσιάζουν την αξιολόγηση τους, είτε εφαρμόζοντας ήδη δοκιμασμένες, είτε προτείνοντας νέες μεθοδολογίες αξιολόγησης. Άλλες εργασίες αξιολογούν προτεινόμενες πολιτικές, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις αξιολογούνται σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που αφορά την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού και των ενεργειακών στρατηγικών και πολιτικών, περιλαμβανομένων των εναλλακτικών επιλογών αξιοποίησης ενεργειακών πόρων, και κυρίως των μεθόδων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται ή προτείνονται.

2.2 Μεθοδολογία Ανασκόπησης

Για την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έχει εφαρμοστεί η καθοδήγηση συστηματικής ανασκόπησης και μετά ανάλυσης Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement (Page et al., 2021) ή δήλωση PRISMA. Η συγκεκριμένη καθοδήγηση προτάθηκε αρχικά το 2009, ως εργαλείο συστηματικής ανασκόπησης της βιβλιογραφίας για να χρησιμοποιηθεί στον τομέα της φροντίδας υγείας, ώστε όσοι έκαναν ανασκόπηση να έχουν ένα τρόπο να παρουσιάζουν με διαφάνεια γιατί γίνεται η ανασκόπηση, τι έχουν κάνει οι συγγραφείς και τι έχουν διαπιστώσει (Moher et al., 2009). Οι εξελίξεις στην μεθοδολογία της συστηματικής ανασκόπησης και στην ορολογία, οδήγησαν το 2020 σε αναθεώρηση της καθοδήγησης (Page et al., 2021).

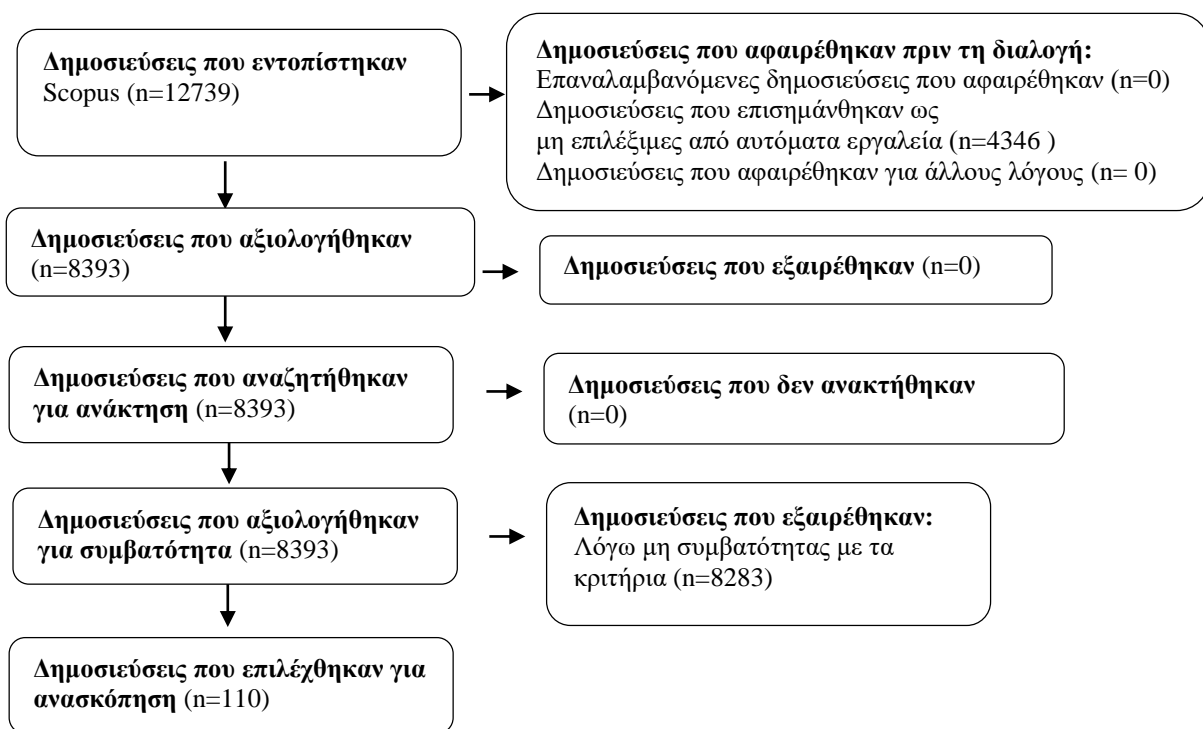
Η δήλωση PRISMA εκτός από τον τομέα της υγείας χρησιμοποιείται πλέον σε διάφορα επιστημονικά πεδία, περιλαμβανομένων της μηχανικής και των επιστημών περιβάλλοντος. Για παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί για συστηματική ανασκόπηση σχετικά με τις μεθόδους και δείκτες αξιολόγησης του μεταβολισμού των πόλεων (Voukkali and Zorpas, 2022) και

για την αξιολόγηση της υδροθερμικής συμπεριφοράς των κτηρίων σε σχέση με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τα συστήματα εξαερισμού (Verma *et al.*, 2022). Επίσης έχει γίνει εφαρμογή της για ανασκόπηση θεμάτων σχετικά με την ενέργεια. Εφαρμόστηκε για ανασκόπηση και σύνθεση των κινητήριων δυνάμεων, των προκλήσεων και των επιπτώσεων της εφαρμογής ενός συστήματος εμπορίας ρύπων στον ναυτιλιακό τομέα (Wu *et al.*, 2022), για την ανασκόπηση εγγράφων πολιτικής για την κλιματική αλλαγή σε χώρες της Δυτικής Αφρικής και για την περίληψη θεμάτων για τον αγροτικό τομέα και την ασφάλεια των τροφίμων (Sorgho *et al.*, 2020). Επίσης για την συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση των σχετικών εργασιών και εξαγωγή συμπερασμάτων για την σχέση μεταξύ δημιουργίας θέσεων εργασίας και αιολικής ενέργειας (Aldieri *et al.*, 2020) και για την βιβλιογραφική ανασκόπηση των δημοσιεύσεων στο διάστημα μεταξύ 1995 και 2017, για τη σχέση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με την οικονομική ανάπτυξη (Mardani *et al.*, 2019). Όσον αφορά την αξιολόγηση της ετοιμασίας ενεργειακών πολιτικών και τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους, οι Kaya, Çolak and Terzi (2019) πραγματοποίησαν μια περιεκτική ανασκόπηση των δημοσιεύσεων που εφάρμοσαν ασαφείς πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης αποφάσεων (fuzzy MCDM), καταλήγοντας ότι η μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process) με ασφαλή σύνολα (fuzzy sets) είναι αυτή που έχει εφαρμοστεί περισσότερο.

Το διάγραμμα ροής για τον εντοπισμό της βιβλιογραφίας από βάσεις δεδομένων και μητρώα που ακολουθήθηκε για την παρούσα ανασκόπηση βασίζεται στο προτεινόμενο διάγραμμα ροής για τη δήλωση PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021) και παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.1.

Για τον εντοπισμό της σχετικής βιβλιογραφίας χρησιμοποιήθηκε η βιβλιογραφική βάση SCOPUS. Σκοπός της αναζήτησης ήταν να εντοπιστούν έρευνες σχετικές με την αξιολόγηση της αειφορίας των στρατηγικών, πολιτικών ή και σχεδίων για την ενέργεια και να καταγραφούν οι προσεγγίσεις και οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν. Αρχικά έγινε έρευνα στη βιβλιογραφική βάση SCOPUS χρησιμοποιώντας το πεδίο "energy planning" OR "energy strategy" OR "energy policy" AND sustainability OR assessment OR evaluation. Τα κριτήρια συμπερίληψης ήταν οι βιβλιογραφικές πηγές να έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά ως άρθρα και να είναι στα αγγλικά, οπότε από τον αρχικό αριθμό 12739 δημοσιευμένων εγγράφων που εντοπίστηκαν, εξαιρέθηκαν αυτόματα από τα αυτόματα εργαλεία που περιλαμβάνει η βιβλιογραφική βάση, 4346 έγγραφα τα οποία, είτε ήταν σε άλλη γλώσσα εκτός των Αγγλικών, είτε ήταν ανακοινώσεις σε συνέδρια, είτε ανασκοπήσεις, είτε βιβλία, είτε κεφάλαια σε βιβλία, σημειώσεις, σύντομες έρευνες,

σημειώματα συντακτών, σημειώσεις, διορθώσεις, επιστολές και εκθέσεις. Οπότε τελικά επιλέχθηκαν για αξιολόγηση 8393 άρθρα τα οποία είχαν δημοσιευθεί από το 1956 έως και το 2022.



Σχεδιάγραμμα 2.1. Διάγραμμα ροής για εντοπισμό βιβλιογραφίας.

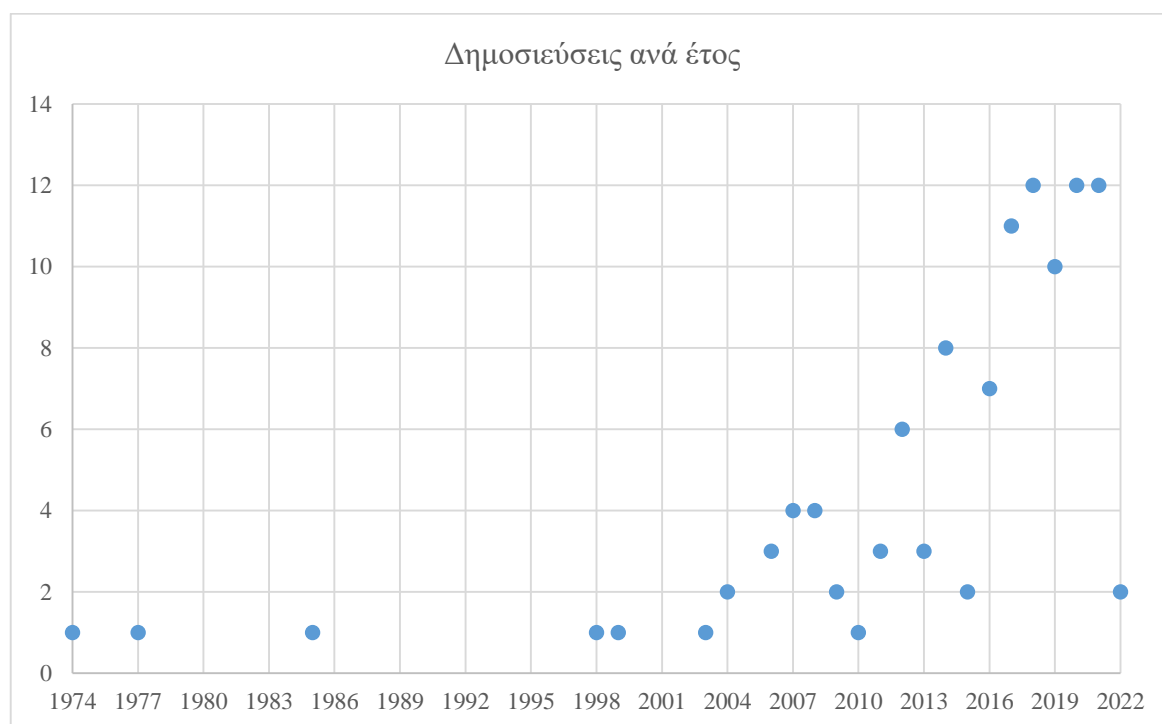
Κατόπιν τα άρθρα αξιολογήθηκαν μέσω της μελέτης της σύνοψης τους και αφαιρέθηκαν όσα άρθρα δεν αφορούσαν αξιολόγηση σχεδίων, πολιτικών ή στρατηγικών για την ενέργεια, όσα δεν αφορούσαν την αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού και όσα περιοριζόταν σε τοπικό επίπεδο ή για συγκεκριμένες εφαρμογές ή σε τεχνολογίες ή σε σύγκριση ενεργειακών πόρων ή άρθρα που αφορούν μεθόδους ενεργειακού σχεδιασμού. Τελικά έγινε διαλογή συνολικά 110 άρθρων για πλήρη ανασκόπηση. Η χρονική περίοδο δημοσίευσης τους καλύπτει την περίοδο από το 1974 έως και δημοσιεύσεις που θα περιλαμβάνονται σε εκδόσεις για τον Αύγουστο του 2022.

2.3 Χρονική κατανομή δημοσιεύσεων

Το παλαιότερο άρθρο που εντοπίστηκε είχε ως αντικείμενο την αξιολόγηση της ενεργειακής πολιτικής των Ηνωμένων Πολιτειών (Limaye and Sharko, 1974). Σε αυτό συζητούνται τα θέματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση των πολιτικών, στα οποία περιλαμβάνονται οι επιπτώσεις της κατανάλωσης ενέργειας στο περιβάλλον αλλά και οικονομικά και τεχνικά ζητήματα όπως η ανάλυση της αγοράς και η πρόβλεψη της ζήτησης και της προσφοράς. Το πιο πρόσφατο άρθρο που περιλήφθηκε έχει ημερομηνία δημοσίευσης τον Αύγουστο του 2022 και πραγματεύεται την αξιολόγηση υβριδικών

πολιτικών για την ενέργεια παρουσιάζοντας την εφαρμογή πολυκριτηριακής μεθόδου αξιολόγησης για την ιεράρχηση αειφόρων εναλλακτικών επιλογών ενεργειακού σχεδιασμού για τις Ειδικές Οικονομικές Ζώνες που σχεδιάζεται να αποτελούν μέρος του έργου δημιουργίας οικονομικού διαδρόμου μεταξύ Κίνας και Πακιστάν (Bilal *et al.*, 2022). Στο ενδιάμεσο διάστημα εντοπίζονται δημοσιεύσεις κατά διαστήματα, ενώ παρατηρείται ένα χρονικό κενό μεταξύ 1986 και 1997 κατά το οποίο δεν εντοπίστηκαν δημοσιευμένα άρθρα. Κατόπιν ο αριθμός των δημοσιεύσεων κατά έτος είναι σταθερός ενώ το 2014 παρατηρείται αύξηση στα οχτώ άρθρα, η οποία επαναλαμβάνεται το 2016 με επτά άρθρα, από οπότε η αύξηση των σχετικών δημοσιεύσεων είναι πλέον σταθερή, με εξαίρεση το 2019, και με μέγιστο αριθμό 12 δημοσιευμένων άρθρων το 2018, το 2020 και το 2021, ενώ το 2022 δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμη και εντοπίζονται ήδη 2 άρθρα.

Η χρονική κατανομή των σχετικών δημοσιεύσεων ανά έτος παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.2.



Σχεδιάγραμμα 2.2. Χρονική κατανομή δημοσιευμένων άρθρων.

2.4 Χωρική κατανομή δημοσιεύσεων

Οι δημοσιεύσεις που ανασκοπήθηκαν αφορούσαν ενεργειακό σχεδιασμό ή και πολιτικές για μεγάλο αριθμό κρατών ή και περιοχών. Η κατανομή ανά ήπειρο παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.3. Συνολικά 57 δημοσιεύσεις αφορούσαν την Ευρωπαϊκή Ένωση ή Ευρωπαϊκά Κράτη ή περιοχές. Ασιατικά Κράτη ή περιοχές αφορούσαν 58 δημοσιεύσεις. Τις Ηνωμένες Πολιτείες ή και άλλα κράτη ή περιοχές στην Αμερική 25, εννέα Αφρικανικά

Κράτη, δύο την Αυστραλία, ενώ ένα άρθρο ασχολούνταν με τα κράτη μέλη του Οργανισμού για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD) και τρία άρθρα πραγματεύονταν το αντικείμενο από παγκόσμια σκοπιά.



Σχεδιάγραμμα 2.3. Κατανομή δημοσιευμένων άρθρων ανά ήπειρο μελέτης.

Αντίστοιχα η κατανομή ανά κράτος ή περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.4. Η περιοχή με την οποία ασχολείται ο μεγαλύτερος αριθμός άρθρων, συνολικά 15, είναι η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ). Οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) με συνολικά οκτώ άρθρα να τις αφορούν, είναι το κράτος με το δεύτερο μεγαλύτερο αριθμό. Για το Μεξικό εντοπίζονται επτά άρθρα, ενώ για την Κίνα, την Τουρκία και την Ινδία εντοπίζονται από πέντε άρθρα να ασχολούνται με την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού τους.

Ακολουθούν δημοσιεύσεις για χώρες όπως το Πακιστάν, η Ελβετία, η Ιαπωνία, το Ιράν, η Ταϊβάν και η Ολλανδία με τέσσερα άρθρα για την κάθε μία. Για την Ελλάδα, τη Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Νότιο Κορέα και τη Χιλή εντοπίζονται από τρία. Ενώ για αριθμό χωρών εντοπίστηκαν από δύο ή ένα άρθρο να πραγματεύεται τον ενεργειακό τους σχεδιασμό ή τις πολιτικές που εφαρμόζουν. Κάποιες από τις δημοσιεύσεις ασχολούνται είτε για δοκιμή μεθόδου, είτε ως παράδειγμα ή για την εξαγωγή συμπερασμάτων με ένα κράτος ή περιοχή, ενώ άλλες για περισσότερα από ένα κράτη ή για ευρύτερες περιοχές όπως για παράδειγμα την Ευρώ-Μεσογειακή συνεργασία (Kagiannas *et al.*, 2003), την περιοχή και

κράτη της Μέσης Ανατολής και Βόρειας Αφρικής (Griffiths, 2017), τα Βαλτικά Κράτη (Streimikiene, 2020) και την Νότιο Ανατολική Ευρώπη (Franki and Viškonić, 2021).



Σχεδιάγραμμα 2.4. Κατανομή δημοσιευμένων άρθρων ανά κράτος ή περιοχή μελέτης.

2.5 Μέθοδοι αξιολόγησης

Οι μέθοδοι αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού ή και των ενεργειακών πολιτικών ή σχεδίων που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία και ο αριθμός τους παρουσιάζονται αναλυτικά μαζί με τις σχετικές αναφορές στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1.: Μέθοδοι αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού.

Μέθοδος	Αριθμός Δημοσιεύσεων	Αναφορές
Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων	22	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Brodny and Tutak, 2021) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Genco and Genco, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Streimikiene, 2020) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019)

Μέθοδος	Αριθμός Δημοσιεύσεων	Αναφορές
		<p>(Papapostolou <i>et al.</i>, 2019)</p> <p>(Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)</p> <p>(Fathipour and Saidi-Mehrabad, 2018)</p> <p>(Cayir Ervural <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Nikolaev and Konidari, 2017)</p> <p>(Volkart <i>et al.</i>, 2017)</p> <p>(Kabak, Dağdeviren and Burmaođlu, 2016)</p> <p>(Pušnik and Sučić, 2014)</p> <p>(Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)</p> <p>(Boran, Boran and Dizdar, 2012)</p> <p>(Espinilla M., de Andrés R., Martínez F.J., 2011)</p> <p>(Konidari and Mavrakis, 2007)</p> <p>(Stagl, 2006)</p> <p>(Kok and Lootsma, 1985)</p>
Δείκτες	20	<p>(Franki and Višković, 2021)</p> <p>(Dialga, 2021)</p> <p>(Ligus and Peternek, 2021)</p> <p>(Pakere <i>et al.</i>, 2021)</p> <p>(Dergachova <i>et al.</i>, 2020)</p> <p>(Nock and Baker, 2019)</p> <p>(Hayat, Khan and Ashraf, 2019)</p> <p>(García-Álvarez and Soares, 2018)</p> <p>(Rösch <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Agovino <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Shortall and Davidsdottir, 2017)</p> <p>(Martinez <i>et al.</i>, 2016)</p>

Μέθοδος	Αριθμός Δημοσιεύσεων	Αναφορές
		<p>(Han <i>et al.</i>, 2014)</p> <p>(Sheinbaum-Pardo, Ruiz-Mendoza and Rodríguez-Padilla, 2012)</p> <p>(Angelis-Dimakis, Arampatzis and Assimacopoulos, 2012)</p> <p>(Tsai, 2010)</p> <p>(Yen <i>et al.</i>, 2008)</p> <p>(Brown and Sovacool, 2007)</p> <p>(Kagiannas <i>et al.</i>, 2004)</p> <p>(Spalding-Fecher, 2003)</p>
Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής	10	<p>(Kiss, Kácsor and Szalay, 2020)</p> <p>(Raugei <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Quek <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Akber, Thaheem and Arshad, 2017)</p> <p>(García-Gusano <i>et al.</i>, 2016)</p> <p>(Atilgan and Azapagic, 2016)</p> <p>(Turconi <i>et al.</i>, 2014)</p> <p>(Takeshita <i>et al.</i>, 2014)</p> <p>(Stamford and Azapagic, 2012)</p> <p>(Tokimatsu <i>et al.</i>, 2006)</p>
Μοντελοποίηση	10	<p>(Toledo <i>et al.</i>, 2021)</p> <p>(Park, Barrett and Gallo Cassarino, 2019)</p> <p>(Mondal <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Rodríguez-Martínez <i>et al.</i>, 2018)</p> <p>(Elizondo <i>et al.</i>, 2017)</p> <p>(Awopone, Zobaa and Banuenumah, 2017)</p> <p>(Shah and Niles, 2016)</p> <p>(Fortes <i>et al.</i>, 2014)</p>

Μέθοδος	Αριθμός Δημοσιεύσεων	Αναφορές
		(Sáfián, 2014) (Agoris <i>et al.</i> , 2004)
Προσέγγιση Μοντελοποίησης Δυναμικής Συστήματος	1	(Chentouf and Allouch, 2021)
Μοντέλο βελτιστοποίησης σχεδιασμού ισχύος	1	(Thushara, Hornberger and Baroud, 2019)
Αναλυτικό μοντέλο μερικής ισορροπίας	1	(Lehmann <i>et al.</i> , 2019)
Οικονομικό μοντέλο	2	(Brouwer <i>et al.</i> , 2018) (Marcucci and Turton, 2012)
Ολοκληρωμένο Ενεργειακό Μοντέλο	1	(Sgouridis <i>et al.</i> , 2013)
Ανάλυση	16	(Santika <i>et al.</i> , 2020) (Jekabsone <i>et al.</i> , 2019) (Calanter, 2017) (Chang and Fang, 2017) (Griffiths, 2017) (Kocsis and Hof, 2016) (Cho and Kim, 2015) (Roelfsema <i>et al.</i> , 2014) (Oikonomou <i>et al.</i> , 2012) (Chen, 2011) (Chen, Chen and Chen, 2009) (Linares, Santos and Pérez-Arriaga, 2008) (Uddin and Taplin, 2008) (Bazán-Perkins and Fernández-Zayas, 2008) (Mulugetta, Mantajit and Jackson, 2007) (Lee Stephen Windheim, 1977)

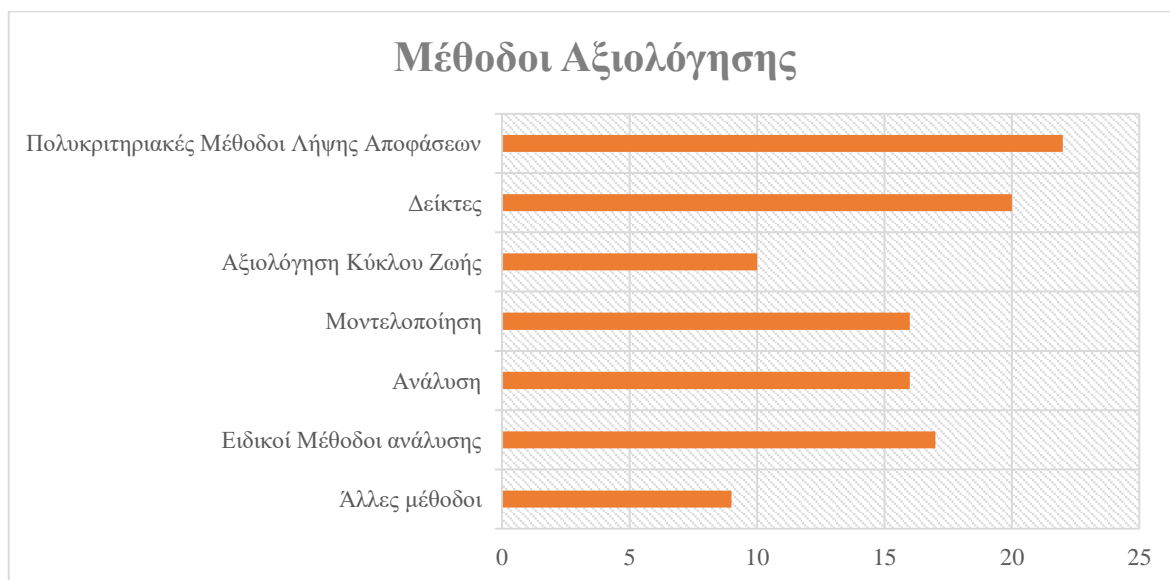
Μέθοδος	Αριθμός Δημοσιεύσεων	Αναφορές
Ανάλυση περιβλήματος δεδομένων	2	(Ratanakuakangwan and Morita, 2022) (Bireselioglu, Demir and Turan, 2018)
Ανάλυση σεναρίων	4	(Kochanek, 2021) (Bazilian <i>et al.</i> , 2020) (Moinuddin and Kuriyama, 2019) (Manzini and Martínez, 1999)
Στατιστική Ανάλυση	1	(Chankov and Hinov, 2021)
Εκ' των προτέρων ανάλυση	2	(Qiu <i>et al.</i> , 2020) (Harmelink, Voogt and Cremer, 2006)
Ποσοτική ανάλυση	1	(Wen <i>et al.</i> , 2020)
Ανάλυση πλαισίου	2	(Lee, Glick and Lee, 2020) (Bassi, 2011)
Ανάλυση SWOT	2	(Ul-Haq <i>et al.</i> , 2020) (Markovska, Taseska and Pop-Jordanov, 2009)
Ανάλυση καρφίτσας (Pinch analysis)	1	(Patole <i>et al.</i> , 2017)
Ανάλυση ισότητας	1	(Chapman, McLellan and Tezuka, 2016)
Ανάλυση Συνολικών Ενεργειακών Πόρων	1	(Limaye and Sharko, 1974)
Προσέγγιση σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου	1	(Fernández <i>et al.</i> , 2020)
Εκτίμηση Κινδύνων	1	(Gaudard and Romerio, 2020)
Προσομοίωση Monte Carlo	2	(Yu <i>et al.</i> , 2019) (Leibowicz, 2014)
Πλαίσιο STO (strategic, tactical, and operational)	1	(Arababadi <i>et al.</i> , 2017)
Συνδυασμός AKZ με μοντέλα ισοζυγίου	1	(Igos <i>et al.</i> , 2015)

Μέθοδος	Αριθμός Δημοσιεύσεων	Αναφορές
Αξιολόγηση εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα	2	(Kiss and Popovics, 2021) (Mundaca, 2013)
Προσομοίωση, αξιολόγηση και βελτιστοποίηση	1	(Gruver, Ford and Gardiner, 1984)
Σύνολο	110	

Οι μέθοδοι αξιολόγησης που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία παρουσιάζουν εύρος όσον αφορά την προσέγγιση. Γενικά όμως μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε επτά επιμέρους ομάδες όπως φαίνεται στο Σχεδιάγραμμα 2.5. Η πρώτη ομάδα μεθόδων αξιολόγησης, οι οποίες χρησιμοποιούνται στον μεγαλύτερο αριθμό δημοσιεύσεων, συνολικά 22, είναι οι Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων. Συνολικά 20 δημοσιεύσεις χρησιμοποιούν μεθόδους αξιολόγησης βάση δεικτών αειφορίας. Έπειτα, μπορεί να γίνει αναφορά στην ομάδα ειδικών μεθόδων ανάλυσης που περιλαμβάνει ένα εύρος προσεγγίσεων που εφαρμόζουν εξειδικευμένες μεθόδους ανάλυσης όπως για παράδειγμα ανάλυσης SWOT (Markovska, Taseska and Pop-Jordanov, 2009; Ul-Haq et al., 2020) ή ανάλυσης σεναρίων (Manzini and Martínez, 1999; Moinuddin and Kuriyama, 2019; Bazilian et al., 2020; Kochanek, 2021), με συνολικά 17 δημοσιεύσεις. Επίσης εντοπίστηκαν 16 δημοσιεύσεις οι οποίες χρησιμοποιούσαν μεθόδους μοντελοποίησης με την εφαρμογή διαφόρων μοντέλων για αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού ή και των ενεργειακών πολιτικών που παραλαμβάνουν οικονομικά μοντέλα (Marcucci and Turton, 2012; Brouwer et al., 2018), μοντέλα εκπομπών (Toledo et al., 2021) ή μοντέλα που συνδυάζουν διάφορους παράγοντες (Park, Barrett and Gallo Cassarino, 2019). Σε 16 δημοσιεύσεις χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι γενικής ανάλυσης όπως ανάλυσης πολιτικής (Santika et al., 2020), ανάλυσης με βάση κοινωνικούς, πολιτικούς και οικονομικούς παράγοντες (Griffiths, 2017), εξερευνητικής ανάλυσης (Mulugetta, Mantajit and Jackson, 2007), αλλά και ποιοτικής ανάλυσης (Uddin and Tarlin, 2008). Σε 10 δημοσιεύσεις χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής.

Τέλος μπορεί να διαμορφωθεί και μια ομάδα που περιλαμβάνει 9 δημοσιεύσεις με διάφορες μεθόδους οι οποίες εμφανίζονται κυρίως μία φορά ή δύο φορές το πολύ όπως είναι η προσομοίωση Monte Carlo (Leibowicz, 2014; Yu et al., 2019) και οι μέθοδοι αξιολόγησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Mundaca, 2013; Kiss and Popovics, 2021) από δύο και οι μέθοδοι Εκτίμησης Κινδύνων (Gaudard and Romerio, 2020), πλαισίου STO (strategic, tactical, and operational) (Arababadi et al., 2017), προσομοίωσης, αξιολόγησης και

βελτιστοποίησης (Gruver, Ford and Gardiner, 1984), συνδυασμού της AKZ με μοντέλα ισοζυγίου (Igos et al., 2015) και προσέγγισης σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου (Fernández et al., 2020).



Σχεδιάγραμμα 2.5. Ομαδοποίηση μεθόδων αξιολόγησης.

2.5.1 Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων

Οι Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων είναι ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται αρκετά συχνά για αξιολόγηση σε θέματα ενέργειας όπως για παράδειγμα για την επιλογή μεταξύ εναλλακτικών επιλογών ενεργειακών πόρων (Zorpas *et al.*, 2017; Karakas and Yildiran, 2019; Elleuch *et al.*, 2021), για την αξιολόγηση ενεργειακών επιλογών κατόπιν της εφαρμογής τους (Zorpas *et al.*, 2017), αλλά και για την αξιολόγηση της αειφορίας ενεργειακών τομέων (Tsangas *et al.*, 2019). Χρησιμοποιούν κριτήρια τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις προσομοιάζουν με δείκτες ή έχουν την μορφή δεικτών. Είναι χαρακτηριστικό ότι δημοσιεύσεις που χρησιμοποιούν δείκτες αναφέρονται σε πολυκριτηριακή απόφαση (Nock and Baker, 2019; Franki and Viškoníć, 2021). Εντούτοις, οι Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων διακρίνονται από τους δείκτες ως εργαλεία αξιολόγησης καθώς επεκτείνονται και θέτουν τα κριτήρια ή δείκτες σε διαδικασία επεξεργασίας με σκοπό την σύγκριση εναλλακτικών επιλογών και την ανάδειξη της βέλτιστης.

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για την αξιολόγηση των ενεργειακών πολιτικών ή και του ενεργειακού σχεδιασμού. Ήδη το 1985 εφαρμόστηκε μία μέθοδος συγκρίσεων κατά ζεύγη για αριθμό διαφορετικών κριτηρίων για την αξιολόγηση του ενεργειακού μοντέλου της Ολλανδικής οικονομίας για το έτος 2000 (Kok and Lootsma,

1985), ενώ η εφαρμογή της μεθόδου εμφανίζεται ξανά το 2006 για πολυκριτηριακή αξιολόγηση με συμμετοχή του κοινού για την ενεργειακή πολιτική του Ηνωμένου Βασιλείου (Stagl, 2006). Κατόπιν, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.1. συνεχίζεται σταθερά η εφαρμογή των μεθόδων μέχρι και σήμερα.

Γενικά στην βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης όπως για παράδειγμα η μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων ή Analytical Hierarchy Process (AHP) που ήταν η πρώτη σχετική μέθοδος που παρουσιάστηκε (Saaty, 1980) και η Τεχνική για κατάταξη επιλογής μέσω της ομοιότητας με την Ιδεατή Λύση ή Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) (Zorpas et al., 2017). Επίσης χρησιμοποιούνται μέθοδοι που καλύπτουν ασαφή σύνολα (fuzzy sets) όπως η ασαφής VIKOR (Peleckis, 2022). Αντίστοιχα στις δημοσιεύσεις σχετικά με την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι και συνδυασμοί τους όπως η μέθοδος VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) (Genco and Genco, 2021), η TOPSIS (Fathipour and Saidi-Mehrabad, 2018; Tutak *et al.*, 2020), η AHP σε συνδυασμό με την TOPSIS (Aryanpur *et al.*, 2019; Bilal *et al.*, 2022), η ANP σε συνδυασμό επίσης με την TOPSIS με ασαφή σύνολα, βασιζόμενη στη μέθοδο SWOT για τον καθορισμό των κριτηρίων (Cayir Ervural *et al.*, 2018), οι μέθοδοι TOPSIS, VIKOR, MOORA and COPRAS με 21 κοινά κριτήρια (Brodny and Tutak, 2021), οι TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE e II, WSM, WPM, WASPAS με 26 κοινά υποκριτήρια (Saraswat and Digalwar, 2021), η μέθοδος COMplex Proportional ASsessment (CORPAS) (Streimikiene, 2020), η CORPAS σε συνδυασμό με την AHP (Büyükközkcan, Karabulut and Mukul, 2018), η μέθοδος Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE) (Papapostolou *et al.*, 2019), η μέθοδος AMS που συνδυάζει την AHP με τις μεθόδους Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) και Simple Multi-Attribute Ranking Technique (SMART) (Konidari and Mavrakis, 2007; Nikolaev and Konidari, 2017), η μέθοδος Fuzzy ANP η οποία χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα (Kabak, Dağdeviren and Burmaoğlu, 2016), ο συνδυασμός PROMETHEE με AHP και τη θεωρία Multi-attribute utility theory (Pušnik and Sučić, 2014), η AHP (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013), η Axiomatic Design Theory η οποία επίσης χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα (Boran, Boran and Dizdar, 2012), η μέθοδος Multi-Attribute Group Decision Making που αξιολογεί ασαφείς λεκτικές κρίσεις (Espinilla M., de Andrés R., Martínez F.J., 2011) και άλλες χωρίς καθορισμένη ονομασία (Kok and Lootsma, 1985; Stagl, 2006; Volkart *et al.*, 2017).

Τα κριτήρια αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται είναι ποικίλα. Γενικά όμως μπορούν να ομαδοποιηθούν, όπως παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία, σε επτά ομάδες, τα τεχνολογικά κριτήρια, τα περιβαλλοντικά, τα πολιτικά, τα οικονομικά, τα κοινωνικά, τα νομικά και τα κριτήρια που χαρακτηρίζουν την ευελιξία. Τα κριτήρια ανά ομάδα και οι σχετικές πηγές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Κριτήρια πολυκριτηριακής αξιολόγησης από βιβλιογραφία.

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
Τεχνολογικά Κριτήρια	Δυναμικότητα Παραγωγής Ενέργειας	(Bilal <i>et al.</i> , 2022)
	Κίνδυνοι	(Bilal <i>et al.</i> , 2022)
	Τεχνική Εξειδίκευση	(Bilal <i>et al.</i> , 2022)
	Τεχνική βιωσιμότητα	(Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Αξιοπιστία	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Boran, Boran and Dizdar, 2012) (Stagl, 2006)
	Αποτελεσματικότητα και απόδοση	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Genco and Genco, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Boran, Boran and Dizdar, 2012) (Stagl, 2006) (Kok and Lootsma, 1985)
	Νεωτερισμός - καινοτομία	(Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
	Μερίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	(Brodny and Tutak, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Stagl, 2006)
	Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας	(Brodny and Tutak, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020)
	Ενεργειακές εισαγωγές	(Brodny and Tutak, 2021) (Streimikiene, 2020) (Kok and Lootsma, 1985)
	Μερίδιο στερεών καυσίμων	(Brodny and Tutak, 2021)
	Ενεργειακές απώλειες	(Brodny and Tutak, 2021)
	Ποσοστό ενεργειακής αυτάρκειας	(Brodny and Tutak, 2021)
	Ωριμότητα τεχνολογίας	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Genco and Genco, 2021) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Συντελεστής Δυναμικότητας	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019)
	Διαθεσιμότητα τεχνολογίας	(Genco and Genco, 2021)
	Ασφάλεια	(Genco and Genco, 2021) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Συνδεσιμότητα	(Streimikiene, 2020)
	Χρόνος ανάπτυξης ή κατασκευής	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
	Τοπική γνώση και δυνατότητα συντήρησης	(Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Δυνατότητα εφαρμογής	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Konidari and Mavrakis 2007)
	Ένταση προμήθειας	(Pušnik and Sučić, 2014)
	Ποσοστό εσωτερικής παραγωγής	(Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
Περιβαλλοντικά Κριτήρια	Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ή αερίων του θερμοκηπίου	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Brodny and Tutak, 2021) (Genco and Genco, 2021) (Nikolaev and Konidari, 2017) (Volkart <i>et al.</i> , 2017) (Pušnik and Sučić, 2014) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Boran, Boran and Dizdar, 2012) (Konidari and Mavrakis, 2007)
	Ανάγκες σε γη	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
	Επιπτώσεις στα οικοσυστήματα	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
		(Volkart <i>et al.</i> , 2017)
	Εξάλειψη ορυκτών πόρων	(Volkart <i>et al.</i> , 2017)
	Θόρυβος	(Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Διαθεσιμότητα πόρων	(Boran, Boran and Dizdar, 2012)
	Εκπομπές αέριων ρύπων	(Brodny and Tutak, 2021) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Kok and Lootsma, 1985)
	Απόβλητα, οσμές και σκόνη	(Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Volkart <i>et al.</i> , 2017) (Pušnik and Sučić, 2014) (Kok and Lootsma, 1985)
	Έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Konidari and Mavrakis, 2007)
	Περιβαλλοντική απόδοση	(Nikolaev and Konidari, 2017)
	Κλιματική αλλαγή	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Stagl, 2006)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
	Κατανάλωση νερού	(Aryanpur <i>et al.</i> , 2019)
	Μείωση χρήσης φυσικού αερίου	(Kok and Lootsma, 1985)
	Μείωση χρήσης πυρηνικής ενέργειας	(Kok and Lootsma, 1985)
Κοινωνικά Κριτήρια	Κοινωνική Αποδοχή	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Genco and Genco, 2021) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Boran, Boran and Dizdar, 2012)
	Δημιουργία θέσεων εργασίας και εργοδότηση	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Boran, Boran and Dizdar, 2012)
	Προσοντούχο ανθρώπινο δυναμικό	(Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
	Ενημέρωση ενδιαφερομένων μερών	(Papapostolou <i>et al.</i> , 2019)
	Πληθυσμός που δεν μπορεί να διατηρήσει την οικία ζεστή ή ικανότητα να διατηρηθεί η οικία ζεστή	(Brodny and Tutak, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Streimikiene, 2020) (Stagl, 2006)
	Τιμή ρεύματος σε νοικοκυριά	(Brodny and Tutak, 2021)
	Εισόδημα σε νοικοκυριά	(Brodny and Tutak, 2021)
	Κοινωνικά Οφέλη	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
	Μείωση της φτώχειας και ευημερία	(Büyükközkcan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Κοινωνικό κόστος	(Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
	Ισότητα	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Konidari and Mavrakis 2007)
	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Volkart <i>et al.</i> , 2017)
	Πιθανότητα συγκρούσεων	(Volkart <i>et al.</i> , 2017)
	Σοβαρά ατυχήματα	(Volkart <i>et al.</i> , 2017) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
	Διαφοροποίηση τροφοδοσίας ισχύος	(Aryanpur <i>et al.</i> , 2019)
	Εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς τον περιορισμό δυνατότητας ταξιδιών	(Stagl, 2006)
Πολιτικά κριτήρια	Πολιτική Αποδοχή	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Büyükközkcan, Karabulut and Mukul, 2018) (Nikolaev and Konidari, 2017)
	Συμβατότητα με κυβερνητικό ενεργειακό σχεδιασμό ή στρατηγικά πλάνα	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Papapostolou <i>et al.</i> , 2019) (Büyükközkcan, Karabulut and Mukul, 2018)

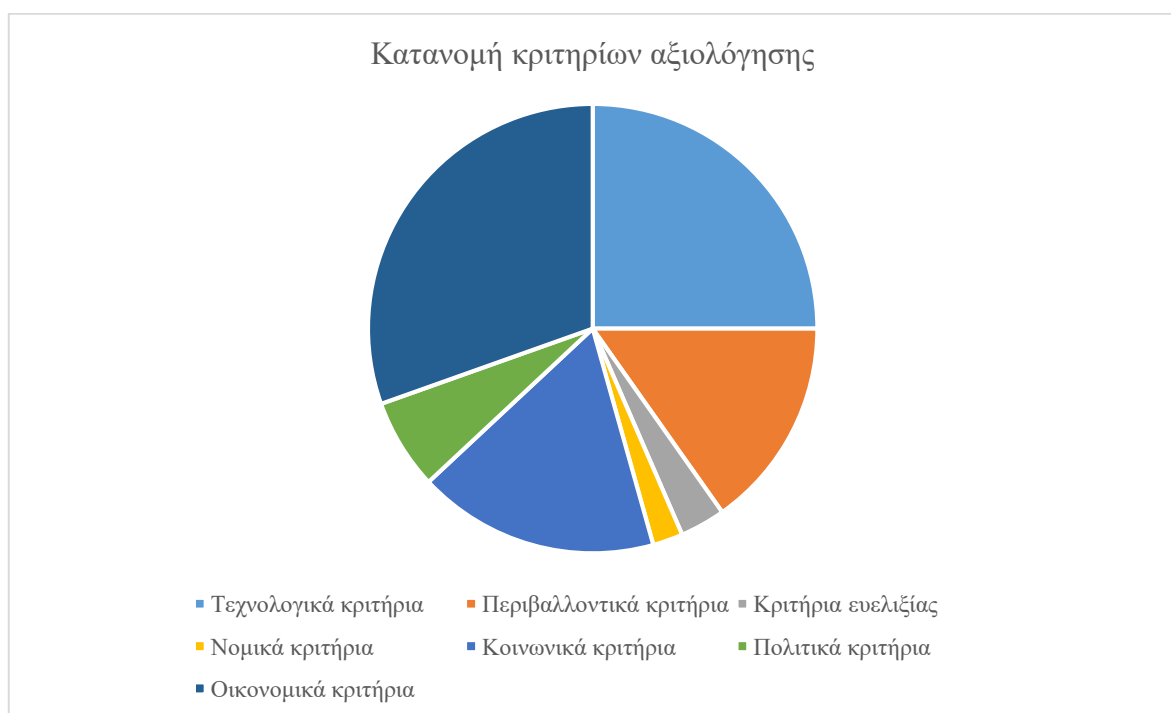
Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
	Εξωτερική εξάρτηση	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Pušnik and Sučić, 2014) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
	Διοικητική βιωσιμότητα	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Konidari and Mavrakis 2007)
	Αυτονομία σε πόρους	(Volkart <i>et al.</i> , 2017)
	Έτη διαθεσιμότητας αποθεμάτων	(Saraswat and Digalwar, 2021)
Οικονομικά κριτήρια	Κόστος επένδυσης / κεφαλαίου	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018) (Volkart <i>et al.</i> , 2017)
	Ενεργειακοί φόροι	(Tutak <i>et al.</i> , 2020)
	Οικονομικοί πόροι	(Bilal <i>et al.</i> , 2022)
	Συγκέντρωση προμηθευτών	(Streimikiene, 2020)
	Ιδιωτική συμμετοχή	(Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
	Οικονομική αξία	(Bilal <i>et al.</i> , 2022)
	Κόστος ενέργειας ή πόρων	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Tutak <i>et al.</i> , 2020) (Streimikiene, 2020) (Pušnik and Sučić, 2014) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Boran, Boran and Dizdar, 2012) (Stagl, 2006)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
		(Kok and Lootsma, 1985)
	Κόστος λειτουργίας, συντήρησης και επισκευής	(Bilal <i>et al.</i> , 2022) (Saraswat and Digalwar, 2021) (Genco and Genco, 2021) (Volkart <i>et al.</i> , 2017) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019) (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν	(Brodny and Tutak, 2021)
	Παραγωγικότητα ενέργειας	(Brodny and Tutak, 2021) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013)
	Επένδυση σε έρευνα και ανάπτυξη	(Brodny and Tutak, 2021) (Tutak <i>et al.</i> , 2020)
	Ένταση ενέργειας	(Brodny and Tutak, 2021)
	Καθαρό εμπορικό ισοζύγιο ενεργειακών προϊόντων	(Brodny and Tutak, 2021)
	Ποσοστό αγοράς ενέργειας	(Streimikiene, 2020)
	Περίοδος απόσβεσης	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Αναλογία επένδυσης	(Genco and Genco, 2021)
	Οικονομική βιωσιμότητα	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013) (Konidari and Mavrakis 2007)(Konidari and Mavrakis, 2007)
	Ωφέλιμη Ζωή	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Genco and Genco, 2021)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
		(Aryanpur <i>et al.</i> , 2019)
	Κόστος καυσίμου	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Aryanpur <i>et al.</i> , 2019)
	Προσιτή ενέργεια	(Streimikiene, 2020) (Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα	(Aryanpur <i>et al.</i> , 2019)
	Συμβατότητα με την αγορά	(Papapostolou <i>et al.</i> , 2019)
	Ανάπτυξη αγοράς	(Büyükožkan, Karabulut and Mukul, 2018)
	Αποδοτικότητα κόστους	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Konidari and Mavrakis 2007)
	Ανταγωνιστικότητα	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Konidari and Mavrakis 2007)
	Οικονομικός Δείκτης (κόστη)	(Pušnik and Sučić, 2014)
	Διαθεσιμότητα Κεφαλαίων	(Saraswat and Digalwar, 2021)
	Αύξηση κερδών	(Kok and Lootsma, 1985)
Νομικά κριτήρια	Νομοθετικό πλαίσιο	(Papapostolou <i>et al.</i> , 2019)
	Αυστηρότητα μη συμμόρφωσης	(Nikolaev and Konidari, 2017) (Konidari and Mavrakis 2007)
Κριτήρια ευελιξίας	Εναλλαξιμότητα με άλλο πόρο	(Saraswat and Digalwar, 2021) (Volkart <i>et al.</i> , 2017)
	Ευελιξία	(Nikolaev and Konidari, 2017)

Ομάδα	Κριτήριο	Αναφορά
		(Konidari and Mavrakis 2007)
	Κάλυψη μέγιστης ζήτησης	(Saraswat and Dugalwar, 2021)

Η κατανομή των κριτηρίων ανά ομάδα παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 2.6. Παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος αριθμός κριτηρίων που συναντώνται στη βιβλιογραφία είναι οικονομικά, συνολικά 28. Τα τεχνολογικά κριτήρια είναι 23, τα κοινωνικά 16, τα περιβαλλοντικά 14, τα πολιτικά, πολύ λιγότερα και συγκεκριμένα έξι. Επίσης συναντώνται δύο νομικά κριτήρια σε δύο διαφορετικές δημοσιεύσεις και τρία κριτήρια ευελιξίας σε τέσσερις διαφορετικές δημοσιεύσεις.



Σχεδιάγραμμα 2.6. Κατανομή κριτηρίων πολυκριτηριακής αξιολόγησης.

Σε μια προσέγγιση πολλαπλών μεταβλητών, χρησιμοποιούνται ως κριτήρια, παράμετροι που αποδίδονται σε μεταβλητές αποφάσεων στη βάση δεικτών. Τα κριτήρια/παράμετροι επίσης καλύπτουν τις τιμές και το κόστος της ενέργειας, την αποδοτικότητα, τη διαθεσιμότητα, την κοινωνική αποδοχή, τις εκπομπές, την ζήτηση και τη χρήση πρωτογενών ή εισαγόμενων πόρων (Fathipour and Saidi-Mehrabad, 2018). Σε μια άλλη προσέγγιση τα κριτήρια αποδίδονται σε στρατηγικές και χαρακτηρίζονται ως παράγοντες βάσει εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων μέσω της ανάλυσης SWOT και συγκεκριμένα ως δυνατά και αδύνατα σημεία και ως απειλές και ευκαιρίες (Kabak,

Dağdeviren and Burmaoğlu, 2016; Cayir Ervural *et al.*, 2018). Τέλος οι Espinilla M., de Andrés R., Martínez F.J., (2011) παρουσιάζουν μια πολυκριτηριακή μέθοδο την οποία ονομάζουν Μοντέλο Ετερογενούς Ανάλυσης για την αξιολόγηση επτά σεναρίων στη βάση 44 κριτηρίων, χωρίς όμως να παρουσιάζουν τα κριτήρια, αλλά μόνο τον τρόπο υπολογισμού.

2.5.2 Δείκτες αξιολόγησης

Η αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού ή ενεργειακών στρατηγικών ή πολιτικών μέσω δεικτών εφαρμόζεται εκτεταμένα. Οι δείκτες είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά για την μέτρηση της αιφορίας για διάφορα περιβαλλοντικά θέματα, συμπεριλαμβανομένων πολιτικών, αποφάσεων και ενεργειών (Büyükközkcan and Karabulut, 2018). Επίσης είναι ένα μέτρο ιχνηλάτισης της επίδοσης της αιφορίας, παρέχοντας μια περιεκτική βάση για την αξιολόγηση της προόδου σε σχέση με περιβαλλοντικούς, πολιτικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς κτλ. στόχους (Inglezakis and Zorpas, 2014).

Οι δείκτες χρησιμοποιούνται εκτεταμένα και στον τομέα της ενέργειας. Για παράδειγμα για την αξιολόγηση του ηλεκτρικού τομέα. Προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα πόσο αιεφόρος είναι ο Ινδικός τομέας ηλεκτρισμού, προτείνονται δείκτες που διαχωρίζονται σε οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς και βάση κριτηρίων όπως φυσικά, οικονομικά, ανταγωνισμού, ανανεώσιμους πόρους, ενεργειακή απόδοση, εύνοια για το περιβάλλον, ενδιαφέρον των καταναλωτών, κοινωνικά θέματα όπως η πρόσβαση στην ενέργεια και η ηλεκτροδότηση του αγροτικού τομέα και ποιοτικά θέματα (Sarangi *et al.*, 2019). Μία άλλη προσέγγιση αξιολογεί τις ενεργειακές τεχνολογίες μέσω κοινωνικών δεικτών, οι οποίοι καλύπτουν τέσσερα κύρια κριτήρια, την ασφάλεια και αξιοπιστία της παροχής ενέργειας, την πολιτική σταθερότητα και νομιμότητα, τον κοινωνικό και προσωπικό κίνδυνο και την ποιότητα ζωής. Για την εφαρμογή της αξιολογήθηκαν 16 διαφορετικά ενεργειακά συστήματα μέσω συνέντευξης 38 επιστημόνων με ειδικότητες που καλύπτουν την μηχανική, την κοινωνιολογία, τη νομική, το περιβάλλον και την οικονομία, από τέσσερις Ευρωπαϊκές χώρες, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία και την Ελβετία (Gallego Carrera and Mack, 2010). Αντίστοιχα σε αρκετές από τις υπό ανασκόπηση δημοσιεύσεις προτείνεται ένας σύνθετος δείκτης αξιολόγησης ή μία ομάδα δεικτών, όπως και τα επιμέρους θέματα βάση των οποίων είναι δυνατόν να υπολογιστούν και ο τρόπος ή μέθοδος υπολογισμού τους.

Οι θεμελιώδεις προϋποθέσεις για τον καθορισμό ενός μοντέλου δεικτών για αξιολόγηση της ενεργειακής αιφορίας των χωρών προτείνεται να περιλαμβάνουν την διαχείριση της ενέργειας, τη διαχείριση της ατμόσφαιρας και της ποιότητας του αέρα, την διαχείριση της

γης και της αστικής ανάπτυξης και τη διαχείριση του νερού και των υδάτινων πόρων (Martinez *et al.*, 2016). Θέτοντας το ερώτημα ποιες είναι οι ενεργειακές προκλήσεις για την Ισλανδία που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι διαμορφωτές πολιτικής, ώστε να επιτευχθεί αιεφόρος ανάπτυξη και ποιοι είναι οι κατάλληλοι δείκτες, οι Shortall and Davidsdottir (2017) αξιολογούν για την καταλληλότητα τους, τον σύνθετο δείκτη Επίδοσης Ενεργειακής Αρχιτεκτονικής του Παγκόσμιου Οικονομικού Φόρουμ (WEF-EAPI), τον σύνθετο δείκτη Ενεργειακού Τριλήμματος του Παγκόσμιου Συμβουλίου Ενέργειας (WEC-ETI) και την ομάδα δεικτών Αειφόρου Ανάπτυξης της Διεθνούς Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (IAEA-EISD). Από την αξιολόγηση προκύπτει ότι οι δείκτες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες για κάθε χώρα.

Οι Franki and Viškončić (2021) σε μία υπόθεση μελέτης για την περιοχή της νότιο ανατολικής Ευρώπης, προτείνουν τον υπολογισμό ενός δείκτη αξιολόγησης που υπολογίζεται βάση μεγεθών που χαρακτηρίζουν την οικονομική διαθεσιμότητα, την αυτοδυναμία και την αειφορία. Στα μεγέθη περιλαμβάνονται η αγορά, τα κίνητρα, ο ισολογισμός, ο ηλεκτρισμός, οι πρωτογενείς πόροι, οι εκπομπές και τα ορυκτά καύσιμα. Ο δείκτης ενεργειακής μετάβασης και αειφόρου ανάπτυξης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των πολιτικών αειφόρου ανάπτυξης και ενεργειακής μετάβασης της Νορμανδίας. Οι παράγοντες βάση των οποίων υπολογίζεται περιλαμβάνουν το περιβάλλον και φυσικούς πόρους, την ενεργειακή μετάβαση, την οικονομική δυναμική, την κοινωνική διάσταση, την τοπική διακυβέρνηση και την τοπική αειφορία και την αειφόρο κινητικότητα (Dialga, 2021). Επίσης ένας συγκεντρωτικός δείκτης αειφόρου ενεργειακής ανάπτυξης με εφαρμογή στα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης προτείνεται από τους Ligus and Peternek (2021). Αυτός λαμβάνει υπόψη τη διαθεσιμότητα, τις ανισότητες, τη δομή της αγοράς, τις ανταγωνιστικές τιμές, την αποδοτικότητα μετατροπής και μεταφοράς της ενέργειας, την εξάρτηση, την εξάντληση των τοπικών ενεργειακών πόρων, τη χρήση ενέργειας, την παραγωγικότητα ενέργειας, την κλιματική αλλαγή, την ποιότητα του αέρα, την παραγωγή αποβλήτων, τις ανανεώσιμες πηγές, τον συνδυασμό παραγωγής θερμότητας και ισχύος και την ανάκτηση ενέργειας.

Ένας άλλος δείκτης κλιματικών και ενεργειακών πολιτικών χρησιμοποιείται για την κατάταξη των 27 χωρών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ). Αυτός προκύπτει από εννιά διαφορετικούς δείκτες και συγκεκριμένα το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας, τα αέρια του θερμοκηπίου ανά Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ), την ένταση ενέργειας, την κατανάλωση ενέργειας στα νοικοκυριά, την αποδοτικότητα θέρμανσης, τις αέριες εκπομπές από τις μεταφορές και συγκεκριμένες μορφές ενέργειας για τον μεταφορικό τομέα (Pakere

et al., 2021). Επίσης για τις χώρες μέλη της ΕΕ και την αξιολόγηση των αγορών ενέργειας τους οι García-Álvarez and Soares (2018) χρησιμοποιούν τον συγκεντρωτικό δείκτη βιώσιμης αγοράς ενέργειας, ο οποίος λαμβάνει υπόψη μεταβλητές που κατανέμονται σε επιμέρους κατηγορίες όπως η ενεργειακή απόδοση, η κατανάλωση ενέργειας, η ενεργειακή εξάρτηση, το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής και τη δομή της αγοράς. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Οικονομική Ανάπτυξη και Συνεργασία (OECD) έχει αναπτύξει ένα σύνολο από 119 δείκτες και 344 υποδείκτες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της ενεργειακής πολιτικής της Ουκρανίας έως το 2035. Στη σχετική δημοσίευση παρουσιάζονται τα μεγέθη δεικτών που αφορούν την ενεργειακή αποδοτικότητα, την ενεργειακή αξιοπιστία, ανεξαρτησία και αειφόρο ανάπτυξη, την ανάπτυξη της αγοράς, τον εκσυγχρονισμό του συστήματος διαχείρισης, την ελκυστικότητα προς τις επενδύσεις, την ενοποίηση του δικτύου και τον βαθμό απόδοσης των τομέων, για διάφορους ενεργειακούς τομείς (Dergachova *et al.*, 2020).

Για την διαμόρφωση δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της σχέσης μεταξύ ενέργειας και ανάπτυξης και εφαρμόστηκαν για το Πακιστάν για την περίοδο 1980 – 2030 εφαρμόστηκε η ανάλυση κύριων στοιχείων. Αυτοί κάλυπταν την ζήτηση ενέργειας σε διάφορους τομείς και δείκτες μετασχηματισμού (Hayat, Khan and Ashraf, 2019). Οι μετρήσεις αειφορίας ως δείκτες παρουσιάζονται ως εργαλείο και για την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων για την περίπτωση της Νέας Αγγλίας. Αυτές περιλάμβαναν για την οικονομική αειφορία το εξισορροπημένο κόστος ενέργειας, για την περιβαλλοντική αειφορία τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στον κύκλο ζωής, της μόλυνση του αέρα στον κύκλο ζωής, τη χρήση γης, τη χρήση νερού στον κύκλο ζωής και για την κοινωνική αειφορία τους θανάτους, τις θέσεις εργασίας και την αποστροφή της πυρηνικής ενέργειας (Nock and Baker, 2019). Για την αξιολόγηση της ενεργειακής μετάβασης της Γερμανίας χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα 45 δεικτών αειφορίας, οι οποίοι χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, την διασφάλιση της ύπαρξης του ανθρώπου, τη διατήρηση της δυναμικής παραγωγικότητας της κοινωνίας, τη διατήρηση των ευκαιριών της κοινωνίας για ανάπτυξη και δράση και τις συνθήκες για την επίτευξη ουσιώδους αειφορίας (Rösch *et al.*, 2018). Ένας σύνθετος δείκτης αειφόρου ενέργειας βασισμένος σε 38 μεταβλητές και για 136 χώρες υπολογίστηκε για τα έτη 2000, 2005 και 2011. Αυτός λάμβανε υπόψη θέματα ενέργειας, περιβάλλοντος, δημογραφία, εκπαίδευσης, υγείας, οικονομίας και βιοτικού επιπέδου, εργασίας και ανθρωπίνων δικαιωμάτων και θεσμών (Agonino *et al.*, 2018).

Για μια συγκριτική μελέτη μεταξύ των ενεργειακών πολιτικών ΕΕ και Κίνας χρησιμοποιούνται τέσσερις δείκτες που καλύπτουν περιβαλλοντικά θέματα, την αναλογία

ανανεώσιμων πηγών, την ένταση εκπομπών ανά χρήση ενέργειας, την ένταση ενέργειας και την ένταση άνθρακα (Han *et al.*, 2014). Για την αξιολόγηση της ενεργειακής αειφορίας του Μεξικού μεταξύ 1990 και 2008, χρησιμοποιούνται δείκτες που περιλαμβάνουν την αυτάρκεια, την ευρωστία, τις εξαγωγές /ΑΕΠ, το εισόδημα από το πετρέλαιο/συνολικό εισόδημα, τις επενδύσεις με ίδιους πόρους, την παραγωγικότητα, την κάλυψη από ηλεκτρισμό, την κάλυψη βασικών αναγκών, τη σχετική αγνότητα, τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και την εξάλειψη ορυκτών πόρων (Sheinbaum-Pardo, Ruiz-Mendoza and Rodríguez-Padilla, 2012). Για την παρακολούθηση της αειφορίας του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος στη διάρκεια 47 ετών χρησιμοποιήθηκαν τρεις γενικοί δείκτες αειφορίας που καλύπτουν τις τρεις διαστάσεις της αειφορίας. Συγκεκριμένα καλύπτουν για την κοινωνική διάσταση την προσβασιμότητα, την προσιτότητα και τις ανισότητες, για την οικονομική διάσταση την συνολική χρήση, την παραγωγικότητα και την εξάρτηση και για την περιβαλλοντική διάσταση την κλιματική αλλαγή και την διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στην συνολική κατανάλωση και στον ηλεκτρισμό (Angelis-Dimakis, Arampatzis and Assimacopoulos, 2012).

Για την αξιολόγηση της ενεργειακής αειφορίας της Ταϊβάν μεταξύ 2000 και 2008, χρησιμοποιήθηκαν δύο ενεργειακοί δείκτες που περιλαμβάνονται σε ένα εθνικό σύστημα δεικτών αειφορίας και συγκεκριμένα το ΑΕΠ ανά μονάδα χρησιμοποιούμενης ενέργειας και η κατά κεφαλή παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα. Στην ίδια δημοσίευση υπολογίστηκε και ένας δείκτης για την παραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Tsai, 2010). Για την Μαλαισία χρησιμοποιείται μία ομάδα 14 ενεργειακών δεικτών που καλύπτουν ως περιοχές προτεραιότητας την διασφάλιση της επάρκειας και της αποτελεσματικότητας του κόστους της παροχής ενέργειας, την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, την αύξηση της χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας, την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την βελτίωση της ποιότητας ζωής και τη κοινωνικής ευημερίας (Yen *et al.*, 2008).

Αντίστοιχα για την αξιολόγηση των ενεργειακών πολιτικών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής ως παράδειγμα και για το 2005, οι Brown and Sovacool, (2007) προτείνουν τη δημιουργία ενός δείκτη ενεργειακής αειφορίας. Σε αυτόν περιλαμβάνονται τα επιμέρους θέματα της ασφάλειας των πετρελαιοειδών, της ενεργειακής απόδοσης, η αξιοπιστία του ηλεκτρισμού και η περιβαλλοντική ποιότητα. Για την αξιολόγηση των ενεργειακών πολιτικών και της ενεργειακής συνεργασίας των χωρών της Συνεργασίας Ευρώπης – Μεσογείου, αναπτύσσεται μία ομάδα ποσοτικών δεικτών, οι οποίοι καλύπτουν τους στόχους της συνεργασίας και συγκεκριμένα την διασφάλιση της προμήθειας, την ανταγωνιστικότητα της ενεργειακής βιομηχανίας και την προστασία του περιβάλλοντος (Kagiannas *et al.*,

2004). Για την Νότια Αφρική χρησιμοποιείται μία ομάδα δεικτών που βασίζεται στους δείκτες του Διεθνούς Παρατηρητηρίου Ενεργειακής Αειφορίας Ήλιος (Helio International, 2000).

2.5.3 Μέθοδοι Ανάλυσης

Η ανάλυση επίσης εντοπίζεται ως εργαλείο για την αξιολόγηση ενεργειακών στρατηγικών, πολιτικών και σχεδίων. Σε αρκετές περιπτώσεις η ανάλυση γίνεται με εξειδικευμένες μεθόδους οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν και να ομαδοποιηθούν. Συχνότερα εμφανίζεται και συγκεκριμένα τέσσερις φορές, η ανάλυση σεναρίων (Manzini and Martínez, 1999; Moïnuddin and Kuriyama, 2019; Bazilian et al., 2020; Kochanek, 2021). Από δύο φορές εμφανίζεται η ανάλυση περιβλήματος δεδομένων (Biresselioglu, Demir and Turan, 2018; Ratanakuakangwan and Morita, 2022), εκ' των προτέρων ανάλυση (Harmelink, Voogt and Cremer, 2006; Qiu *et al.*, 2020), η ανάλυση πλαισίου (Bassi, 2011; Lee, Glick and Lee, 2020) και η ανάλυση SWOT (Markovska, Taseska and Pop-Jordanov, 2009; Ul-Haq *et al.*, 2020). Παράλληλα εντοπίζονται εξειδικευμένες μέθοδοι ανάλυσης σε μεμονωμένες δημοσιεύσεις, όπως για παράδειγμα το 2021 η στατιστική ανάλυση (Chankon and Hinon, 2021) ή και άλλες όπως αναφέρονται στον Πίνακα 2.1.

Παράλληλα, σε ένα επίσης σημαντικό αριθμό άλλων δημοσιεύσεων, η αξιολόγηση των ενεργειακών στρατηγικών ή πολιτικών ή και σχεδίων γίνεται μέσω γενικής ανάλυσης, είτε ποιοτικής είτε και ποσοτικής ή και με συνδυασμό, η οποία δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ότι ταξινομείται ως συγκεκριμένη μέθοδος. Πιο πρόσφατα, για παράδειγμα, για την αξιολόγηση του βαθμού επίτευξης του Στόχου Αειφόρου Ανάπτυξης 7, των Ηνωμένων Εθνών μέχρι το 2030 στην Ινδονησία, γίνεται ανάλυση των ενεργειακών πολιτικών στη χώρα, ανά θέμα όπως η ενεργειακή απόδοση, οι ανανεώσιμες πηγές και άλλα (Santika *et al.*, 2020). Αντίστοιχα για την αξιολόγηση της εφαρμογής και παρακολούθησης των σχεδίων αειφόρου ανάπτυξης 42 Δήμων στη Λετονία, έγινε συλλογή στοιχείων μέσω ερωτηματολογίων και σχετική ανάλυση και αξιολόγηση των απαντήσεων (Jekabsone *et al.*, 2019). Γενικά όλες οι αναφορές που κάνουν αξιολόγηση στρατηγικών ή πολιτικών μέσω ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

2.5.4 Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (AKZ)

Σε ένα αριθμό δημοσιεύσεων χρησιμοποιείται η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής. Η μέθοδος αναφέρεται σε όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή υπηρεσίας και είναι τυποποιημένη βάση των προτύπων ISO 14040 και ISO 14044 (ISO, 2006a, 2006b). Παρέχει το πλαίσιο για μια αξιολόγηση των περιβαλλοντικών αλλά και άλλων επιπτώσεων όπως κοινωνικών

και οικονομικών, βάση παραγόντων και δεικτών χαρακτηρισμού τους όπως υπολογίζονται με συγκεκριμένες μεθόδους όπως για παράδειγμα τη μέθοδο CML (Guinée, 2001). Έχει εφαρμοστεί σε αρκετά πεδία έρευνας όπως για στον αγροτικό τομέα (Bartzas and Komnitsas, 2017; Tsangas *et al.*, 2020) και για την αξιολόγηση τεχνολογιών διαχείρισης αποβλήτων (Machado *et al.*, 2007; Banti *et al.*, 2020).

Αντίστοιχα ευρεία εφαρμογή έχει σε θέματα ενέργειας, όπως και για την αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών ή ενεργειακών σχεδίων. Εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση του μελλοντικού μίγματος ηλεκτρισμού στην ΕΕ, μέσω του υπολογισμού δεικτών χαρακτηρισμού για την συνολική απαίτηση μη ανανεώσιμης και ανανεώσιμης ενέργειας, την κλιματική αλλαγή, την οξίνιση, την εξάλειψη αβιοτικών πόρων, τον ευτροφισμό, την φωτοχημική οξείδωση, την εξάλειψη του όζοντος, την ποιότητα των οικοσυστημάτων, την ανθρώπινη υγεία και τους πόρους (Kiss, Kácsor and Szalay, 2020). Αντίστοιχη ανάλυση με χρήση των δεικτών χαρακτηρισμού του CML (Guinée, 2001) για την παγκόσμια υπερθέρμανση, την οξίνιση, τον ευτροφισμό, και την τοξικότητα στον άνθρωπο, εφαρμόστηκε για το ενεργειακό μίγμα στην Σιγκαπούρη που περιλαμβάνει διάφορες πηγές ενέργειας (Quek *et al.*, 2018).

Για την αξιολόγηση της αειφορίας της ηλεκτροπαραγωγής στο Πακιστάν, αναπτύχθηκαν 20 δείκτες αειφορίας στον κύκλο ζωής, οι οποίοι κάλυπταν την περιβαλλοντική, την οικονομική και την κοινωνική διάσταση περιλαμβάνοντας δείκτες για την εξάλειψη πόρων, την τοξικότητα, την οξίνιση, την εξάλειψη του όζοντος και τον ευτροφισμό, τα κόστη, την εργοδότηση, την αποφυγή εισαγωγών και την ποικιλία στο ενεργειακό μίγμα (Akber, Thaheem and Arshad, 2017). Αντίστοιχα για την Τουρκία και τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής επίσης υπολογίστηκαν 20 δείκτες στον κύκλο ζωής, επίσης διαχωρισμένοι στις τρεις διαστάσεις της αειφορίας, οι οποίοι κάλυπταν την εξάλειψη των πόρων, την κλιματική αλλαγή, τις εκπομπές και τη ρύπανση, αλλά και τα κόστη, την εργοδότηση, την ασφάλεια και την ενεργειακή ασφάλεια (Atilgan and Azaragic, 2016). Για την αξιολόγηση των επιλογών ηλεκτρικής παραγωγής στο Ηνωμένο Βασίλειο επίσης υπολογίστηκαν δείκτες επιπτώσεων που κάλυπταν την κοινωνική, την περιβαλλοντική και την τεχνο-οικονομική διάσταση της αειφορίας (Stamford and Azaragic, 2012).

Για την αξιολόγηση του μοντέλου ηλεκτροπαραγωγής της Ισπανίας, υπολογίστηκαν στον κύκλο ζωής τρεις δείκτες που κάλυπταν την κλιματική αλλαγή, τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και τους πόρους (García-Gusano *et al.*, 2016). Επίσης η AKZ χρησιμοποιήθηκε για την σύγκριση ενός εναλλακτικού σεναρίου ενεργειακής παραγωγής για το 2030 σε σχέση με το 2010 για τη Δανία. Οι κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων

που συγκρίθηκαν περιλάμβαναν την παγκόσμια θέρμανση, την οικοτοξικότητα, την οξίνιση και την εξάλειψη αβιοτικών και ορυκτών πόρων (Turconi *et al.*, 2014).

Για την αξιολόγηση σεναρίων για τον 21ο αιώνα, με χρήση πυρηνικής ενέργειας στην Ιαπωνία, εφαρμόστηκε ο δείκτης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον κύκλο ζωής για το κάθε ένα (Tokimatsu *et al.*, 2006). Για μελλοντικά ενεργειακά σενάρια για τη Χιλή, η μέθοδος εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό της συνολικής ζήτησης μη ανανεώσιμης ενέργειας, ως παράμετρο αξιολόγησης παράλληλα με άλλους δείκτες που προέκυψαν από εφαρμογή της μεθόδου ανάλυσης καθαρής ενέργειας (net energy analysis) (Raugei *et al.*, 2018). Τέλος η ανάλυση κύκλου ζωής για την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας και ηλεκτρισμού για το 2100 περιλάμβανε την σύγκριση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, της διαθεσιμότητας πόρων, του συνολικού κόστους επένδυσης, της έμμεσης κατανάλωσης και του κινδύνου θνητότητας από την άποψη του κύκλου ζωής (Takeshita *et al.*, 2014).

2.5.5 Μέθοδοι Μοντελοποίησης

Η μοντελοποίηση αποτελεί μια προσέγγιση η οποία επίσης χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των ενεργειακών στρατηγικών, πολιτικών ή σχεδίων. Σε κάποιες περιπτώσεις η αξιολόγηση γίνεται μέσω του σχεδιασμού ενεργειακών μοντέλων, όπως για παράδειγμα για το Μεξικάνικο Ενεργειακό Σύστημα του 2050 (Elizondo *et al.*, 2017; Toledo *et al.*, 2021), για τα σενάρια ανανεώσιμης ενέργειας στην Νότιο Κορέα (Park, Barrett and Gallo Cassarino, 2019), για το ενεργειακό μέλλον και τις στρατηγικές ανάπτυξης με χαμηλές εκπομπές άνθρακα στις Φιλιππίνες (Mondal *et al.*, 2018) και για το ενεργειακό σύστημα στην Ουγγαρία (Sáfián, 2014) και για το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα (Agoris *et al.*, 2004). Επίσης έχουν εφαρμοστεί μοντέλα βελτιστοποίησης, όπως για την Γκάνα (Aworone, Zobaa and Banuenumah, 2017) και την Σρι Λάνκα (Thushara, Hornberger and Baroud, 2019) ή μοντέλα θεσμικής ανάλυσης και σχεδιασμού π.χ. για τις χώρες της Καραϊβικής (Shah and Niles, 2016).

Άλλες δημοσιεύσεις χρησιμοποιούν τεχνο - οικονομικά μοντέλα, όπως έγινε για την Πορτογαλία ως περιπτωσιακή μελέτη (Fortes *et al.*, 2014) και για τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, στα πλαίσια της μετάβασης σε αειφόρο ενέργεια (Sgouridis *et al.*, 2013). Επίσης εντοπίζονται οικονομικά μοντέλα όπως αυτό που εφαρμόστηκε για την Ολλανδία, τη Λετονία και το νότιο δυτικό Ηνωμένο Βασίλειο (Brouwer *et al.*, 2018) και τις ενεργειακές στρατηγικές της Ελβετίας σε σχέση με την αβεβαιότητα που υπήρξε για την ατομική ενέργεια μετά το ατύχημα της Φουκουσίμα (Marcucci and Turton, 2012). Επιπλέον στη βιβλιογραφία εντοπίζονται και άλλες δημοσιεύσεις με εφαρμογή μοντελοποίησης όπως με

προσέγγιση μοντελοποίησης της δυναμικής του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της μετάβασης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το Μαρόκο (Chentouf and Allouch, 2021) και με χρήση μοντέλου μερικής ισορροπίας για αξιολόγηση της πολιτικής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της ΕΕ (Lehmann et al., 2019). Όλες οι σχετικές δημοσιεύσεις παρουσιάζονται επίσης στον Πίνακα 2.1.

2.5.6 Άλλες μέθοδοι

Πέρα από τις πιο πάνω μεθόδους που είναι δυνατόν να καταταχθούν, στη βιβλιογραφία συναντάται και ένας αριθμός προσεγγίσεων που εφαρμόζονται για την αξιολόγηση εθνικών ή και διεθνών ενεργειακών πολιτικών, στρατηγικών ή και σχεδίων μεμονωμένα ή σε δύο το πολύ δημοσιεύσεις. Τέτοιες μέθοδοι είναι η Προσομοίωση Monte Carlo (Leibowicz, 2014; Yu et al., 2019) που εφαρμόστηκαν για την Ιαπωνία κατόπιν του ατυχήματος της Φουκουσίμα και για το ηλεκτρικό σύστημα της Ταϊβάν, η αξιολόγηση των εκπομπών Διοξειδίου του Άνθρακα (Mundaca, 2013; Kiss and Popovics, 2021) που χρησιμοποιήθηκαν για την Χιλή και για σύγκριση 25 χωρών αντίστοιχα, η εκτίμηση των κινδύνων για την Ελβετική Ενεργειακή Πολιτική από το 1980 και για το 2050 (Gaudard and Romerio, 2020), ο συνδυασμός ΑΚΖ με μοντέλα ισοζυγίου για ενεργειακά σενάρια στο Λουξεμβούργο (Igos et al., 2015), το πλαίσιο στρατηγικής, τακτικής και λειτουργίας (STO - strategic, tactical, and operational) για σύγκριση ενεργειακών πολιτικών της ΕΕ και των Ηνωμένων Πολιτειών (Arababadi et al., 2017), η προσέγγιση σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου για τις χώρες μέλη της ΕΕ σε μια περίοδο 25 ετών (Fernández et al., 2020) και άλλες μέθοδοι που παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

2.6 Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού και των ενεργειακών στρατηγικών, πολιτικών ή σχεδίων προκύπτει ότι είναι απαραίτητη και στη διάρκεια του χρόνου, έχοντας ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1970, έχει απασχολήσει αριθμό ερευνητών. Ειδικά τα τελευταία χρόνια ο αριθμός των σχετικών δημοσιεύσεων έχει αυξηθεί. Επιπλέον εντοπίζεται ένα εύρος στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται. Αρκετά συχνά χρησιμοποιούνται δομημένες μέθοδοι που είναι διαδεδομένες στα θέματα ενέργειας, όπως είναι οι Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων, οι Δείκτες Αειφορίας και η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ), αλλά και άλλες μέθοδοι όπως μέθοδοι ανάλυσης ποιοτικής ή και ποσοτικής.

Οι εφαρμογές της αξιολόγησης στο χρόνο παρατηρείται ότι γίνεται με τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις. Είτε αφορά αξιολόγηση σχεδίων, στρατηγικών ή και πολιτικών που ήδη

εφαρμόστηκαν, συχνά καλύπτοντας μεγάλες χρονικές περιόδους στη διάρκεια του χρόνου, είτε συγκρίνει αποτελέσματα από διαφορετικές περιόδους, στο παρελθόν, στο παρόν και σε άλλες περιπτώσεις με προβλέψεις για το μέλλον. Σε κάποιες περιπτώσεις ωστόσο, γίνεται αξιολόγηση των επιλογών ενεργειακής στρατηγικής ή πολιτικής για το μέλλον. Σε αυτή την περίπτωση, σε κάποιες περιπτώσεις αξιολογούνται ή χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση σενάρια.

Η αειφορία μπορεί να προσδιοριστεί ως η διαχείριση των οικονομικών, τεχνολογικών, θερμικών, φυσικών και κοινωνικών πόρων ώστε να διασφαλιστούν οι ανάγκες της παρούσας αλλά και των μελλοντικών γενεών (Büyükoçkan and Karabulut, 2018). Με αυτή την προσέγγιση, αρκετές από τις δημοσιεύσεις που ανασκοπήθηκαν αξιολογούν της αειφορία των επιλογών ενεργειακής στρατηγικής ή πολιτικής ή και σχεδιασμού, με βάση την κοινωνική, την πολιτική, την οικονομική, την τεχνολογική και την περιβαλλοντική διάσταση τους. Ειδικά στις Πολυκριτηριακές Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων, τα κριτήρια συχνά διαχωρίζονται με βάση αυτή την κατάταξη. Αντίστοιχα οι δείκτες αξιολόγησης της αειφορίας καλύπτουν αυτές τις διαστάσεις, είτε με μεμονωμένους δείκτες, είτε σαν παράγοντες για τον υπολογισμό σύνθετων δεικτών. Αντίστοιχη προσέγγιση εντοπίζεται και για την Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής σε κάποιες περιπτώσεις. Εντούτοις στη βιβλιογραφία περιλαμβάνονται και προσεγγίσεις με εστίαση σε μία μόνο διάσταση, είτε στην οικονομική, στο περιβάλλον, στην πολιτική ή και στην κοινωνία.

Σε αρκετές περιπτώσεις οι αξιολογήσεις γίνονται για να δοκιμαστούν και να προταθούν οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται. Αντίστοιχα εντοπίζονται και δημοσιεύσεις όπου σε αυτό το πλαίσιο γίνεται σύγκριση δεικτών ή και μεθόδων ή και των αποτελεσμάτων τους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ότι τα κριτήρια που εφαρμόζονται σε Πολυκριτηριακές Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων, χαρακτηρίζονται σε κάποιες περιπτώσεις και ως δείκτες και έχουν χαρακτηριστικά τους όπως είναι η αναφορά σε μονάδα και σε χρονικό διάστημα και ή μέθοδος υπολογισμού, ενώ οι δείκτες αειφορίας αντίστοιχα σε κάποιες περιπτώσεις ονομάζονται και κριτήρια ή και πολλαπλά κριτήρια όταν αποτελούν παράγοντα σύνθετων δεικτών.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των αξιολογήσεων, αυτά επίσης παρουσιάζουν εύρος. Ανάλογα με το σκοπό της κάθε αξιολόγησης, σε αρκετές περιπτώσεις προκύπτει σαφές αποτέλεσμα για την καταλληλότητα, την αειφορία ή και την αποτελεσματικότητα της στρατηγικής, της πολιτικής ή και του σχεδίου που αξιολογείται. Σε άλλες περιπτώσεις, ειδικά αυτές που αφορούν σύγκριση μεταξύ κρατών ή χρονικών περιόδων, εντοπίζεται ποια είναι η βέλτιστη. Τέλος στις περισσότερες δημοσιεύσεις απαριθμούνται θέματα και

μειονεκτήματα των επιλογών που αξιολογούνται και διαμορφώνονται εισηγήσεις βελτίωσης.

Κεφάλαιο 3. Διεθνείς ενεργειακές στρατηγικές και πολιτικές και Κύπρος

3.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με το Διακυβερνητικό Πάνελ για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή ήδη επηρεάζει παγκόσμια την ανθρώπινη ζωή και τα οικοσυστήματα (IPCC WGII, 2022). Ωστόσο, είναι κοινά γνωστό ότι η ανθρωπότητα δεν βρίσκεται σε τροχιά επίτευξης του στόχου μέγιστης αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 2° C, που έχει τεθεί με την συμφωνία του Παρισιού, πόσο δε μάλλον στην προσπάθεια συγκράτησης της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, κατά 1.5° C (Gunfaus and Waisman, 2021). Ωστόσο, είναι κρίσιμο, να επιτευχθεί ο στόχος των 2° C μέγιστης παγκόσμιας υπερθέρμανσης, ώστε να διασφαλιστεί η ευημερία και οικονομική ανάπτυξη (O and Kim, 2019). Η ενέργεια είναι σημαντικός παράγοντας για όλους τους βασικούς τομείς την σύγχρονης οικονομίας, υποστηρίζοντας, όλες τις οικονομικές δραστηριότητες. Εάν συνεχίσουν οι σύγχρονες τάσεις, η ζήτηση ενέργειας σε όλο τον κόσμο, αναμένεται να διπλασιαστεί μέχρι το 2050 (Atems and Hotaling, 2018). Αποτελεί όμως ένα πεδίο στο οποίο απαιτείται δράση για την επίτευξη της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή (IPCC WGII, 2022). Σε αυτό το πλαίσιο, ο σχεδιασμός πολιτικών, οι κυβερνητικές δομές και οι ισχυροί θεσμοί είναι βασικές προϋποθέσεις για τη μετασχηματιστική δράση για το κλίμα (Masson-Delmotte *et al.*, 2018).

Προκειμένου να επιτευχθεί μια νέα κατεύθυνση, απαιτείται μια νέα θεματική με προσανατολισμό την αειφορία και μια νέα προσέγγιση διακυβέρνησης (Kastrinos and Weber, 2020). Η αειφόρος ανάπτυξη και η μείωση της κλιματικής αλλαγής είναι κρίσιμης σημασίας, οπότε και η βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού είναι πάρα πολύ σημαντική (Vazhayil and Balasubramanian, 2012). Ο ενεργειακός σχεδιασμός που να περιλαμβάνει την αειφόρο ενέργεια, πρέπει να υποστηρίζεται από πολιτικές και νομοθεσία (Akrofi and Akanbang, 2021). Οι βάσεις των πολιτικών δράσης για το κλίμα παγκόσμια γενικά θέτονται στο άρθρο 6 της Συμφωνίας του Παρισιού του ΟΗΕ. Σχετικά με την ενέργεια συζητούνται τρεις τομείς πολιτικής. Οποιαδήποτε υπέρβαση των στόχων σε σχέση με τις δεσμεύσεις της για οποιαδήποτε χώρα να μπορεί να πουληθεί σε άλλη, μία νέα αγορά εκπομπών άνθρακα, όπως το σύστημα που δημιουργήθηκε υπό το Πρωτόκολλο του Κυότο και η υιοθέτηση προσεγγίσεων εκτός αγοράς (Morgan and Patomäki, 2021). Σε αυτό το πλαίσιο τα Ηνωμένα Έθνη, η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Κίνα και σχεδόν όλα τα κράτη παγκόσμια, έχουν υιοθετήσει στρατηγικές, πολιτικές και νομοθετικά εργαλεία, ώστε να ρυθμίσουν τον ενεργειακό σχεδιασμό και τους ενεργειακούς

στόχους τους. Σε αυτό το κεφάλαιο ανασκοπούνται οι σχετικές στρατηγικές και πολιτικές παγκόσμια και γίνεται μια λεπτομερή ανάλυση της ενεργειακής στρατηγικής, πολιτικής και νομοθεσίας για την Κύπρο.

3.2 Σύγχρονες τάσεις ενεργειακής πολιτικής

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) είναι ένας διεθνής οργανισμός που ιδρύθηκε το 1945 και έχει 193 κράτη μέλη (United Nations, no date d). Η δραστηριότητα του περιλαμβάνει την υποστήριξη της αειφόρου ανάπτυξης και την κλιματική αλλαγή. Ο οργανισμός, πέρα από τις εργασίες της γενικής συνέλευσης του, οργανώνει και συγκεκριμένες συνόδους, όπου τα κράτη μέλη συζητάνε και υιοθετούν συμφωνίες και θέτουν παγκόσμιους στόχους. Το 2009, το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Program -UNEP) κάλεσε για μια Νέα Πράσινη Συμφωνία, σύμφωνα με την οποία θα έπρεπε να δοθεί προτεραιότητα στην ανανεώσιμη ενέργεια (UNEP, 2009). Επιπλέον, στα πλαίσια της δράσης για το κλίμα, ο ΟΗΕ υποστήριξε διαπραγματεύσεις για την κλιματική αλλαγή, οι οποίες οδήγησαν το 2015, στη Συμφωνία του Παρισιού για το κλίμα (Delbeke et al., 2019). Ο κεντρικός σκοπός της συμφωνίας, είναι η ενδυνάμωση της παγκόσμιας ανταπόκρισης στις απειλές της κλιματικής αλλαγής. Ένας πρόσθετος σκοπός είναι η ενδυνάμωση της ικανότητας των κρατών να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της (United Nations, no date b).

Οπότε μετά την Ατζέντα 21 (Agenda 21) που είχε υιοθετηθεί το 1992 και τους Στόχους Ανάπτυξης της Χιλιετίας (Millennium Development Goals) που είχαν υιοθετηθεί το 2000, το 2015, ο ΟΗΕ υιοθέτησε την φιλόδοξη Ατζέντα για Αειφόρο ανάπτυξη 2030 (Agenda for Sustainable Development 2030), στην οποία μεταξύ 17 στόχων για Αειφόρο Ανάπτυξη (SDGs), περιλαμβάνονται συγκεκριμένοι στόχοι για δράση για το κλίμα και την ενέργεια (United Nations, no date c). Η ενέργεια βρίσκεται στην καρδιά τόσο της Ατζέντας 2030 όσο και της Συμφωνίας του Παρισιού (United Nations, no date a). Συγκεκριμένα ο στόχος νούμερο 7 (SDG7), αφορά τη διασφάλιση της πρόσβασης σε οικονομικά προσιτή, αξιόπιστη, αειφόρο και σύγχρονη ενέργεια για όλους και περιλαμβάνει μεταξύ άλλων επιμέρους στόχους για την ουσιαστική αύξηση του μεριδίου ανανεώσιμης ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό μίγμα και διπλασιασμό του ρυθμού βελτίωσης της ενεργειακή απόδοση μέχρι το 2030 (United Nations Department of Economic and Social Affairs, no date). Επίσης, ο στόχος νούμερο 13 (SDG13) αφορά την επείγουσα λήψη δράσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεων της (United Nations, no date c). Σύμφωνα με ένα επιστημονικό προσχέδιο του Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ (United Nations Environmental Program – UNEP), οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας,

μαζί με την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτήρια, αλλά και αλλού θα είναι πολύ σημαντικά. Οπότε, οι κυβερνήσεις θα πρέπει να αναπτύξουν νομοθεσίες και πολιτικές για να διευκολυνθούν μεγαλύτερες δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις στην παραγωγή και διανομή ανανεώσιμης ενέργειας και για την ενθάρρυνση της υπεύθυνης κατανάλωση ενέργειας καθώς και για την επιτάχυνση της σταδιακής κατάργησης των ορυκτών ενεργειακών πόρων (United Nations, 2021).

Το 2021 πραγματοποιήθηκε στην Γλασκώβη, Παγκόσμια Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή. Στην συμφωνία που προέκυψε από τη διάσκεψη με την ονομασία COP 26, Συμφωνία της Γλασκόβης για το Κλίμα (COP26, The Glasgow Climate Pact) τέθηκαν πιο φιλόδοξοι στόχοι για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από 153 χώρες, ενδυναμώθηκαν οι προσπάθειες για προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, κινητοποιήθηκαν σημαντικά ποσά και ενισχύθηκε η συνεργασία (UN Climate Change Conference, 2021). Ωστόσο, οι διεθνείς συμφωνίες, όπως αυτές του ΟΗΕ, δίνουν μόνο την κατεύθυνση. Τα κράτη που τις υιοθετούν, καλούνται να ετοιμάσουν το δικό τους σχεδιασμό και πολιτικές, ώστε να πετύχουν συγκεκριμένους στόχους. Η ενεργειακή πολιτική διαφέρει από χώρα σε χώρα. Ποιοι θα είναι οι κύριοι παράγοντες, τι θα περιέχουν οι πολιτικές και πως θα εφαρμοστούν, εξακολουθεί να είναι εθνική ευθύνη και απόφαση (Proka, Hisschemöller and Loorbach, 2018).

Η ΕΕ αποτελείται από κράτη μέλη και βασίζεται στον κανόνα δικαίου που σημαίνει ότι όλες οι δράσεις της βασίζονται σε συνθήκες (EU, no date). Το νομικό της πλαίσιο περιλαμβάνει την αειφόρο ανάπτυξη. Η μόνη αναφορά της ιδρυτικής «Συνθήκης της Ρώμης», το 1957, σχετικά με το περιβάλλον ήταν για την εναρμόνιση της περιβαλλοντικής νομοθεσίας και την ομοιομορφία της στη μάχη εναντίον συγκεκριμένων μορφών βοήθειας, ώστε να μην προκύπτουν τεχνικά εμπόδια στην ελεύθερη διακίνηση των αγαθών, λόγω διαφορετικών εθνικών δεσμών (European Economic Community, 1957; Zorpas, 2020). Ωστόσο, το 1991, στη Συνθήκη του Μάαστριχτ περιλήφθηκε αναφορά στην αειφόρο και μη πληθωριστική ανάπτυξη με σεβασμό στο περιβάλλον και στην προώθηση της αειφόρου οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης των αναπτυσσόμενων χωρών, και πιο συγκεκριμένα αυτών που είναι σε περισσότερο μειονεκτική θέση. Επιπλέον η Συνθήκη του Άμστερνταμ το 1998 ονόμασε την αειφόρο ανάπτυξη σαν ένα σκοπό της ευρωπαϊκής ολοκλήρωσης (Heinrichs *et al.*, 2016). Αν και οι τρέχουσες πολιτικές της ΕΕ μπορούν να πετύχουν μείωση μόνο 60% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία που εισήχθη πρόσφατα σκοπεύει στην ανταπόκριση στην

κλιμακούμενη κλιματική κρίση με επίτευξη μηδενικών εκπομπών μέχρι το 2050. Αυτό δείχνει ανάγκη για αυξημένη φιλοδοξία (Haines and Scheelbeek, 2020).

Οι πέντε κύριοι στόχοι της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ είναι:

- να διασφαλίσει την ποικιλία των ενεργειακών πόρων, διασφαλίζοντας την ενεργειακή ασφάλεια μέσω της αλληλεγγύης και της συνεργασίας των κρατών μελών,
- να διασφαλίσει της λειτουργία μίας ολοκληρωμένης εσωτερικής αγοράς, διευκολύνοντας την ελεύθερη ροή ενέργειας μέσα στην ένωση με επαρκείς υποδομές και χωρίς τεχνικά ή νομικά εμπόδια,
- να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοσή και να μειώσει την εξάρτηση από εισαγωγές ενέργειας, να μειώσει τις εκπομπές και να δημιουργήσει θέσεις εργασίας και ανάπτυξη,
- να απαρθρακοποιήσει την οικονομία και να ωθήσει προς μια οικονομία χαμηλού άνθρακα σε γραμμή με την συμφωνία του Παρισιού και
- να προωθήσει την έρευνα για τεχνολογίες χαμηλού άνθρακα και καθαρής ενέργειας και να δώσει προτεραιότητα στην καινοτομία για να ωθήσει την ενεργειακή μετάβαση και να βελτιώσει την ανταγωνιστικότητα (European Parliament, 2020).

Το 2019, η ΕΕ ανακοίνωσε την νέα Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία η οποία περιλαμβάνει ένα ξεκάθαρο όραμα ώστε να επιτευχθεί κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050. Σκοπός είναι η ΕΕ να εφαρμόσει το Πρόγραμμα Αειφόρου Ανάπτυξης του ΟΗΕ και να πετύχει τους στόχους για Αειφόρο Ανάπτυξη (SDGs) μέχρι το 2030, καθώς και να συγκεντρώσει δράσεις και πολιτικές ώστε να πετύχει μια πετυχημένη και δίκαιη μετάβαση σε ένα αειφόρο μέλλον (Zorpas, 2020). Πιο συγκεκριμένα η συμφωνία έχει στόχο να βάλει την ΕΕ στο δρόμο για την επίτευξη μείωσης κατά 55%, το ελάχιστο, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μέχρι το 2030 και απαιτεί ισχυρή δράση για την επιτάχυνση της απαρθρακοποίησης της προμήθειας ενέργειας. Η ζήτηση για καθαρή ενέργεια θα μπορούσε να αυξήσει την ανάγκη για ανάπτυξη υφιστάμενων ή και νέων τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας (Kougiyas *et al.*, 2021). Αν και αρκετές λεπτομέρειες της πρότασης για την νέα Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία πρέπει να τύχουν περεταίρω επεξεργασίας, αυτή δείχνει ξεκάθαρα ότι η ΕΕ έχει πρόθεση να ηγηθεί με τη ραγδαία μείωση των εκπομπών εντός και χρησιμοποιώντας οικονομικούς πόρους, γνώση και επιρροή, ώστε να ενθαρρύνει και άλλα έθνη να αυξήσουν τις δράσεις τους για το κλίμα (Haines and Scheelbeek, 2020).

Το άρθρο 194 της Συνθήκης για τη λειτουργία της ΕΕ (Treaty on the Functioning of the European Union, TFEU) θέτει μερικές πτυχές της ενεργειακής πολιτικής ως κοινή ευθύνη, δίνοντας σήμα για κοινή ενεργειακή πολιτική. Ωστόσο, κάθε κράτος μέλος διατηρεί το δικαίωμα του να καθορίσει τις συνθήκες για την αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων του, τις επιλογές του μεταξύ διαφορετικών πηγών ενέργειας και τη γενική δομή του ενεργειακού εφοδιασμού του (European Parliament, 2020).

Οι ΗΠΑ έχουν πρόσφατα επανέλθει στη διαδικασία της Συμφωνίας του Παρισιού (Morgan and Patomäki, 2021). Μετά από μια μακρά περίοδο μη συμφωνίας, η παρούσα διοίκηση σχεδιάζει την υιοθέτηση των σχετικών στόχων από τη χώρα. Ωστόσο, η οικονομία της χώρας εξαρτάται από το εύκολο και άφθονο φθηνό πετρέλαιο, άνθρακα και φυσικό αέριο. Αν και η παγκόσμια υπερθέρμανση και οι ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια κάνει την ανάγκη για αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γενικά αποδεκτή, μεταξύ των πολιτικών και του κοινού, φαίνεται ότι η ενεργειακή μετάβαση μακριά από τα ορυκτά καύσιμα θα ήταν οικονομικά και πολιτικά ακριβή για το τη χώρα. Ο νόμος για την ενεργειακή πολιτική (Energy Policy Act) του 2005 και ο νόμος για την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια (Energy Independence and Security Act) του 2007 επανεπιβεβαίωσαν τη συνεχόμενη εξάρτηση της χώρας από τα ορυκτά καύσιμα, με στόχο η ενεργειακή απόδοση και η μακροπρόθεσμη μετάβαση στην ανανεώσιμη ενέργεια να εξασφάλιζαν την συνεχόμενη οικονομική ανάπτυξη (Bang, 2010). Ωστόσο, πρόσφατα μία Νέα Πράσινη Συμφωνία έχει επίσης προταθεί σαν ένα περιεκτικό πρόγραμμα για να συνδυαστεί η μείωση της κλιματικής αλλαγής με την εξάλειψη της οικονομικής ανισότητας. Στην πρόταση περιλαμβάνονται σαν εργαλεία για μηδέν εκπομπές, μεταξύ άλλων, ο 100% ανανεώσιμος ηλεκτρισμός και να γίνουν όλα τα κτήρια θερμικά αποδοτικά (Galvin and Healy, 2020).

Η Κίνα, τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχει υιοθετήσει διάφορες ενεργειακές πολιτικές, στοχεύοντας κυρίως στον βιομηχανικό τομέα που καταναλώνει περίπου το 70% της ισχύος στη χώρα. Αυτές επιδιώκουν την πράσινη ανάπτυξη και περιλαμβάνουν την ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας, την εξοικονόμηση ενέργειας και την αναβάθμιση της βιομηχανίας, (Muhammed and Tekbiyik-Ersoy, 2020; Zeng, Tong and Tang, 2020). Οι πολιτικές περιλαμβάνουν συντελεστές εισροής, τεχνική υποστήριξη, επιδοτήσεις για ανανεώσιμη ενέργεια και κανονισμούς (Kong, Feng and Yang, 2020). Η Κίνα, η Ιαπωνία και η Κορέα έχουν επίσης υιοθετήσει διάφορα μέσα πολιτικής για να πετύχουν τους στόχους για Αειφόρο Ανάπτυξη (SDGs), τα οποία περιλαμβάνουν νομοθετικά εργαλεία, εργαλεία κινήτρων,

συμβολικά και συμβουλευτικά εργαλεία και εργαλεία για την ανάπτυξη της ισχύος (Xie, Wen and Choi, 2021).

Τον Μάη του 2019, επίσης υιοθετήθηκε στον Καναδά ένα Σύμφωνο για μια Νέα Πράσινη Συμφωνία, όπου όλοι οι συμμετέχοντες καλούνται για 100 % ανανεώσιμη ενέργεια μέχρι το 2030, την σταδιακή κατάργηση του πετρελαίου από ασφαλτούχο άμμο, την μείωση κατά 50% των εκπομπών μέχρι το 2030, την δημιουργία ενός εκατομμυρίου πράσινων θέσεων εργασίας και την συμφιλίωση με τους ιθαγενείς πληθυσμούς (MacArthur *et al.*, 2020). Παρομοίως και άλλες μεγάλες χώρες της Αμερικανικής ηπείρου όπως η Βραζιλία, η Αργεντινή και το Μεξικό διαθέτουν πολιτικές για την περίληψη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Pischke *et al.*, 2019; Muhammed and Tekbiyik-Ersoy, 2020). Επιπλέον και αναπτυσσόμενες χώρες υιοθετούν πολιτικές και νομοθεσίες είτε για την ενίσχυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είτε για να πετύχουν τους στόχους για αειφόρο ανάπτυξη (SDGs), αλλά κυρίως για να αντιμετωπίσουν την τρέχουσα ενεργειακή κρίση (Atugua and Tuokuu, 2020).

3.3 Η Ενεργειακή Πολιτική της Κύπρου

3.3.1 Γενικές πληροφορίες

Η Κύπρος είναι ένα νησιωτικό κράτος που βρίσκεται στην νότιο ανατολική γωνία της Μεσογείου και έχει συνολική έκταση 9251 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το νησί είναι γεωγραφικά και εθνικά διαιρεμένο σε δύο μέρη. Στο νότιο μέρος βρίσκεται η διεθνώς αναγνωρισμένη Δημοκρατία της Κύπρου όπου ζουν οι Ελληνοκύπριοι και στο βόρειο μέρος υπάρχει ένα αυτοαποκαλούμενο κράτος το οποίο αναγνωρίζεται μόνο από την Τουρκία και στο οποίο ζουν οι Τουρκοκύπριοι (Laouris and Michaelides, 2018). Σε αυτό το κεφάλαιο περιλαμβάνονται μόνο τα στοιχεία για την Κυπριακή Δημοκρατία. Το πολιτικό σύστημα είναι προεδρική δημοκρατία και η χώρα είναι μέλος της ΕΕ από το 2004 και μέλος του Eurogroup με επίσημο νόμισμα το Ευρώ από το 2008. Σύμφωνα με τα τελευταία δημοσιευμένα στοιχεία, στο τέλος του 2019, ο συνολικός πληθυσμός στα ελεγχόμενα από την Κυπριακή Δημοκρατία εδάφη υπολογίζονταν στις 888.000 (Στατιστική Υπηρεσία, 2019). Οι μόνιμοι κάτοικοι με ξένη υπηκοότητα υπολογίζονταν στο 18.1% του συνολικού πληθυσμού και ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού υπολογίζεται στο 3.7 ανά 1000 πολίτες (Στατιστική Υπηρεσία, 2019). Το 38% του πληθυσμού πάνω από 20 ετών έχει ολοκληρώσει τριτοβάθμια εκπαίδευση ενώ το 46% τουλάχιστον δευτεροβάθμια (CYSTAT, 2021a).

Το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ) της Κύπρου για το 2020 υπολογίστηκε στα €21548.4 εκατομμύρια με ρυθμό αύξησης στο 5.2% (CYSTAT, 2021b). Το ποσοστό ανεργίας κατά

το 2020 ήταν 6%, ελαφρώς αυξημένο συγκρινόμενο με το 2019 (CYSTAT, 2022). Η συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας το 2018 ήταν 0.2 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου και η χώρα παρουσίαζε το μεγαλύτερο μερίδιο πετρελαιοειδών στην μικτή εσωτερική κατανάλωση ενέργειας που παρατηρούνταν μεταξύ των μελών της ΕΕ (89.6 %) και από τα μικρότερα μερίδια κατανάλωσης στερεών καυσίμων (κάτω από 2%). Επιπλέον το δεύτερο μισό του 2019 οι τιμές ηλεκτρισμού στην Κύπρο ήταν μεταξύ των υψηλότερων στην ΕΕ (Eurostat, 2020).

3.3.2 Το ενεργειακό σύστημα της Κύπρου

Η Διεθνής Υπηρεσία Ανανεώσιμης Ενέργειας (International Renewable Energy Agency) εκτιμά ότι η Κύπρος διαθέτει ένα σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμης ενέργειας ικανό να καλύψει το 25 – 40% των συνολικών αναγκών ηλεκτρισμού στη χώρα μέχρι το 2040 (Lin, Wu and Lin, 2016). Το ηλιακό δυναμικό στο νησί υπολογίζεται στα 1900 KWh/m² ανά έτος και το συνολικό αιολικό δυναμικό μεταξύ 150 και 250 MW (Pilavachi et al., 2009). Η δυνατή ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού από βιοπαοδομήσιμα απόβλητα έχει υπολογιστεί στις 242 GWh το ελάχιστο (Kythreotou, Tassou and Florides, 2012). Επιπλέον, η έρευνα για υδρογονάνθρακες στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της Κύπρου έχει δείξει σημαντικά αποθέματα φυσικού αερίου. Οι ανακτήσιμες ποσότητες σύμφωνα με την κυβέρνηση και ξένα ενεργειακά ινστιτούτα υπολογίζονται έως 200 tcf και αναμένεται να γίνουν διαθέσιμες τα επόμενα χρόνια (Cyprus Institute of Energy, 2012 cited in Fokaidis and Kylili, 2014; Kazamias and Zorpas A., 2021). Οι ενεργειακοί πόροι της Κύπρου έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν την αειφορία (Tsangas et al., 2018, 2019). Επιπλέον ένα υποθαλάσσιο καλώδιο για την ηλεκτρική διασύνδεση Ισραήλ, Κύπρου και Ελλάδας, ένας αγωγός φυσικού αερίου από τα αποθέματα της ανατολικής Μεσογείου προς την Ελλάδα και ένα έργο για υποδομές προμήθειας υγροποιημένου φυσικού αερίου στην Κύπρο έχουν χαρακτηριστεί από την ΕΕ ως έργα κοινού ενδιαφέροντος (Project of Common Interest – PCI) (European Commission, 2019).

Ωστόσο, σήμερα το ενεργειακό σύστημα της Κύπρου είναι απομονωμένο και εξαρτάται από ηλεκτρισμό παραγόμενο από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια εκτιμάται ότι θα συνεχίσουν αν αυξάνονται στο μέλλον (CERA, 2021a) και οι ενεργειακές ανάγκες αναμένεται το 2044 να είναι 44% υψηλότερες από ότι ήταν το 2010 (Zachariadis and Taibi, 2015). Το 90% της ενεργειακής κατανάλωσης παράγεται από πετρελαιοειδή κυρίως εισαγόμενα από γειτονικές χώρες όπως η Ελλάδα και το Ισραήλ. Ο ηλεκτρισμός παράγεται από τρεις θερμοηλεκτρικούς σταθμούς που ανήκουν στην Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ), οι οποίοι έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1478 MW και

κυρίως καταναλώνουν βαρύ πετρέλαιο (EAC, no date). Η υπόλοιπη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Republic of Cyprus, 2020). Το μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα της Κύπρου προέρχεται από ηλιακά συστήματα, αλλά υπάρχουν και αιολικά έργα όπως και μονάδες βιομάζας (Zorpas et al., 2017). Η συνολική συμμετοχή τους στο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας το 2020 ήταν 11.9% (CTSO, 2021). Η ισχύς των ΑΠΕ στο νησί αυξάνει με τα χρόνια όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 3.1 και 3.2, καθώς έργα ηλιακής ενέργειας συνεχίζουν να κατασκευάζονται και να συνδέονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 3.1. Ετήσια τοποθετούμενη ισχύς ΑΠΕ στην Κύπρο (CERA, 2021a).

Έτος	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Τοποθετημένη ισχύς μονάδων βιομάζας / βιοαερίου (kW)	0.0	0.0	0.25	3.31	3.56	7.21	7.96	8.76
Τοποθετημένη ισχύς αιολικών γεννητριών και αιολικών πάρκων (kW)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.0	133.5	146.7
Τοποθετημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων (kW)	0.2	0.6	0.8	1.6	2.7	5.6	9.3	16.4
Έτος	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Τοποθετημένη ισχύς μονάδων βιομάζας / βιοαερίου (kW)	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	12.10	12.10
Τοποθετημένη ισχύς αιολικών γεννητριών και αιολικών πάρκων (kW)	146.7	146.7	146.7	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5
Τοποθετημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων (kW)	33.9	61.2	76.5	85.7	112.1	122.7	149.5	229.1

Πίνακας 3.2. Ετήσια ηλεκτροπαραγωγή (GWh) από ΑΠΕ στην Κύπρο (CERA, 2021a).

Έτος	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ηλεκτροπαραγωγή μονάδων βιομάζας / βιοαερίου (GWh)	0.0	0.0	0.0	7.8	19.9	24.8	39.7	37.6
Ηλεκτροπαραγωγή αιολικών γεννητριών και αιολικών πάρκων (GWh)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.4	114.3	185.1
Ηλεκτροπαραγωγή φωτοβολταϊκών συστημάτων (GWh)	0.1	0.3	0.9	1.6	2.9	10.2	19.8	45.3
Έτος	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ηλεκτροπαραγωγή μονάδων βιομάζας / βιοαερίου (GWh)	35.8	37.4	36.6	36.5	36.1	36.1	39.3	43.1
Ηλεκτροπαραγωγή αιολικών γεννητριών και αιολικών πάρκων (GWh)	230.6	182.4	221.4	226.3	211.0	220.6	238.1	240.0
Ηλεκτροπαραγωγή φωτοβολταϊκών συστημάτων (GWh)	45.3	79.9	125.9	145.1	167.8	195.3	216.3	277.9

Τα εγκατεστημένα έργα ανανεώσιμης ενέργειας στην Κύπρο τον Ιανουάριο του 2021 ήταν 637 φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ πάνω από 20 kWp, έξι αιολικά πάρκα και 14 μονάδες βιομάζας. Η ισχύς των έργων βιοαερίου αυξήθηκε ελαφρά το 2019, μετά από έξι έτη στασιμότητας. Η δυναμικότητα των αιολικών έργων δεν έχει διαφοροποιηθεί από το 2015. Το 2020, υπήρχε συνολική εγκατεστημένη ισχύς 77.40 MWe φωτοβολταϊκών συστημάτων καθαρής μέτρησης (net-metering) (CERA, 2021a). Επιπλέον, στο νησί χρησιμοποιείται μια σημαντική ποσότητα θερμότητας για θέρμανση νερού, που παράγεται από ηλιοθερμικά πλαίσια που είναι κυρίως τοποθετημένα σε στέγες κτηρίων, η οποία το 2018 υπολογιζόταν στα 3015 TJ (CYSTAT, 2020). Η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών στην ενέργεια που απαιτείται για τις μεταφορές περιορίζεται στο 3% (Taliotis et al., 2020). Ενώ η παραγωγή

του εγχώριου φυσικού αερίου αναμένεται να ξεκινήσει το 2023 (Taliotis, Rogner, *et al.*, 2017).

3.3.3 Πλαίσιο ενεργειακής πολιτικής στην Κύπρο

Ο πρόεδρος της Κυπριακής Δημοκρατίας είναι αρχηγός του κράτους αλλά και της Κυβέρνησης η οποία ασκεί την εκτελεστική εξουσία. Η νομοθετική εξουσία ασκείται τόσο από την βουλή όσο και από την Κυβέρνηση (Laouris and Michaelides, 2018). Η περιβαλλοντική πολιτική στην Κύπρο είναι ευθύνη του Τμήματος Περιβάλλοντος του Υπουργείου Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος. Η ενεργειακή πολιτική ασκείται από την Υπηρεσία Ενέργειας του Υπουργείου Ενέργειας, Εμπορίου και Βιομηχανίας, στρατηγικοί στόχοι του οποίου είναι η δημιουργία μιας αειφόρου και ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας, η αξιοποίηση της εθνικής δυναμικής εξοικονόμησης ενέργειας και η προώθηση των τοπικών ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων (MECI, 2020a). Η αξιοποίηση των υδρογονανθράκων όπως και η σχετική αδειοδότηση είναι υπό την ευθύνη της Υπηρεσίας Υδρογονανθράκων, επίσης του Υπουργείου Ενέργειας, Εμπορίου και Βιομηχανίας.

Η ενεργειακή πολιτική της Κυβέρνησης της Κυπριακής Δημοκρατίας είναι πλήρως εναρμονισμένη με την ενεργειακή πολιτική της ΕΕ. Έχει τρεις βασικούς άξονες, την διασφάλιση υγιούς ανταγωνισμού στην αγορά, την διασφάλιση της τροφοδοσίας ενέργειας και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας με την ελάχιστη επιβάρυνση στην εθνική οικονομία και στο περιβάλλον (EAC, 2019b). Η Κύπρος είναι πλήρως δεσμευμένη προς τους ενεργειακούς στόχους της ΕΕ και έχει θέσει αντίστοιχους εθνικούς. Σε συμμόρφωση με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς, η Κυπριακή Δημοκρατία έχει ετοιμάσει και υποβάλει το 2020 προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ένα Ολοκληρωμένο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και την Κλιματική Αλλαγή (Integrated National Energy and Climate Plan - INECP) για την περίοδο 2021-2030 (Republic of Cyprus, 2020). Σύμφωνα με το σχέδιο οι εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι για αυτή την περίοδο στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών πολιτικών χωρίζονται σε τρεις ομάδες ως εξής:

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και περιβαλλοντικοί στόχοι,
- αύξηση του μεριδίου ΑΠΕ στην κατανάλωση ενέργειας και
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Συγκεκριμένοι στόχοι για το 2030 είναι, η μείωση κατά 20.9% των εκπομπών από τομείς εκτός του συστήματος εμπορίας ρύπων και μείωση των εκπομπών 24.9% στους τομείς που υπάγονται στο σύστημα, ή αύξηση της συμμετοχής ΑΠΕ στο 23% στην μικρή τελική

κατανάλωση ενέργειας και στο 26% στην μικτή τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού, στο 39% για θέρμανση και ψύξη και στο 14% στον μεταφορικό τομέα. Οι εκπομπές από τη χρήση γης, την αλλαγή χρήσεων γης ή την δασοκομία να αντισταθμίζονται τουλάχιστον από ένα ισοδύναμο. Επιπλέον στόχος είναι η τελική κατανάλωση ενέργειας να μειωθεί κατά 13%, η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας να μειωθεί κατά 17% και η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας την περίοδο 2021-2030 να είναι 243.04 ktoe (Republic of Cyprus, 2020).

Επίσης σύμφωνα με το σχέδιο τα κύρια μέτρα πολιτικής αναπτύσσονται σε έξι πυλώνες προτεραιότητας (Republic of Cyprus, 2020). Ο πρώτος πυλώνας είναι η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που περιλαμβάνει την προώθηση της χρήσης φυσικού αερίου και ΑΠΕ, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στα κτήρια, τη βιομηχανία και στις υποδομές, την μείωση των εκπομπών από τον τομέα των μεταφορών, τους υδροφθοράνθρακες, τον γεωργικό τομέα και τα απόβλητα και την αύξηση των δεξαμενών άνθρακα. Ο δεύτερος πυλώνας είναι οι ΑΠΕ και περιλαμβάνει σχέδια υποστήριξης, συνέργειες με άλλους τομείς, αντικατάσταση παλαιών ηλιακών συλλεκτών, αντικατάσταση παλαιών οχημάτων από ηλεκτρικά, προώθηση της γεωθερμίας, εγκατάσταση ΑΠΕ και τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης στα κτήρια, εγκαταστάσεις αποθήκευσης ηλεκτρισμού, διάφορα μέτρα για τις μεταφορές όπως π.χ. νέα λεωφορεία και χρήση βιοκαυσίμων, άλλα μέτρα για την αύξηση χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης στις μεταφορές και εξαγωγή ενέργειας στην περίπτωση διασύνδεσης.

Ο τρίτος πυλώνας είναι τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και περιλαμβάνει υποχρεώσεις ενεργειακής απόδοσης για του διανομείς ενέργειας, ευνοϊκά δάνεια για μέτρα ενεργειακής απόδοσης, επεμβάσεις και μετασκευές σε κυβερνητικά κτήρια, μέτρα ενημέρωσης και εκπαίδευσης, σχέδια υποστήριξης και κίνητρα, αποδοτικό οδικό φωτισμό, κίνητρα για υπέρβαση των νομικών απαιτήσεων για ενεργειακή απόδοση, εξελιγμένη υποδομή καταμέτρησης, προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στην επιχειρήσεις, αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στον τομέα των μεταφορών, ενεργειακή απόδοση στον τομέα των υδάτων, φορολογία οχημάτων και καυσίμων ανάλογα με τις εκπομπές άνθρακα που υπερβαίνουν τα επίπεδα της νομοθεσίας και προσθήκη στους λογαριασμούς ηλεκτρισμού χρέωσης για ταμείο ΑΠΕ και ενεργειακή απόδοση, ανάλογα με την κατανάλωση. Ένας άλλος πυλώνας είναι η διασφάλιση της τροφοδοσίας που περιλαμβάνει την εισαγωγή υγροποιημένου φυσικού αερίου (Liquefied Natural Gas - LNG) μέσω της απαραίτητης υποδομής και την αύξηση της ευελιξίας του εθνικού ενεργειακού συστήματος.

Επιπλέον υπάρχει ένας πυλώνας για την εσωτερική αγορά που περιλαμβάνει μέτρα για την προώθηση της ηλεκτρικής διασύνδεσης, την ανάπτυξη εσωτερικού δικτύου αγωγών για

φυσικό αέριο, επενδύσεις για ανάπτυξη και ασφαλή λειτουργία του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού, την προώθηση του αναγκαίου νομοθετικού πλαισίου για έργα για την λειτουργία ανταγωνιστικής αγοράς ηλεκτρισμού και προώθηση του έργου κατασκευής υποθαλάσσιου αγωγού. Τέλος, υπάρχει και ένας πύλνας έρευνας, καινοτομίας και ανταγωνιστικότητας που περιλαμβάνει νέα βιομηχανική πολιτική, την εγκαθίδρυση και συμβολή του Υφυπουργείου Καινοτομίας και Ψηφιακού Μετασχηματισμού και την νέα προγραμματική περίοδο για το Ευρωπαϊκό δομικό και επενδυτικό ταμείο και την αναθέωση των εθνικών ταμείων για έρευνα και καινοτομία και την προώθηση κλιματικών και ενεργειακών προτεραιοτήτων.

Η πολιτική για τους υδρογονάνθρακες στην Κύπρο η οποία αποτελεί και το όραμα της Υπηρεσίας Υδρογονανθράκων συνοψίζεται ως «η βέλτιστη και αειφόρο ανάπτυξη των πόρων υδρογονανθράκων της Κύπρου. Όστε να συμβάλουν στη μεγιστοποίηση του εθνικού εισοδήματος και στην προώθηση της οικονομίας της χώρας για το όφελος της κοινωνίας και των μελλοντικών γενεών» (MECI, 2020b). Η Κυπριακή Δημοκρατία έχει διαχωρίσει την ΑΟΖ της σε 13 ελεγχόμενα από την Κυβέρνηση τεμάχια. Μέχρι σήμερα, έχουν εκδοθεί άδειες έρευνας σε διάφορες πετρελαϊκές εταιρείες για εννιά από αυτά. Επιπλέον για το τεμάχιο 12, όπου εντοπίστηκε το κοιτάσμα φυσικού αερίου «Αφροδίτη», έχει εκδοθεί ήδη από τον Νοέμβρη του 2019, άδεια για εκμετάλλευση. Η βέλτιστη εκτίμηση για τα αποθέματα του κοιτάσματος είναι 4.5 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια (Hydrocarbons Service, 2020a). Αν και από τον δικαιούχο της άδειας εκμετάλλευσης, που ήταν και ο αδειούχος έρευνας, έχει ετοιμαστεί και υποβληθεί ήδη από το 2015 σχετικό Σχέδιο Ανάπτυξης και Παραγωγής (Hydrocarbons Service, 2020a), η εξόρυξη δεν έχει ξεκινήσει ακόμη.

Η Υπηρεσία Ενέργειας του Υπουργείου Ενέργειας, Εμπορίου και Βιομηχανίας ελέγχει την ποιότητα των προϊόντων πετρελαίου που εισάγονται και χρησιμοποιούνται στην Κύπρο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του νόμου 148(I)/2003 και των σχετικών κανονισμών. Επίσης εφαρμόζονται οι απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού κανονισμού 98/70/EC για τον έλεγχο της ποιότητας της βενζίνης και του ντίζελ, περιλαμβανομένων των απαιτήσεων για αποστολή αναφορών στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Energy Service, no date b). Επιπλέον η Κυπριακή Δημοκρατία, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της οδηγίας 2009/119/EC, διατηρεί ένα ελάχιστο απόθεμα για την κάλυψη των αναγκών για 90 ημέρες. Αυτή η ευθύνη έχει μεταφερθεί στον Κυπριακό Οργανισμό Διαχείρισης Αποθεμάτων Πετρελαιοειδών, ο οποίος διατηρεί τα αποθέματα σε ενοικιαζόμενες δεξαμενές αποθήκευσης (Energy Service, no date a).

Η εσωτερική αγορά ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου ελέγχεται από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου (ΡΑΕΚ) η οποία έχει σκοπό «να διασφαλίσει μία ανταγωνιστική, ασφαλή και περιβαλλοντικά αειφόρο ενεργειακή αγορά με πρωταρχικό μέλημα την προστασία των δικαιωμάτων των καταναλωτών». Ο συγκεκριμένος οργανισμός έχει την αρμοδιότητα για τις απαραίτητες αδειοδοτήσεις στην αγορά ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου (CERA, 2021a).

Τα μέρη που συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρισμού την Κύπρο σήμερα είναι οι παραγωγοί με θερμοηλεκτρικές μονάδες, οι παραγωγοί ΑΠΕ και οι πωλητές λιανικής. Κανένας δεν επιτρέπεται να παράγει ή προμηθεύει ηλεκτρισμό χωρίς άδεια. Η ΡΑΕΚ εκδίδει άδειες για την κατασκευή μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού και την παραγωγή ηλεκτρισμού είτε για ίδια χρήση, είτε για προμήθεια. Για συστήματα ηλεκτροπαραγωγής από 30 kW έως 1MW και συστήματα ΑΠΕ ισχύος από 50 kW έως 8 MW, παρέχεται άδεια εξαιρέσεως. Η άδειες παραγωγής ή προμήθειας και οι άδειες εξαιρέσεως εκδίδονται κατόπιν υποβολής αιτήσεων σε επίσημα έντυπα και πρέπει να συνοδεύονται από τα απαραίτητα έγγραφα. Το σύστημα διανομής ηλεκτρισμού στο νησί λειτουργεί υπό τον Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς Κύπρου (ΔΣΜΚ) και η διανομή ελέγχεται από τον Διαχειριστή Συστήματος Διανομής. Επίσης ένας Λειτουργός Αγορά συνδράμει στην αγορά ηλεκτρισμού (CERA, 2022a).

Ο βασικός παραγωγός και προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο είναι η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ), η οποία είναι μια δημόσια επιχείρηση που ιδρύθηκε το 1952. Διοικείται από μια αρχή, τα μέλη της οποίας διορίζονται από το Υπουργικό Συμβούλιο μέσω του Υπουργού Ενέργειας, Εμπορίου και Βιομηχανίας (ΕΑΚ, 2019a). Η Αρχή λειτουργεί τους τρεις θερμοηλεκτρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής του νησιού, οι οποίοι λειτουργούν με πετρέλαιο (ΕΑΚ, no date) και σήμερα είναι ο απόλυτος προμηθευτής ηλεκτρισμού στο νησί (CERA, 2022a). Στην ΑΗΚ επίσης ανήκει το σύστημα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού. Η Αρχή κατέχει τις σχετικές άδειες από την ΡΑΕΚ μέσω των νομικών οντοτήτων του ιδιοκτήτη του συστήματος μεταφοράς και του ιδιοκτήτη του συστήματος διανομής (CERA, 2021a). Η ΑΗΚ επίσης κατέχει ένα αριθμό φωτοβολταϊκών πάρκων. Επιπλέον υπάρχουν άλλοι 20 κάτοχοι αδειών προμήθειας ηλεκτρισμού από την ΡΑΕΚ, ένας κάτοχος άδειας κατασκευής ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με συμβατικά καύσιμα για εμπορική χρήση με συνολική ισχύ 130 MWe και ένας σημαντικός αριθμός κατόχων αδειών για κατασκευή και λειτουργία συστημάτων ΑΠΕ, (CERA, 2021b) όπως παρουσιάζεται στους πίνακες 3.1 και 3.2. Οι τιμές ηλεκτρισμού προτείνονται από την ΑΗΚ και εγκρίνονται από την ΡΑΕΚ.

Η εσωτερική αγορά φυσικού αερίου στην Κύπρο είναι σήμερα υπό ανάπτυξη. Σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο, κάθε πρόσωπο που ασκεί δραστηριότητες σχετικά με το φυσικό αέριο επίσης πρέπει να αδειοδοτείται από την ΡΑΕΚ. Αυτές οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν την κατασκευή, λειτουργία και ιδιοκτησία κάθε εγκατάστασης αποθήκευσης, δικτύων αγωγών και σχετικού εξοπλισμού ή και κάθε εγκατάστασης φυσικού αερίου. Επιπλέον περιλαμβάνουν την άσκηση κάθε ενέργειας για τη διαχείριση του συστήματος φυσικού αερίου, τη προμήθεια φυσικού αερίου, καθώς και την άσκηση οποιασδήποτε αρμοδιότητας διαχειριστή ή ιδιοκτήτη για την εισαγωγή, αποθήκευση, μεταφορά και διανομή στο δίκτυο φυσικού αερίου. Κάθε αίτηση για άδεια πρέπει επίσης να υποβάλλεται στην ΡΑΕΚ (CERA, 2022b). Αρμόδια για την εισαγωγή, αποθήκευση, μεταφορά, διανομή και εμπορία φυσικού αερίου, όπως και για την διαχείριση του συστήματος διανομής και προμήθειας φυσικού αερίου στην Κύπρο είναι η Δημόσια Επιχείρηση Φυσικού Αερίου (ΔΕΦΑ), η οποία έχει οριστεί από το Υπουργικό Συμβούλιο της Κυπριακής Δημοκρατίας σαν ο μοναδικός εισαγωγέας και διανομέας φυσικού αερίου στη χώρα (DEFA, no date).

Η Κυπριακή Δημοκρατία είναι κράτος μέλος της ΕΕ. Οπότε οι ευρωπαϊκές οδηγίες και οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί που αφορούν την ενέργεια ισχύουν και στο νησί. Επιπλέον, η χώρα δεσμεύεται από εθνικούς στόχους για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030 σε γραμμή με την δέσμευση της ΕΕ και τους σχετικούς στόχους για μετάβαση σε καθαρή ενέργεια (European Commission, 2020). Αν και σύμφωνα με την πολιτική της ΕΕ, οι εθνικές κυβερνήσεις ασκούν έλεγχο στο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο στις επικράτειες τους, αυτές πρέπει αν ακολουθούν μία ομάδα από κοινούς ευρωπαϊκούς ώστε να διασφαλίζεται ο δίκαιος ανταγωνισμός όταν εκδίδονται άδειες (European Commission, no date). Η σχετική οδηγία για τις συνθήκες για έκδοση αδειών και την αναζήτηση, έρευνα και παραγωγή υδρογονανθράκων έχει υιοθετηθεί στο κυπριακό δίκαιο (Hydrocarbons Service, no date).

Όλοι οι υδρογονάνθρακες που ανακαλύπτονται στην Κύπρο, περιλαμβανομένων αυτών στα χωρικά ύδατα, υφαλοκρηπίδα και την ΑΟΖ του νησιού ανήκουν στην Κυπριακή Δημοκρατία (Hydrocarbons Service, no date). Το Υπουργικό Συμβούλιο είναι το σώμα που εκδίδει άδειες για την αναζήτηση, έρευνα και εκμετάλλευση τους. Οι άδειες αναζήτησης εκδίδονται για ένα έτος. Οι άδειες έρευνας είναι αποκλειστικές άδειες και εκδίδονται για μια αρχική περίοδο μέχρι τρία έτη, με τη δυνατότητα να ανανεωθούν για δύο φορές από δύο έτη η κάθε μία. Σε περίπτωση ανακάλυψης εμπορικών αποθεμάτων, ο αδειούχος έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίσει άδεια εκμετάλλευσης τους. Αυτές οι άδειες εκδίδονται για μια αρχική περίοδο έως 25 έτη με τη δυνατότητα μία ανανέωσης τους για μέχρι άλλα 10 έτη (Hydrocarbons Service, 2020b). Μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί εννέα άδειες έρευνας. Ένας

κάτοχος άδειας έρευνας εξασφάλισε μία άδεια για εκμετάλλευση. Αυτές οι άδειες έχουν εκδοθεί σε διάφορες πολυεθνικές πετρελαϊκές εταιρείες ή σε κοινοπραξίες (Hydrocarbons Service, 2020a). Ένας άλλος βασικός συμμετέχων στη διαχείριση των αποθεμάτων υδρογονανθράκων του νησιού είναι η Κυπριακή Εταιρεία Υδρογονανθράκων, η οποία έχει οριστεί από το Υπουργικό Συμβούλιο ως αρμόδια για τη διαχείριση και την συμμετοχή της Κυπριακής Δημοκρατίας στις δραστηριότητες αναζήτησης, έρευνας και εκμετάλλευσης των υδρογονανθράκων (CHC, 2022).

Κεφάλαιο 4. Ύλη και μεθοδολογία έρευνας

4.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να είναι δυνατόν να μελετηθεί η ενεργειακή στρατηγική και ο ενεργειακός σχεδιασμός της Κύπρου, αλλά και για οποιαδήποτε οργανισμό, κράτος ή και γενικά οντότητα, θα πρέπει να σχεδιαστεί και εφαρμοστεί μια δομημένη ερευνητική μεθοδολογία. Έχοντας ολοκληρώσει την βιβλιογραφική ανασκόπηση, έχει πλέον διαπιστωθεί, τι έχει ήδη ερευνηθεί σχετικά με το αντικείμενο της έρευνας, τι έχει ήδη εφαρμοστεί, ποιο είναι το επιστημονικό αλλά και πρακτικό πλαίσιο, ποια είναι τα δεδομένα, ποια είναι τα κενά και ποιο το πεδίο για επιπλέον έρευνα. Επίσης η ανασκόπηση της παγκόσμιας ενεργειακής στρατηγικής και της ενεργειακής κατάστασης για την Κύπρο έχει αναδείξει τα θέματα που χρήζουν έρευνας, Οπότε είναι πλέον δυνατόν να σχεδιαστεί η μεθοδολογία έρευνας και να καθοριστεί το υλικό βάση του οποίου μπορεί να εφαρμοστεί, ώστε να απαντηθούν τα ερευνητικά ερωτήματα. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι υποθέσεις προς διερεύνηση και οι προσεγγίσεις που εφαρμόστηκαν, ώστε να δοκιμαστούν και να επαληθευθούν ή διαψευστούν.

Επιπλέον, στο σκοπό της παρούσας διατριβής περιλαμβάνεται ο σχεδιασμός και πρόταση τεχνικών και μεθοδολογιών για την αξιολόγηση του ερευνητικού σχεδιασμού. Σε αυτό το κεφάλαιο επίσης παρουσιάζονται τα εργαλεία που σχεδιάστηκαν, καθώς και το υπόβαθρο τους. Αυτά αποτελούν εκτός από μέρος της μεθοδολογίας έρευνας, παράλληλα και μέρος των αποτελεσμάτων της έρευνας. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι που σχεδιάστηκαν προκειμένου να μπορεί να αξιολογηθεί ο ενεργειακός σχεδιασμός στην Κύπρο. Ο σχεδιασμός τους προέκυψε μέσα από την αποτύπωση των απαιτήσεων και την μελέτη των σχετικών εργαλείων που είτε έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία, είτε υπάρχουν γενικότερα διαθέσιμα για αξιολόγηση.

4.2 Σκοπός και στόχοι της έρευνας

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων εργαλείων για την αξιολόγηση των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου στα πλαίσια των πυλώνων της αειφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών και πολιτικών.

Επιμέρους στόχοι είναι να διερευνηθούν τα πιο κάτω:

- α) ποια είναι η οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου,
- β) ποια εργαλεία θεωρούνται πιο αποτελεσματικά για την περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική αξιολόγηση των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων στην Κύπρο – ανάπτυξη εργαλείων (μέθοδοι, δείκτες, κριτήρια, κρίσιμα μεγέθη, ανάπτυξη μοντέλων μέτρησης της αειφορίας κτλ.),
- γ) εάν οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων όσον αφορά την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή τους είναι στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων,
- δ) εάν η εξόρυξη και χρήση υδρογονανθράκων σε σχέση με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο είναι περισσότερο ή λιγότερο επωφελής στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης βάση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων,
- ε) ο προσδιορισμός και ο καθορισμός μεταβλητών βάση των οποίων να μπορεί να μετρηθεί και να διασφαλιστεί η αειφόρος εκμετάλλευση ενεργειακών πόρων – η περίπτωση της Κύπρου,
- στ) να προσδιοριστούν και να καθοριστούν σενάρια (what if) γεωστρατηγικών συνθηκών για την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων της Κύπρου.

4.3 Διαδικασία εκπόνησης έρευνας και ερευνητικές υποθέσεις

Προκειμένου να διερευνηθεί το γενικότερο ερευνητικό ερώτημα και να επιτευχθούν οι επιμέρους ερευνητικοί στόχοι, έχει σχεδιαστεί και ακολουθείται μεθοδολογία έρευνας. Επίσης διατυπώνονται σχετικές ερευνητικές υποθέσεις, η επαλήθευση ή διάψευση των οποίων θα δώσει απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα. Αρχικά θα γίνει η επιλογή των ερευνητικών εργαλείων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν. Αυτά θα πρέπει να είναι τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Θα πρέπει να δίνουν τη δυνατότητα να μελετηθεί εις βάθος η κατάσταση, αλλά και να παρέχουν τη δυνατότητα σύγκρισης. Οπότε θα σχεδιαστούν εναλλακτικά εργαλεία με χρήση των οποίων θα είναι δυνατόν να μελετηθούν συστηματικά η κατάσταση σχετικά με τον ενεργειακό σχεδιασμό στην Κύπρο, οι διαθέσιμες επιλογές αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων του νησιού, η στρατηγική της Κύπρου σε σχέση με την ενέργεια και τους ενεργειακούς πόρους της και οι πολιτικές, όπως και εναλλακτικές επιλογές, αλλά και να είναι δυνατόν να γίνει αξιολόγηση τους. Αυτό θα γίνει με βάση τα στοιχεία που έχουν προκύψει από την βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα εργαλεία

αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού και μελέτη των διαθέσιμων εργαλείων αξιολόγησης της αειφορίας. Επίσης θα συνυπολογιστούν τα ευρήματα από την ανασκόπηση των παγκόσμιων ενεργειακών στρατηγικών και πολιτικών και όσων ισχύουν για την Κύπρο. Βασιζόμενοι στα ευρήματα της ανασκόπησης και τα δεδομένα θα σχεδιαστούν δύο διαφορετικά προτεινόμενα εργαλεία τα οποία θα προτείνουν μεθόδους, δείκτες, κριτήρια, κρίσιμα μεγέθη και μοντέλα μέτρησης της αειφορίας. Συγκεκριμένα θα σχεδιαστούν δύο εναλλακτικές μεθοδολογίες με χρήση των οποίων θα είναι δυνατόν να διερευνηθούν οι οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές πτυχές των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου. Εφαρμόζοντας τις μεθοδολογίες θα γίνει αναλυτική μελέτη και καταγραφή του εσωτερικού και εξωτερικού πλαισίου και τα δεδομένα στον κύκλο ζωής που αφορούν την στρατηγική και τις πολιτικές της Κυπριακής Δημοκρατίας σχετικά με την ενέργεια, την υφιστάμενη κατάσταση όσον αφορά την προμήθεια ενέργειας και τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους και τις πιθανές επιλογές εκμετάλλευσης τους και για σχεδιασμό ενεργειακής στρατηγικής. Με βάση την ανάλυση θα είναι δυνατόν να εντοπιστούν και να καταγραφούν οι πτυχές για κάθε συνιστώσα της αειφορίας. Για να γίνει αυτό θα χρησιμοποιηθούν εργαλεία ποιοτικής ανάλυσης. Η πρώτη μηδενική υπόθεση που θα δοκιμαστεί σε αυτό το σημείο είναι η εξής:

H_{10} : Οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου δεν παρουσιάζουν κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική πτυχή.

Κατόπιν και προκειμένου να προσδιοριστούν οι μεταβλητές βάση των οποίων θα μπορεί να μετρηθεί και να διασφαλιστεί η αειφόρος εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων, με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, θα διαμορφωθούν μεγέθη τα οποία να χαρακτηρίζουν εάν υπάρχει την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου και να μπορούν εάν είναι δυνατόν να μετρηθούν. Εδώ προκύπτει προς δοκιμή η δεύτερη μηδενική ερευνητική υπόθεση:

H_{20} : Η περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί.

Για την δοκιμή των εργαλείων αξιολόγησης της αειφορίας που σχεδιάστηκαν, θα διερευνηθούν πρώτα τα σενάρια γεωστρατηγικών συνθηκών για την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων της Κύπρου. Με βάση τα δεδομένα και τις πιθανές επιλογές, θα σχεδιαστούν πιθανά διαφορετικά σενάρια εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου. Σε αυτά τα σενάρια θα εφαρμοστούν τα δύο εναλλακτικά εργαλεία, ώστε να προκύψει ποιο είναι το μέγεθος της περιβαλλοντικής, κοινωνικής και οικονομικής πτυχής

των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου και ποιο σενάριο είναι το βέλτιστο. Επίσης θα μελετηθεί ποια από τις προτεινόμενες μεθόδους είναι καταλληλότερη για χρήση για την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου.

Με βάση τα πιο πάνω θα δοκιμαστούν η τρίτη και η τέταρτη αρνητικές υποθέσεις ως εξής:

H3₀ : Τα διαφορετικά σενάρια εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου δεν διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά την περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική πτυχή τους.

H4₀ : Οι προτεινόμενες μέθοδοι αξιολόγησης των ενεργειακών στρατηγικών της Κύπρου δεν διαφέρουν μεταξύ τους.

Επίσης με την εφαρμογή και από τα αποτελέσματα της εφαρμογής των διαφορετικών μεθόδων αξιολόγησης θα προκύψει εάν είναι στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων όσον αφορά την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή τους. Για να γίνει αυτό θα δοκιμαστεί η πέμπτη αρνητική υπόθεση:

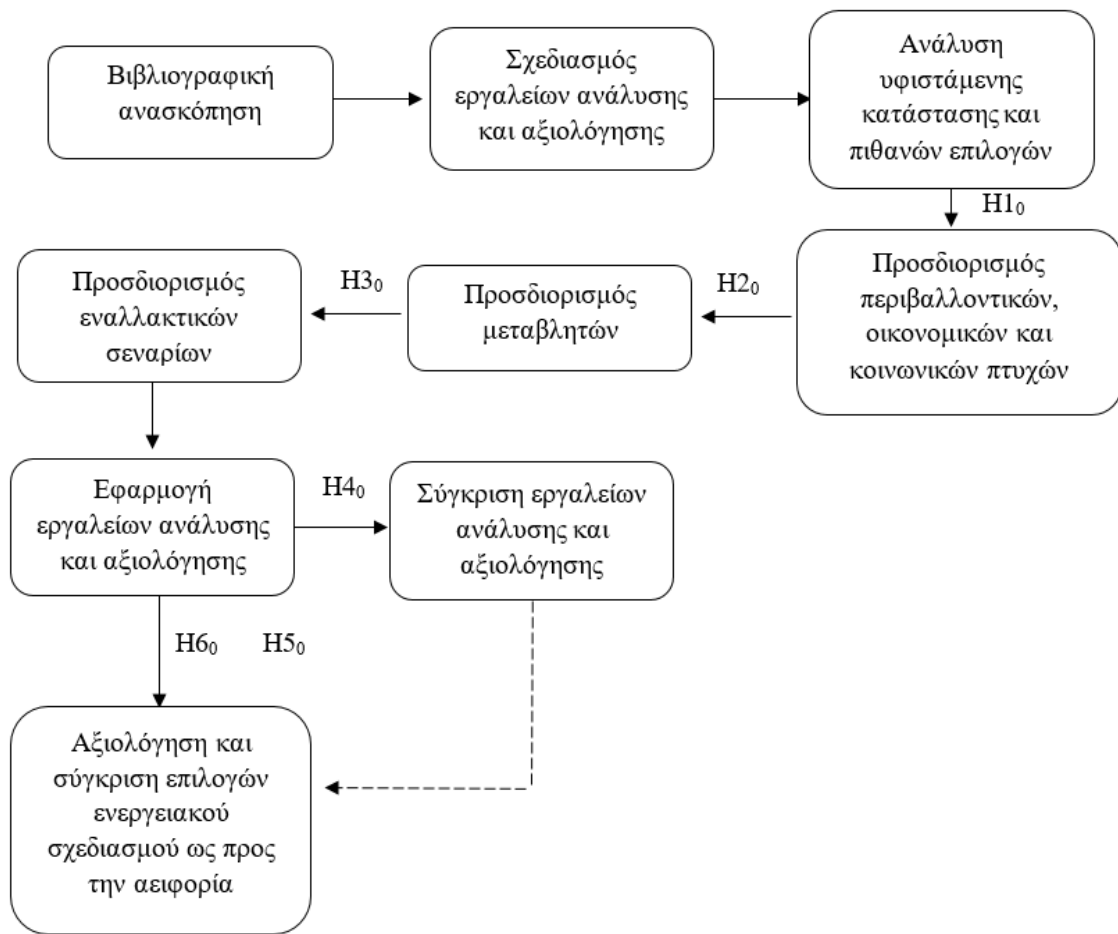
H5₀ : Οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου όσον αφορά την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή τους δεν είναι στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων.

Τέλος δεδομένου ότι η Κύπρος διαθέτει σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και διαπιστωμένα κοιτάσματα υδρογονανθράκων, υφίσταται εναλλακτική χρήση της κάθε μίας από τις δύο επιλογές. Προκειμένου να διαπιστωθεί ποια προσέγγιση είναι η πλέον επωφελής σύμφωνα με κοινωνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια αειφορίας, θα αξιολογηθούν και συγκριθούν τα σχετικά σενάρια με βάση τα εργαλεία αξιολόγησης που προτείνονται. Έτσι θα δοκιμαστεί και η έκτη αρνητική υπόθεση, η οποία είναι η εξής.

H6₀ : Η εξόρυξη και χρήση υδρογονανθράκων δεν διαφέρει σε σχέση με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης βάση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων.

Στο Σχεδιάγραμμα 4.1 παρουσιάζονται τα στάδια και το διάγραμμα ροής διεξαγωγής της έρευνας, καθώς και τα σημεία δοκιμής των υποθέσεων που έχουν διατυπωθεί. Σημαντικό είναι να ληφθεί υπόψη στη ροή της έρευνας, ότι η επαλήθευση των μηδενικών υποθέσεων

που διατυπώνονται στα αρχικά στάδια, μπορεί να οδηγήσει και στην επαλήθευση των επόμενων μηδενικών υποθέσεων και στην εξαγωγή ανάλογων συμπερασμάτων.



Σχεδιάγραμμα 4.1. Διαδικασία εκπόνησης της έρευνας.

4.4 Ερευνητικά εργαλεία

Οι μέθοδοι έρευνας είναι όλες αυτές οι μέθοδοι ή τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την διεξαγωγή της έρευνας. Μπορεί να είναι στατιστικές τεχνικές με τις οποίες θα διαπιστωθεί η σχέση μεταξύ των δεδομένων και των αγνώστων ή μέθοδοι με τις οποίες θα αξιολογηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων (Kothari, 2004). Στην παρούσα διατριβή από τη μία στόχος είναι να σχεδιαστούν εργαλεία με τα οποία θα μπορεί να αξιολογηθεί ο ενεργειακός σχεδιασμός και από την άλλη να δοκιμαστούν οι υποθέσεις που έχουν διατυπωθεί. Για τον σχεδιασμό των μεθόδων αξιολόγησης χρησιμοποιούνται είτε αυτούσια είτε στοιχεία μεθόδων ανάλυσης τόσο ποιοτικής όσο και ποσοτικής. Αναλυτικά χρησιμοποιούνται τα εργαλεία που παρουσιάζονται πιο κάτω.

4.4.1 Δείκτες αειφορίας

Οι δείκτες είναι εργαλεία που χρησιμοποιούνται ευρέως για την μέτρηση της αειφορίας. Προσδιορίζουν τα σημαντικά χαρακτηριστικά για την αειφόρο ανάπτυξη και η διαθεσιμότητα τους είναι προαπαιτούμενη για την μετατροπή του μοντέλου αειφόρου ανάπτυξης σε πολιτική (Schlör, Fischer and Hake, 2013). Επίσης, ποσοτικοποιούν τις πληροφορίες, συγκεντρώνοντας διαφορετικά και πολλαπλά δεδομένα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκφράσουν πολύπλοκα φαινόμενα με απλό τρόπο, συμπεριλαμβανομένης της εξέλιξης τους στη διάρκεια του χρόνου (Herva et al., 2011). Ο υπολογισμός τους γίνεται με την έκφραση του μεγέθους προς εξέταση προς μία μονάδα αναφοράς, είτε ποσοτική, είτε χρονική. Ο ΟΗΕ, ο Οργανισμός για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη και η ΕΕ, όπως και εταιρείες και μη-κυβερνητικοί οργανισμοί έχουν αναπτύξει διάφορες ομάδες δεικτών καλύπτοντας την οικονομική, την κοινωνική, αλλά και την περιβαλλοντική διάσταση της αειφορίας (Heijungs, Huppel and Guinée, 2010). Σαν εργαλείο έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές σχετικά με την ενέργεια, όπως για παράδειγμα για την αξιολόγηση διαφορετικών έργων ανανεώσιμης ενέργειας (Zorbas et al., 2017) και στην αξιολόγηση της ασφάλειας της τροφοδοσίας ενέργειας για την ΕΕ (Chalvatzis and Ioannidis, 2017). Όπως έχει προκύψει από τη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, επίσης έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του στρατηγικού ενεργειακού σχεδιασμού και των ενεργειακών πολιτικών.

4.4.2 Ανάλυση PESTEL

Η μέθοδος PESTEL ή PESTLE (Political, Economic, Social, Technical, Environmental, Legal) είναι ένα δημοφιλές εργαλείο, βάση του οποίου αναλύεται το πολιτικό, οικονομικό, κοινωνικό, τεχνολογικό, περιβαλλοντικό και νομικό πλαίσιο ενός οργανισμού για να αναγνωριστούν τα εξωτερικά θέματα τα οποία θα μπορούσαν να επιδράσουν στις λειτουργίες του (Team FME, 2013). Σύμφωνα με τους (Rastogi and Trivedi, 2016) αποτελεί ένα αναλυτικό εργαλείο για στρατηγικό επιχειρηματικό σχεδιασμό και βοηθά στην αντίληψη των εξωτερικών επιρροών σε μια επιχείρηση αλλά και για ένα έργο, ενώ θεωρείται χρήσιμο για τέσσερις λόγους. Βοηθά να εντοπιστούν ευκαιρίες και ειδοποιεί έγκαιρα για σημαντικές απειλές, αποκαλύπτει την κατεύθυνση των αλλαγών στο περιβάλλον, βοηθώντας στην έγκαιρη προσαρμογή, βοηθά ώστε να μην ξεκινάνε έργα που θα αποτύχουν για λόγους εκτός ελέγχου και βοηθά στην ανάπτυξη ορθής αντίληψης για ένα νέο περιβάλλον, ώστε να αποφεύγονται ασαφείς υποθέσεις όταν κάποιος εισέρχεται σε αυτό.

Όντας ένα πρακτικό επιχειρηματικό εργαλείο, από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι η ανάλυση PESTLE ή PESTEL έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως και στην έρευνα σχετικά με την ενέργεια. Οι (Fozer et al., 2017) το χρησιμοποίησαν σε συνδυασμό με την AKZ και μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης για την αξιολόγηση εναλλακτικών διεργασιών σύλληψης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS). Εφαρμόστηκε επίσης για την ανάλυση της ανάπτυξης της Κινεζικής βιομηχανίας αποτέφρωσης για ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα (Song, Sun and Jin, 2017). Σε συνδυασμό με την ανάλυση SWOT και την πολυκριτηριακή μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process) εφαρμόστηκε και για την αξιολόγηση του τομέα των υδρογονανθράκων στην Κύπρο (Tsangas et al., 2019), όπως και για την ανάλυση ενεργειακών συστημάτων και τον εντοπισμό σχετικών εμποδίων αλλά και προκλήσεων (Cholewa, Mammadov and Nowaczek, 2022).

4.4.3 Ανάλυση SWOT

Η ανάλυση SWOT είναι ένα εργαλείο στρατηγικής ανάλυσης που συνδυάζει την μελέτη των δυνατών σημείων και αδύνατων σημείων ενός οργανισμού, μιας περιοχής ή ενός τομέα με τη μελέτη των ευκαιριών και των απειλών στο περιβάλλον του (Fertel et al., 2013). Το όνομα της ανάλυσης SWOT προκύπτει από τα αρχικά στα αγγλικά των λέξεων δυνατά σημεία (Strengths), αδύνατα σημεία (Weaknesses), ευκαιρίες (Opportunities) και απειλές (Threats). Τα δυνατά σημεία και οι ευκαιρίες είναι τα θετικά χαρακτηριστικά ενώ τα αδύνατα σημεία και οι απειλές τα αρνητικά (Kamran, Fazal and Mudassar, 2020). Τα δυνατά σημεία είναι θετικά και τα αδύνατα σημεία αρνητικά που συνδέονται με τους εσωτερικούς παράγοντες του υπό μελέτη συστήματος, ενώ οι ευκαιρίες είναι εξωτερικοί παράγοντες που έχουν θετική αλληλεπίδραση με το σύστημα και οι απειλές είναι οι αρνητικές επιδράσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος (Srdjevic, Bajcetic and Srdjevic, 2012). Τυπικά, πρώτα μελετώνται τα εσωτερικά δυνατά και αδύνατα σημεία τοποθετούμενα στην πάνω γραμμή ενός πλέγματος 2 X 2 και στην κάτω γραμμή του πλέγματος περιλαμβάνονται οι εξωτερικές ευκαιρίες και απειλές. Κατατάσσοντας τα ευνοϊκά και δυσμενή θέματα στα τέσσερα τεταρτημόρια του πλέγματος SWOT, οι σχεδιαστές είναι δυνατόν να κατανοήσουν καλύτερα πως τα δυνατά σημεία μπορούν να μοχλευτούν, να αντιληφθούν νέες ευκαιρίες και επίσης να κατανοήσουν πως οι αδυναμίες μπορούν να επιβραδύνουν την πρόοδο ή να μεγιστοποιήσουν τις απειλές για το οργανισμό (Helms and Nixon, 2010).

Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού, όπως για παράδειγμα για την ανάλυση της συνοχής μεταξύ περιφερειακών και ομοσπονδιακών ενεργειακών πολιτικών στον Καναδά (Fertel et al., 2013), για την αξιολόγηση ενεργειακών

σεναρίων για τη νότια Ασία (Ul-Haq et al., 2020) και για την ανάλυση του ενεργειακού τομέα στη Βόρεια Μακεδονία (Markovska, Taseska and Pop-Jordanov, 2009). Επίσης έχει εφαρμοστεί ως βάση για εντοπισμό κριτηρίων για χρήση σε πολυκριτηριακές μεθόδους αξιολόγησης ενεργειακών πολιτικών στην Τουρκία (Cayir Ervural et al., 2018), αλλά και για την αξιολόγηση του τομέα των υδρογονανθράκων στην Κύπρο σε συνδυασμό με την ανάλυση PESTEL και την μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Tsangas et al., 2019).

4.4.4 Η πολυκριτηριακή μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process - AHP)

Η μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Analytical Hierarchy Process) είναι μία πολυκριτηριακή μέθοδος λήψης αποφάσεων που έχει προταθεί από τον Saaty και κατά την οποία ένα πρόβλημα αξιολόγησης δομείται ως ένα πρόβλημα ιεράρχησης (Saaty, 1980). Στο πρώτο βήμα της μεθόδου το πρόβλημα διασπάται σε στοιχεία ανάλογα με τα κοινά χαρακτηριστικά τους και σχηματίζεται ένα ιεραρχικό μοντέλο που δείχνει τη σχέση μεταξύ στόχου και κριτηρίων και εναλλακτικών λύσεων. Στο δεύτερο βήμα καθορίζεται η βαρύτητα κάθε κριτηρίου. Αυτό γίνεται με την ζευγαρωτή σύγκριση τους μέσω μιας μήτρας ζευγαρωτής σύγκρισης, στην οποία χρησιμοποιούνται λεκτικοί όροι που περιλαμβάνουν προφορικές κρίσεις από τους λήπτες της απόφασης. Η εγγραφή στη γραμμή i και στη στήλη j στη μήτρα A (a_{ij}) δείχνει πόσο περισσότερο σημαντικό είναι το κριτήριο i από το κριτήριο j σε σχέση με την κάθε εναλλακτική. Για να μετασχηματιστούν οι λεκτικές κρίσεις σε αριθμητικές ποσότητες γίνεται χρήση ακέραιων τιμών που συνθέτουν μία κλίμακα από το 1 έως το 9 ως εξής (Saaty, 1980; Mateo, 2012a):

όταν οι στόχοι i και j είναι ισοδύναμης σημασίας τότε τιμή $a_{ij} = 1$

όταν ο στόχος i είναι ελαφρώς πιο σημαντικός από το στόχο j τότε τιμή $a_{ij} = 3$

όταν ο στόχος i είναι ισχυρά πιο σημαντικός από το στόχο j τότε τιμή $a_{ij} = 5$

όταν ο στόχος i είναι πολύ ισχυρά ή προφανώς πιο σημαντικός από το στόχο j τότε τιμή $a_{ij} = 7$

όταν ο στόχος i είναι απόλυτα πιο σημαντικός από το στόχο j τότε τιμή $a_{ij} = 9$.

Οι τιμές 2, 4, 6, 8 δίνονται για ενδιάμεσες κρίσεις, για παράδειγμα, τιμή 8 σημαίνει ότι ο στόχος i είναι μεταξύ του ισχυρά και του απολύτως πιο σημαντικός από το στόχο j

Σύμφωνα με τον Mateo (2012a), όταν έχει ετοιμαστεί η ζευγαρωτή μήτρα σύγκρισης, πρέπει να επαληθευτούν οι πιο κάτω κανόνες:

1. Εάν $a_{ij} = \alpha$, τότε $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$
2. Εάν το κριτήριο i κρίνεται ότι είναι ισοδύναμης σχετικής σημασίας με το κριτήριο j τότε $a_{ij} = a_{ji} = 1$ και $a_{ii} = 1$ για όλα τα i .
3. Εάν όλες οι συγκρίσεις είναι τέλεια συνεπείς τότε ισχύει η σχέση $a_{ik} = a_{ij} = a_{jk} \forall i, j, k$.

Για να ανακτηθεί το άνωσμα $W = [w_1, w_2, \dots, w_N]$ από την A , που υποδεικνύει την τιμή για κάθε κριτήριο που δίνεται στη ζευγαρωτή μήτρα σύγκρισης ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία δύο βημάτων:

1. Για κάθε εγγραφή στη στήλη A_s διαιρείται κάθε εγγραφή στη στήλη i της A με το άθροισμα των εγγραφών στη στήλη i . Αυτό δημιουργεί μία νέα μήτρα που ονομάζεται A_{norm} (normalized) στην οποία το άθροισμα των εγγραφών στην κάθε στήλη είναι 1.
2. Εκτιμάται το W_j ως ο μέσος όρος των εγγραφών στη γραμμή i της A_{norm} .

Όταν έχει ετοιμαστεί η ζευγαρωτή μήτρα σύγκρισης επίσης απαιτείται να ελεγχθεί για τη συνέπεια της (consistency). Ασήμαντες ασυνέπειες είναι συνηθισμένες και δεν δημιουργούν σοβαρές δυσκολίες, ωστόσο για τον έλεγχο της συνέπειας των συγκρίσεων των ληπτών των αποφάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη διαδικασία τεσσάρων βημάτων.

1. Υπολογίζεται η AW^T , όπου το W δηλώνει την εκτίμηση για τις βαρύτητες.
2. Εντοπίζεται η μέγιστη τιμή Eigen (λ_{\max}):

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{i_{\text{oστη}} \text{εγγραφή στην } AW^T}{i_{\text{oστη}} \text{εγγραφή στην } W^T}$$

3. Υπολογίζεται ο Δείκτης Συνέπειας CI (Consistency Index) ως εξής:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max}) - n}{n - 1}$$

Όσο μικρότερος είναι ο CI, τόσο μικρότερη είναι η απόκλιση από τη συνέπεια. Εάν ο CI είναι επαρκώς μικρός οι συγκρίσεις των ληπτών απόφασης είναι πιθανώς αρκετά συνεπείς για να δώσουν χρήσιμες εκτιμήσεις της βαρύτητας του κάθε στόχου. Για τέλεια συνεπή απόφαση η $i_{\text{oστη}}$ εγγραφή στην $AW^T = n$ ($i_{\text{oστη}}$ εγγραφή της W^T). Αυτό συνεπάγεται ότι η τελειώς συνεπής λήψη απόφασης έχει $CI = 0$.

4. Συγκρίνεται ο Δείκτης Συνέπειας CI με ένα Τυχαίο Δείκτη RI (Random Index) για την κατάλληλη τιμή των n, όπως έχει καθοριστεί (Saaty, 1980; Mateo, 2012a).
5. Εάν $\frac{CI}{RI} < 0.10$ ο βαθμός συνέπειας είναι ικανοποιητικός, αλλά για $\frac{CI}{RI} > 0.10$ μπορεί να υπάρχουν σοβαρές ασυνέπειες και μπορεί να εκδοθούν αποτελέσματα χωρίς σημασία.

Στο τρίτο βήμα της μεθόδου ετοιμάζεται μία μήτρα ζευγαρωτών για κάθε εναλλακτική και υπολογίζεται η αξία για το κάθε κριτήριο και για την κάθε εναλλακτική, ενώ στο τέταρτο βήμα υπολογίζεται η τελική αξία για την κάθε εναλλακτική (Saaty, 1980; Mateo, 2012a).

Η μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, όπως και άλλες πολυκριτηριακές μέθοδοι έχει χρησιμοποιηθεί στην έρευνα σχετικά με την ενέργεια είτε από μόνη της είτε σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους. Έχει ευρεία χρήση για την αξιολόγηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Mateo, 2012a), αλλά και εφαρμογές για την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού ή ενεργειακών στρατηγικών και πολιτικών, κυρίως σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους (Pušnik and Sučić, 2014; Büyükköçkan, Karabulut and Mukul, 2018; Aryanpur et al., 2019).

4.4.5 Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής

Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (AKZ) είναι μια τυποποιημένη μέθοδος η οποία «αντιμετωπίζει τις περιβαλλοντικές πτυχές και δυνατές επιπτώσεις (π.χ. τη χρήση πόρων και τις περιβαλλοντικές συνέπειες των εκλύσεων) σε όλη της ζωή ενός προϊόντος από την απόκτηση των πρώτων υλών, στην παραγωγή, στη χρήση, στην επεξεργασία στο τέλος ζωής, στην ανακύκλωση και στην τελική διάθεση (δηλαδή από την κούνια στον τάφο)» (ISO, 2006a). Μπορεί να βρει εφαρμογή για ανάπτυξη ή και βελτίωση προϊόντων, στρατηγικό σχεδιασμό, χάραξη πολιτικής, εμπορική προώθηση και άλλες εφαρμογές (ISO, 2006a).

Το πρότυπο ISO 14040:2006, «Περιβαλλοντική Διαχείριση – Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής – Αρχές και Πλαίσιο» (ISO, 2006a) περιέχει τις αρχές για την εκπόνηση μιας μελέτης AKZ. Το ISO 14044:2006 Περιβαλλοντική Διαχείριση – Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής – Απαιτήσεις και καθοδήγηση» (ISO, 2006b) περιέχει κατευθυντήριες οδηγίες και απαιτήσεις για την εκπόνηση των μελετών. Σύμφωνα με το ISO 14040 : 2006 (ISO, 2006a) μία μελέτη AKZ περιλαμβάνει τέσσερις φάσεις ως εξής:

- i. Τον καθορισμό του σκοπού και των στόχων, όπου αποφασίζονται το υπό μελέτη σύστημα, τα όρια του και η απαιτούμενη λεπτομέρεια. Σε αυτή τη φάση επίσης

επιλέγεται η λειτουργική μονάδα (Functional Unit - FU) του υπό μελέτη προϊόντος η υπηρεσίας στην οποία θα γίνεται αναφορά κατά την μελέτη.

- ii. Την ανάλυση της απογραφής, όπου γίνεται η επιλογή και απόδοση των εισερχομένων και εξερχομένων του υπό μελέτη συστήματος κύκλου ζωής.
- iii. Την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπου αξιολογείται η περιβαλλοντική σημασία των επιπτώσεων στον κύκλο ζωής.
- iv. Την ερμηνεία, όπου τα αποτελέσματα συνοψίζονται και εξάγονται συμπεράσματα, εισηγήσεις και λαμβάνονται αποφάσεις.

Η μέθοδος έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί για αξιολόγηση ενεργειακών προϊόντων, αλλά και συστημάτων. Έχει για παράδειγμα εφαρμοστεί για την σύγκριση συμβατικών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης με συστήματα που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων (Beccali et al., 2016). Επίσης έχει εφαρμοστεί για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός έργου έρευνας και αξιοποίησης σχιστολιθικού φυσικού αερίου στο Μπούργκος της Ισπανίας (Costa et al., 2018). Επίσης ο συνδυασμός AKZ με Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών έχει εφαρμοστεί για την περιβαλλοντική αξιολόγηση ενεργειακών ανακατασκευών στην μητροπολιτική περιοχή της Βαρκελώνης (García-Pérez, Sierra-Pérez and Boschmonart-Rives, 2018). Αντίστοιχα, όπως έχει προκύψει από την βιβλιογραφική ανασκόπηση η μέθοδος χρησιμοποιείται σε αρκετές περιπτώσεις για αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού και ενεργειακών πολιτικών. Επιπλέον, ενώ το ISO 14040:2006 αναφέρει ότι η AKZ έχει εφαρμογή μόνο για περιβαλλοντικά θέματα, υπάρχει επίσης η κοινωνική AKZ (social LCA - sLCA) και το κόστος στον κύκλο ζωής (Life Cycle Costing - LCC), οι οποίες διέπονται από τις ίδιες αρχές, αξιολογώντας όμως αντίστοιχα τις κοινωνικές επιπτώσεις και τις ροές κόστους (Dong et al., 2018).

4.4.6 Εναλλακτικά σενάρια

Η εξέταση ή αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων είναι αρκετά κοινή πρακτική στην έρευνα σχετικά με τον σχεδιασμό για την ενέργεια (Zachariadis and Taibi, 2015; Nikolaev and Konidari, 2017; Cusenza et al., 2020; Gulagi et al., 2020; Nam, Hwangbo and Yoo, 2020; Kochanek, 2021). Επίσης η ανάπτυξη σεναρίων χρησιμοποιείται ευρέως για την διαμόρφωση ενεργειακής πολιτικής (Hooper et al., 2018). Τα σενάρια μπορεί να αποτελούν είτε πραγματικότητες, αλλά και να βασίζονται σε στόχους, ενώ μπορούν να είναι και προτάσεις που προκύπτουν από την έρευνα με βάση τις απαιτήσεις ή τις προοπτικές. Στους σκοπούς της παρούσας έρευνας περιλαμβάνεται ο σχεδιασμός μεθόδων αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού. Για να γίνει αυτό οι μέθοδοι που θα προταθούν θα

πρέπει να δοκιμαστούν στις ίδιες παραμέτρους. Γι' αυτό το λόγο θα διατυπωθούν εναλλακτικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού. Αυτά θα βασίζονται στην ανασκόπηση της ενεργειακής κατάστασης στην Κύπρο και στους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους και επιλογές. Επίσης τα σενάρια που θα χρησιμοποιηθούν θα αποτυπώνουν σχεδιασμούς οι οποίοι θα λαμβάνουν υπόψη τα ερευνητικά ερωτήματα και τις υποθέσεις της έρευνας, ώστε η αξιολόγηση τους να δίνει απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα.

4.5 Εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης της αειφορίας

Για την εκπόνηση της παρούσας έρευνας, την δοκιμή των ερευνητικών υποθέσεων και την διερεύνηση των ερευνητικών ερωτημάτων σχεδιάστηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου, οι οποίες παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

4.5.1 Μέθοδος PESTEL – SWOT – Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων

Η μία μέθοδος χρησιμοποιεί συνδυασμό των εργαλείων ποιοτικής ανάλυσης PESTEL SWOT για την ανάδειξη δεικτών αειφορίας και στοιχεία της μεθόδου Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων για την ποσοτικοποίηση τους.

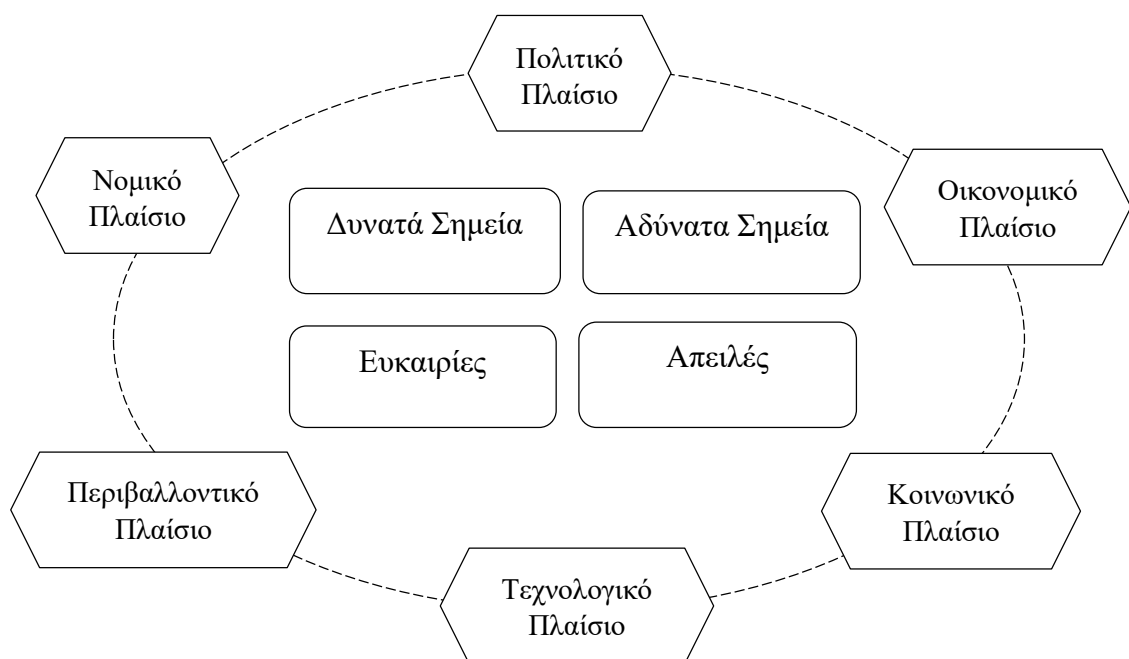
4.5.1.1 Ιεραρχική Δόμηση Προβλήματος

Για την ποιοτική αξιολόγηση ενός ενεργειακού στρατηγικού σχεδίου ή μίας ενεργειακής πολιτικής αρχικά θα πρέπει να καθοριστούν τα κριτήρια, βάση των οποίων θα αξιολογηθεί. Αυτό είναι δυνατόν να γίνει εφαρμόζοντας συνδυασμό των μεθόδων PESTEL και SWOT. Με τη μέθοδο ανάλυσης PESTEL καταγράφεται το πολιτικό, οικονομικό, κοινωνικό, τεχνολογικό, περιβαλλοντικό και νομικό πλαίσιο για το σχέδιο, την στρατηγική ή την πολιτική. Οπότε προκύπτει μια αναλυτική περιγραφή του εξωτερικού περιβάλλοντος και των παραγόντων που επηρεάζουν την υπό μελέτη κατάσταση. Από την ανάλυση SWOT προκύπτουν τα εξωτερικά, αλλά και τα εσωτερικά θέματα που αφορούν την στρατηγική, την πολιτική ή το σχέδιο και τα οποία είτε πρέπει να ενισχυθούν ως δυνατά σημεία και ευκαιρίες, είτε να περιοριστούν ως αδύνατα σημεία ή απειλές όπως παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 4.2 (Tsangas *et al.*, 2019).

Σύμφωνα με τους Fertel *et al.* (2013) είναι δύσκολο να γίνει η διάκριση μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση μεταξύ των δυνατών σημείων και ευκαιριών και των μεταξύ των αδύνατων σημείων και των απειλών. Οι εξωτερικοί παράγοντες είναι αυτοί που δεν είναι στον έλεγχο του συστήματος ενώ οι εσωτερικοί αυτοί που είναι υπό τον έλεγχο του (Nwagbara, 2011). Οπότε

προκειμένου να αποφευχθεί η σύγχυση για κάθε συστατικό του περιβάλλοντος κατά την ανάλυση SWOT και για κάθε δεδομένο που προκύπτει εξετάζεται ακριβώς αυτή η διάκριση προκειμένου να καταταχθεί ως εσωτερικό ή εξωτερικό στοιχείο και ανάλογα είτε ως δυνατό σημείο ή ευκαιρία είτε ως αδύνατο σημείο ή απειλή.

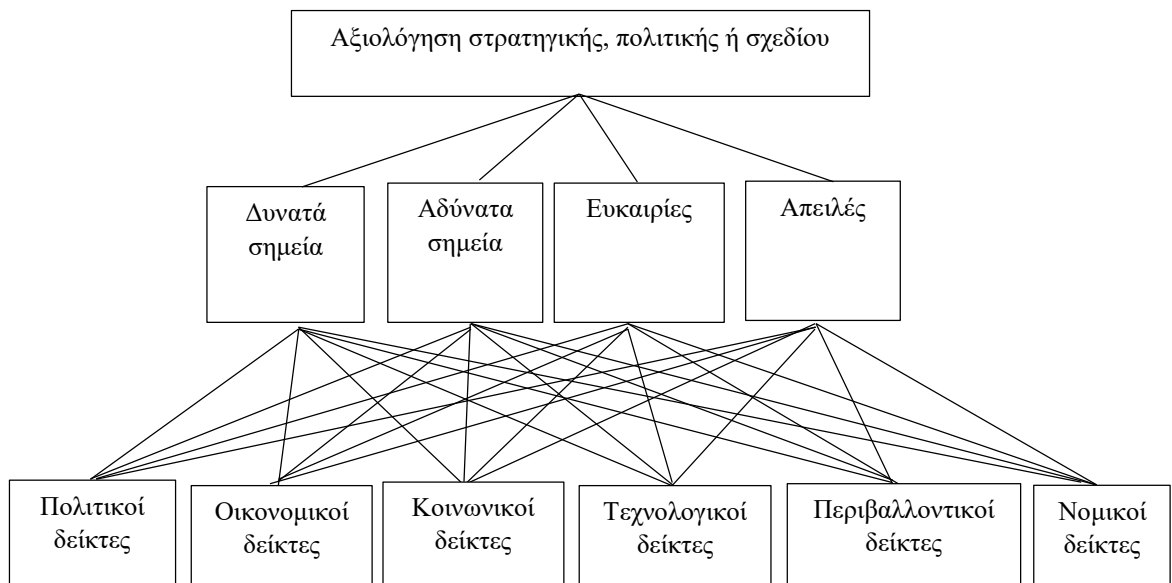
Κατά τη μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Saaty, 1980) ένα πρόβλημα αξιολόγησης δομείται ως ένα πρόβλημα ιεράρχησης. Οπότε η ιεραρχική δόμηση του προβλήματος αξιολόγησης της ενεργειακής στρατηγικής, πολιτικής ή σχεδίου μπορεί να γίνει ανάλογα, όπως αναλύθηκε το πρόβλημα αξιολόγησης της αειφορίας του τομέα υδρογονανθράκων στην Κύπρο (Tsangas *et al.*, 2019). Η ιεραρχική δόμηση του προβλήματος παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 4.3.



Σχεδιάγραμμα 4.2. Συνδυασμός ανάλυσης PESTEL με ανάλυση SWOT (Tsangas *et al.*, 2019).

Οπότε με βάση τον συνδυασμό των μεθόδων για τα έξι πεδία της ανάλυσης PESTEL, προκύπτουν δυνατά και αδύνατα σημεία και ευκαιρίες και απειλές για το πλαίσιο της στρατηγικής, της πολιτικής ή του σχεδίου, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες αειφορίας για το κάθε πεδίο, για την αξιολόγηση της. Με αυτή την προσέγγιση υπερκαλύπτονται οι τρεις διαστάσεις της αειφορίας, η κοινωνική, η περιβαλλοντική και η οικονομική (Heijungs, Huppes and Guinée, 2010) καθώς και η θεσμική διάσταση που επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη (Sharifi and Murayama, 2013; Zorpas *et al.*, 2017). Επιπλέον, δεδομένου ότι τα δυνατά σημεία και οι ευκαιρίες αποτελούν θετικά χαρακτηριστικά και τα αδύνατα σημεία και οι απειλές αρνητικά (Kamran, Fazal and Mudassar, 2020) οι αντίστοιχοι

δείκτες χαρακτηρίζονται είτε με θετικό, είτε με αρνητικό πρόσημο και ανάλογη επιμέρους συμβολή σε ένα συνολικό δείκτη.



Σχεδιάγραμμα 4.3. Ιεραρχική ανάλυση αξιολόγησης.

4.5.1.2 Ποσοτικοποίηση δεικτών

Ωστόσο, προκειμένου να μπορεί να εξαχθεί μετρήσιμο αποτέλεσμα της ποιοτικής αξιολόγησης οι δείκτες θα ήταν σκόπιμο να μπορούν να μετρηθούν. Η μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, πέρα από το βήμα ιεραρχικής δόμησης του προβλήματος περιλαμβάνει και το βήμα προσδιορισμού της βαρύτητας των εναλλακτικών μέσω ζευγαρωτών συγκρίσεων της σημασίας τους. Σε αυτό το βήμα οι προφορικές κρίσεις μετατρέπονται σε ποσότητες με χρήση μίας κλίμακας από το ένα έως το εννέα, όπου ο αριθμός 1 αντιστοιχεί σε ίση αξία μεταξύ εναλλακτικών και ο αριθμός 9 σε απόλυτα ισχυρότερη κρίση υπέρ της μίας (Saaty, 1980; Mateo, 2012a; Zorpas and Saranti, 2016).

Εφαρμόζοντας μία παρόμοια προσέγγιση τα πολιτικά, οικονομικά, κοινωνικά, τεχνολογικά, περιβαλλοντικά και νομικά θέματα που αφορούν την ενεργειακή στρατηγική, πολιτική ή σχέδιο και έχουν προκύψει από την ποιοτική ανάλυση, μπορούν να αξιολογηθούν συγκρινόμενα από λήπτες απόφασης ως εξής (Tsangas *et al.*, 2019):

Πολιτικά vs Οικονομικά

Οικονομικά vs Κοινωνικά

Πολιτικά vs Κοινωνικά

Οικονομικά vs Τεχνολογικά

Πολιτικά vs Τεχνολογικά

Οικονομικά vs Περιβαλλοντικά

Πολιτικά vs Περιβαλλοντικά

Οικονομικά vs Νομικά

Πολιτικά vs Νομικά

Κοινωνικά vs Τεχνολογικά

Τεχνολογικά vs Περιβαλλοντικά

Κοινωνικά vs Περιβαλλοντικά

Τεχνολογικά vs Νομικά

Κοινωνικά vs Νομικά

Νομικά vs Περιβαλλοντικά

Ανάλογα, για την παρούσα έρευνα και με βάση τους στόχους της, αυτές οι συγκρίσεις μπορούν να καταταχθούν και να ποσοτικοποιηθούν χρησιμοποιώντας την πιο κάτω κλίμακα εννέα επιλογών ζευγαρωτής κρίσης:

- Τα πρώτα κριτήρια είναι απολύτως υψηλότερης αξίας
- Τα πρώτα κριτήρια είναι πολύ ισχυρά ή αποδεδειγμένα υψηλότερης αξίας
- Τα πρώτα κριτήρια είναι ισχυρά υψηλότερης αξίας
- Τα πρώτα κριτήρια είναι υψηλότερης αξίας
- Τα συγκρινόμενα κριτήρια είναι ίσης αξίας
- Τα δεύτερα κριτήρια είναι υψηλότερης αξίας
- Τα δεύτερα κριτήρια είναι ισχυρά υψηλότερης αξίας
- Τα δεύτερα κριτήρια είναι πολύ ισχυρά ή αποδεδειγμένα υψηλότερης αξίας
- Τα δεύτερα κριτήρια είναι απολύτως υψηλότερης αξίας

Οπότε εάν τεθούν ως κριτήρια οι ομάδες πολιτικών, οικονομικών, κοινωνικών, τεχνολογικών, περιβαλλοντικών και νομικών δεικτών αειφορίας που έχουν προσδιοριστεί για την υπό αξιολόγηση στρατηγική, πολιτική ή σχέδιο, ανάλογα με τις κρίσεις που μπορεί να γίνουν από ομάδα ειδικών ή ενδιαφερομένων μερών, είναι δυνατό να προκύψει το μέγεθος για το κάθε ένα. Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας τη μέθοδο υπολογισμού του μεγέθους των εναλλακτικών που προτείνεται στη μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Saaty, 1980; Mateo, 2012a; Tsangas *et al.*, 2019), αποδίδοντας στις συγκρίσεις, τιμές από το 1 έως το 9, ανάλογα ποια κριτήρια μεταξύ των συγκρινόμενων έχουν χαρακτηριστεί με μεγαλύτερη αξία και σε ποιο βαθμό.

Εάν οι ζευγαρωτές συγκρίσεις γίνουν από αριθμό ληπτών απόφασης, τότε λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος των τιμών που αποδίδονται, ενώ έτσι προκύπτουν και ενδιάμεσες τιμές για ενδιάμεσες κρίσεις, όπως γίνεται και για τη μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων. Σε αυτή την περίπτωση η επεξεργασία των ζευγαρωτών συγκρίσεων δίνει ένα μέγεθος για κάθε ομάδα κριτηρίων. Ωστόσο, εάν οι αξιολογήσεις λαμβάνονται από διαφορετικές ομάδες ειδικών, προκειμένου να είναι ισοδύναμη η συμμετοχή της κάθε ομάδας στον υπολογισμό των μεγεθών, είναι σκόπιμο ο υπολογισμός να γίνεται ανά ομάδα και να λαμβάνεται ως

συνολικό μέγεθος για κάθε σύγκριση ο μέσος όρος του μεγέθους που προέκυψε για την κάθε μία.

Το μέγεθος για την κάθε ομάδα διανέμεται στα κριτήρια που την αποτελούν, οπότε κάθε κριτήριο παίρνει την ανάλογη τιμή που έχει προκύψει από την ομάδα του επιμερισμένη στα κριτήρια που συνθέτουν την ομάδα και αρνητικό ή θετικό πρόσημο ανάλογα με το αν αφορά δυνατό σημείο, ευκαιρία ή αδύνατο σημείο, απειλή. Οπότε το άθροισμα του συνόλου των τιμών των κριτηρίων για κάθε σενάριο είναι ένα μέγεθος το οποίο εκφράζει την αιεφορία του και όσο μεγαλύτερο είναι τόσο περισσότερο το υπό εξέταση σενάριο είναι αιεφόρο. Με αυτό τον τρόπο ποσοτικοποίησης, στην περίπτωση που γίνεται σύγκριση στρατηγικών, πολιτικών ή σχεδίων μπορεί να αναδειχθεί η πλέον αποδοτική ως αυτή για την οποία έχει προκύψει το υψηλότερο μέγεθος αιεφορίας, βάση των ίδιων κριτηρίων – δεικτών που προέκυψαν από τον συνδυασμό της ανάλυσης PESTEL με την ανάλυση SWOT.

4.5.1.3 Αξιολόγηση αιεφορίας σεναρίων βάση επιλογών

Προκειμένου να υπάρχουν στοιχεία σύγκρισης, αλλά και δεδομένα για περαιτέρω ανάλυση είναι δυνατόν οι ειδικοί που έκαναν τις συγκρίσεις να ερωτηθούν για κάθε δείκτη που καθορίστηκε ποιο σενάριο θεωρούν ως πλέον αιεφόρο. Έτσι διαμορφώνεται ένα μέγεθος το οποίο δίνει ευθεία εικόνα πιο σενάριο από τα προτεινόμενα είναι περισσότερο αιεφόρο, τόσο για κάθε δείκτη όσο και συνολικά. Ωστόσο περισσότερο χρήσιμη αυτή η ανάλυση είναι για να αξιολογηθεί η συνέπεια των ζευγαρωτών κρίσεων, αλλά και για απάντηση σε επιμέρους ερωτήματα για την αιεφορία κάθε σεναρίου.

4.5.2 Μέθοδος Αξιολόγησης βάση της AKZ

Η άλλη μέθοδος εφαρμόζει την προσέγγιση αξιολόγησης του κύκλου ζωής για την ανάδειξη δεικτών, η ποσοτικοποίηση των οποίων δίνει μέγεθος στην αιεφορία για την ενεργειακή στρατηγική, το ενεργειακό σχέδιο ή τις εναλλακτικές επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων που εξετάζονται.

4.5.2.1 Η προσέγγιση αιεφορίας στον κύκλο ζωής

Μια υπηρεσία ή ένα προϊόν ενδέχεται να συνδέεται με αρκετές επιπτώσεις στο περιβάλλον, είτε αρνητικές, είτε θετικές κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Ανάλογα με το αντικείμενο, αυτές μπορεί να δημιουργούνται σε οποιαδήποτε φάση του κύκλου ζωής π.χ. κατά την προμήθεια των πρώτων υλών, κατά την παραγωγική διαδικασία, τις μεταφορές, την πώληση, τη χρήση, την επαναχρησιμοποίηση και την απόρριψη. Οπότε, για να αντιμετωπιστούν ή αξιοποιηθούν αποτελεσματικά οι επιπτώσεις, πρέπει να αναλύονται

κατάλληλα όλες αυτές οι διεργασίες. Έτσι οι επιπτώσεις θα αναγνωρίζονται, θα κατηγοριοποιούνται και θα υπολογίζονται, ώστε να είναι δυνατόν να επιλέγονται, σχεδιάζονται και εφαρμόζονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για τον αποτελεσματικό χειρισμό τους. Η αειφορία έχει τρεις πυλώνες, τον περιβαλλοντικό, αλλά και τον οικονομικό και τον κοινωνικό. Αυτοί πρέπει να αναπτύσσονται ισοδύναμα (Heijungs, Huppes and Guinée, 2010). Οπότε, για να είναι αποτελεσματική η αναγνώριση και ανάλυση των επιπτώσεων στον κύκλο ζωής πρέπει να καλύπτονται και οι τρεις αυτές διαστάσεις.

4.5.2.2 Μέθοδος Αξιολόγησης βάση του Κύκλου Ζωής

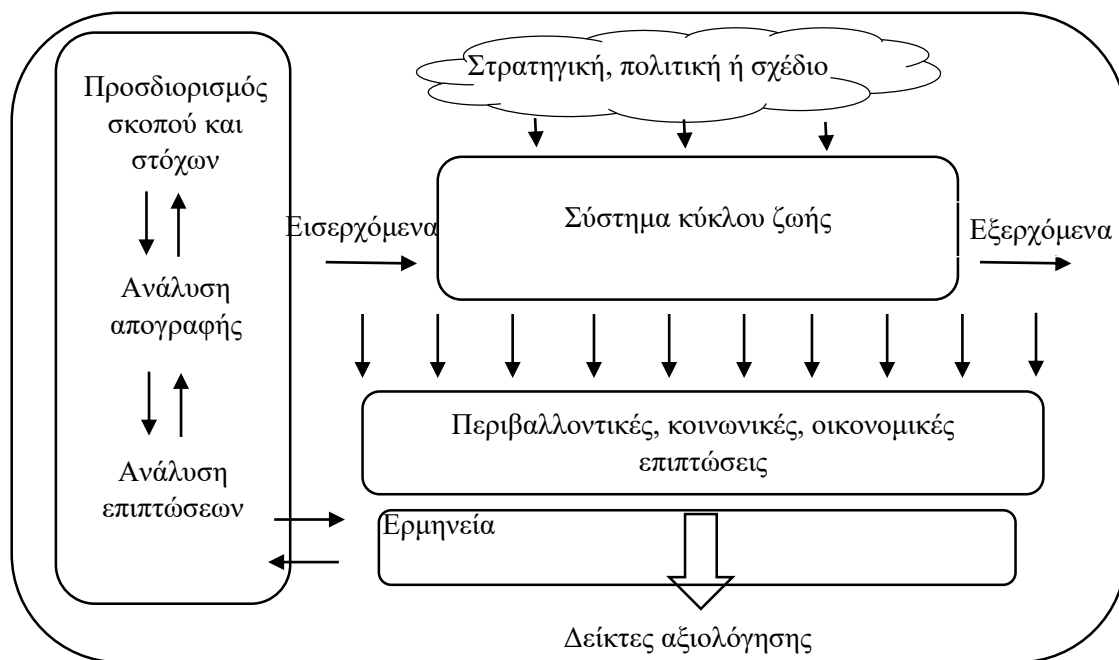
Η μέθοδος AKZ μπορεί να παρέχει το πλαίσιο για την επιλογή δεικτών αξιολόγησης στον κύκλο ζωής, οι οποίοι να αναφέρονται σε μία επιλεγμένη λειτουργική μονάδα που να μπορεί να αποτυπώσει την επίδοση του υπό αξιολόγηση συστήματος, καθώς και τεχνικές για μετρήσεις. Επίσης με την μέθοδο είναι δυνατό να συσχετιστούν τα δεδομένα μιας απογραφής του κύκλου ζωής με περιβαλλοντικές επιπτώσεις και δείκτες χαρακτηρισμού για κατηγορίες επιπτώσεων (ISO, 2006a). Για παράδειγμα, μία αρκετά διαδεδομένη μέθοδος χαρακτηρισμού και αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχει προταθεί από το Κέντρο Περιβαλλοντικής Επιστήμης του Πανεπιστημίου του Λάιντεν (Centre of Environmental Science of Leiden University) (Guinée, 2001). Επίσης στο πλαίσιο της AKZ μπορούν να αξιολογηθούν μέσω δεικτών, τόσο οι κοινωνικές επιπτώσεις (Fortier *et al.*, 2019), όσο και οι οικονομικές επιπτώσεις από ένα σύστημα προϊόντων στη διάρκεια του κύκλου ζωής του (Woodward, 1997; Milić *et al.*, 2019).

Για την αξιολόγηση μίας ενεργειακής στρατηγικής, πολιτικής ή σχεδίου αντίστοιχα μπορεί να εφαρμοστεί μία μέθοδος αξιολόγησης στον κύκλο της ζωής του η οποία να βασίζεται στις πρόνοιες του ISO 14040. Ακολουθώντας την αλληλουχία των τεσσάρων φάσεων μίας μελέτης AKZ, όπως καθορίζονται στο πρότυπο (ISO, 2006a), εφαρμόζεται η μέθοδος ανάλυσης που παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 4.4.

Αναλύεται ο κύκλος ζωής της υπό αξιολόγηση στρατηγικής, πολιτικής ή σχεδίου και καταγράφεται η σχετική απογραφή, οπότε προσδιορίζονται οι επιπτώσεις που διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες που καλύπτουν του τρεις πυλώνες της αειφορίας, τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές. Κατόπιν και μέσω της ερμηνείας των αποτελεσμάτων, καθορίζονται οι μέθοδοι χαρακτηρισμού των κατηγοριών επιπτώσεων ως δείκτες αξιολόγησης της αειφορίας, οι οποίοι κατατάσσονται και ως θετικοί ή αρνητικοί ανάλογα αν η επίπτωση που χαρακτηρίζουν είναι θετική ή αρνητική. Οπότε αυτοί είναι δυνατόν να

μετρηθούν και να αξιολογηθούν, λαμβάνοντας πληροφόρηση για την αξιολόγηση της στρατηγικής, πολιτικής ή και ενεργειακού σχεδίου.

Στην φάση καθορισμού του σκοπού και των στόχων της ΑΚΖ θα πρέπει να οριστούν τα όρια του συστήματος κύκλου ζωής (ISO, 2006a; Banti et al., 2020; Tsangas et al., 2020). Στην περίπτωση της αξιολόγησης μίας ενεργειακής στρατηγικής, πολιτικής ή ενός ενεργειακού σχεδίου τα όρια μπορούν να περιλαμβάνουν, όπως φαίνεται στο Σχεδιάγραμμα 4.4, τα στάδια από την παραγωγή ή προμήθεια των ενεργειακών πόρων, την χρήση τους μέχρι και την εξαγωγή τους, όπου εφαρμόζεται.



Σχεδιάγραμμα 4.4. Μέθοδος προσδιορισμού δεικτών Κύκλου Ζωής.

Το μέγεθος των δεικτών που θα επιλεγούν για κάθε κατηγορία επιπτώσεων, μπορεί να προκύψει από εκτιμήσεις ειδικών. Ειδικοί οι οποίοι σχετίζονται με τον τομέα της ενέργειας μπορούν να εκφράσουν άποψη για το μέγεθος κάθε δείκτη. Η εξειδίκευση και η πείρα των ειδικών διασφαλίζει ότι οι εκτιμήσεις τους αποδίδουν ρεαλιστικό μέγεθος σε κάθε δείκτη, ενώ με την συμμετοχή περισσότερων ειδικών, διαφορετικής εξειδίκευσης ή ρόλου και την στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων τους τα αποτελέσματα γίνονται το δυνατόν αξιόπιστα. Ειδικά για την περίπτωση σύγκρισης διαφορετικών ενεργειακών στρατηγικών, πολιτικών ή σχεδίων στη βάση κοινών δεικτών αιεφορίας, οι εκτιμήσεις των ίδιων ειδικών για τα εναλλακτικά σενάρια οδηγεί σε αποτελέσματα που μπορεί να συγκριθούν. Αυτό μπορεί να γίνει είτε ανά δείκτη, είτε συνολικά. Παράλληλα, αφού η ποσοτικοποίηση γίνεται σε κοινή κλίμακα για όλες τις επιπτώσεις, είναι δυνατόν να προκύψει, ποιες συνδέονται με τη μεγαλύτερη ή χαμηλότερη επιβάρυνση για την κάθε εναλλακτική που εξετάζεται.

Με υπολογισμένο το μέγεθος των διάφορων δεικτών χαρακτηρισμού των κοινωνικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων στον κύκλο ζωής είναι δυνατόν να συγκριθούν οι διαφορετικές πολιτικές. Και σε αυτή την περίπτωση επίσης είναι σκόπιμο να αποδοθεί βαρύτητα σε κάθε δείκτη. Αυτό επίσης μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη την άποψη των ίδιων ειδικών των οποίων ζητήθηκε η εκτίμηση για το μέγεθος των επιπτώσεων.

Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι κάθε κριτήριο λαμβάνει την βαρύτητα που του αναλογεί κατά την αξιολόγηση, αυτή υπολογίζεται. Αυτό μπορεί να γίνει με την εφαρμογή τεχνικών όπως την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων ή την προσέγγιση Sismos (Mateo, 2012b). Στην παρούσα μεθοδολογία προτείνεται μια άλλη προσέγγιση. Τα κριτήρια αξιολόγησης τίθενται στην επιλογή των ειδικών που συμμετέχουν στην διαδικασία σύγκρισης. Ζητώντας να επιλεγούν τα τρία πιο σημαντικά κριτήρια από κάθε συμμετέχοντα στην έρευνα, ανάλογα με τον αριθμό των επιλογών του καθενός προκύπτει μια κατάταξη τους, οπότε προκύπτει μία αυξανόμενη βαρύτητα για το κάθε ένα κριτήριο ανάλογα με τον αριθμό επιλογών του από τους ειδικούς. Η επιλογή του πλέον αιεφόρου σεναρίου προκύπτει ως το άθροισμα του σταθμισμένου μεγέθους των επιπτώσεων δηλαδή του αριθμού τους για κάθε δείκτη επί τον συντελεστή βαρύτητας. Στις επιπτώσεις με θετικές συνέπειες αποδίδεται αρνητικό πρόσημο, ώστε να προσμετράτε η θετική τους επίδραση με μείωση των συνολικών επιπτώσεων. Τέλος το συνολικό άθροισμα του μεγέθους των επιπτώσεων, αποδίδει τον συνδυασμένο μέγεθος τους για κάθε υπό εξέταση επιλογή και το κάθε εναλλακτικό σενάριο.

Επίσης για να αξιολογηθεί η συνέπεια των εκτιμήσεων, αλλά και για απάντηση σε επιμέρους ερωτήματα για την αιεφορία κάθε σεναρίου και σε αυτή τη μέθοδο συλλέγονται απαντήσεις από τους εμπειρογνώμονες που εκφράζουν εκτιμήσεις για το ποια από τις εξεταζόμενες εναλλακτικές είναι περισσότερο αιεφόρος για κάθε δείκτη χαρακτηρισμού για κάθε επίπτωση που εξετάζεται.

Η ακρίβεια και πληρότητα των αποτελεσμάτων μιας μελέτης AKZ εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν. Η αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου μπορεί να γίνει με βάση τις κατευθύνσεις της ecoinvent (B. P. Weidema et al., 2013). Χρησιμοποιούνται πέντε δείκτες ποιότητας, η αξιοπιστία, η πληρότητα, η χρονική συσχέτιση, η γεωγραφική συσχέτιση και η περεταίρω τεχνολογική συσχέτιση, οι οποίοι αξιολογούνται σε μία κλίμακα πέντε επιπέδων ποιότητας. Το επίπεδο ποιότητας ένα είναι το υψηλότερο, όπου τα δεδομένα σχετίζονται άμεσα με την περίπτωση που μελετάται, και το επίπεδο χαμηλότερης ποιότητας είναι το πέντε, όπου τα δεδομένα προέρχονται από άγνωστες πηγές και από μη προσδιορισμένες εκτιμήσεις (B. P. Weidema et al., 2013).

4.5.3 Μεθοδολογία Σύγκρισης Μεθόδων Αξιολόγησης

Η σύγκριση των δύο μεθόδων αξιολόγησης που προτείνονται, της μεθόδου που συνδυάζει την ανάλυση PESTEL – SWOT με την μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων και αυτής που βασίζεται στην AKZ μπορεί επίσης να αντιμετωπιστεί ως ένα πολυκριτηριακό ερώτημα. Σε αυτή την περίπτωση δύο είναι τα ζητούμενα. Το ένα είναι, ποια είναι τα κριτήρια βάση των οποίων θα πρέπει να συγκριθούν οι μέθοδοι και το άλλο ποια πολυκριτηριακή μέθοδος είναι κατάλληλη για την σύγκριση.

4.5.3.1 Κριτήρια αξιολόγησης μεθόδων

Τα πιθανά πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα μιας μεθόδου αξιολόγησης είναι αρκετά. Το αντικείμενο της εφαρμοσμένης έρευνας είναι να καταλήξει σε μία λύση για ένα πρόβλημα και να συσχετίσει δεδομένα με τις άγνωστες πτυχές ενός προβλήματος (Kothari, 2004, σελ. 8). Οπότε, οποιαδήποτε μέθοδος πρέπει να έχει τη δυνατότητα να παρέχει ακριβή αποτελέσματα, αλλά και να είναι κατάλληλη για την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί. Κατόπιν θα πρέπει να είναι εύκολο να εφαρμοστεί, να μην απαιτεί πολύπλοκους υπολογισμούς και δυσανάλογο χρόνο ή δυσνόητα εργαλεία για την εφαρμογή της.

Επίσης, θα πρέπει να είναι δυνατόν να εντοπιστούν με ευκολία τα δεδομένα που απαιτεί η εφαρμογή της. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, τότε και η πλέον αποτελεσματική μέθοδος δεν θα είναι δυνατόν να εξάγει αποτελέσματα. Όσον αφορά τα θέματα ενέργειας η συμμετοχή των ενδιαφερομένων μερών στην αξιολόγηση είναι συνήθη και χρήσιμη πρακτική. Οπότε σε μια σχετική μέθοδο θα πρέπει να υπάρχει συμμετοχή τους στην εφαρμογή της. Η προηγούμενη χρήση ή εφαρμογή μια μεθόδου επίσης εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητά της. Τέλος τα όρια εφαρμογής της και η συμπερίληψη σε αυτή τεχνικών στοιχείων είναι σημεία τα οποία μπορούν να την χαρακτηρίσουν ως προς την καταλληλότητα της αλλά και την αποτελεσματικότητά της.

Οπότε προκειμένου να αξιολογηθούν και να συγκριθούν οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι που προτείνονται πιο πάνω θα χρησιμοποιηθούν τα πιο κάτω κριτήρια:

- Ακρίβεια αποτελέσματος
- Ευκολία εφαρμογής
- Ευκολία πρόσβασης σε δεδομένα
- Συμμετοχή ενδιαφερομένων μερών
- Καταλληλότητα για την εφαρμογή
- Προηγούμενη χρήση – εφαρμογή

- Όρια εφαρμογής
- Συμπερίληψη τεχνικών στοιχείων

4.5.3.2 Μέθοδος σύγκρισης

Με βάση τα πιο πάνω κριτήρια, η σύγκριση των δύο μεθόδων αποτελεί ένα μονοδιάστατο ερώτημα συγκριτικής αξιολόγησης. Υπάρχουν δύο εναλλακτικές μέθοδοι, οι οποίες θα συγκριθούν με βάση τα οκτώ πιο πάνω χαρακτηριστικά. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να εφαρμοστεί η ευθύς μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης σταθμισμένου άθροισματος (Weighted Sum Method), με βάση την οποία η καλύτερη εναλλακτική είναι αυτή που ικανοποιεί την εξίσωση:

$$A_{wsm}^* = \text{Max} \sum_i^j a_{ij}w_j$$

Για $i = 1, 2, 3, \dots, m$ όπου A_{wsm}^* είναι το σταθμισμένο άθροισμα για την βέλτιστη εναλλακτική, a_{ij} είναι η αξία της i στης εναλλακτικής για το j στο κριτήριο και w_j είναι η βαρύτητα του j στου κριτηρίου. Η συνολική αξία για την κάθε εναλλακτική είναι ίση με το άθροισμα των γινομένων (Mateo, 2012c).

Η αξιολόγηση των κριτηρίων προτείνεται να ζητηθεί να γίνει από ομάδα ειδικών στις μεθόδους αξιολόγησης για θέματα ενέργειας, των οποίων οι αποκρίσεις θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της αξίας κάθε κριτηρίου για κάθε μέθοδο. Η βαρύτητα των κριτηρίων αξιολόγησης επίσης προτείνεται να καθοριστεί βάση των επιλογών της ομάδας ειδικών όσον αφορά τη σημασία του κάθε κριτηρίου για την καταλληλότητα των μεθόδων.

4.5.4 Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή των δύο εναλλακτικών προτεινόμενων μεθόδων αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού είναι τόσο πρωτογενή όσο και δευτερογενή. Σε πρώτη φάση απαιτείται η συλλογή δεδομένων σχετικά με τον τομέα της ενέργειας τόσο διεθνώς αλλά κυρίως για την Κύπρο. Αυτά είναι δευτερογενή, αφορούν την διεθνή και εθνική στρατηγική και πολιτικές για ενεργειακό σχεδιασμό, στοιχεία για το ενεργειακό μίγμα στην Κύπρο, τις απαιτήσεις για ενέργεια, απαιτήσεις για πόρους, την υφιστάμενη κατάσταση παροχής και κατανάλωσης στην Κύπρο, τις προβλέψεις, τους διαθέσιμους πόρους, και επιμέρους στοιχεία σχετικά με το πολιτικό, οικονομικό, κοινωνικό, περιβαλλοντικό, τεχνολογικό και νομικό πλαίσιο, τόσο εσωτερικό ειδικά για τον τομέα, όσο

και εξωτερικό σχετικά με το κράτος, αλλά και τη διεθνή κατάσταση. Τα συγκεκριμένα δεδομένα συλλέχθηκαν με έρευνα γραφείου η οποία περιελάμβανε βιβλιογραφική ανασκόπηση και μελέτη πληροφοριών, όπως εκθέσεις, ανακοινώσεις και ιστοσελίδες από διεθνείς οργανισμούς η επίσημα όργανα όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αλλά και υπηρεσίες ή εμπλεκόμενους οργανισμούς στην Κύπρο. Μία αναλυτική ανασκόπηση των πιο πάνω δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή των δύο εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης της αειφορίας που προτείνονται παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 3.

Έπειτα η εφαρμογή των μεθόδων αξιολόγησης όσο και η σύγκριση μεταξύ των δύο μεθόδων, απαιτεί πρωτογενή δεδομένα τα οποία πρέπει να αποτυπώνουν τις απόψεις ή και τις εκτιμήσεις από δείγμα ενδιαφερομένων ατόμων. Για την συλλογή των συγκεκριμένων πληροφοριών θα σχεδιαστούν και να χρησιμοποιηθούν τρία διαφορετικά δομημένα ερωτηματολόγια, ένα για κάθε μία μέθοδο αξιολόγησης και ένα τρίτο για σύγκριση των μεθόδων. Στην εισαγωγή τους θα πρέπει να περιγράφεται με λεπτομέρεια το υπόβαθρο βάση του οποίου ζητείται να δοθούν οι απαντήσεις. Τα ερωτηματολόγια, σχεδιάζονται μετά την εφαρμογή του σταδίου ανάλυσης που περιέχει κάθε εναλλακτική μέθοδος αξιολόγησης της αειφορίας που προτείνονται. Η μεθοδολογία έρευνας, άλλα σχετικά έγγραφα με την έρευνα και τα τελικά ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή στοιχείων, υποβλήθηκαν στην Εθνική Επιτροπή Βιοηθικής Κύπρου, από όπου ζητήθηκε γνωμοδότηση. Η Επιτροπή αποφάνθηκε θετικά υπέρ της διεξαγωγής της έρευνας.

4.5.5 Δείγμα πρωτογενούς έρευνας

Και στις δύο μεθόδους αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού, το πρόβλημα αξιολόγησης προσεγγίζεται καλύπτοντας και τις τρεις συνιστώσες της αειφορίας, τόσο την κοινωνική, όσο και την οικονομική και περιβαλλοντική. Επίσης, σε μια διαδικασία προοπτικής για τον ενεργειακό σχεδιασμό, είναι δυνατή η συμμετοχή εύρους ενδιαφερομένων. Μπορεί να συμμετέχουν από λήπτες αποφάσεων, επαγγελματίες, ειδικούς και αντιπροσώπους κοινωνικών ομάδων, έως το ευρύ κοινό (Doukas *et al.*, 2014). Επίσης είναι σημαντική, για τη διασφάλιση της κοινωνικής αποδοχής των ενεργειακών έργων, η συμμετοχή ενδιαφερομένων μερών από διαφορετικές ομάδες ενδιαφέροντος (Flacke and De Boer, 2017). Η εγκυρότητα και αποδοχή των συμπερασμάτων και των προτάσεων για τον ενεργειακό τομέα, χωρίς την ευρύτερη και βαθύτερη εμπλοκή της ενεργειακής κοινότητας, έχει υπάρξει προβληματική (Markovska, Taseska and Pop-Jordanov, 2009).

Η ποιοτική μέθοδος αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού, απαιτεί κρίσεις από ενδιαφερόμενα μέρη τα οποία να έχουν δύο χαρακτηριστικά. Να καλύπτουν το

εύρος των πυλώνων της αειφορίας και συγκεκριμένα την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον, αλλά και γνώση του τομέα και των επιλογών για ενεργειακό σχεδιασμό στην Κύπρο. Προκειμένου να καλυφθεί πλήρως αυτό το ζητούμενο, το δείγμα των ατόμων από τα οποία λήφθηκαν συμπληρωμένα ερωτηματολόγια περιελάμβανε ειδικούς στο περιβάλλον, ειδικούς στην τεχνολογία, ειδικούς στην οικονομία, οικολόγους ή και μέλη περιβαλλοντικών οργανώσεων και λήπτες αποφάσεων, είτε πολιτικούς, είτε κυβερνητικούς υπαλλήλους.

Για την εφαρμογή της ποσοτικής μεθόδου που βασίζεται στην ανάλυση του κύκλου ζωής, απαιτούνται δεδομένα τα οποία να εκφράζουν το μέγεθος των επιλεγμένων επιπτώσεων. Για να συλλεχθούν αυτά τα δεδομένα το ερωτηματολόγιο στάλθηκε σε επιλεγμένους ειδικούς στον τομέα της ενέργειας και του περιβάλλοντος, οι οποίοι μπορούν να έχουν αντίληψη των θεμάτων και των μεγεθών.

Όσον αφορά την σύγκριση μεταξύ των μεθόδων, εκεί ζητήθηκαν κρίσεις επιλεγμένων ακαδημαϊκών που ασχολούνται με την αξιολόγηση σε θέματα ενέργειας, αλλά και επαγγελματιών που ασχολούνται με το περιβάλλον και την ενέργεια.

Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας. Αρχικά παρατίθενται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου αξιολόγησης της αειφορίας που συνδυάζει τις μεθόδους ποιοτικής ανάλυσης PESTEL και SWOT με την μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (AHP). Κατόπιν παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου που βασίζεται στην Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής. Τέλος γίνεται παρουσίαση των δεδομένων που συλλέχθηκαν και των αποτελεσμάτων σύγκρισης των δύο εναλλακτικών μεθόδων ανάλυσης. Κατόπιν και με βάση όσα έχουν προκύψει, γίνεται ο έλεγχος των ερευνητικών υποθέσεων και η επαλήθευση ή διάψευση τους.

5.2 Σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο

Η Κύπρος σήμερα διαθέτει ένα απομονωμένο ενεργειακό σύστημα το οποίο βασίζεται σε ηλεκτρισμό παραγόμενο σε μέγιστο βαθμό από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα με σχετικά χαμηλή, αν και εντός στόχων, συμβολή ΑΠΕ. Οι μεταφορές στο νησί, επίσης γίνονται κυρίως με εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και με επίσης ένα χαμηλό ποσοστό βιοκαυσίμων. Ωστόσο υπάρχουν προοπτικές και σχέδια για διαφοροποίηση αυτής της κατάστασης. Από τη μία υπάρχει υποχρέωση και σχεδιασμός για υιοθέτηση των οδηγιών και στόχων της ΕΕ. Έχει ήδη ετοιμαστεί και βρίσκεται υπό αξιολόγηση και σε αρχική εφαρμογή ένα ολοκληρωμένο σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα για το 2021 - 2030 (Republic of Cyprus, 2020) το οποίο προωθεί τις ΑΠΕ, την εξοικονόμηση ενέργειας και γενικά αειφόρες πολιτικές βάση των στόχων της ΕΕ. Από την άλλη υπάρχει η προοπτική εκμετάλλευσης των αποθεμάτων υδρογονανθράκων που έχουν ήδη εντοπιστεί στην ΑΟΖ του νησιού και για τα οποία γίνονται περεταίρω έρευνες. Οπότε προκειμένου να δοκιμαστούν οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου κρίνεται σκόπιμο να ελεγχθούν τρία εναλλακτικά σενάρια.

Το πρώτο σενάριο ή σενάριο Α αφορά την κατάσταση όπως έχει σήμερα και χωρίς τη λήψη περεταίρω μέτρων. Για ευκολία αναφοράς ονομάζεται συνήθως επιχείρηση και στα αγγλικά «Business As Usual» (BAU). Η Κύπρος εξακολουθεί να είναι ενεργειακά απομονωμένη. Ο ηλεκτρισμός συνεχίζει να παράγεται κυρίως με εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα με χαμηλή συμμετοχή ΑΠΕ σε ποσοστό 10 – 15%. Οι μεταφορές γίνονται επίσης με εισαγόμενα

ορυκτά καύσιμα με περιορισμένη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και 10% βιοκαύσιμα. Η κατανάλωση ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται.

Το δεύτερο σενάριο ή σενάριο Β αφορά την κατάσταση που θα διαμορφωθεί με την εφαρμογή του εθνικού σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα και την υιοθέτηση των στόχων για το 2030. Καθώς έχει δρομολογηθεί, ονομάζεται με την εφαρμογή των υφιστάμενων μέτρων, στα αγγλικά «With Existing Measures» (WEM). Ο ηλεκτρισμός παράγεται επίσης με εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα με συμμετοχή ΑΠΕ όμως σε ποσοστό μέχρι και 24%. Επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 9,5%. Επίσης χρησιμοποιείται εισαγόμενο φυσικό αέριο και γίνεται ηλεκτρική διασύνδεση, όπως σχεδιάζεται. Οι μεταφορές εξακολουθούν να γίνονται με ορυκτά καύσιμα και με συμμετοχή 10% βιοκαυσίμων, αλλά γίνεται χρήση ηλεκτρικών οχημάτων.

Λόγω του ότι διερευνάται ποια επιλογή είναι πλέον αειφόρος, η αξιοποίηση των ΑΠΕ ή των αποθεμάτων υδρογονανθράκων στο νησί διαμορφώνεται ένα τρίτο σενάριο ή σενάριο Γ που υποθέτει την εξόρυξη των αποθεμάτων φυσικού αερίου που βρίσκονται στην ΑΟΖ του νησιού και χρήση τους για ηλεκτροπαραγωγή. Σε αυτή την περίπτωση θεωρείται ότι θα εξακολουθήσει η υφιστάμενη κατάσταση, δεν θα εφαρμοστεί το σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα και δεν θα επιτευχθούν οι στόχοι για υιοθέτηση ΑΠΕ, μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό το σενάριο ονομάζεται, για αναφορά, συνήθως επιχείρηση συν την εξόρυξη και χρήση των τοπικών αποθεμάτων υδρογονανθράκων και στα αγγλικά «Business As Usual + extraction and use of indigenous gas reserves» (BAU+ extraction and use of indigenous gas reserves).

Τα τρία πιο πάνω σενάρια είναι πιθανό να μην ακολουθηθούν αυτόνομα, αλλά να μπορούν και να συνδυαστούν. Ενδεχόμενα η πραγματική μελλοντική κατάσταση να περιλαμβάνει στοιχεία και από τα τρία. Ωστόσο, έχουν σχεδιαστεί από τη μία για να είναι δυνατό να δοκιμαστούν οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού που προτείνονται, αλλά και με τον επιπλέον γνώμονα, η αξιολόγηση τους να μπορεί να οδηγήσει στην διάψευση ή επαλήθευση των υποθέσεων της έρευνας και την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων. Γι' αυτό το λόγο περιλαμβάνουν ακραίες και απόλυτες επιλογές, ειδικά το σενάριο Α (BAU) και το σενάριο Γ (BAU + extraction and use of indigenous gas reserves).

Σε αυτό το πλαίσιο, δεν θα είχε χρησιμότητα για το σκοπό της έρευνας, ο έλεγχος ενός σεναρίου που θα συνδύαζε το σενάριο Β (WEM) με την εξόρυξη και χρήση των τοπικών αποθεμάτων υδρογονανθράκων. Αν και είναι μία επιλογή η οποία είναι δυνατή αλλά και

πιθανή, στην παρούσα έρευνα ελέγχεται ποια μέθοδος είναι κατάλληλη για την αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου και κατά πόσο πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έναντι των μη ανανεώσιμων ορυκτών πόρων που φαίνεται να διαθέτει το νησί.

5.3 Μέθοδος συνδυασμού PESTEL-SWOT-Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων

Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου και βάση της ιεραρχικής δόμησης του προβλήματος, αρχικά θα πρέπει να γίνει μία ανάλυση για το εξωτερικό περιβάλλον του ενεργειακού συστήματος του νησιού. Η ανάλυση θα πρέπει να καλύψει το πολιτικό, το οικονομικό, το τεχνολογικό, το περιβαλλοντικό και το νομικό πλαίσιο στο οποίο αναπτύσσεται και εφαρμόζεται η ενεργειακή πολιτική της χώρας.

5.3.1 Πολιτικό πλαίσιο

Η εκτελεστική εξουσία στην Κυπριακή Δημοκρατία ασκείται από την Κυβέρνηση, της οποίας αρχηγός είναι ο Πρόεδρος (Laouris and Michaelides, 2018) ενώ το Υπουργικό Συμβούλιο ασκεί διάφορες εξουσίες σχετικά με τα θέματα ενέργειας και σχετικές αρμοδιότητες έχουν συγκεκριμένα Κυβερνητικά Τμήματα ή Υπηρεσίες. Ρυθμιστική Αρχή για τα θέματα ενέργειας στην Κύπρο είναι η ΡΑΕΚ (CERA, 2021a). Η ενεργειακή πολιτική της χώρας έχει ως άξονες τον υγιή ανταγωνισμό στην αγορά, την διασφάλιση της τροφοδοσίας ενέργειας και την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με την ελάχιστη επιβάρυνση στην εθνική οικονομία και στο περιβάλλον (EAC, 2019b). Ωστόσο στην Κύπρο υπάρχει μία πολιτική ιδιαιτερότητα, γνωστή ως Κυπριακό Πρόβλημα. Μία σύγχρονη παρατεταμένη εθνική σύγκρουση μεταξύ των Ελληνοκυπρίων και Τουρκοκυπρίων, η οποία έχει και διεθνείς γεωπολιτικές διαστάσεις (Trimikliniotis, 2018). Το νησί είναι γεωγραφικά και εθνικά διαιρεμένο. Στο νότιο τμήμα, το οποίο αναγνωρίζεται διεθνώς ως Κυπριακή Δημοκρατία και όπου διαμένουν οι Ελληνοκύπριοι και στο βόρειο τμήμα όπου υπάρχει ένα αυτοαποκαλούμενο κράτος το οποίο αναγνωρίζεται μόνο από την Τουρκία και όπου διαμένουν οι Τουρκοκύπριοι (Laouris and Michaelides, 2018).

Η Κυπριακή Δημοκρατία είναι χώρα μέλος του ΟΗΕ αλλά και της ΕΕ. Βάση των διεθνών συμβάσεων οφείλει να υιοθετεί το ευρωπαϊκό δίκαιο. Επίσης υιοθετεί εθνικούς στόχους για το κλίμα και την ενέργεια για το 2030 οι οποίοι συνδέονται με τις δεσμεύσεις και στόχους της ΕΕ για μετάβαση σε καθαρή ενέργεια (European Commission, 2020), αλλά και με τους Στόχους Αειφόρου Ανάπτυξης (SDGs) του ΟΗΕ. Σε αυτό το πλαίσιο έχει υποβληθεί προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Ολοκληρωμένο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και την

Κλιματική Αλλαγή (Integrated National Energy and Climate Plan - INECP) που καλύπτει την περίοδο 2021-2030 (Republic of Cyprus, 2020).

Τα ανανεώσιμα ενεργειακά συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα να μειωθεί η δυνατότητα ορισμένων κρατών να ασκούν πίεση και επιρροή σε άλλα κράτη ή ομάδες κρατών, αν και μπορούν να προκαλέσουν ευπάθεια προμήθειας σε ένα χρήστη όπως για παράδειγμα η ΕΕ λόγω πολιτικών δράσεων σε ένα προμηθευτή όπως π.χ. οι χώρες της Βόρειας Αφρικής. Είναι δυνατόν επίσης να μειώσουν τις διασυνοριακές διαμάχες, καθώς εξαρτώνται από αποκεντρωμένους πόρους, ενώ και ο κίνδυνος να χρησιμοποιηθούν ως στρατηγικό εργαλείο είναι μειωμένος. Οι ΑΠΕ μικρότερης κλίμακας επίσης συνδέονται με μειωμένο κίνδυνο έντασης σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, ήδη έχουν παρατηρηθεί συγκρούσεις σχετικές με τις ΑΠΕ, ενώ έχουν εμφανιστεί και νέα συνδεόμενα προβλήματα, όπως η απειλή της ασφάλειας της προμήθειας τροφίμων λόγω της μείωσης της διαθέσιμης γης, η έλλειψη υλικών και τρομοκρατικές επιθέσεις σε εγκαταστάσεις προμήθειας και μεταφοράς ενέργειας (Johansson, 2013). Η θεωρία της κατάρας των πόρων υποστηρίζει ότι η αφθονία πόρων ενθαρρύνει τις βίαιες συγκρούσεις. Μελέτη μεταξύ 37 πετρελαιοπαραγωγών αναπτυσσόμενων χωρών, έχει δείξει ότι χώρες με αποθέματα πετρελαίου και υψηλό εισόδημα από τους ορυκτούς πόρους είναι σημαντικά σταθερές (Basedau and Lacher, 2006). Το εισόδημα από το πετρέλαιο έχει επίσης σχέση με την τρομοκρατία και κατά συνέπεια τις τρομοκρατικές επιθέσεις σε στόχους όπως πετρελαϊκές εγκαταστάσεις (Lee, 2018).

Από την άλλη, τα αποθέματα υδρογονανθράκων στην Κύπρο θα μπορούσαν να ήταν μία κινητήρια δύναμη για τη λύση του Κυπριακού Προβλήματος (Gürel and Le Cornu, 2014). Η Κυπριακή Δημοκρατία ήδη έχει εκδώσει άδειες τόσο για έρευνες στην Αποκλειστική Οικονομική της Ζώνη (ΑΟΖ), όσο και για εκμετάλλευση σε αποθέματα που έχουν εντοπιστεί. Σύμφωνα με τις πολιτικές της ΕΕ, οι Εθνικές Κυβερνήσεις ελέγχουν τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου στις περιοχές τους, αλλά πρέπει να ακολουθούν μία σειρά από κοινούς κανόνες της ένωσης ώστε να διασφαλίζεται ο δίκαιος ανταγωνισμός κατά τη διάρκεια των διαδικασιών αδειοδότησης (European Commission, no date). Τέλος, ενώ η Κύπρος είναι ενεργειακά απομονωμένη, ήδη έργα διασύνδεσης έχουν χαρακτηριστεί ως έργα κοινού ενδιαφέροντος για την ΕΕ, τόσο μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου, όσο και μέσω αγωγού φυσικού αερίου, αλλά και για υποδομές αποϋγροποίησης υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) και χρήσης φυσικού αερίου (CERA, 2021a).

5.3.2 Οικονομικό πλαίσιο

Οι τιμές των ενεργειακών πόρων είναι σημαντικές για την αειφόρο ανάπτυξη (Knez et al., 2022). Τόσο των ανανεώσιμων, όσο και των συμβατικών μορφών ενέργειας συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την οικονομική ανάπτυξη, την ενεργειακή φτώχεια, την ενεργειακή ασφάλεια, την ενεργειακή ισότητα και την περιβαλλοντική αειφορία (Fu et al., 2021). Επιπλέον το μέγεθος και η ταχύτητα ανάπτυξης και εκμετάλλευσης κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου που εντοπίζονται σε μεγάλα βάθη εξαρτάται από τα επίπεδα των διεθνών τιμών του πετρελαίου σε κάθε περίοδο (Spreight, 2015). Το τρίτο τρίμηνο του 2021 οι τιμές του φυσικού αερίου στην Ευρώπη συνέχισαν την απότομη άνοδο τους, ενώ οι εισαγωγές υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) την ίδια περίοδο έπεσαν κατά 9% κατά έτος. Οι αυξημένες τιμές του φυσικού αερίου οδήγησαν σε αύξηση των τιμών του ηλεκτρισμού (Market Observatory for Energy, 2022).

Η Κυπριακή Δημοκρατία είναι μέλος της Ευρωζώνης από το 2008. Αυτή η συμμετοχή προσφέρει πλεονεκτήματα και οφέλη στην οικονομία όπως βελτιωμένη οικονομική σταθερότητα και ανάπτυξη, μεγαλύτερη ασφάλεια και ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις και τις αγορές (European Union, no date). Το 2013 μια οικονομική κρίση είχε σαν αποτέλεσμα την διάσωση της Κύπρου από διεθνείς πιστωτές με ένα πρόγραμμα 10 δισεκατομμυρίων ευρώ που χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ και το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο. Σε αυτά τα πλαίσια η κυβέρνηση δεσμεύτηκε να υιοθετήσει αριθμό μεταρρυθμίσεων όπως οι ιδιωτικοποιήσεις κρατικής περιουσίας, επιχειρήσεων κοινής ωφελείας και υπηρεσιών με όφελος περίπου 1.4 δισεκατομμυρίων ευρώ (Panayides, Lambertides and Andreou, 2017). Εντούτοις η Κύπρος έχει ήδη βγει από το πρόγραμμα υποστήριξης και το ΑΕΠ της χώρας για το 2020 υπολογίστηκε στα € 21548.4 εκατομμύρια με αυξητικό ρυθμό 5.2% (CYSTAT, 2021b).

Ενώ το κατά κεφαλήν εισόδημα έχει αρνητική επίπτωση στην ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας, η οικονομική ανάπτυξη φαίνεται να μην επηρεάζει (Cadoret and Padovano, 2016). Οι πρόσφατες ανακαλύψεις φυσικού αερίου στην ΑΟΖ της Κύπρου έχουν την δυνατότητα εντός μίας δεκαετίας να οδηγήσουν στην αποδέσμευση της παραγωγής ενέργειας από τα εισαγόμενα προϊόντα πετρελαίου και να βελτιώσουν το εμπορικό ισοζύγιο, ώστε να μειωθεί το κόστος του ηλεκτρισμού για την οικονομία (Taliotis, Rogner, et al., 2017). Επίσης σκόπιμο είναι να σημειωθεί ότι η κατανάλωση φυσικού αερίου μακροπρόθεσμα έχει σημαντική και θετική επίπτωση στην οικονομική ανάπτυξη (Aydin, 2018), ενώ και η μετατροπή των καυσίμων που χρησιμοποιούνται από βαρύ πετρέλαιο σε φυσικό αέριο αναμένεται να οδηγήσει σε χαμηλότερα κόστη ηλεκτροπαραγωγής για τη χώρα (Taliotis, Taibi, et al., 2017). Ωστόσο, η αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και η

πτώση της ζήτησης για το 2020 οδήγησε σε συμπίεση των άλλων τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής όπως του άνθρακα, του φυσικού αερίου και της πυρηνικής ενέργειας (IEA, 2020). Η μετάβαση σε ενέργεια χαμηλών εκπομπών άνθρακα απαιτεί τεράστια κόστη για αναδιαμόρφωση των πολύπλοκων ενεργειακών συστημάτων λόγω των απαιτούμενων επενδύσεων μεγάλης κλίμακας σε ΑΠΕ και πρόωρη απόσυρση των υποδομών παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα (Li, Liu and Li, 2020). Βασικό μειονέκτημα για την εγκατάσταση ΑΠΕ είναι το πολύ υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης (Baidya and Nandi, 2020).

5.3.3 Κοινωνικό πλαίσιο

Ως κοινωνικές πτυχές της παραγωγής ηλεκτρισμού έχουν καταγραφεί η εργοδότηση, η ασφάλεια των εργοδοτούμενων και η ενεργειακή ασφάλεια (Atilgan and Azapagic, 2016), αλλά και η αποφυγή εισαγωγών ορυκτών καυσίμων και η ποικιλία στο ενεργειακό μίγμα (Akber, Thaheem and Arshad, 2017). Τα συμβάντα ασφάλειας και υγείας είναι από τις κοινές κοινωνικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων (Speight, 2015; Elbisy, 2016; Zorpas et al., 2017). Παράλληλα η υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχει τη δυνατότητα για την δημιουργία θέσεων εργασίας και ευκαιριών εργοδότησης (Bulavskaya and Reynès, 2018).

Ένα άλλο κοινωνικό θέμα που προκύπτει λόγω των ενεργειακών πόρων είναι η αντίθεση των τοπικών κοινωνιών. Η κοινωνική αποδοχή για τεχνολογική αλλαγή είναι μία βασική παράμετρος για την υιοθέτηση ενός αειφόρου και ανανεώσιμου ενεργειακού συστήματος (Cohen, Reichl and Schmidthaler, 2014). Η ανάπτυξη ενεργειακών υποδομών επηρεάζεται από το φαινόμενο που έχει ονομαστεί «Not In My Back Yard» (NIMBY) (Cohen, Reichl and Schmidthaler, 2014; Cohen et al., 2016), κατά το οποίο οι τοπικοί παράγοντες αντιδρούν. Η κοινωνική αποδοχή για νέες ενεργειακές υποδομές προκύπτει μόνο όταν οι πτυχές που ενδέχεται να υποβαθμίσουν την ευημερία των επηρεαζόμενων από ένα έργο μπορούν να ισορροπηθούν από τις πτυχές που ενδέχεται να βελτιώσουν την ευημερία, είτε προκαλώντας ουδετερότητα ή στην καλύτερη περίπτωση υποστήριξη προς το έργο (Cohen, Reichl and Schmidthaler, 2014). Επιφανείς πολίτες όπως και οργανισμοί της κοινωνίας των πολιτών φαίνεται να μην είναι πάντοτε ικανοποιημένοι από το πως οι τοπικές κυβερνήσεις και οι εταιρείες του ιδιωτικού τομέα αναπτύσσουν τις δραστηριότητες εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων (Smits, van Leeuwen and van Tatenhove, 2017). Επίσης συναντάται κοινωνική αντίσταση για τις δραστηριότητες εξόρυξης (Pierk and Tysiachniouk, 2016). Επιπλέον η ενεργειακή φτώχεια ως αδυναμία πρόσβασης σε προσιτές, επαρκείς, αξιόπιστες, υψηλής ποιότητας, ασφαλείς και φιλικές προς το περιβάλλον υπηρεσίες ενέργειας για την

υποστήριξη της οικονομικής και ανθρώπινης ανάπτυξης, και η αποφυγή της είναι ένα θέμα που συνδέεται με τον ενεργειακό σχεδιασμό (González-Eguino, 2015).

5.3.4 Τεχνολογικό πλαίσιο

Σήμερα στην Κύπρο το ενεργειακό σύστημα βασίζεται κυρίως σε εισαγόμενα πετρελαιοειδή που εισάγονται από γειτονικές χώρες. Ο ηλεκτρισμός παράγεται κυρίως από τρεις θερμοηλεκτρικούς σταθμούς συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1478 MW (EAC, no date) και η υπόλοιπη ζήτηση ηλεκτρισμού καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Republic of Cyprus, 2020). Η ζήτηση ενέργειας στην Κύπρο αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον (Zachariadis and Taibi, 2015; CERA, 2021a). Ωστόσο το νησί έχει σημαντικό δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και διαπιστωμένα αποθέματα φυσικού αερίου. Επίσης υπάρχουν σχέδια διασύνδεσης τόσο ηλεκτρικής, όσο και μέσω υποθαλάσσιου αγωγού φυσικού αερίου αλλά και με χρήση εισαγόμενου υγροποιημένου φυσικού αερίου (European Commission, 2019).

Οι τεχνολογικές καινοτομίες στην αξιοποίηση του φυσικού αερίου μπορεί να το μετατρέψουν σε καταλύτη ενός μελλοντικού ενεργειακού συστήματος μηδενικών εκπομπών άνθρακα (Bugaje et al., 2022). Οι ΑΠΕ αντιμετωπίζουν θέματα όπως το ότι η διαθεσιμότητα τους είναι απρόβλεπτη, ποικίλει και είναι διαθέσιμη όχι συνεχώς. Για να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις είναι απαραίτητες νέες τεχνολογίες ενέργειας όπως για παράδειγμα για την αποθήκευση της (Simeon et al., 2018). Ωστόσο και σήμερα πλήθος τεχνολογιών για την αξιοποίηση των ΑΠΕ είναι διαθέσιμες (Baidya and Nandi, 2020). Η ενεργειακή διασύνδεση η οποία είναι εφικτή ακόμα και σε παγκόσμιο επίπεδο, μπορεί να οικοδομήσει ένα νέο μοτίβο ενεργειακής ανάπτυξης δίνοντας λύση σε θέματα όπως η διαθεσιμότητα της ενέργειας στο χρόνο και τον χώρο και τα περιβαλλοντικά προβλήματα και να εξασφαλίσει αποτελεσματικά την παροχή επαρκούς καθαρής ενέργειας (Zhou, 2019).

5.3.5 Περιβαλλοντικό πλαίσιο

Γενικά η παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, μέσω της παραγωγής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Η συμβολή είναι σημαντική, καθώς υπολογίζεται ότι το μερίδιο εκπομπών των αερίων που συμβάλουν και οφείλονται στην παραγωγή της φτάνει στο 78% (Randolph and Masters, 2018). Επίσης τόσο τα έργα ανανεώσιμης ενέργειας (Zorpas et al., 2017) όσο και η παράκτια εξόρυξη υδρογονανθράκων (Speight, 2015; Elbisy, 2016) συνδέονται με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Ωστόσο, θεωρείται ότι το φυσικό αέριο είναι περισσότερο περιβαλλοντικά φιλικό καθαρό καύσιμο σε σχέση με τον άνθρακα

και το αργό πετρέλαιο (Faramawy, Zaki and Sakr, 2016). Λόγω των σχετικά χαμηλότερων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρυπαντών, είναι μία υποσχόμενη μεταβατική πηγή ενέργειας μεταξύ των ορυκτών καυσίμων που παράγουν υψηλότερες εκπομπές και των ανανεώσιμων πηγών (Chávez-Rodríguez et al., 2017). Οι ΑΠΕ από την άλλη ενώ είναι περιβαλλοντικά φιλικές, μπορεί να μην είναι συνεχώς διαθέσιμες και η διαθεσιμότητα τους είναι συχνά απρόβλεπτη (Simeon et al., 2018). Οι υποδομές για την παραγωγή ενέργειας επίσης απαιτούν γη (Silva and Sareen, 2021; Chen, Kirkerud and Bolkesjø, 2022).

5.3.6 Νομικό πλαίσιο

Το νομικό πλαίσιο για το ενεργειακό σύστημα στην Κύπρο καθορίζεται από την Κυπριακή και Ευρωπαϊκή νομοθεσία η οποία ρυθμίζει όλες τις σημαντικές παραμέτρους τόσο για την παραγωγή ενέργειας, αλλά και τη ανάπτυξη και χρήση ΑΠΕ και την εκμετάλλευση των υδρογονανθράκων. Η σχετική νομοθεσία προβλέπει πρόνοιες για όλα τα θέματα ρύθμισης της αγοράς και τις διαδικασίες αδειοδότησης, αλλά και την επαγγελματική ασφάλεια και υγεία καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος.

5.3.7 Ανάλυση SWOT

Με βάση το πλαίσιο που προέκυψε από την ανάλυση PESTEL μπορεί πλέον να ετοιμαστεί η ανάλυση SWOT, όπου θα καταγράφονται τα δυνατά σημεία, τα αδύνατα σημεία, οι ευκαιρίες και οι απειλές για τις επιλογές ενεργειακού σχεδιασμού, την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων και το ενεργειακό σύστημα της Κύπρου. Έτσι θα προκύψουν και οι δείκτες αειφορίας βάση των οποίων θα μπορεί να αξιολογηθεί ο ενεργειακός σχεδιασμός και τα εναλλακτικά σενάρια του. Σε αυτή την ανάλυση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι δυνατά σημεία και οι ευκαιρίες αποτελούν θετικά στοιχεία, ενώ τα αδύνατα σημεία και οι απειλές αρνητικά.

Σχετικά με το πολιτικό πλαίσιο προκύπτει ως δυνατό σημείο για ένα ενεργειακό σχέδιο η ενεργειακή ασφάλεια η οποία μπορεί να εξασφαλιστεί μέσω της αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων που διαθέτει η Κύπρος. Αντίστοιχα οι πολιτικές και στόχοι του ΟΗΕ και της ΕΕ καθώς και η πολιτική σταθερότητα αποτελούν ευκαιρίες για οποιοδήποτε ενεργειακό σύστημα να καταστεί αειφόρο. Το Κυπριακό Πρόβλημα και η πιθανότητα πρόκλησης συγκρούσεων που συνδέεται με την εκμετάλλευση ενεργειακών πόρων από την άλλη αποτελούν απειλές για την αειφορία για οποιοδήποτε σενάριο.

Από το οικονομικό πλαίσιο προκύπτει ως δυνατό σημείο το εισόδημα το οποίο θα προκύψει από της αξιοποίηση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων της χώρας ή και την μείωση του κόστους των εισαγωγών, ενώ ένα αδύνατο σημείο είναι το κόστος της υποδομής που

απαιτείται για να υλοποιηθεί το κάθε σχέδιο, το οποίο ενδέχεται να είναι υψηλό. Σίγουρα ευκαιρία είναι η αύξηση του ΑΕΠ η οποία συνδέεται με την οικονομική ανάπτυξη που έχουν τη δυνατότητα να επιφέρουν οι ενεργειακοί πόροι, ενώ απειλή αποτελεί γενικότερα το κόστος της ενέργειας για κάθε περίπτωση, αλλά και ενδεχόμενη έλλειψη χρηματοδότησης, καθώς το χαμηλό κόστος ενέργειας, όπως και το να μην υπάρχουν οικονομικοί πόροι ενδέχεται να προκαλέσουν καθυστέρηση στην υλοποίηση του οποιοδήποτε σχεδιασμού.

Δυνατό σημείο, το οποίο συνδέεται με το κοινωνικό πλαίσιο είναι οι ανάγκες που προκύπτουν για εργοδότηση και οι θέσεις εργασίας για κάθε επιλογή. Αδύνατο σημείο από την άλλη είναι οι κίνδυνοι επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (A & Y) που συνδέονται με την κατασκευή και λειτουργία των ενεργειακών υποδομών σε κάθε περίπτωση. Αντίστοιχα μία ευκαιρία για τον ενεργειακό σχεδιασμό αποτελεί η κοινωνική αποδοχή για τις απαιτούμενες υποδομές για κάθε σχέδιο, η οποία δεν είναι πάντοτε αυτονόητη, αλλά σε περίπτωση που εξασφαλισθεί μπορεί να διασφαλίσει την αειφορία του. Τέλος μία κοινωνική απειλή για την αειφορία αποτελεί η μειωμένη συμμετοχή από τα μέρη της κοινωνίας στον ενεργειακό σχεδιασμό.

Τεχνολογικά, δυνατό σημείο για οποιοδήποτε ενεργειακό σχεδιασμό είναι η διασύνδεση η οποία προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Αδύνατο σημείο αποτελεί η ενδεχόμενη έλλειψη τεχνολογίας για την υλοποίηση του. Ευκαιρίες αποτελούν αντίστοιχα η γενικότερη διαθεσιμότητα τεχνολογιών για αποτελεσματική αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων, τόσο των ΑΠΕ όσο και του φυσικού αερίου, όπως και η καινοτομία για αυτά τα θέματα που θα υπάρχει στο περιβάλλον εφαρμογής του σχεδίου. Τεχνολογική απειλή ωστόσο αποτελεί η αύξηση της ζήτησης ενέργειας η οποία ενδέχεται να προκαλέσει αδυναμία αιφόρου εφαρμογής οποιουδήποτε σχεδίου.

Όσον αφορά το περιβάλλον, προφανώς δυνατό σημείο για οποιοδήποτε ενεργειακό σχέδιο στην εποχή μας αποτελεί η δυναμική του για μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Ωστόσο, οι συνδεόμενες με την ενέργεια περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα συνδέονται με κάθε σχέδιο, όπως και οι ανάγκες σε χρήση γης, όπως και ενδεχόμενη απαίτηση για μη ανανεώσιμους πόρους για την εφαρμογή του είναι αδύνατα σημεία. Ευκαιρία από την άλλη αποτελεί η γενικότερη διαθεσιμότητα πόρων τόσο ενεργειακών όσο και άλλων όπως υλικά, γη κτλ., ενώ η κλιματική αλλαγή και οι πιθανές συνέπειες είναι μία απειλή για την εφαρμογή οποιουδήποτε σχεδίου. Όσον αφορά το νομικό πλαίσιο, μπορεί να καταγραφεί μόνο μία ευκαιρία για την αειφορία ενός ενεργειακού σχεδίου η οποία είναι το νομικό πλαίσιο για την εφαρμογή του.

Με βάση τα πιο πάνω στον πίνακα 5.1. καταγράφονται σε πλέγμα SWOT και ανά στοιχείο του πλαισίου PESTEL, τα κριτήρια που μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες για την αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου. Αντίστοιχα στον πίνακα δίνεται ένας κωδικός σε κάθε σημείο του πλέγματος για εύκολη αναφορά.

Πίνακας 5.1. Πλέγμα PESTEL – SWOT ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου.

Ομάδα κριτηρίων	Δυνατά Σημεία - θετικά	Αδύνατα Σημεία - αρνητικά	Ευκαιρίες - θετικά	Απειλές - Αρνητικά
Πολιτικά	Π1. Δυναμική για ενεργειακή ασφάλεια		Π2. Συμβατότητα με πολιτικές και στόχους του ΟΗΕ και ΕΕ Π3. Πολιτική σταθερότητα	Π4. Κυπριακό Πρόβλημα Π5. Πιθανότητα σύγκρουσης
Οικονομικά	Ο1. Εισόδημα	Ο2. Κόστος υποδομής	Ο3. Δυνητική αύξηση ΑΕΠ	Ο4. Κόστος ενέργειας Ο5. Έλλειψη χρηματοδότησης
Κοινωνικά	Κ1. Ανάγκες εργοδότησης	Κ2. Κίνδυνοι Α & Υ	Κ3. Κοινωνική αποδοχή για την απαιτούμενη υποδομή	Κ4. Μειωμένη συμμετοχή
Τεχνολογικά	Τ1. Διασύνδεση	Τ2. Έλλειψη τεχνολογίας	Τ3. Διαθεσιμότητα τεχνολογιών Τ4. Καινοτομία	Τ5. Αύξηση ζήτησης ενέργειας
Περιβαλλοντικά	ΠΕ1. Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	ΠΕ2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις ΠΕ3. Χρήση γης ΠΕ4. Ανάγκη για μη ανανεώσιμους πόρους	ΠΕ5. Διαθεσιμότητα πόρων	ΠΕ6. Κλιματική αλλαγή
Νομικά			Ν1. Νομοθετικό πλαίσιο	

Οπότε από αυτό το πλέγμα προκύπτουν και οι δείκτες αειφορίας που μπορούν να χρησιμοποιούνται για να ελεγχθεί το οποιοδήποτε σχέδιο για την ενέργεια και τις επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων που θα εφαρμοστεί για την Κύπρο.

5.3.8 Ερωτηματολόγιο έρευνας

Προκειμένου να συλλεχθούν τα πρωτογενή δεδομένα για την εφαρμογή της μεθόδου αξιολόγησης της αειφορίας, διαμορφώθηκε ερωτηματολόγιο όπως παρουσιάζεται στο παράρτημα Α.

5.3.9 Δείγμα έρευνας

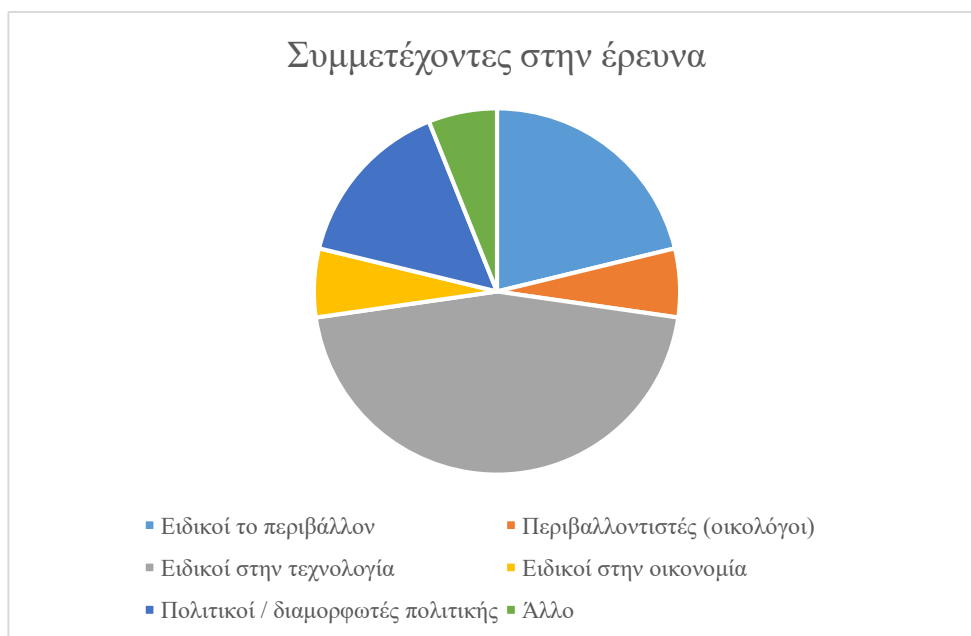
Τα ερωτηματολόγια της έρευνας στάλθηκαν, με χρήση διαδικτυακής πλατφόρμας, σε άτομα που είχαν σχέση είτε με την ενέργεια, είτε με το περιβάλλον, είτε με το σχεδιασμό πολιτικής σε αυτά τα θέματα. Από την έρευνα που διεξήχθη έγινε συλλογή 33 συμπληρωμένων ερωτηματολογίων. Τα περισσότερα απαντήθηκαν αυτόματα από τους συμμετέχοντες ενώ σε τρεις περιπτώσεις συμπληρώθηκαν με συνέντευξη. Τα άτομα που απάντησαν τα ερωτηματολόγια αρχικά ζητήθηκε να χαρακτηρίσουν τον εαυτό τους μεταξύ επιλογών ειδικότητας που καταγράφονταν στο ερωτηματολόγιο. Οι επιλογές χαρακτήριζαν τη σχέση που μπορεί να έχει ο κάθε ειδικός με την ενέργεια και τον ενεργειακό σχεδιασμό. Οι απαντήσεις που δόθηκαν σε αυτή την ερώτηση συνοψίζονται στον Πίνακα 5.2. που ακολουθεί. Η κατανομή των συμμετεχόντων παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 5.1.

Πίνακας 5.2. Ειδικότητες συμμετεχόντων στην έρευνα για τη μέθοδο PESTEL-SWOT-Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων.

Ειδικότητα	Αριθμός συμμετεχόντων
Ειδικοί το περιβάλλον	7
Περιβαλλοντιστές (οικολόγοι)	2
Ειδικοί στην τεχνολογία	15
Ειδικοί στην οικονομία	2
Πολιτικοί / διαμορφωτές πολιτικής	5
Άλλο	2 (Ακαδημαϊκός, Μηχανικός Ενέργειας)
Σύνολο	33

Επίσης ζητήθηκε σαν προαιρετική επιλογή να ονομαστεί ο οργανισμός στον οποίο ανήκε το κάθε άτομο που απαντούσε. Από τις απαντήσεις διαπιστώθηκε ότι σε τρεις περιπτώσεις άτομα που χαρακτήρισαν τον εαυτό τους ως ειδικούς στο περιβάλλον, δήλωσαν ως οργανισμό κάποια περιβαλλοντική οργάνωση. Οπότε θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι

ενδεχόμενα ανήκουν και στην κατηγορία των περιβαλλοντιστών, ωστόσο εντάχθηκαν στην ειδικότητα που δήλωσαν ότι ανήκουν.



Σχεδιάγραμμα 5.1. Κατανομή συμμετεχόντων σε έρευνα για την εφαρμογή της μεθόδου PESTEL-SWOT-Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων.

5.3.10 Αποτελέσματα έρευνας

Από τους συμμετέχοντες ζητήθηκε να αξιολογήσουν συγκριτικά ποια κριτήρια από τα στοιχεία του πλαισίου PESTEL-SWOT ευνοούνται περισσότερο για το κάθε σενάριο από τα τρία που σχεδιάστηκαν και τα οποία τους παρουσιάστηκαν. Οι απαντήσεις που λήφθηκαν για όλους τους συμμετέχοντες και για τις 15 επιλογές σύγκρισης για το σενάριο Α παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3, για το σενάριο Β στον Πίνακα 5.4 και για το σενάριο Γ στον πίνακα 5.5.

Για τις συγκρίσεις εφαρμόστηκε η κλίμακα εννέα επιλογών ζευγαρωτής σύγκρισης ως εξής:

1. Τα πρώτα κριτήρια είναι απολύτως υψηλότερης αξίας
2. Τα πρώτα κριτήρια είναι πολύ ισχυρά ή αποδεδειγμένα υψηλότερης αξίας
3. Τα πρώτα κριτήρια είναι ισχυρά υψηλότερης αξίας
4. Τα πρώτα κριτήρια είναι υψηλότερης αξίας
5. Τα συγκρινόμενα κριτήρια είναι ίσης αξίας
6. Τα δεύτερα κριτήρια είναι υψηλότερης αξίας
7. Τα δεύτερα κριτήρια είναι ισχυρά υψηλότερης αξίας
8. Τα δεύτερα κριτήρια είναι πολύ ισχυρά ή αποδεδειγμένα υψηλότερης αξίας
9. Τα δεύτερα κριτήρια είναι απολύτως υψηλότερης αξίας

Πίνακας 5.3. Απαντήσεις συνόλου συμμετεχόντων για σενάριο Α.

Σενάριο Α / Όλοι οι συμμετέχοντες									
Επιλογές	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Πολιτικό vs Οικονομικό	1	3	5	5	9	3	5	2	0
Πολιτικό vs Κοινωνικό	4	5	5	5	5	2	5	0	2
Πολιτικό vs Τεχνολογικό	3	4	5	3	4	6	4	2	2
Πολιτικό vs Περιβαλλοντικό	3	3	3	3	4	3	4	7	3
Πολιτικό vs Νομικό	2	4	3	3	12	3	3	1	2
Τεχνολογικό vs Περιβαλλοντικό	1	4	2	5	6	5	5	5	0
Τεχνολογικό vs Νομικό	2	4	5	1	8	5	4	2	2
Νομικό vs Περιβαλλοντικό	0	1	3	4	6	5	8	6	0
Οικονομικό vs Κοινωνικό	3	4	2	3	12	4	3	2	0
Οικονομικό vs Τεχνολογικό	2	1	11	3	10	2	2	2	0
Οικονομικό vs Περιβαλλοντικό	2	3	6	4	5	3	4	5	1
Οικονομικό vs Νομικό	1	5	4	8	7	1	5	1	1
Κοινωνικό vs Τεχνολογικό	0	2	4	8	6	4	7	1	1
Κοινωνικό vs Περιβαλλοντικό	0	0	4	3	13	4	2	6	1
Κοινωνικό vs Νομικό	0	2	4	9	9	3	2	3	1

Πίνακας 5.4. Απαντήσεις συνόλου συμμετεχόντων για σενάριο Β.

Σενάριο Β / Όλοι οι συμμετέχοντες									
Επιλογές	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Πολιτικό vs Οικονομικό	0	6	5	4	10	2	3	3	0
Πολιτικό vs Κοινωνικό	4	2	5	4	7	5	2	3	1
Πολιτικό vs Τεχνολογικό	3	2	4	4	9	5	2	3	1
Πολιτικό vs Περιβαλλοντικό	1	1	5	4	3	6	5	5	3
Πολιτικό vs Νομικό	0	3	4	5	11	4	5	1	0
Τεχνολογικό vs Περιβαλλοντικό	1	2	1	6	6	6	5	4	2
Τεχνολογικό vs Νομικό	2	4	2	5	9	3	6	2	0
Νομικό vs Περιβαλλοντικό	0	1	5	3	9	5	4	4	2
Οικονομικό vs Κοινωνικό	1	2	6	4	7	4	5	3	1
Οικονομικό vs Τεχνολογικό	1	2	4	7	9	4	4	1	1
Οικονομικό vs Περιβαλλοντικό	0	1	2	7	6	6	5	4	2
Οικονομικό vs Νομικό	2	1	5	8	9	3	3	1	1
Κοινωνικό vs Τεχνολογικό	0	5	2	8	11	2	2	1	2
Κοινωνικό vs Περιβαλλοντικό	1	0	3	2	14	2	3	7	1
Κοινωνικό vs Νομικό	1	3	4	11	6	3	2	2	1

Πίνακας 5.5. Απαντήσεις συνόλου συμμετεχόντων για σενάριο Γ.

Σενάριο Γ / Όλοι οι συμμετέχοντες									
Επιλογές	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Πολιτικό vs Οικονομικό	2	7	8	2	6	4	2	2	0
Πολιτικό vs Κοινωνικό	4	6	9	4	3	3	2	2	0
Πολιτικό vs Τεχνολογικό	4	6	4	3	8	2	3	2	1
Πολιτικό vs Περιβαλλοντικό	5	4	7	3	2	2	4	4	2
Πολιτικό vs Νομικό	4	4	6	8	7	2	2	0	0
Τεχνολογικό vs Περιβαλλοντικό	4	3	7	4	3	3	4	4	1
Τεχνολογικό vs Νομικό	2	3	9	4	9	2	2	2	0
Νομικό vs Περιβαλλοντικό	0	2	2	4	10	1	7	5	2
Οικονομικό vs Κοινωνικό	1	5	5	2	10	5	3	2	0
Οικονομικό vs Τεχνολογικό	2	3	7	4	10	3	2	1	1
Οικονομικό vs Περιβαλλοντικό	3	3	8	2	3	5	6	2	1
Οικονομικό vs Νομικό	2	3	10	6	9	0	2	1	0
Κοινωνικό vs Τεχνολογικό	2	1	5	4	9	6	3	2	1
Κοινωνικό vs Περιβαλλοντικό	1	3	5	2	12	5	3	1	1
Κοινωνικό vs Νομικό	1	4	6	6	9	3	3	0	1

5.3.11 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Μελετώντας τις απαντήσεις ανά ομάδα ειδικοτήτων συμμετεχόντων παρατηρείται σίγουρα διαφοροποίηση ως προς τις τάσεις αξιολογήσεων, η οποία προφανώς εξαρτάται από τις προτεραιότητες για την κάθε ομάδα με διαφορετική ειδικότητα. Επειδή όμως κάθε ξεχωριστή ειδικότητα και ομάδα ειδικών που συμμετείχε στην έρευνα θα πρέπει να έχει ισοδύναμη συμμετοχή στις αξιολογήσεις, ώστε να καλύπτεται όλο το φάσμα των θεμάτων και προσεγγίσεων, η ανάλυση θα πρέπει να γίνει ανά ομάδα συμμετεχόντων. Εφαρμόζοντας την μέθοδο υπολογισμού της βαρύτητας των κριτηρίων που βασίζεται στην μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, υπολογίστηκαν οι τιμές των κριτηρίων για το κάθε σενάριο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε ομάδα ειδικών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6. Οι δύο συμμετέχοντες που δήλωσαν σαν ιδιότητα άλλη από τις επιλογές που είχαν δοθεί στο ερωτηματολόγιο, αποδόθηκαν λόγω συνάφειας ο Μηχανικός Ενέργειας στους Ειδικούς στην Τεχνολογία και ο Ακαδημαϊκός στους Πολιτικούς / Διαμορφωτές Πολιτικής.

Πίνακας 5.6. Βαρύτητα κριτηρίων ανά ομάδα συμμετεχόντων και ανά σενάριο.

Ειδικοί στην τεχνολογία	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Πολιτικά κριτήρια	21.00%	25.60%	42.30%
Οικονομικά κριτήρια	23.60%	21.90%	13.70%
Κοινωνικά κριτήρια	18.70%	12.50%	9.30%
Τεχνολογικά κριτήρια	13.90%	16.40%	17.10%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	15.60%	15.70%	9.60%
Νομικά κριτήρια	7.10%	7.70%	8.00%
Πολιτικοί / Διαμορφωτές Πολιτικής	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Πολιτικά κριτήρια	19.60%	13.50%	15.30%
Οικονομικά κριτήρια	26.10%	13.50%	29.20%
Κοινωνικά κριτήρια	11.10%	26.30%	19.80%
Τεχνολογικά κριτήρια	13.20%	9.40%	15.80%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	13.90%	25.10%	15.10%
Νομικά κριτήρια	16.00%	12.30%	4.70%
Ειδικοί στην Οικονομία	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Πολιτικά κριτήρια	19.80%	4.10%	16.80%
Οικονομικά κριτήρια	22.40%	13.20%	24.60%
Κοινωνικά κριτήρια	19.80%	29.00%	21.80%
Τεχνολογικά κριτήρια	10.60%	20.90%	17.00%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	12.40%	22.30%	17.00%

Νομικά κριτήρια	15.00%	10.50%	2.80%
Ειδικοί στο Περιβάλλον	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Πολιτικά κριτήρια	7.80%	12.90%	13.40%
Οικονομικά κριτήρια	8.20%	11.50%	16.40%
Κοινωνικά κριτήρια	13.10%	12.90%	14.10%
Τεχνολογικά κριτήρια	11.50%	13.80%	14.10%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	44.00%	30.70%	27.80%
Νομικά κριτήρια	15.40%	18.10%	14.10%
Περιβαλλοντιστές (Οικολόγοι)	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Πολιτικά κριτήρια	15.40%	25.80%	37.10%
Οικονομικά κριτήρια	21.30%	19.90%	20.60%
Κοινωνικά κριτήρια	13.00%	8.20%	14.00%
Τεχνολογικά κριτήρια	9.70%	4.20%	3.70%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	28.80%	23.30%	15.80%
Νομικά κριτήρια	11.70%	18.50%	8.70%

Οι υπολογισμοί έγιναν με χρήση του διαδικτυακού εργαλείου εφαρμογής της μεθόδου Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, AHP Online System - AHP-OS (BPMSG Software, 2018), το οποίο αναπτύχθηκε βάση του (Goepel, 2018).

Βασικά στοιχεία που προκύπτουν από τα πιο πάνω αποτελέσματα είναι ότι οι ειδικοί στην τεχνολογία θεωρούν ότι τα οικονομικά κριτήρια ευνοούνται περισσότερο για το σενάριο Α και τα πολιτικά κριτήρια για το σενάριο Β και σε αρκετά μεγαλύτερο βαθμό για το σενάριο Γ. Τα νομικά κριτήρια είναι τα λιγότερα ευνοημένα και για τα τρία σενάρια. Για τους Πολιτικούς / Διαμορφωτές πολιτικής τα οικονομικά κριτήρια υπερέχουν τόσο για το σενάριο Γ που αφορά την εξόρυξη φυσικού αερίου, αλλά και για το σενάριο Α, δηλαδή την συνέχιση της υφιστάμενης κατάστασης, ενώ για το σενάριο Β υπερέχουν τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Οι ειδικοί στην οικονομία επίσης θεωρούν ότι στα σενάρια Α και Γ υπερέχουν τα οικονομικά κριτήρια και στο σενάριο Β τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά. Ωστόσο ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι οι ειδικοί στο περιβάλλον και στα τρία σενάρια αξιολογούν ότι τα περιβαλλοντικά κριτήρια ευνοούνται ως προς τα υπόλοιπα, αλλά σαφώς σε μεγαλύτερο βαθμό για το σενάριο Α. Τέλος οι οικολόγοι που συμμετείχαν, επίσης δίνουν προβάδισμα στα περιβαλλοντικά κριτήρια για το σενάριο Α, ενώ για τα σενάρια Β και Γ θεωρούν ότι ευνοούνται περισσότερο τα πολιτικά κριτήρια.

Για διευκόλυνση των συγκρίσεων στον Πίνακα 5.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών ανά σενάριο και ανά ομάδα και ο βαθμός συνέπειας των υπολογισμών.

Από τον πίνακα προκύπτει η διάσταση που υπάρχει στις ζευγαρωτές συγκρίσεις και αξιολογήσεις από τις διαφορετικές ομάδες συμμετεχόντων. Για τα σενάρια Α και Β την μεγαλύτερη αξιολόγηση φαίνεται να λαμβάνουν τα περιβαλλοντικά κριτήρια από τους ειδικούς στο περιβάλλον, ενώ για το σενάριο Γ τα πολιτικά κριτήρια από τους οικολόγους.

Επίσης παρατηρείται ότι ενώ για το σενάριο Γ ο βαθμός συνέπειας είναι σε όλες τις περιπτώσεις χαμηλός, για το σενάριο Α υπάρχει υψηλή τιμή για τις αξιολογήσεις των Ειδικών στην οικονομία, ενώ για το σενάριο Β για τους Οικολόγους και Πολιτικούς / Διαμορφωτές πολιτικής. Ωστόσο οι βαθμοί συνέπειας έχουν διορθωθεί από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς και σε όλες τις περιπτώσεις είναι κάτω από 10%, όπως απαιτείται, διασφαλίζοντας τη συνέπεια των απαντήσεων.

Ωστόσο προκειμένου να υπάρχει ισόνομη συμμετοχή της κάθε ομάδας, στο αποτέλεσμα για κάθε σενάριο και για κάθε ομάδα κριτηρίων θα ληφθεί ως τιμή ο μέσος όρος των επιμέρους τιμών, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.8.

Αυτές οι τιμές δίνουν τον Μ.Ο. της βαρύτητας για κάθε ομάδα κριτηρίων για τα στοιχεία του πλαισίου PESTEL. Αντίστοιχα οι δείκτες που έχουν προκύψει με βάση την ανάλυση PESTEL / SWOT πρέπει να θεωρηθεί ότι μοιράζονται την τιμή για το κάθε στοιχείο του πλαισίου στο οποίο ανήκουν. Επίσης με βάση την κατηγοριοποίηση τους ως δυνατά σημεία, αδύνατα σημεία, ευκαιρίες ή απειλές παίρνουν το αντίστοιχο θετικό ή αρνητικό πρόσημο.

Οπότε τα μεγέθη για τους επιμέρους δείκτες διαμορφώνονται όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.9.

Πίνακα 5.7. Συγκριτικά αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου PESTEL-SWOT – Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Ομάδες κριτηρίων	Σενάριο Α				
	Ειδικοί στην τεχνολογία	Πολιτικοί / Διαμορφωτές Πολιτικής	Ειδικοί στην Οικονομία	Ειδικοί στο Περιβάλλον	Περιβαλλοντιστές (Οικολόγοι)
Consistency Ratio	1.4%	3.9%	9.1 %	2.4 %	6.2 %
Πολιτικά κριτήρια	21.00%	19.60%	19.80%	7.80%	15.40%
Οικονομικά κριτήρια	23.60%	26.10%	22.40%	8.20%	21.30%
Κοινωνικά κριτήρια	18.70%	11.10%	19.80%	13.10%	13.00%
Τεχνολογικά κριτήρια	13.90%	13.20%	10.60%	11.50%	9.70%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	15.60%	13.90%	12.40%	44.00%	28.80%
Νομικά κριτήρια	7.10%	16.00%	15.00%	15.40%	11.70%

Ομάδες κριτηρίων	Σενάριο Β				
	Ειδικοί στην τεχνολογία	Πολιτικοί / Διαμορφωτές Πολιτικής	Ειδικοί στην Οικονομία	Ειδικοί στο Περιβάλλον	Περιβαλλοντιστές (Οικολόγοι)
Consistency Ratio	5.7%	8.2%	4.3%	2.3%	9.0%
Πολιτικά κριτήρια	25.60%	13.50%	4.10%	12.90%	25.80%
Οικονομικά κριτήρια	21.90%	13.50%	13.20%	11.50%	19.90%
Κοινωνικά κριτήρια	12.50%	26.30%	29.00%	12.90%	8.20%

Ομάδες κριτηρίων	Σενάριο Β				
	Ειδικοί στην τεχνολογία	Πολιτικοί / Διαμορφωτές Πολιτικής	Ειδικοί στην Οικονομία	Ειδικοί στο Περιβάλλον	Περιβαλλοντιστές (Οικολόγοι)
Τεχνολογικά κριτήρια	16.40%	9.40%	20.90%	13.80%	4.20%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	15.70%	25.10%	22.30%	30.70%	23.30%
Νομικά κριτήρια	7.70%	12.30%	10.50%	18.10%	18.50%

Ομάδες κριτηρίων	Σενάριο Γ				
	Ειδικοί στην τεχνολογία	Πολιτικοί / Διαμορφωτές Πολιτικής	Ειδικοί στην Οικονομία	Ειδικοί στο Περιβάλλον	Περιβαλλοντιστές (Οικολόγοι)
Consistency Ratio	4.1%	5.1%	2.1%	1.4%	5.3%
Πολιτικά κριτήρια	42.30%	15.30%	16.80%	13.40%	37.10%
Οικονομικά κριτήρια	13.70%	29.20%	24.60%	16.40%	20.60%
Κοινωνικά κριτήρια	9.30%	19.80%	21.80%	14.10%	14.00%
Τεχνολογικά κριτήρια	17.10%	15.80%	17.00%	14.10%	3.70%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	9.60%	15.10%	17.00%	27.80%	15.80%
Νομικά κριτήρια	8.00%	4.70%	2.80%	14.10%	8.70%

Πίνακας 5.8. Μέσος όρος (Μ.Ο.) βαρύτητας κριτηρίων.

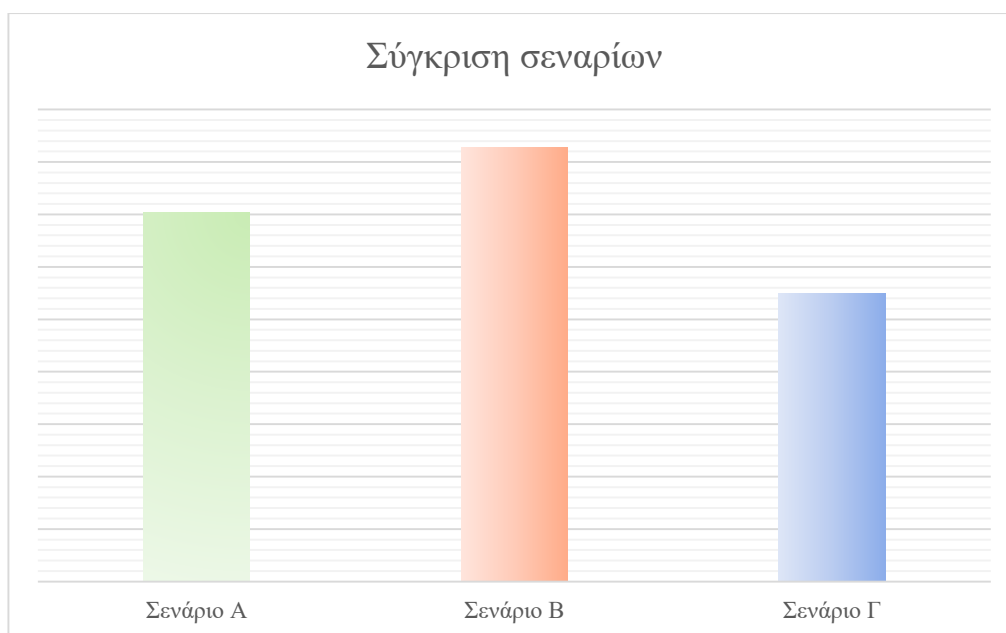
Μ.Ο.	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Πολιτικά κριτήρια	16.72%	16.38%	24.98%
Οικονομικά κριτήρια	20.32%	16.00%	20.90%
Κοινωνικά κριτήρια	15.14%	17.78%	15.80%
Τεχνολογικά κριτήρια	11.78%	12.94%	13.54%
Περιβαλλοντικά κριτήρια	22.94%	23.42%	17.06%
Νομικά κριτήρια	13.04%	13.42%	7.66%

Πίνακας 5.9. Μεγέθη δεικτών μεθόδου PESTEL-SWOT – Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Κριτήρια	Πρόσημο ±	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Πολιτικά κριτήρια		16.72	16.38	24.98
Π1. Δυναμική για ενεργειακή ασφάλεια	+	3.34	3.28	5.00
Π2. Συμβατότητα με πολιτικές και στόχους του ΟΗΕ και ΕΕ	+	3.34	3.28	5.00
Π3. Πολιτική σταθερότητα	+	3.34	3.28	5.00
Π4. Κυπριακό Πρόβλημα	-	-3.34	-3.28	-5.00
Π5. Πιθανότητα σύγκρουσης	-	-3.34	-3.28	-5.00
Οικονομικά Κριτήρια		20.32	16.00	20.90
Ο1. Εισόδημα	+	4.06	3.20	4.18
Ο2. Κόστος υποδομής	-	-4.06	-3.20	-4.18
Ο3. Δυνητική αύξηση ΑΕΠ	+	4.06	3.20	4.18
Ο4. Κόστος ενέργειας	-	-4.06	-3.20	-4.18
Ο5. Έλλειψη χρηματοδότησης	-	-4.06	-3.20	-4.18

Κριτήρια	Πρόσημο ±	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Κοινωνικά κριτήρια		15.14	17.78	15.80
Κ1. Ανάγκες εργοδότησης	+	3.79	4.45	3.95
Κ2. Κίνδυνοι Α & Υ	-	-3.79	-4.45	-3.95
Κ3. Κοινωνική αποδοχή για την απαιτούμενη υποδομή	+	3.79	4.45	3.95
Κ4. Μειωμένη συμμετοχή	-	-3.79	-4.45	-3.95
Τεχνολογικά κριτήρια		11.78	12.94	13.54
T1. Διασύνδεση	+	2.36	2.59	2.71
T2. Έλλειψη τεχνολογίας	-	-2.36	-2.59	-2.71
T3. Διαθεσιμότητα τεχνολογιών	+	2.36	2.59	2.71
T4. Καινοτομία	+	2.36	2.59	2.71
T5. Αύξηση ζήτησης ενέργειας	-	-2.36	-2.59	-2.71
Περιβαλλοντικά κριτήρια		22.94	23.42	17.06
ΠΕ1. Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	+	3.82	3.90	2.84
ΠΕ2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	-	-3.82	-3.90	-2.84
ΠΕ3. Χρήση γης	-	-3.82	-3.90	-2.84
ΠΕ4. Ανάγκη για μη ανανεώσιμους πόρους	-	-3.82	-3.90	-2.84
ΠΕ5. Διαθεσιμότητα πόρων	+	3.82	3.90	2.84
ΠΕ6. Κλιματική αλλαγή	-	-3.82	-3.90	-2.84
Νομικά κριτήρια		13.04	13.42	7.66
N1. Νομοθετικό πλαίσιο	+	13.04	13.42	7.66
Σύνολο		7.03	8.28	5.50

Η σχηματική απεικόνιση της σύγκρισης του μεγέθους της τελικής αξιολόγησης για το κάθε σενάριο φαίνεται στο Σχεδιάγραμμα 5.2.



Σχεδιάγραμμα 5.2. Μέγεθος αξιολόγησης επιλογών από μέθοδο PESTEL-SWOT – Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Οπότε προκύπτει ότι με βάση την μέθοδο συγκριτικής αξιολόγησης βάσει κριτηρίων που προέκυψαν από τη ανάλυση συνδυασμού PESTEL / SWOT, προκύπτει ότι το σενάριο Β παίρνει τον μεγαλύτερο βαθμό οπότε είναι και το πλέον αειφόρο. Δεύτερο έρχεται το σενάριο της παρούσας κατάστασης, ενώ η επιλογή αξιοποίησης των υδρογονανθράκων χωρίς τη λήψη περαιτέρω μέτρων έρχεται τρίτη.

5.3.12 Έλεγχος συνέπειας αποτελεσμάτων

Επίσης ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες στην έρευνα να αξιολογήσουν πιο σενάριο είναι πλέον αειφόρο για κάθε δείκτη που καθορίστηκε βάσει της ανάλυσης PESTEL – SWOT. Οι απαντήσεις που λήφθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10. Αξιολόγηση αειφορίας σεναρίων ενεργειακού σχεδιασμού, ανά δείκτη PESTEL/SWOT, από συμμετέχοντες.

Κριτήρια	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
<i>Π1. Δυναμική για ενεργειακή ασφάλεια</i>	1	14	18
<i>Π2. Συμβατότητα με πολιτικές και στόχους του ΟΗΕ και ΕΕ</i>	0	24	9
<i>Π3. Πολιτική σταθερότητα</i>	7	20	6
<i>Π4. Κυπριακό Πρόβλημα</i>	9	16	8
<i>Π5. Πιθανότητα σύγκρουσης</i>	5	16	12
<i>Ο1. Εισόδημα</i>	2	14	17
<i>Ο2. Κόστος υποδομής</i>	8	14	11
<i>Ο3. Δινητική αύξηση ΑΕΠ</i>	4	12	17
<i>Ο4. Κόστος ενέργειας</i>	5	11	17

Κριτήρια	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
<i>Ο5. Έλλειψη χρηματοδότησης</i>	10	15	8
<i>Κ1. Ανάγκες εργοδότησης</i>	2	17	14
<i>Κ2. Κίνδυνοι Α & Υ</i>	4	16	13
<i>Κ3. Κοινωνική αποδοχή για την απαιτούμενη υποδομή</i>	1	23	9
<i>Κ4. Μειωμένη συμμετοχή</i>	8	17	8
<i>Τ1. Διασύνδεση</i>	1	20	12
<i>Τ2. Έλλειψη τεχνολογίας</i>	10	12	11
<i>Τ3. Διαθεσιμότητα τεχνολογιών</i>	2	23	8
<i>Τ4. Καινοτομία</i>	2	21	10
<i>Τ5. Αύξηση ζήτησης ενέργειας</i>	7	13	13
<i>ΠΕ1. Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου</i>	3	20	10
<i>ΠΕ2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις</i>	2	20	11
<i>ΠΕ4. Χρήση γης</i>	6	13	14
<i>ΠΕ5. Ανάγκη για μη ανανεώσιμους πόρους</i>	5	17	11
<i>ΠΕ6. Διαθεσιμότητα πόρων</i>	5	22	6
<i>ΠΕ7. Κλιματική αλλαγή</i>	2	23	8
<i>Ν1. Νομοθετικό πλαίσιο</i>	2	23	8
Σύνολο	113	456	289

Από τις απαντήσεις σε αυτή την ερώτηση φαίνεται ότι επίσης το σενάριο Β αναδεικνύεται ως το πλέον αιεφόρο καθώς συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό επιλογών. Ωστόσο το σενάριο Γ έρχεται δεύτερο και το σενάριο Α τρίτο. Η συγκεκριμένη μέθοδος αξιολόγησης δίνει άμεση εικόνα για κάθε σενάριο ως προς κάθε δείκτη, αλλά οι απαντήσεις δεν υπόκεινται σε επεξεργασία, ούτε συνυπολογίζεται βαρύτητα για τον κάθε δείκτη για τον υπολογισμό του αθροίσματος. Οι απαντήσεις είναι ωστόσο ενδιαφέρον να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων, αλλά και για τον έλεγχο της συνέπειας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την συγκριτική αξιολόγηση βάση των προνοιών της μεθόδου Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων.

Επομένως η επιλογή του σεναρίου Β που προβλέπει την εφαρμογή μέτρων για μείωση των εκπομπών, αύξηση της συμβολής ΑΠΕ και βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, ως το πλέον αιεφόρο, προέκυψε με συνέπεια από τις κρίσεις των ειδικών. Εντούτοις, υπάρχει διαφοροποίηση ως προς την δεύτερη και τρίτη επιλογή. Επιπλέον, παρουσιάζει ενδιαφέρον ότι ενώ το σενάριο Β κρίνεται για τον μεγαλύτερο αριθμό κριτηρίων ως το πλέον αιεφόρο, για τρεις οικονομικούς δείκτες, δύο θετικούς το εισόδημα και την δυνητική αύξηση του ΑΕΠ και ένα αρνητικό, το κόστος ενέργειας, όπως και ένα περιβαλλοντικό, τη χρήση γης το σενάριο Γ επιλέγεται ως περισσότερο αιεφόρο. Αντίθετα σε καμία περίπτωση και για κανένα δείκτη δεν επιλέγεται το σενάριο Α ή ΒΑΥ, δηλαδή η συνέχιση της παρούσας κατάστασης ως πλέον αιεφόρο.

5.4 Μέθοδος Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής

Σε αυτή την παράγραφο εφαρμόζεται η μεθοδολογία αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού η οποία βασίζεται στην διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (AKZ). Αρχικά καθορίζεται ο σκοπός και οι στόχοι εφαρμογής της μεθόδου όπου καθορίζονται το σύστημα του κύκλου ζωής για το ενεργειακό σχεδιασμό της Κύπρου και τα όρια του, όπως και η κατάλληλη λειτουργική μονάδα για την μελέτη αυτού του συστήματος. Κατόπιν καταγράφονται τα στοιχεία που προκύπτουν από την απογραφή, από τα οποία προκύπτουν και οι περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές κατηγορίες επιπτώσεων που μπορούν να αποδοθούν στο ενεργειακό σύστημα της Κύπρου. Έτσι, καθορίζονται οι δείκτες για την αξιολόγηση του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου και τέλος με βάση τα δεδομένα που έχουν προκύψει από την ανάλυση των απαντήσεων στα ερωτηματολόγια αποδίδεται μέγεθος σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων για κάθε εναλλακτικό σενάριο. Με βάση τα μεγέθη που προκύπτουν, γίνεται δυνατή η σύγκριση των τριών εναλλακτικών σεναρίων και η ανάδειξη του πλέον αειφόρου όπως προκύπτει. Παράλληλα γίνεται επίσης έλεγχος της συνέπειας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις εκτιμήσεις.

5.4.1 Σκοπός και στόχοι AKZ

Η περίπτωση μελέτης της μεθόδου αξιολόγησης με βάση την AKZ είναι η Κύπρος. Όπως έχει αναφερθεί είναι μία νησιώτικη χώρα, μέλος της ΕΕ η οποία βρίσκεται στην βόρειο ανατολική Μεσόγειο και συνορεύει μέσω της θάλασσας, με την Τουρκία στα βόρεια, την Συρία και τον Λίβανο στα ανατολικά, το Ισραήλ και την Αίγυπτο στα νότια και την Ελλάδα στα Δυτικά.

Σκοπός της μελέτης είναι να εφαρμοστεί η μέθοδος αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού που προτείνεται, ώστε να ανασκοπηθεί ο κύκλος ζωής του ενεργειακού συστήματος της χώρας, ώστε να προκύψουν τα κρίσιμα σημεία όπου είναι δυνατόν να προκαλέσει επιπτώσεις στο περιβάλλον, στην οικονομία και την κοινωνία, ώστε να διαμορφωθούν δείκτες, με την μέτρηση των οποίων να είναι δυνατόν να αξιολογηθεί κατά πόσο ο ενεργειακός σχεδιασμός και οι εναλλακτικές του όσον αφορά την εκμετάλλευση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων είναι στα πλαίσια της αειφορίας. Επίσης θα αποδοθεί μέγεθος σε αυτούς τους δείκτες με βάση εκτιμήσεις ειδικών. Τα αποτελέσματα της μελέτης θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή εισηγήσεων και διαμόρφωση προτάσεων οι οποίες θα δημοσιευθούν και θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε από ειδικούς και ερευνητές, είτε και από λήπτες αποφάσεων.

5.4.1.1 Λειτουργική Μονάδα (Functional Unit)

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14044 (ISO, 2006b), προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα εισερχόμενα και εξερχόμενα σε μία μελέτη ΑΚΖ εκφράζονται μαθηματικά με συνεπή τρόπο, η Λειτουργική Μονάδα (FU) πρέπει να είναι μετρήσιμη και ξεκάθαρα προσδιορισμένη. Επίσης πρέπει να αντανακλά ένα εμπορεύσιμο προϊόν (Banti *et al.*, 2020). Συνήθεις μονάδες μέτρησης της ενέργειας είναι το Joule (J), η θερμίδα (cal), το BTU και όταν αφορά εμπορικές εφαρμογές κυρίως η kWh, η MWh ή η GWh. Επίσης όταν αφορά ορυκτούς πόρους μπορεί να γίνεται μετατροπή σε κυβικά πόδια φυσικού αερίου (cf) ή και βαρέλια (barrel). Σε μελέτες ΑΚΖ σχετικά με ενεργειακά συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί η kWh παραγωγής ή κατανάλωσης ενέργειας (Turconi *et al.*, 2014; Atilgan and Azapagic, 2016; Akber, Thaheem and Arshad, 2017; Quek *et al.*, 2018), η MWh (García-Gusano *et al.*, 2016; Kiss, Kácsor and Szalay, 2020) και το 1 MJ (Raugei *et al.*, 2018). Σε μια διαφορετική προσέγγιση ως λειτουργική μονάδα ορίστηκε η ετήσια κατανάλωση ενέργειας σε ένα κράτος ή το ένα Ευρώ που ξοδεύτηκε από τους καταναλωτές για αγορά ενέργειας (Igos *et al.*, 2015). Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου στις εκθέσεις της χρησιμοποιεί ως μονάδα παραγόμενης ενέργειας την GWh ή την MWh (CERA, 2021a), ενώ η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ) χρησιμοποιεί την MWh (EAC, no date). Στην παρούσα μελέτη η Λειτουργική Μονάδα (FU) θα είναι μία (1) MWh παραγόμενης ενέργειας.

5.4.2 Ο Κύκλος Ζωής του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου

Ο ενεργειακός σχεδιασμός σε ένα Κράτος μπορεί να καλύπτει όλες τις φάσεις της προμήθειας, παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Από την εξασφάλιση των πόρων, είτε μέσω προμήθειας ή μέσω παραγωγής τους, την χρήση τους και σε περίπτωση που υπάρχει επιλογή την εξαγωγή τους ή την εξαγωγή ενέργειας. Οπότε τα όρια του συστήματος που θα μελετηθεί για την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού πρέπει να περιλαμβάνουν όλα αυτά τα στάδια όπως απεικονίζεται στο Σχεδιάγραμμα 5.3.



Σχεδιάγραμμα 5.3. Όρια συστήματος κύκλου ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου.

5.4.3 Απογραφή συστήματος Κύκλου Ζωής

Όπως έχει παρουσιαστεί η παραγωγή ενέργειας στην Κύπρο σήμερα βασίζεται κυρίως σε εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα με ένα ποσοστό συμμετοχής από ΑΠΕ, το οποίο αναμένεται να αυξηθεί. Η ηλεκτροπαραγωγή με συμβατικό τρόπο γίνεται κυρίως από την ΑΗΚ, ενώ έχουν δοθεί και άδειες για λειτουργία και ιδιωτικής μονάδας. Για αυτό διατηρούνται αποθέματα καυσίμων. Επίσης η Κύπρος διαθέτει αποθέματα φυσικού αερίου των οποίων υπάρχουν σε εξέλιξη δραστηριότητες έρευνας, σχεδιάζεται η εκμετάλλευσή τους και για τα οποία η Κυβέρνηση αξιολογεί και την δυνατότητα εξαγωγών (Taliotis, Taibi, *et al.*, 2017), ενώ παράλληλα υπάρχουν σχεδιασμοί για ενεργειακή διασύνδεση του νησιού με υποθαλάσσιο καλώδιο και αγωγό φυσικού αερίου, καθώς και για την εισαγωγή υδροποιημένου φυσικού αερίου. Η κατανάλωση ενέργειας αφορά τον κλιματισμό και φωτισμό των κτηρίων, την ετοιμασία φαγητού, την παραγωγή ζεστού νερού, τις μεταφορές και την λειτουργία της βιομηχανίας. Οι βιομηχανίες που συμμετέχουν στο σύστημα εμπορίας ρύπων στο νησί είναι εκτός από τους ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς, ένα τσιμεντοποιείο και οκτώ τουβλοποιεία (Τμήμα Περιβάλλοντος, 2022).

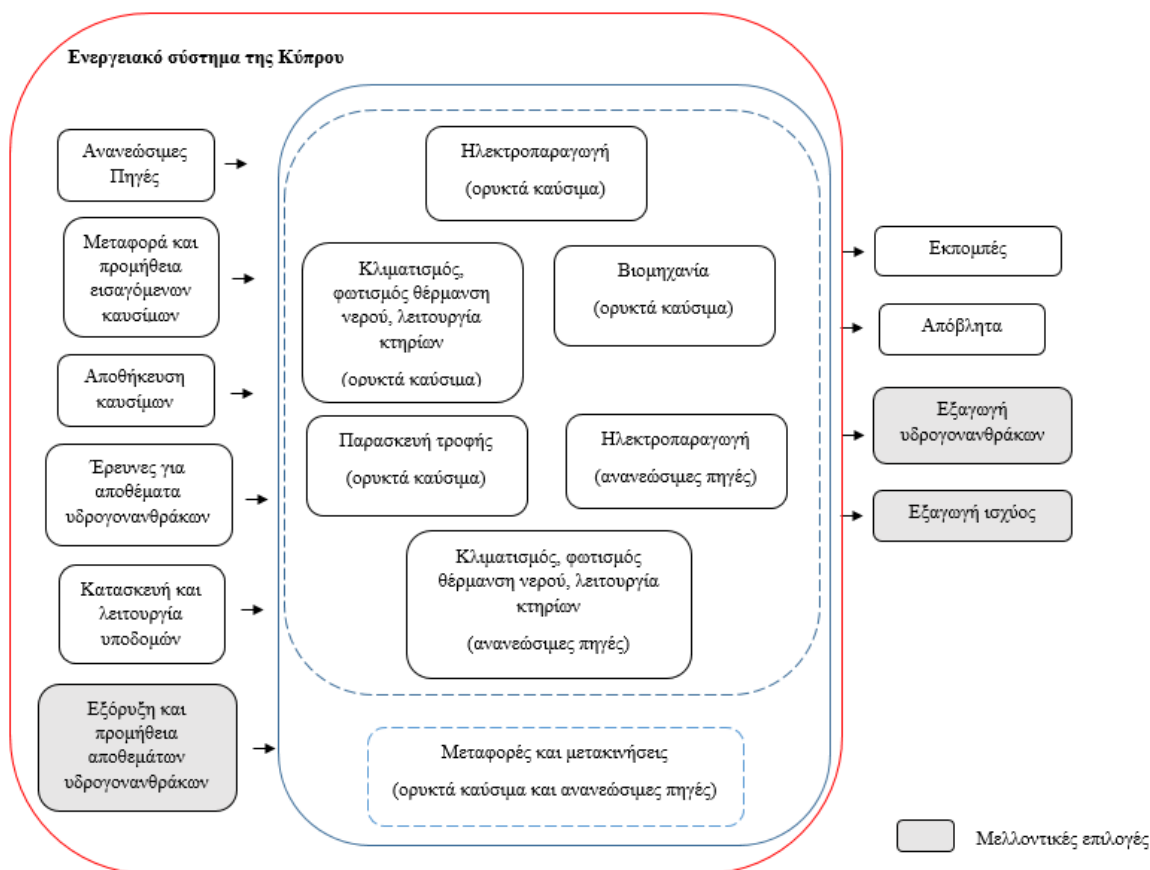
Με βάση τα πιο πάνω, το σύστημα του κύκλου ζωής για τους ενεργειακούς πόρους της Κύπρου που αφορά τον ενεργειακό σχεδιασμό απεικονίζεται στο Σχεδιάγραμμα 5.4.

5.4.4 Παραδοχές

Οι παραδοχές της ΑΚΖ για το ενεργειακό σύστημα της Κύπρου που γίνεται στην παρούσα έρευνα είναι αρχικά ότι τα βιβλιογραφικά δεδομένα είναι πλήρη και ενημερωμένα. Η ανασκόπηση που έχει διεξαχθεί διασφαλίζει την πληρότητα. Επιπλέον το ότι στην βιβλιογραφία που μελετήθηκε περιλαμβάνονται τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα διασφαλίζει κατά το δυνατόν ότι είναι επίκαιρα.

Επίσης μία άλλη παραδοχή για την παρούσα έρευνα είναι ότι οι συμμετέχοντες στην έρευνα, ειδικοί οι οποίοι αποδίδουν μέγεθος στις επιπτώσεις, είναι πλήρως ενήμεροι και εξοικειωμένοι με τον ενεργειακό τομέα. Αυτό θα διασφαλιστεί μέσω της λήψης απαντήσεων από επιλεγμένο δείγμα εμπειρογνομώνων από την Κύπρο.

Τέλος οι μελλοντικές επιλογές που έχουν περιληφθεί στο σύστημα δεν έχουν χρονικό ορίζοντα καθώς δεν εντοπίστηκαν συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα.



Σχεδιάγραμμα 5.4. Σύστημα Κύκλου Ζωής ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο.

5.4.5 Επιπτώσεις του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου

Ο κύκλος ζωής της παραγωγής ηλεκτρισμού από ορυκτά καύσιμα συνδέεται με επιπτώσεις στο περιβάλλον όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η μείωση της στοιβάδας του όζοντος, η εξάλειψη αβιοτικών πόρων, η οξίνιση, ο ευτροφισμός, η τοξικότητα στον άνθρωπο, η παραγωγή φωτοχημικού όζοντος, η τοξικότητα στο θαλάσσιο περιβάλλον, η τοξικότητα στα ύδατα και η τοξικότητα στο έδαφος (Atilgan and Azaragic, 2016; Akber, Thaheem and Arshad, 2017). Οι μεταφορές με χρήση πετρελαιοειδών έχουν σαν αποτέλεσμα σημαντικές εκπομπές οι οποίες συνδέονται με επιπτώσεις όπως επιβάρυνση στην υγεία, υποβάθμιση υλικών, αισθητικές επιπτώσεις, παραγωγή δευτερογενών ρύπων όπως το όζον και μικροσωματίδια κλπ. (Kinnon et al., 2019).

Αντίστοιχα η παραγωγή ηλεκτρισμού από ΑΠΕ, επίσης συνδέεται με περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα έργα αιολικής ενέργειας συνδέονται με τη χρήση γης, το θόρυβο, τις επιπτώσεις στους φυσικούς και βιολογικούς πόρους, οπτικές επιπτώσεις, διάβρωση του εδάφους, επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού και θέματα ασφάλειας. Τα έργα ηλιακής ενέργειας με φωτοβολταϊκά επίσης συνδέονται με τη χρήση γης, οπτική διείδυση, αισθητικές επιπτώσεις, επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, χρήση τοξικών και εύφλεκτων υλικών και αλλαγές στο μικροκλίμα. Οι επιπτώσεις της χρήσης βιομάζας περιλαμβάνουν

την σκόνη και άλλες εκπομπές όπως και οσμές, τη χρήση νερού, την μόλυνση από βιοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, τα υπολείμματα από στερεά και υγρά απόβλητα και επιπτώσεις στα οικοσυστήματα (Zorpas et al., 2017). Ενώ επίσης συνδέονται και με αντίστοιχες επιπτώσεις στον κύκλο ζωής τους με τα ορυκτά καύσιμα, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η εξάλειψη αβιοτικών πόρων, ο ευτροφισμός, η μείωση της στοιβάδας του όζοντος, η οξίνιση και η τοξικότητα στον άνθρωπο (Quek *et al.*, 2018; Kiss, Kácsor and Szalay, 2020).

Η παράκτια έρευνα και εξόρυξη υδρογονανθράκων είναι συνδεδεμένη με πιθανές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αυτές περιλαμβάνουν την μόλυνση του θαλάσσιου περιβάλλοντος, την όχληση του βυθού, επιπτώσεις στην άγρια ζωή, τα πτηνά και τα ψάρια, εξάλειψη βιολογικών πόρων, απώλεια αρχαιολογικής κληρονομιάς, συμβάντα ασφάλειας και υγείας, εκπομπές στην ατμόσφαιρα και παραγωγή υγρών, λάσπης και αποκομμάτων, όπως και άλλων στερεών και υγρών αποβλήτων από τις γεωτρήσεις (Speight, 2015; Elbisy, 2016). Επίσης γενικά τα έργα ενέργειας απαιτούν τη χρήση υλικών.

Η εργοδότηση, η ασφάλεια των εργοδοτούμενων και η ενεργειακή ασφάλεια αποτελούν κοινωνικές πτυχές της παραγωγής ηλεκτρισμού (Atilgan and Azaragic, 2016). Η υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνδέεται με δυνατότητες για δημιουργία θέσεων εργασίας και ευκαιριών εργοδότησης (Bulanskaya and Reynès, 2018). Άλλα θέματα που σχετίζονται με την κοινωνία είναι η αποφυγή εισαγωγών ορυκτών καυσίμων και η ποικιλία στο ενεργειακό μίγμα (Akber, Thaheem and Arshad, 2017). Επίσης η εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων συνδέεται με συμβάντα ασφάλειας και υγείας (Speight, 2015; Elbisy, 2016; Zorpas et al., 2017).

Συχνά η ανάπτυξη και εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων ενδέχεται να προκαλεί αντίθεση των τοπικών κοινωνιών. Χαρακτηριστικό είναι το φαινόμενο αντίδρασης των τοπικών παραγόντων, το οποίο έχει ονομαστεί «Not In My Back Yard» (NIMBY) (Cohen, Reichl and Schmidthaler, 2014; Cohen *et al.*, 2016; Lakhapal, 2019). Επιπλέον ο τρόπος ανάπτυξης των δραστηριοτήτων εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων από τις τοπικές κυβερνήσεις και ιδιωτικές εταιρείες φαίνεται να μην ικανοποιεί πάντοτε τους επιφανείς πολίτες και τις οργανώσεις της κοινωνίας των πολιτών (Smits, van Leeuwen and van Tatenhove, 2017). Οι δραστηριότητες εξόρυξης επίσης συναντούν κοινωνική αντίσταση (Pierk and Tysiachniouk, 2016). Τέλος ένα άλλο κοινωνικό θέμα σχετιζόμενο με τον ενεργειακό σχεδιασμό είναι η ενεργειακή φτώχεια ως αδυναμία πρόσβασης σε προσιτές, επαρκείς, αξιόπιστες, υψηλής ποιότητας, ασφαλείς και φιλικές προς το περιβάλλον υπηρεσίες ενέργειας για την υποστήριξη της οικονομικής και ανθρώπινης ανάπτυξης, και η αποφυγή της (González-Eguino, 2015).

Η ενέργεια είναι βασική παράμετρος για όλες τις σύγχρονες οικονομίες και υποστηρίζει όλες τις οικονομικές δραστηριότητες (Atems and Hotaling, 2018). Η οικονομική ανάπτυξη συνδέεται με την ενέργεια (Omri, 2014; González-Eguino, 2015), ενώ τα αποθέματα υδρογονανθράκων έχουν αποδειχθεί επιβλαβή για την οικονομική ανάπτυξη σε αρκετές χώρες (Ramírez-Cendrero and Wirth, 2016). Συνεπώς ο ενεργειακός σχεδιασμός έχει σημαντική επίπτωση στην οικονομία κάθε κράτους και την οικονομική ανάπτυξη. Η μέθοδος Κοστολόγησης στον Κύκλο Ζωής αξιολογεί όλα τα κόστη σε ένα σύστημα κύκλου ζωής, περιλαμβάνοντας εξωτερικούς παράγοντες που ενδέχεται να εσωτερικευθούν στο μέλλον (Petrillo et al., 2016). Οπότε το κόστος της ενέργειας στον κύκλο ζωής αποτελεί μία οικονομική επίπτωση της ενέργειας. Επιπλέον το φαινόμενο «Ολλανδική Ασθένεια» (Dutch disease) μπορεί να μετατρέψει το φυσικό αέριο από ευλογία σε κατάρα (Takatsuka, Zeng and Zhao, 2015). Η «Ολλανδική Ασθένεια» είναι ένα παράδοξο στα οικονομικά που περιγράφει πως η αρχική καλή τύχη της ανακάλυψης μίας μη ανανεώσιμης ενεργειακής πηγής μπορεί να μετατραπεί σε κακή τύχη στη διάρκεια του χρόνου (Behzadan et al., 2017).

Συνοψίζοντας τα πιο πάνω, οι πιθανές κοινές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις στον κύκλο ζωής τους ενεργειακού συστήματος της Κύπρου παρουσιάζονται στον πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11. Επιπτώσεις Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου

Κατηγορία επιπτώσεων	Επίπτωση
Περιβαλλοντικές	Κλιματική αλλαγή
	Μόλυνση (μόλυνση του αέρα, των εδαφών και των υδάτων)
	Απόβλητα (υγρά/στερεά)
	Σκόνη
	Οσμές
	Χρήση γης
	Οπτική όχληση
	Θόρυβος
	Χρήση πόρων (νερό και υλικά)
	Επιπτώσεις στην χλωρίδα και πανίδα
	Περιβαλλοντικά ατυχήματα
Κοινωνικές	Εργοδότηση

Κατηγορία επιπτώσεων	Επίπτωση
	Θέματα Ασφάλειας και Υγείας
	Ενστάσεις από την κοινωνία
	Ενεργειακή φτώχεια
	Ενεργειακή ασφάλεια
Οικονομικές	Οικονομική Ανάπτυξη
	Κόστος ενέργειας
	Ολλανδική Ασθένεια

5.4.6 Δείκτες χαρακτηρισμού επιπτώσεων

Η αειφορία του ενεργειακού συστήματος στον κύκλο ζωής του χαρακτηρίζεται από αυτές τις πιθανές περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις και το μέγεθος τους. Προκειμένου να μετρηθεί η κάθε μία, θα πρέπει να καθοριστεί ένα σχετικός δείκτης, οποίος να μπορεί να εκφραστεί σε μία μονάδα που να τον αποδίδει κατανοητά και να υπολογιστεί εύκολα. Ο παρονομαστής σε αυτούς τους δείκτες θα πρέπει να είναι ο ίδιος για κοινή αναφορά και δυνατότητα σύγκρισης, ενώ σύμφωνα με τις αρχές της ΑΚΖ, όλοι οι δείκτες θα πρέπει να αναφέρονται στην Λειτουργική Μονάδα που έχει επιλεγεί. Οπότε θα πρέπει να ανάγονται προς τη μία (1) MWh παραγόμενης ενέργειας σε όλο τον κύκλο ζωής του συστήματος.

Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, οπότε ο δείκτης μπορεί να είναι οι σχετικές εκπομπές και προφανώς η μονάδα θα είναι CO₂ Kg MWh⁻¹. Η μόλυνση συνδέεται επίσης με τις εκπομπές είτε στην ατμόσφαιρα, είτε στο έδαφος, είτε στα ύδατα και ο δείκτης μπορεί να είναι η συνολική μάζα τους στον κύκλο ζωής με μονάδα τα Kg MWh⁻¹. Αντίστοιχα όσον αφορά τα απόβλητα ο σχετικός δείκτης μπορεί να είναι επίσης η συνολική μάζα τους σε Kg MWh⁻¹, όπως μπορεί να γίνει και για τη σκόνη. Οι επιπτώσεις από τις οσμές μπορούν να μετρηθούν με βάση τον αριθμό των σχετικών παραπόνων με μονάδα την po MWh⁻¹, όπως και οι επιπτώσεις από το θόρυβο. Όσον αφορά τη χρήση γης αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί από την συνολική έκταση γης που θα καταληφθεί από τις απαραίτητες υποδομές σε m² MWh⁻¹, ενώ η οπτική όχληση επίσης μπορεί να αποδοθεί την συνολική έκταση γης που θα καταλαμβάνουν οι μονάδες παραγωγής σε m² MWh⁻¹. Η χρήση πόρων θα πρέπει να χωρισθεί σε στέρεα υλικά και χρήση νερού. Για το νερό η συνολική χρήση σε m³ MWh⁻¹ είναι χαρακτηριστική ως δείκτης. Ενώ λαμβάνοντας υπόψη

τις πολιτικές για το τέλος ζωής των υποδομών ενέργειας (Invernizzi *et al.*, 2020) και τη στρατηγική για τη διαχείριση αποβλήτων (Zorpas, 2020) για τα στέρεα υλικά ένας δείκτης αειφορίας θα ήταν η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών επίσης εκφραζόμενος σε $m^3 MWh^{-1}$. Οι επιπτώσεις στην πανίδα και χλωρίδα είναι δυνατόν να μετρηθούν με βάση τον αριθμό ειδών που θα επηρεάζονται σε $no MWh^{-1}$, ενώ τα περιβαλλοντικά ατυχήματα μπορούν να αποδίδονται με βάση τον αριθμό τους σε $no MWh^{-1}$ επίσης.

Για τις κοινωνικές επιπτώσεις, οι επιπτώσεις στην εργοδότηση είναι δυνατόν να μετρούνται ως ανάγκες με μονάδα τις θέσεις εργασίες σε $work positions MWh^{-1}$. Οι ενστάσεις από την κοινωνία μπορούν να μετρηθούν ως ο συνολικός αριθμός σχετικών παραπόνων σε $no MWh^{-1}$. Ο αριθμός ατυχημάτων επαγγελματικής ασφάλειας και υγείας σε $no MWh^{-1}$ επίσης χαρακτηρίζει την σχετική επίπτωση. Η ενεργειακή φτώχεια συνδέεται με τις διακοπές παροχής ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά (Papada and Kaliampakos, 2020) οπότε ένα κατάλληλος δείκτης θα ήταν ο αριθμός διακοπών ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά σε $no MWh^{-1}$. Ενώ η ενεργειακή ασφάλεια συνδέεται με την χρήση τοπικών ενεργειακών πόρων (Ang, Choong and Ng, 2015; Sarangi *et al.*, 2019) και ένας σχετικός δείκτης θα ήταν η παραγωγή ενέργειας από τοπικούς πόρους σε $MWh_{\text{τοπικούς πόρους}} / \text{σύνολο } MWh^{-1}$.

Οι δείκτες για τις οικονομικές επιπτώσεις του ενεργειακού σχεδιασμού θα είναι, όσον αφορά την οικονομική ανάπτυξη, δεδομένης της σύνδεσης (Moinuddin and Kuriyama, 2019), η ετήσια αύξηση του Ακαθάριστου Εθνικού Προϊόντος (ΑΕΠ), για το κόστος της ενέργειας η μέση τιμή ενέργειας και για την «Ολλανδική Ασθένεια» η οποία συνδέεται με το μερίδιο τους αναπτυγμένου τομέα (Takatsuka, Zeng and Zhao, 2015), ο συνολικός τζίρος των επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας. Η κοινή μονάδα μπορεί να είναι η $€ MWh^{-1}$.

Στον Πίνακα 5.12 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι δείκτες για κάθε κατηγορία επιπτώσεων και κάθε επίπτωση, όπως και οι προτεινόμενες μονάδες.

Πίνακας 5.12. Δείκτες χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις		
Κλιματική αλλαγή	Μάζα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	$CO_2 Kg MWh^{-1}$
Μόλυνση (μόλυνση του αέρα, των εδαφών και των υδάτων)	Συνολική μάζα εκπομπών	$Kg MWh^{-1}$

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα
Απόβλητα (υγρά/στερεά)	Συνολική παραγόμενη μάζα αποβλήτων (υγρά/στερεά)	Kg MWh ⁻¹
Σκόνη	Συνολική μάζα σκόνης	Kg MWh ⁻¹
Οσμές	Παράπονα που σχετίζονται με τις οσμές	no MWh ⁻¹
Χρήση γης	Γη που καταλαμβάνουν οι υποδομές	m ² MWh ⁻¹
Οπτική όχληση	Περιοχή που καταλαμβάνουν οι μονάδες παραγωγής	m ² MWh ⁻¹
Θόρυβος	Παράπονα που σχετίζονται με το θόρυβο	no MWh ⁻¹
Χρήση πόρων - νερό	Χρήση νερού	m ³ MWh ⁻¹
Χρήση πόρων - στερεά	Χρήση ανακυκλώσιμων υλικών	m ³ MWh ⁻¹
Επιπτώσεις στην χλωρίδα και πανίδα	Είδη που επηρεάζονται	no MWh ⁻¹
Περιβαλλοντικά ατυχήματα	Αριθμός περιβαλλοντικών ατυχημάτων	no MWh ⁻¹
Κοινωνικές Επιπτώσεις		
Εργοδότηση	Ανάγκες εργοδότησης	Αριθμός θέσεων MWh ⁻¹
Θέματα Ασφάλειας και Υγείας	Συμβάντα Ασφάλειας και Υγείας	no MWh ⁻¹
Ενστάσεις από την κοινωνία	Συνολικός αριθμός παραπόνων από την κοινωνία	no MWh ⁻¹
Ενεργειακή φτώχεια	Αριθμός διακοπών ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά	no MWh ⁻¹
Ενεργειακή ασφάλεια	Παραγωγή ενέργειας από τοπικούς πόρους	MWh τοπικούς πόρους / σύνολο MWh ⁻¹
Οικονομικές Επιπτώσεις		
Οικονομική Ανάπτυξη	Ετήσια αύξηση του ΑΕΠ	€ MWh ⁻¹
Κόστος ενέργειας	Μέση τιμή ενέργειας	€ MWh ⁻¹
Ολλανδική Ασθένεια	Συνολικός τζίρος των επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας	€ MWh ⁻¹

Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι είτε αρνητικές, είτε θετικές. Για τις πιο πάνω οι περισσότερες είναι αρνητικές, ενώ οι μόνες που μπορεί να είναι θετικές είναι η εργοδότηση, η ενεργειακή ασφάλεια και η οικονομική ανάπτυξη. Ενώ η χρήση πόρων στην περίπτωση που αυτοί είναι ανακυκλώσιμοι μπορεί επίσης να είναι θετική επίπτωση.

5.4.7 Δεδομένα για υπολογισμό δεικτών

Προκειμένου να υπολογιστούν οι δείκτες στον κύκλο ζωής για τα τρία εναλλακτικά ζητήθηκε από ειδικούς εμπειρογνώμονες σε θέματα ενέργειας και περιβάλλοντος να εκτιμήσουν το μέγεθος τους για το κάθε ένα. Οι εμπειρογνώμονες ήταν τρεις ειδικοί στο περιβάλλον, δύο ειδικοί στην τεχνολογία και ένας που ασχολείται με την εμπορία ενέργειας. Στην ομάδα περιλαμβανόταν ειδικοί από οργανισμούς που διαχειρίζονται θέματα ενέργειας. Για την συλλογή των εκτιμήσεων των ειδικών χρησιμοποιήθηκε το ερωτηματολόγιο το οποίο ήταν στα αγγλικά και παρατίθεται στο παράρτημα Β.

5.4.7.1 Σημασία δεικτών

Αρχικά ζητήθηκε οι ειδικοί να επιλέξουν ποιους τρεις από τους πιο πάνω δείκτες θεωρούν πιο σημαντικούς. Τα αποτελέσματα από τις απαντήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.13.

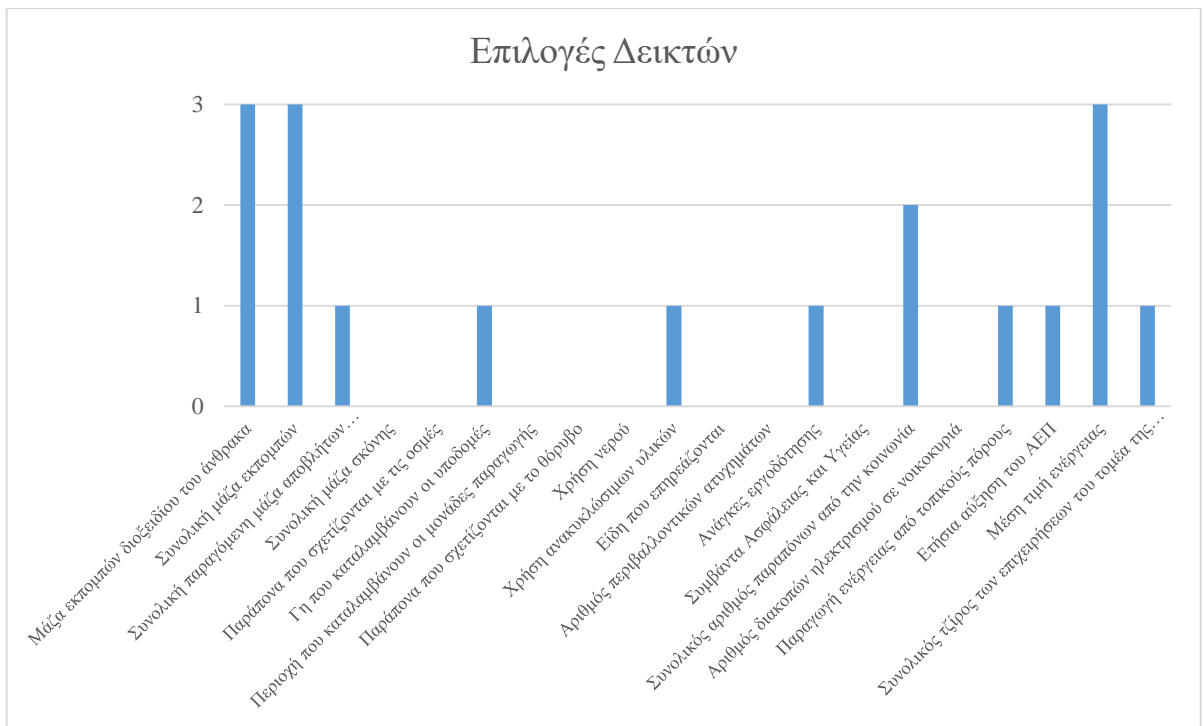
Πίνακας 5.13. Σημασία δεικτών χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Επιλογές
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις		
Κλιματική αλλαγή	Μάζα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	3
Μόλυνση (μόλυνση του αέρα, των εδαφών και των υδάτων)	Συνολική μάζα εκπομπών	3
Απόβλητα (υγρά/στερεά)	Συνολική παραγόμενη μάζα αποβλήτων (υγρά/στερεά)	1
Σκόνη	Συνολική μάζα σκόνης	0
Οσμές	Παράπονα που σχετίζονται με τις οσμές	0
Χρήση γης	Γη που καταλαμβάνουν οι υποδομές	1
Οπτική όχληση	Περιοχή που καταλαμβάνουν οι μονάδες παραγωγής	0
Θόρυβος	Παράπονα που σχετίζονται με το θόρυβο	0

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Επιλογές
Χρήση πόρων - νερό	Χρήση νερού	0
Χρήση πόρων - στερεά	Χρήση ανακυκλώσιμων υλικών	1
Επιπτώσεις στην χλωρίδα και πανίδα	Είδη που επηρεάζονται	0
Περιβαλλοντικά ατυχήματα	Αριθμός περιβαλλοντικών ατυχημάτων	0
Κοινωνικές Επιπτώσεις		
Εργοδότηση	Ανάγκες εργοδότησης	0
Θέματα Ασφάλειας και Υγείας	Συμβάντα Ασφάλειας και Υγείας	2
Ενστάσεις από την κοινωνία	Συνολικός αριθμός παραπόνων από την κοινωνία	0
Ενεργειακή φτώχεια	Αριθμός διακοπών ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά	1
Ενεργειακή ασφάλεια	Παραγωγή ενέργειας από τοπικούς πόρους	1
Οικονομικές Επιπτώσεις		
Οικονομική Ανάπτυξη	Ετήσια αύξηση του ΑΕΠ	1
Κόστος ενέργειας	Μέση τιμή ενέργειας	3
Ολλανδική Ασθένεια	Συνολικός τζίρος των επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας	1

Όπως προκύπτει οι δείκτες που χαρακτηρίζουν τις οικονομικές επιπτώσεις σαφώς υποδείχθηκαν ως μεγαλύτερης βαρύτητας. Από τις περιβαλλοντικές, η κλιματική αλλαγή και η μόλυνση επιλέχθηκαν τρεις φορές, όπως και ο συνολικός τζίρος των επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας και το κόστος ενέργειας από τους οικονομικούς δείκτες. Δύο φορές επιλέχθηκαν τα συμβάντα ασφάλειας και υγείας και από μία την αύξηση του ΑΕΠ, η παραγωγή ενέργειας από τοπικούς πόρους, ο αριθμός διακοπών ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά, η χρήση ανακυκλώσιμων υλικών, η γη που καταλαμβάνουν οι υποδομές και η συνολική παραγόμενη μάζα αποβλήτων (υγρά/στερεά). Οι υπόλοιπες επιπτώσεις δεν επιλέχθηκαν.

Το Σχεδιάγραμμα 5.5 απεικονίζει τον αριθμό των επιλογών για κάθε δείκτη. Ενώ το σχεδιάγραμμα 5.6 την κατανομή του συνόλου των επιλογών ανά κατηγορία επιπτώσεων. Σαφώς προκύπτει ότι οι οικονομικοί δείκτες λαμβάνουν το μέγιστο αριθμό επιλογών και έχουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα για την αιεφορία κάθε εξεταζόμενου σεναρίου.



Σχεδιάγραμμα 5.5. Αριθμός επιλογών δεικτών ΑΚΖ



Σχεδιάγραμμα 5.6. Κατανομή επιλογών δεικτών ΑΚΖ

5.4.7.2 Βέλτιστο σενάριο σύμφωνα με την ΑΚΖ

Για κάθε δείκτη και προκειμένου να είναι δυνατόν να ελεγχθεί η συνέπεια των εκτιμήσεων όσον αφορά το μέγεθος του, ζητήθηκε από τους ειδικούς να επιλέξουν το πλέον αιεφόρο σενάριο. Οι απαντήσεις συνοψίζονται στον πίνακα 5.14.

Πίνακας 5.14. Επιλογές περισσότερο αειφόρου σεναρίου ανά δείκτη ΑΚΖ

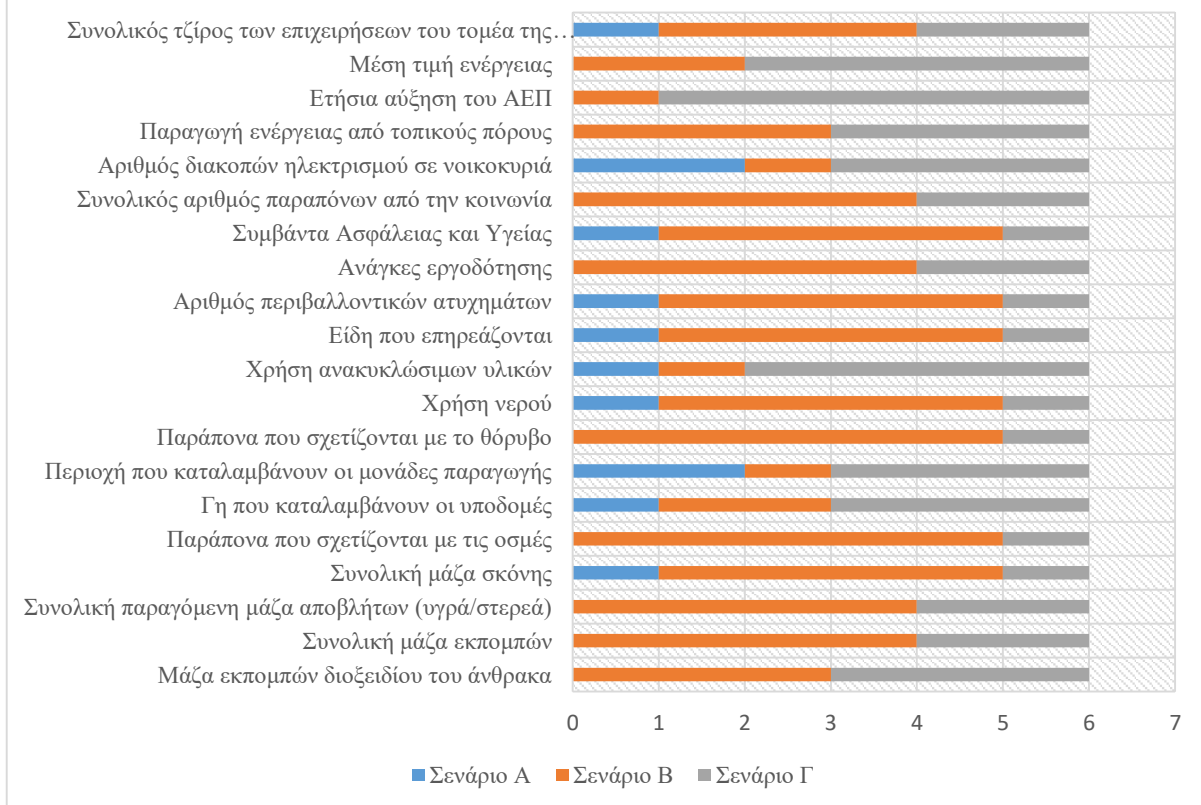
Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις					
Κλιματική αλλαγή	Μάζα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	CO ₂ Kg MWh ⁻¹	0	3	3
Μόλυνση (μόλυνση του αέρα, των εδαφών και των υδάτων)	Συνολική μάζα εκπομπών	Kg MWh ⁻¹	0	4	2
Απόβλητα (υγρά/στερεά)	Συνολική παραγόμενη μάζα αποβλήτων (υγρά/στερεά)	Kg MWh ⁻¹	0	4	2
Σκόνη	Συνολική μάζα σκόνης	Kg MWh ⁻¹	1	4	1
Οσμές	Παράπονα που σχετίζονται με τις οσμές	no MWh ⁻¹	0	5	1
Χρήση γης	Γη που καταλαμβάνουν οι υποδομές	m ² MWh ⁻¹	1	2	3
Οπτική όχληση	Περιοχή που καταλαμβάνουν οι μονάδες παραγωγής	m ² MWh ⁻¹	2	1	3
Θόρυβος	Παράπονα που σχετίζονται με το θόρυβο	no MWh ⁻¹	0	5	1
Χρήση πόρων - νερό	Χρήση νερού	m ³ MWh ⁻¹	1	4	1
Χρήση πόρων - στερεά	Χρήση ανακυκλώσιμων υλικών	m ³ MWh ⁻¹	1	1	4
Επιπτώσεις στην χλωρίδα και πανίδα	Είδη που επηρεάζονται	no MWh ⁻¹	1	4	1
Περιβαλλοντικά ατυχήματα	Αριθμός περιβαλλοντικών ατυχημάτων	no MWh ⁻¹	1	4	1
Κοινωνικές Επιπτώσεις					

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Εργοδότηση	Ανάγκες εργοδότησης	Αριθμός θέσεων MWh ⁻¹	0	4	2
Θέματα Ασφάλειας και Υγείας	Συμβάντα Ασφάλειας και Υγείας	no MWh ⁻¹	1	4	1
Ενστάσεις από την κοινωνία	Συνολικός αριθμός παραπόνων από την κοινωνία	no MWh ⁻¹	0	4	2
Ενεργειακή φτώχεια	Αριθμός διακοπών ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά	no MWh ⁻¹	2	1	3
Ενεργειακή ασφάλεια	Παραγωγή ενέργειας από τοπικούς πόρους	MWh τοπικούς πόρους / σύνολο MWh ⁻¹	0	3	3
Οικονομικές Επιπτώσεις					
Οικονομική Ανάπτυξη	Ετήσια αύξηση του ΑΕΠ	€ MWh ⁻¹	0	1	5
Κόστος ενέργειας	Μέση τιμή ενέργειας	€ MWh ⁻¹	0	2	4
Ολλανδική Ασθένεια	Συνολικός τζίρος των επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας	€ MWh ⁻¹	1	3	2
Σύνολο			12	63	46

Το Σενάριο Β λαμβάνει τις περισσότερες επιλογές ως αιεφόρο, με δεύτερο το σενάριο Γ και τρίτο με σαφώς λιγότερες επιλογές το σενάριο Α. Όσον αφορά τις οικονομικές επιπτώσεις ωστόσο το σενάριο λαμβάνει περισσότερες επιλογές και αναδεικνύεται το πλέον αιεφόρο από σκοπιάς οικονομίας.

Η κατάταξη των επιλογών των σεναρίων ανά δείκτη παρουσιάζεται στο Σχεδιάγραμμα 5.7.

Επιλογές Αειφορίας Σεναρίων



Σχδιάγραμμα 5.7. Αειφορία σεναρίων ανά δείκτη AKZ

5.4.7.3 Υπολογισμός δεικτών

Το μέγεθος κάθε δείκτη, όπως προέκυψε για κάθε σενάριο με βάση τις εκτιμήσεις των ειδικών παρουσιάζεται στον πίνακα 5.15.

Πίνακας 5.15. Μέγεθος δεικτών χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος της Κύπρου.

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο Γ
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις					
Κλιματική αλλαγή	Μάζα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	CO ₂ Kg MWh ⁻¹	50	29	34
Μόλυνση (μόλυνση του αέρα, των εδαφών και των υδάτων)	Συνολική μάζα εκπομπών	Kg MWh ⁻¹	47	24	31

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Απόβλητα (υγρά/στερεά)	Συνολική παραγόμενη μάζα αποβλήτων (υγρά/στερεά)	Kg MWh ⁻¹	42	24	37
Σκόνη	Συνολική μάζα σκόνης	Kg MWh ⁻¹	40	23	27
Οσμές	Παράπονα που σχετίζονται με τις οσμές	no MWh ⁻¹	36	20	29
Χρήση γης	Γη που καταλαμβάνουν οι υποδομές	m ² MWh ⁻¹	35	38	41
Οπτική όχληση	Περιοχή που καταλαμβάνουν οι μονάδες παραγωγής	m ² MWh ⁻¹	32	35	33
Θόρυβος	Παράπονα που σχετίζονται με το θόρυβο	no MWh ⁻¹	40	29	28
Χρήση πόρων - νερό	Χρήση νερού	m ³ MWh ⁻¹	42	29	35
Χρήση πόρων - στερεά	Χρήση ανακυκλώσιμων υλικών	m ³ MWh ⁻¹	-33	-29	-27
Επιπτώσεις στην χλωρίδα και πανίδα	Είδη που επηρεάζονται	no MWh ⁻¹	40	36	36
Περιβαλλοντικά ατυχήματα	Αριθμός περιβαλλοντικών ατυχημάτων	no MWh ⁻¹	36	20	36
Κοινωνικές Επιπτώσεις					
Εργοδότηση	Ανάγκες εργοδότησης	Αριθμός θέσεων MWh ⁻¹	-29	-39	-42
Θέματα Ασφάλειας και Υγείας	Συμβάντα Ασφάλειας και Υγείας	no MWh ⁻¹	34	33	38
Ενστάσεις από την κοινωνία	Συνολικός αριθμός παραπόνων από την κοινωνία	no MWh ⁻¹	39	25	36

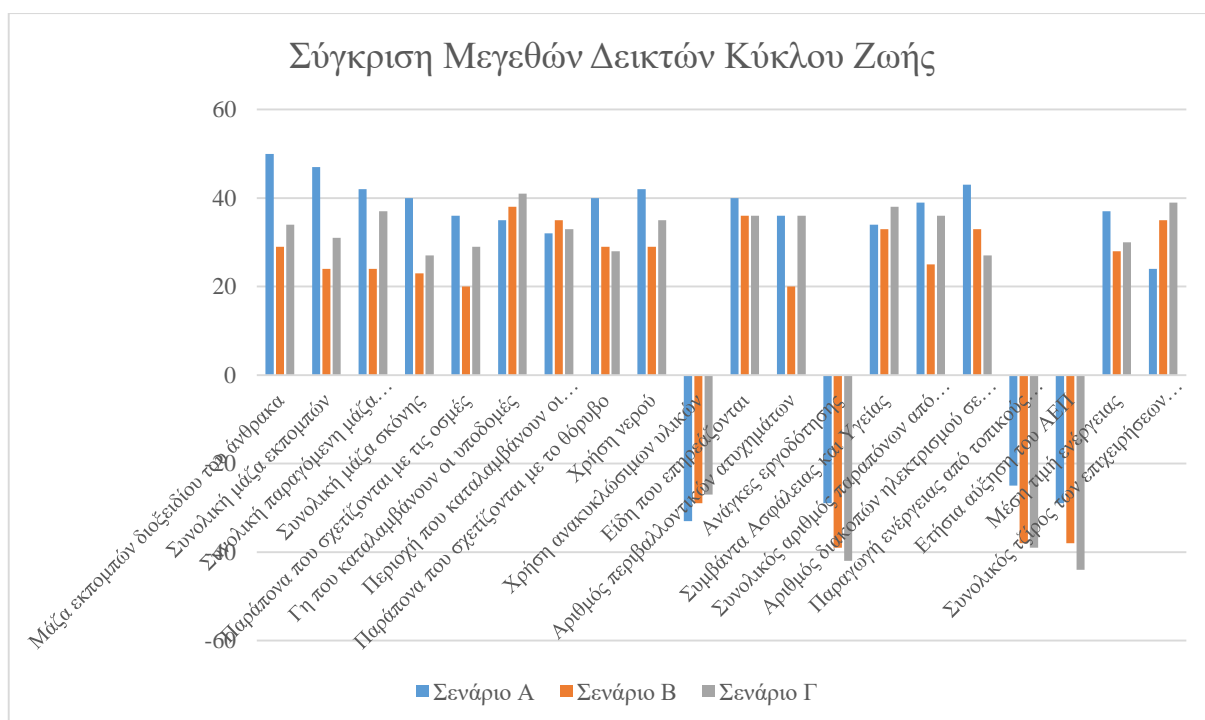
Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Ενεργειακή φτώχεια	Αριθμός διακοπών ηλεκτρισμού σε νοικοκυριά	no MWh ⁻¹	43	33	27
Ενεργειακή ασφάλεια	Παραγωγή ενέργειας από τοπικούς πόρους	MWh τοπικούς πόρους / σύνολο MWh ⁻¹	-25	-38	-39
Οικονομικές Επιπτώσεις					
Οικονομική Ανάπτυξη	Ετήσια αύξηση του ΑΕΠ	€ MWh ⁻¹	-29	-38	-44
Κόστος ενέργειας	Μέση τιμή ενέργειας	€ MWh ⁻¹	37	28	30
Ολλανδική Ασθένεια	Συνολικός τζίρος των επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας	€ MWh ⁻¹	24	35	39
Σύνολο*			501	317	385

*Στους δείκτες με θετική επίδραση δίνεται αρνητικό πρόσημο

Στο Σχεδιάγραμμα 5.8 φαίνεται το μέγεθος των δεικτών για κάθε σενάριο, από όπου μπορεί να γίνει σύγκριση για τον κάθε ένα. Επίσης απεικονίζονται οι δείκτες με αρνητικό πρόσημο οι οποίοι είναι αυτοί που χαρακτηρίζουν θετικές επιπτώσεις.

Από τον υπολογισμό του συνολικού μεγέθους των δεικτών προκύπτει ότι οι χαμηλότερες επιπτώσεις συνδέονται με το σενάριο Β, με δεύτερο το σενάριο Γ και τρίτο το σενάριο της υφιστάμενης κατάστασης Α. Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε συνέπεια με την εκτίμηση για το πλέον αιεφόρο σενάριο. Αν υπολογιστούν μόνο οι οικονομικοί δείκτες προκύπτει ότι το σενάριο Γ και το σενάριο Β ισοδυναμούν, οπότε επίσης η εκτίμηση ότι το σενάριο Γ είναι οικονομικά περισσότερο αιεφόρο δεν έρχεται σε πλήρη αντίθεση με τα αποτελέσματα της προηγούμενης εκτίμησης.

Επίσης προκύπτει και ποιες επιπτώσεις παρουσιάζουν το μεγαλύτερο μέγεθος για κάθε εναλλακτικό ενεργειακό σχεδιασμό. Για το σενάριο Α το μεγαλύτερο μέγεθος το παίρνει η κλιματική αλλαγή, για το σενάριο Β η θετική επίπτωση της εργοδότησης και για το σενάριο Γ επίσης η θετική επίπτωση για την οικονομική ανάπτυξη.



Σχεδιάγραμμα 5.8 Συγκριτικό μέγεθος δεικτών κύκλου ζωής.

Με βάση τις απαντήσεις που έχουν ληφθεί μπορεί επίσης να αποδοθεί βαρύτητα στους δείκτες. Οι δείκτες που υποδείχθηκαν ως περισσότερο σημαντικοί θα έπρεπε να υπολογίζονται με βάση συντελεστή. Σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσε να δοθεί βαρύτητα 1 σε όλους τους δείκτες, και 1.1 σε όσους επιλέχθηκαν μία φορά, 1.2 σε όσους επιλέχθηκαν δύο και 1.3 σε όσους επιλέχθηκαν τρεις φορές.

Τότε το σταθμισμένο άθροισμα του μεγέθους των δεικτών των επιπτώσεων θα διαμορφωνόταν όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.16.

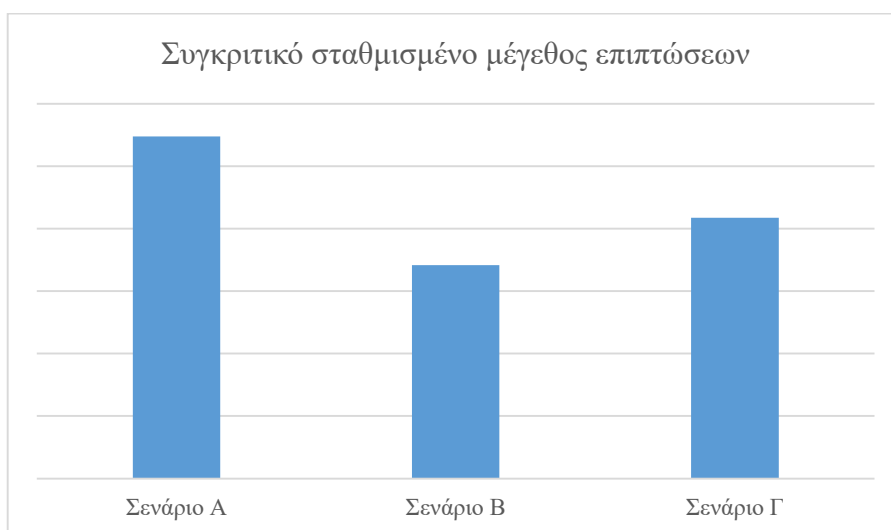
Πίνακας 5.16. Μέγεθος δεικτών χαρακτηρισμού επιπτώσεων Κύκλου Ζωής ενεργειακού συστήματος με βαρύτητα.

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο Γ
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις					
Κλιματική αλλαγή	Μάζα εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	CO ₂ Kg MWh ⁻¹	65	37.7	44.2
Μόλυνση (μόλυνση του αέρα, των εδαφών και των υδάτων)	Συνολική μάζα εκπομπών	Kg MWh ⁻¹	61.1	31.2	40.3

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Απόβλητα (υγρά/στερεά)	Συνολική παραγόμενη μάζα αποβλήτων (υγρά/στερεά)	Kg MWh ⁻¹	46.2	26.4	40.7
Σκόνη	Συνολική μάζα σκόνης	Kg MWh ⁻¹	40	23	27
Οσμές	Παράπονα που σχετίζονται με τις οσμές	no MWh ⁻¹	36	20	29
Χρήση γης	Γη που καταλαμβάνουν οι υποδομές	m ² MWh ⁻¹	38.5	41.8	45.1
Οπτική όχληση	Περιοχή που καταλαμβάνουν οι μονάδες παραγωγής	m ² MWh ⁻¹	32	35	33
Θόρυβος	Παράπονα που σχετίζονται με το θόρυβο	no MWh ⁻¹	40	29	28
Χρήση πόρων - νερό	Χρήση νερού	m ³ MWh ⁻¹	42	29	35
Χρήση πόρων - στερεά	Χρήση ανακυκλώσιμων υλικών	m ³ MWh ⁻¹	-36.3	-31.9	-29.7
Επιπτώσεις στην χλωρίδα και πανίδα	Είδη που επηρεάζονται	no MWh ⁻¹	40	36	36
Περιβαλλοντικά ατυχήματα	Αριθμός περιβαλλοντικών ατυχημάτων	no MWh ⁻¹	36	20	36
Σύνολο			440.5	297.2	364.6
Κοινωνικές Επιπτώσεις					
Εργοδότηση	Ανάγκες εργοδότησης	Αριθμός θέσεων MWh ⁻¹	-31.9	-42.9	-46.2
Θέματα Ασφάλειας και Υγείας	Συμβάντα Ασφάλειας και Υγείας	no MWh ⁻¹	34	33	38
Ενστάσεις από την κοινωνία	Συνολικός αριθμός παραπόνων από την κοινωνία	no MWh ⁻¹	46.8	30	43.2

Επίπτωση	Δείκτης χαρακτηρισμού	Μονάδα	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Γ
Ενεργειακή φτώχεια	Αριθμός διακοπών ηλεκτρισμού νοικοκυριά σε	no MWh ⁻¹	43	33	27
Ενεργειακή ασφάλεια	Παραγωγή ενέργειας από τοπικούς πόρους	MWh τοπικούς πόρους / σύνολο MWh ⁻¹	-27.5	-41.8	-42.9
Σύνολο			64.4	11.3	19.1
Οικονομικές Επιπτώσεις					
Οικονομική Ανάπτυξη	Ετήσια αύξηση του ΑΕΠ	€ MWh ⁻¹	-31.9	-41.8	-48.4
Κόστος ενέργειας	Μέση τιμή ενέργειας	€ MWh ⁻¹	48.1	36.4	39
Ολλανδική Ασθένεια	Συνολικός τζίρος των επιχειρήσεων του τομέα της ενέργειας	€ MWh ⁻¹	26.4	38.5	42.9
Μερικό σύνολο			42.6	33.1	33.5
Σύνολο*			547.5	341.6	417.2

*Στους δείκτες με θετική επίδραση δίνεται αρνητικό πρόσημο



Σχεδιάγραμμα 5.9 Συγκριτικό σταθμισμένο μέγεθος επιπτώσεων κύκλου ζωής.

Στο Σχεδιάγραμμα 5.9 παρουσιάζεται το σχετικό μέγεθος του σταθμισμένου αθροίσματος των δεικτών χαρακτηρισμού επιπτώσεων.

Και σε αυτή την περίπτωση δεν διαφοροποιούνται τα αποτελέσματα ως προς το πλέον αιεφόρο σενάριο το οποίο είναι αυτό που έχει το μικρότερο αποτύπωμα δηλαδή το χαμηλότερο συνολικό μέγεθος των δεικτών των επιπτώσεων.

Επίσης προκύπτει, χωρίς διαφοροποίηση, ότι τα αποτελέσματα που δίνει η μέθοδος είναι συνεπή στο έλεγχο που έγινε βάση των επιλογών των ειδικών για την αιεφορία του κάθε σεναρίου για τους δείκτες AKZ που εξετάζονται.

5.4.7.4 Ποιότητα Δεδομένων

Με βάση τις κατευθύνσεις για την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων της ecoinvent (B. P. Weidema et al., 2013), για την εφαρμογή της μεθόδου αξιολόγησης της αιεφορίας βάση της μεθόδου AKZ που εφαρμόστηκε στην παρούσα έρευνα, η ποιότητα των πρωτογενών και δευτερογενών δεδομένων συνοψίζεται στον πίνακα 5.17.

Πίνακας 5.17. Ποιότητα δεδομένων εφαρμογής μεθόδου AKZ.

Δείκτης Αξιολόγησης	Πίνακας Βαθμολόγησης Δεικτών 10.4 (B. P. Weidema et al., 2013)	
	Πρωτογενή Δεδομένα	Δευτερογενή Δεδομένα
Αξιοπιστία	4	2
Πληρότητα	3	1
Χρονική Συσχέτιση	1	1
Γεωγραφική Συσχέτιση	1	1
Περεταίρω Τεχνολογική Συσχέτιση	1	1

5.4.8 Σύγκριση Μεθόδων Αξιολόγησης

Για την σύγκριση των δύο εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού, δηλαδή της ποιοτικής μεθόδου που συνδυάζει τις μεθόδους PESTEL και SWOT για την επιλογή κριτηρίων - δεικτών που συγκρίνονται από εμπειρογνώμονες για ποσοτικοποίηση και κατάταξη τους (μέθοδος I) και της μεθόδου που βασίζεται στην μεθοδολογία AKZ για την επιλογή των δεικτών προς υπολογισμό (μέθοδος II) ζητήθηκε η άποψη δέκα ειδικών. Το ερωτηματολόγιο που ετοιμάστηκε και το οποίο ζητούσε την αξιολόγηση των μεθόδων βάση των κριτηρίων που έχουν καθοριστεί, επίσης στα αγγλικά, παρουσιάζεται στο παράρτημα Γ. Στάλθηκε σε ειδικούς μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονταν ακαδημαϊκοί που ασχολούνται με την ενέργεια ή και τις μεθόδους

αξιολόγησης και επαγγελματίες που ασχολούνται με την ενέργεια. Οι συμμετέχοντες απαντώντας σε σχετική ερώτηση χαρακτήρισαν τον εαυτό τους, οι τέσσερις ως ειδικούς στο περιβάλλον, οι τέσσερις ως ειδικούς σε τεχνικά θέματα, ο ένας ως διαμορφωτής πολιτικής και ο ένας ως ειδικός στην αειφορία. Στην εισαγωγή του ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάστηκαν συνοπτικά οι αρχές στις οποίες βασίζονται οι δύο εναλλακτικές μέθοδοι προς σύγκριση, ενώ επεξηγήθηκε αναλυτικά και ο σκοπός χρήσης των δύο μεθόδων που συγκρίνονται και τα εναλλακτικά σενάρια για τα οποία θα χρησιμοποιηθούν.

5.4.8.1 Βαρύτητα κριτηρίων

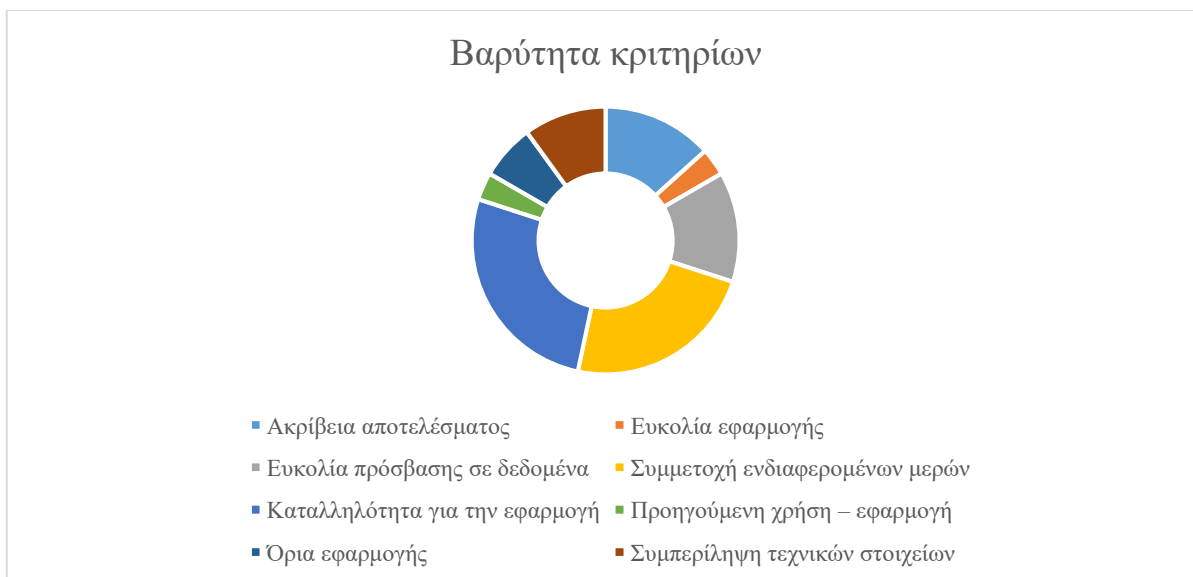
Στην πρώτη ερώτηση ζητήθηκε να επιλεγθούν από τον κάθε ένα τα τρία πλέον σημαντικά κριτήρια μεταξύ των οκτώ τα οποία χρησιμοποιούνται για αξιολόγηση και σύγκριση των δύο μεθόδων. Οι απαντήσεις συνοψίζονται στον πίνακα 5.18 και με βάση αυτές τις επιλογές καθορίστηκε η βαρύτητα η οποία έχει κάθε κριτήριο σε ποσοστό (%), όπως επίσης παρουσιάζεται στον πίνακα.

Πίνακας 5.18. Βαρύτητα κριτηρίων σύγκρισης μεθόδων.

Κριτήρια	Αριθμός επιλογών	Βαρύτητα κριτηρίων
Ακρίβεια αποτελέσματος	4	13.33%
Ευκολία εφαρμογής	1	3.33%
Ευκολία πρόσβασης σε δεδομένα	4	13.33%
Συμμετοχή ενδιαφερομένων μερών	7	23.33%
Καταλληλότητα για την εφαρμογή	8	26.67%
Προηγούμενη χρήση – εφαρμογή	1	3.33%
Όρια εφαρμογής	2	6.67%
Συμπερίληψη τεχνικών στοιχείων	3	10.00%

Η καταλληλότητα για εφαρμογή επιλέχθηκε ως το πιο σημαντικό κριτήριο, με δεύτερο την συμμετοχή των ενδιαφερομένων μερών. Σε τρίτη θέση με αρκετά λιγότερες επιλογές κατατάχθηκαν η ακρίβεια αποτελέσματος και η ευκολία πρόσβασης στα δεδομένα. Ακολουθεί η συμπερίληψη τεχνικών στοιχείων, τα όρια εφαρμογής. Τη χαμηλότερη βαρύτητα με μία μόνο επιλογή έχουν η ευκολία εφαρμογής και η προηγούμενη χρήση – εφαρμογή της μεθόδου.

Στο Σχεδιάγραμμα 5.10 παρουσιάζεται σχηματικά η αναλογική βαρύτητα για κάθε κριτήριο.



Σχεδιάγραμμα 5.10 Βαρύτητα Κριτηρίων Αξιολόγησης Μεθόδων.

5.4.8.2 Σύγκριση μεθόδων

Οι επιλογές που λήφθηκαν από την ομάδα ειδικών όσον αφορά τη σύγκριση των δύο εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού συνοψίζονται στον πίνακα 5.19.

Πίνακας 5.19. Επιλογές σύγκρισης μεθόδων.

Κριτήρια	Μέθοδος I (PESTEL – SWOT)	Μέθοδος II (LCA)
Ακρίβεια αποτελέσματος	3	7
Ευκολία εφαρμογής	7	3
Ευκολία πρόσβασης σε δεδομένα	8	2
Συμμετοχή ενδιαφερομένων μερών	7	3
Καταλληλότητα για την εφαρμογή	5	5
Προηγούμενη χρήση – εφαρμογή	4	6
Όρια εφαρμογής	3	7
Συμπερίληψη τεχνικών στοιχείων	5	5
Σύνολο	42	38

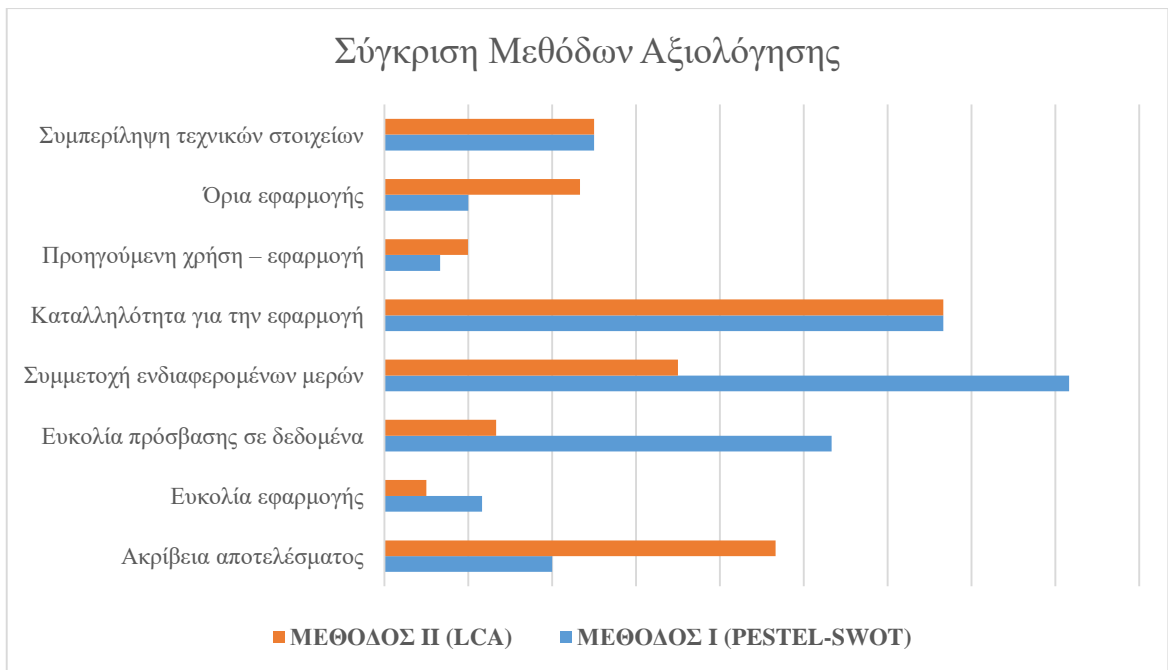
Παρατηρείται ότι η μέθοδος I έχει επιλεγεί ότι υπερτερεί σημαντικά όσον αφορά την ευκολία εφαρμογής, την ευκολία πρόσβασης σε δεδομένα και τη συμμετοχή ενδιαφερομένων μερών. Αντίστοιχα η μέθοδος II υπερτερεί σημαντικά για την ακρίβεια αποτελέσματος και τα όρια εφαρμογής της και ελαφρώς για την προηγούμενη χρήση. Οι δύο μέθοδοι ισοδυναμούν όσον αφορά την συμπερίληψη τεχνικών στοιχείων και την καταλληλότητα για την εφαρμογή.

Εφαρμόζοντας την μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης σταθμισμένου αθροίσματος (Weighted Sum Method), στην οποία χρησιμοποιείται η βαρύτητα για κάθε κριτήριο όπως έχει προσδιοριστεί από την προηγούμενη ερώτηση προκύπτουν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον πίνακα 5.20.

Πίνακας 5.20. Ανάλυση σταθμισμένου αθροίσματος επιλογών σύγκρισης μεθόδων.

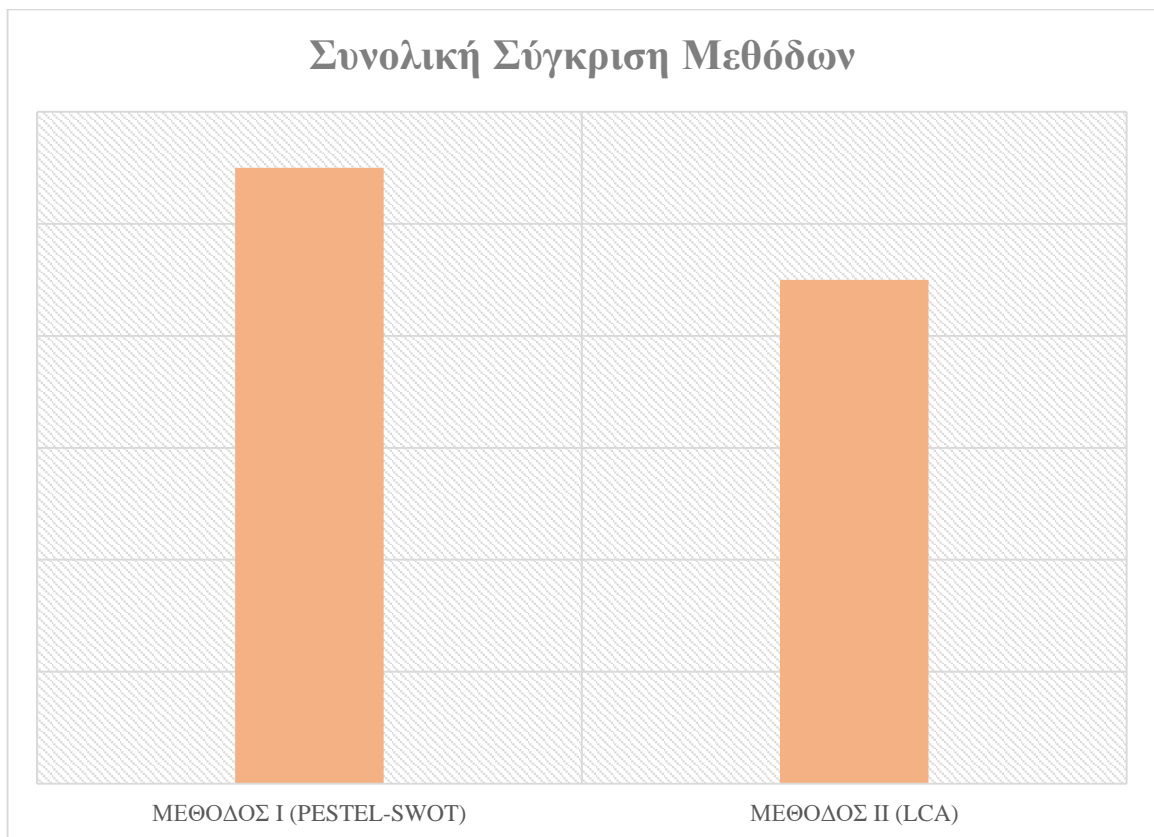
Κριτήρια	Βαρύτητα	Μέθοδος I (PESTEL – SWOT)	Μέθοδος II (LCA)
Ακρίβεια αποτελέσματος	13.33	40.00	93.33
Ευκολία εφαρμογής	3.33	23.33	10.00
Ευκολία πρόσβασης σε δεδομένα	13.33	106.66	26.67
Συμμετοχή ενδιαφερομένων μερών	23.33	163.32	69.99
Καταλληλότητα για την εφαρμογή	26.67	133.35	133.35
Προηγούμενη χρήση – εφαρμογή	3.33	13.32	19.98
Όρια εφαρμογής	6.67	20.01	46.69
Συμπερίληψη τεχνικών στοιχείων	10.00	50.00	50.00
Σύνολο		549.99	450.01

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι καταλληλότερη μέθοδος για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου, μεταξύ των δύο προτεινόμενων είναι η ποιοτική μέθοδος που βασίζεται στις συγκρίσεις κριτηρίων που προέκυψαν από τον συνδυασμό των PESTEL – SWOT από εμπειρογνώμονες. Το σχετικό σταθμισμένο μέγεθος, έχοντας συνυπολογίσει τη βαρύτητα, για κάθε κριτήριο και για κάθε μέθοδο παρουσιάζεται στο σχεδιάγραμμα 5.11.



Σχεδιάγραμμα 5.11. Σχετικό σταθμισμένο μέγεθος κριτηρίων σύγκρισης μεθόδων.

Αντίστοιχα στο Σχεδιάγραμμα 5.12. παρουσιάζεται το συνολικό άθροισμα των σταθμισμένων κριτηρίων για τις δύο μεθόδους, από όπου αναδεικνύεται η υπεροχή της μεθόδου I.



Σχεδιάγραμμα 5.12. Σχετικό σταθμισμένο μέγεθος αξιολογήσεων.

5.5 Έλεγχος ερευνητικών υποθέσεων

Τα αποτελέσματα εφαρμογής των μεθόδων και σύγκρισης τους που έχουν προκύψει στις προηγούμενες παραγράφους είναι δυνατόν να οδηγήσουν στην επαλήθευση ή διάψευση των μηδενικών ερευνητικών υποθέσεων που έχουν διατυπωθεί για την παρούσα έρευνα.

Η πρώτη μηδενική υπόθεση είναι η:

H1₀ : Οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου δεν παρουσιάζουν κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική πτυχή.

Τόσο από την ανάλυση PESTEL – SWOT που έγινε στην σχετική μέθοδο αξιολόγησης της αειφορίας, όσο και από την μέθοδο που βασίζεται στην Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου προέκυψε ότι υπάρχουν τόσο κοινωνικές, όσο και οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επομένως η πρώτη μηδενική υπόθεση διαψεύδεται και είναι σαφές ότι οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, οπότε και ο κάθε εναλλακτικός ενεργειακός σχεδιασμός, παρουσιάζουν κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική πτυχή.

Η δεύτερη μηδενική υπόθεση της έρευνας είναι η:

H2₀ : Η περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί.

Οι δείκτες αειφορίας που διαμορφώθηκαν από τις δύο εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού χαρακτηρίζουν την κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική πτυχή της εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου και συνεπαγόμενα των πιθανών ενεργειακών στρατηγικών σχεδίων. Ωστόσο, όπως αποδείχθηκε από την έρευνα είναι δυνατόν να μετρηθούν. Οι δείκτες που προέκυψαν στην μέθοδο που βασίζεται στον συνδυασμό PESTEL – SWOT, μετρήθηκαν με την εφαρμογή μίας προσέγγισης που βασίζεται στην μεθοδολογία της Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων. Οι ζευγαρωτές συγκρίσεις ενδιαφερομένων μερών επί των θεμάτων που συνθέτουν το πλαίσιο του ενεργειακού σχεδιασμού στην Κύπρο απέδωσαν μέγεθος σε όλες τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων του νησιού. Αντίστοιχα οι δείκτες χαρακτηρισμού των επιπτώσεων που προέκυψαν από την AKZ, επίσης απέκτησαν μέγεθος με βάση εκτιμήσεις εμπειρογνομόνων. Ειδικά επειδή ο σκοπός ήταν η σύγκριση των εναλλακτικών επιλογών, η μέτρηση ήταν αρκετή για την εξαγωγή των συμπερασμάτων. Είναι οπότε

δυνατόν να μετρηθεί η περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου και η υπόθεση H_2_0 διαψεύδεται.

Η τρίτη μηδενική υπόθεση είναι:

H_3_0 : Τα διαφορετικά σενάρια εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου δεν διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά την περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική πτυχή τους.

Για να δοκιμαστεί αυτή η υπόθεση διαμορφώθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο τα οποία βασίστηκαν σε διαφορετικές συνθήκες και τρεις διαφορετικές επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου. Τόσο από την ανάλυση PESTEL – SWOT, όσο και από την ανάλυση που βασίζεται στην AKZ προέκυψε ότι το μέγεθος των δεικτών για το κάθε σενάριο διαφέρει. Οπότε προκύπτει ότι τα διαφορετικά σενάρια εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά την περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική πτυχή τους και επίσης διαψεύδεται και αυτή η υπόθεση.

Η τέταρτη μηδενική υπόθεση είναι:

H_4_0 : Οι προτεινόμενες μέθοδοι αξιολόγησης των ενεργειακών στρατηγικών της Κύπρου δεν διαφέρουν μεταξύ τους.

Στην παρούσα διατριβή παρουσιάζονται δύο διαφορετικές μεθόδους αξιολόγησης της αιεφορίας των ενεργειακών στρατηγικών της Κύπρου. Από την έρευνα μεταξύ δείγματος ειδικών και με βάση κριτήρια που τέθηκαν, προέκυψε ότι η κάθε μέθοδος βαθμολογείται διαφορετικά, οπότε φαίνεται ότι δύο διαφορετικές προτεινόμενες μέθοδοι αξιολόγησης των ενεργειακών στρατηγικών της Κύπρου διαφέρουν μεταξύ τους. Αντίστοιχα από την εφαρμογή των μεθόδων προέκυψε και πρακτικά ότι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων τόσο στις απαιτήσεις για δεδομένα και ανάλυση όσο και στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Οπότε διαψεύστηκε και αυτή η μηδενική υπόθεση.

Η πέμπτη μηδενική υπόθεση της έρευνας είναι η εξής:

H_5_0 : Οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου όσον αφορά την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή τους δεν είναι στα πλαίσια της αιεφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων.

Στην παρούσα έρευνα διαμορφώθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου με βάση διαφορετικές επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων του νησιού. Το ένα σενάριο προέβλεπε την συνέχιση της υφιστάμενης κατάστασης με σχετικά περιορισμένη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πόρων ενέργειας που υπάρχουν διαθέσιμοι στο νησί, το δεύτερο την πλήρη αξιοποίηση τους, αλλά όχι την αξιοποίηση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων που πρόσφατα έχουν εντοπιστεί στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη της Κύπρου και το τρίτο την συνέχιση της περιορισμένης αξιοποίησης των ΑΠΕ αλλά την πλήρη αξιοποίηση των αποθεμάτων υδρογονανθράκων. Από την ανάλυση φάνηκε ότι ειδικά το πρώτο (Α) και τρίτο (Γ) σενάριο αντιβαίνουν στις στρατηγικές και πολιτικές αειφορίας του ΟΗΕ και της ΕΕ. Ωστόσο από τις αποκρίσεις των συμμετεχόντων στην έρευνα και από την μέτρηση των δεικτών αειφορίας φάνηκε ότι οι επιλογές είναι πιθανές. Ειδικά για κάποιους δείκτες που χαρακτηρίζαν επιμέρους πυλώνες της αειφορίας, όπως ο οικονομικός, προέκυψε ότι αυτοί υπολογίζονται με βέλτιστο μέγεθος σε σενάρια που αντιβαίνουν στις αρχές της αειφορίας. Οπότε προκύπτει ότι οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου όσον αφορά την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή τους δεν είναι πάντοτε στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων και η ερευνητική υπόθεση H5₀ επαληθεύεται.

Τέλος η έκτη μηδενική ερευνητική υπόθεση διατυπώθηκε ως εξής:

H6₀ : Η εξόρυξη και χρήση υδρογονανθράκων δεν διαφέρει σε σχέση με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης βάση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων.

Το ένα σενάριο εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου που διαμορφώθηκε με βάση τις γεω-πολιτικές συνθήκες προβλέπει ενεργειακό σχεδιασμό που λαμβάνει υπόψη την αξιοποίηση του διαθέσιμου δυναμικού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του νησιού, ενώ ένα άλλο σενάριο προβλέπει την αξιοποίηση των υπεράκτιων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Από την εφαρμογή και των δύο εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού που εφαρμόστηκαν προέκυψαν ότι τα δύο αυτά σενάρια διαφέρουν βάση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν για την κάθε μία. Επομένως προκύπτει ότι η εξόρυξη και χρήση υδρογονανθράκων σαν επιλογή διαφέρει σε σχέση με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης βάση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων και η ερευνητική υπόθεση H6₀ επίσης διαψεύδεται.

Παράρτημα Α. Questionnaire 1.

Sustainability assessment for Cyprus Energy Planning Scenarios in a PESTEL - SWOT framework.

Energy is very important for the development of the society as well as the economy. Moreover, energy production and consumption are connected to several potential threats for the environment including pollution, global warming, extinction of sources and degradation of biodiversity. Therefore, energy planning for each country is vital to sustainability.

For the purposes of present research, the following three alternative energy planning scenarios for Cyprus have been designed and are investigated for their sustainability.

Scenario A.

Business as usual (BAU). The current situation to be continued. Electricity from fossil fuel with a 10 -15 % penetration of Renewable Energy. Fossil fuel for transportation with limited use of electric vehicles and 10% biodiesel. Energy consumption to keep increase.

Scenario B.

With existing measures (WEM). Further to the national planning and the 2030 targets. Electricity from fossil fuel with penetration of Renewable energy up to 24%. 9.5 % reduction of energy consumption. Use of imported natural gas. Electricity interconnection. Fossil fuel for transportation, use of electric vehicles and 10% biofuel.

Scenario C.

BAU + extraction and use of indigenous natural gas reserves. The current situation of energy production to be continued plus the use of natural gas reserves for electricity production.

For all three scenarios it is supposed that the other parameters e.g. use of solar thermal systems, improvement of energy efficiency of buildings are similar.

In order to evaluate the sustainability of the above three scenarios, two alternative methods have been designed.

Your contribution by filling this questionnaire would be highly appreciated.

Thank you in advance.

Michalis Tsangas

Question 1.

What do you consider yourself?

Environment Expert ____ Environmentalist ____ Technical Expert ____
 Economy Expert ____ Politician /Policy maker ____ Other, please specify

Organization (Optional): _____

PESTEL / SWOT based evaluation method (I)

In order to evaluate the sustainability of the above three scenarios the following criteria/indicators have been set.

Group criteria	of	Strengths - positive	Weaknesses - negative	Opportunities - positive	Threats - negative
Political		P1. Energy security potential		P2. Compatibility with the UN and EU policies and objectives P3. Political stability	P4. Cyprus problem P5. Conflict potential
Economic		E1. Revenue	E2. Cost of the infrastructure	E3. GDP growth potential	E4. Energy cost E5. Lack of funding
Social		S1. Employment needs	S2. H & S risks	S3. Social acceptance for needed infrastructure	S4. Limited participation
Technical		T1. Interconnection	T2. Lack of technology	T3. Availability of technologies T4. Innovation	T5. Energy demand rise
Environmental		EN1. GHG emissions reduction	EN2. Environmental impacts EN3. Land use EN4. Need for not renewable sources	EN5. Availability of sources	EN6. Climate change
Legal				L1. Legislative context	

In order to pairwise compare the value of each group criteria for each scenario a scale of 1-9 as follows is used:

1. First criteria are of absolutely higher value;
2. First criteria are of very strongly or demonstrably higher value;
3. First criteria are of strongly higher value;
4. First criteria are of higher value;
5. The compared criteria are of equal value;
6. Latter criteria are of higher value;
7. Latter criteria are of strongly higher value;
8. Latter criteria are of very strongly or demonstrably higher value;

9. Latter criteria are of absolutely higher value;

Question 2.

A. Please pairwise compare the criteria value for scenario A (Business as Usual).

Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Political vs. Economic									
Political vs. Social									
Political vs. Technical									
Political vs. Environmental									
Political vs. Legal									
Technical vs. Environmental									
Technical vs. Legal									
Legal vs. Environmental									
Economic vs. Social									
Economic vs. Technical									
Economic vs. Environmental									
Economic vs. Legal									
Social vs. Technical									
Social vs. Environmental									
Social vs. Legal									

Question 3.

B. Please pairwise compare the criteria value for scenario B (With Existing Measures).

Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Political vs. Economic									
Political vs. Social									
Political vs. Technical									
Political vs. Environmental									
Political vs. Legal									
Technical vs. Environmental									
Technical vs. Legal									
Legal vs. Environmental									
Economic vs. Social									
Economic vs. Technical									
Economic vs. Environmental									
Economic vs. Legal									
Social vs. Technical									
Social vs. Environmental									
Social vs. Legal									

Question 4.

C. Please pairwise compare the criteria value for scenario C (Business as usual and extraction and use of hydrocarbons).

Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-----------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Political vs. Economic									
Political vs. Social									
Political vs. Technical									
Political vs. Environmental									
Political vs. Legal									
Technical vs. Environmental									
Technical vs. Legal									
Legal vs. Environmental									
Economic vs. Social									
Economic vs. Technical									
Economic vs. Environmental									
Economic vs. Legal									
Social vs. Technical									
Social vs. Environmental									
Social vs. Legal									

Question 5.

Please select the most sustainable of the three scenarios comparing to the above criteria.

Criteria	Scenario A	Scenario B	Scenario C
P1. Energy security potential			
P2. Compatibility with the UN and EU policies and objectives			
P3. Political stability			
P4. Cyprus problem			
P5. Conflict potential			
E1. Revenue			
E2. Cost of the infrastructure			
E3. GDP growth potential			
E4. Energy cost			
E5. Lack of funding			
S1. Employment needs			
S2. H & S risks			
S3. Social acceptance for needed infrastructure			
S4. Limited participation			
T1. Interconnection			
T2. Lack of technology			
T3. Availability of technologies			
T4. Innovation			
T5. Energy demand rise			
EN1. GHG emissions reduction			
EN2. Environmental impacts			
EN3. Land use			
EN4. Need for not renewable sources			
EN5. Availability of sources			
EN6. Climate change			
L1. Legislative context			

Thank you for your valuable contribution

Παράρτημα Β. Questionnaire 2.

Sustainability assessment for Cyprus Energy Planning Scenarios in a LCA framework.

Energy is very important for the development of the society as well as the economy. Moreover, energy production and consumption are connected to several potential threats for the environment including pollution, global warming, extinction of sources and degradation of biodiversity. Therefore, energy planning for each country is vital to sustainability.

For the purposes of present research, the following three alternative energy planning scenarios for Cyprus have been designed and are investigated for their sustainability.

Scenario A.

Business as usual (BAU). The current situation to be continued. Electricity from fossil fuel with a 10 -15 % penetration of Renewable Energy. Fossil fuel for transportation with limited use of electric vehicles and 10% biodiesel. Energy consumption to keep increase.

Scenario B.

With existing measures (WEM). Further to the national planning and the 2030 targets. Electricity from fossil fuel with penetration of Renewable energy up to 24%. 9.5 % reduction of energy consumption. Use of imported natural gas. Electricity interconnection. Fossil fuel for transportation, use of electric vehicles and 10% biofuel.

Scenario C.

BAU + extraction and use of indigenous natural gas reserves. The current situation of energy production to be continued plus the use of natural gas reserves for electricity production.

For all three scenarios it is supposed that the other parameters e.g. use of solar thermal systems, improvement of energy efficiency of buildings are similar.

In order to evaluate the sustainability of the above three scenarios, two alternative methods have been designed.

Your contribution by filling this questionnaire would be highly appreciated.

Thank you in advance.

Michalis Tsangas

Question 1.

What do you consider yourself?

Environment Expert ____

Environmentalist ____

Technical Expert ____

Economy Expert ____

Politician /Policy maker ____

Other, please specify

Organization (Optional): _____

Life Cycle Assessment based evaluation method (II)

Referring to the Life Cycle of the energy system of Cyprus there are the following impact characterization indicators:

Impact category	Indicator	Unit
Environmental		
Climate change	Carbon Dioxide mass emitted	CO ₂ Kg MWh ⁻¹
Pollution (Air pollution & water / soil contamination)	Emissions total mass	Kg MWh ⁻¹
Waste (solid/sludge)	Total waste (solid/sludge) mass produced	Kg MWh ⁻¹
Dust	Dust mass emitted	Kg MWh ⁻¹
Smell	Smell related complaints	no MWh ⁻¹
Land use	Occupied land for infrastructure	m ² MWh ⁻¹
Visual nuisance	Plant area	m ² MWh ⁻¹
Noise	Noise related complaints	no MWh ⁻¹
Use of sources	Water use	m ³ MWh ⁻¹
Use of sources (solid)	Use of recyclable material	m ³ MWh ⁻¹
Impacts on flora and fauna	Species impacted	no MWh ⁻¹
Environmental accidents	Number of environmental accidents	no MWh ⁻¹
Social		
Employment	Employment needs	Work positions MWh ⁻¹
Health and Safety issues	Health and Safety incidents	no MWh ⁻¹
Social objections	Total number of complaints by the society	no MWh ⁻¹
Energy poverty	No of electricity interruptions to households	no MWh ⁻¹
Security	Domestic production sources	MWh of production /total MWh ⁻¹

Impact category	Indicator	Unit
Economic		
Economic growth	Annual GDP growth	€ MWh ⁻¹
Energy cost	Mean price of energy	€ MWh ⁻¹
Dutch disease	Cumulative energy business sector turnover	€ MWh ⁻¹

Question 2.

Please select the three more important indicators for alternative energy planning scenarios evaluation.

Indicators	Unit	Selection (up to 3 indicators)
Carbon Dioxide mass emitted	CO ₂ Kg MWh ⁻¹	
Emissions total mass	Kg MWh ⁻¹	
Total waste (solid/sludge) mass produced	Kg MWh ⁻¹	
Dust mass emitted	Kg MWh ⁻¹	
Smell related complaints	no MWh ⁻¹	
Occupied land for infrastructure	m ² MWh ⁻¹	
Plant area	m ² MWh ⁻¹	
Noise related complaints	no MWh ⁻¹	
Water use	m ³ MWh ⁻¹	
Use of recyclable material	m ³ MWh ⁻¹	
Species impacted	no MWh ⁻¹	
Number of environmental accidents	no MWh ⁻¹	
Employment needs	Work positions MWh ⁻¹	
Health and Safety incidents	no MWh ⁻¹	
Total number of complaints by the society	no MWh ⁻¹	
No of electricity interruptions to households	no MWh ⁻¹	
Domestic sources production	MWh of production /total MWh ⁻¹	
Annual GDP growth	€ MWh ⁻¹	
Mean price of energy	€ MWh ⁻¹	
Cumulative energy business sector turnover	€ MWh ⁻¹	

Question 3.

Please select the most sustainable of the three scenarios comparing to the above indicators.

Indicators	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Carbon Dioxide mass emitted			

Indicators	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Emissions total mass			
Total waste (solid/sludge) mass produced			
Dust mass emitted			
Smell related complaints			
Occupied land for infrastructure			
Plant area			
Noise related complaints			
Water use			
Use of recyclable material			
Species impacted			
Number of environmental accidents			
Employment needs			
Health and Safety incidents			
Total number of complaints by the society			
No of electricity interruptions to households			
Domestic sources production			
Annual GDP growth			
Mean price of energy			
Cumulative energy business sector turnover			

Question 4.

Please provide your estimation, in a scale of 1 -10 (where 1 is the lowest possible value and 10 the highest possible) for the size of the above indicators per produced MWh for each one of the three energy planning scenarios.

Scenario A (Business as Usual).

Indicators	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carbon Dioxide mass emitted										
Emissions total mass										
Total waste (solid/sludge) mass produced										
Dust mass emitted										
Smell related complaints										
Occupied land for infrastructure										
Plant area										
Noise related complaints										
Water use										
Use of recyclable material										
Species impacted										
Number of environmental accidents										
Employment needs										
Health and Safety incidents										
Total number of complaints by the society										
No of electricity interruptions to households										
Domestic sources production										
Annual GDP growth										
Mean price of energy										
Cumulative energy business sector turnover										

Scenario B (With Existing Measures).

Indicators	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carbon Dioxide mass emitted										
Emissions total mass										
Total waste (solid/sludge) mass produced										
Dust mass emitted										
Smell related complaints										
Occupied land for infrastructure										
Plant area										
Noise related complaints										
Water use										
Use of recyclable material										
Species impacted										
Number of environmental accidents										
Employment needs										
Health and Safety incidents										
Total number of complaints by the society										
No of electricity interruptions to households										
Domestic sources production										
Annual GDP growth										
Mean price of energy										
Cumulative energy business sector turnover										

Scenario C (Business as usual and extraction and use of indigenous hydrocarbons).

Indicators	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carbon Dioxide mass emitted										
Emissions total mass										
Total waste (solid/sludge) mass produced										
Dust mass emitted										
Smell related complaints										
Occupied land for infrastructure										
Plant area										
Noise related complaints										
Water use										
Use of recyclable material										
Species impacted										
Number of environmental accidents										
Employment needs										
Health and Safety incidents										
Total number of complaints by the society										
No of electricity interruptions to households										
Domestic sources production										
Annual GDP growth										
Mean price of energy										
Cumulative energy business sector turnover										

Thank you for your valuable contribution.

Παράρτημα Γ. Questionnaire 3.

Comparison of the methods for sustainability assessment for Cyprus Energy Planning Scenarios.

Energy is very important for the development of the society as well as the economy. Moreover, energy production and consumption are connected to several potential threats for the environment including pollution, global warming, extinction of sources and degradation of biodiversity. Therefore, energy planning for each country is vital to sustainability.

For the purposes of present research, the following three alternative energy planning scenarios for Cyprus have been designed and are investigated for their sustainability.

Scenario A.

Business as usual (BAU). The current situation to be continued. Electricity from fossil fuel with a 10 -15 % penetration of Renewable Energy. Fossil fuel for transportation with limited use of electric vehicles and 10% biodiesel. Energy consumption to keep increase.

Scenario B.

With existing measures (WEM). Further to the national planning and the 2030 targets. Electricity from fossil fuel with penetration of Renewable energy up to 24%. 9.5 % reduction of energy consumption. Use of imported natural gas. Electricity interconnection. Fossil fuel for transportation, use of electric vehicles and 10% biofuel.

Scenario C.

BAU + extraction and use of indigenous natural gas reserves. The current situation of energy production to be continued plus the use of natural gas reserves for electricity production.

For all three scenarios it is supposed that the other parameters e.g. use of solar thermal systems, improvement of energy efficiency of buildings are similar.

In order to evaluate the sustainability of the above three scenarios, two alternative methods have been designed.

Your contribution by filling this questionnaire would be highly appreciated.

Thank you in advance.

Michalis Tsangas

Comparison of the methods

Question 2.

Please select the three more important criteria to compare the alternative methods for the evaluation of energy planning sustainability.

Criteria	Selection (up to 3 criteria)
Result accuracy	
Ease of application	
Ease of access to data	
Stakeholders participation	
Suitability for application	
Previous use-application	
Application limits	
Technical elements inclusion	

Question 3.

Please select which is the more advantageous method for each of the above criteria.

Criteria	Method I	Method II
Result accuracy		
Ease of application		
Ease of access to data		
Stakeholders participation		
Suitability for application		
Previous use-application		
Application limits		
Technical elements inclusion		

Thank you for your valuable contribution.

Κεφάλαιο 6. Συζήτηση / Συμπεράσματα

6.1 Εισαγωγή

Η Κύπρος έχει πολλαπλές επιλογές όσον αφορά τον ενεργειακό της σχεδιασμό και την εκμετάλλευση των ενεργειακών της πόρων. Ανάλογα με τις προτεραιότητες, υπάρχει η δυνατότητα να συνεχιστεί η υφιστάμενη κατάσταση, η οποία από τη μία δεν θα απαιτήσει αλλαγές και ενδεχόμενα κόστος για την εφαρμογή τους, από την άλλη όμως θα αντιβαίνει στις υποχρεώσεις που έχει αναλάβει η χώρα και την παγκόσμια απαίτηση για λήψη μέτρων για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και δεν θα αξιοποιεί το σημαντικό δυναμικό τοπικής ενέργειας που διαθέτει η χώρα. Αντίστοιχα υπάρχει η επιλογή της εφαρμογής των απαιτήσεων που έχουν προκύψει από τον σχεδιασμό της ΕΕ, της οποίας η Κυπριακή Δημοκρατία είναι μέλος, και της εισαγωγής μέτρων για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αύξηση της χρήσης ήπιων μορφών ενέργειας και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Αυτή η επιλογή συνεπάγεται υιοθέτηση σημαντικών αλλαγών στο ενεργειακό σύστημα της Κύπρου, αλλά συνάδει με τις ευρωπαϊκές και παγκόσμιες τάσεις ενεργειακού σχεδιασμού και παράλληλα προϋποθέτει την αύξηση της εκμετάλλευσης του δυναμικού ΑΠΕ που διαθέτει η χώρα. Ωστόσο, δεδομένων πλέον των αποθεμάτων φυσικού αερίου που διαθέτει το νησί υπάρχει και μία τρίτη επιλογή. Ο ενεργειακός σχεδιασμός είναι δυνατόν να στηριχθεί στην αξιοποίηση τους και να λάβει υπόψη τα οικονομικά και ενδεχόμενα γεωστρατηγικά οφέλη που μπορεί να προκύψουν από αυτή. Σε αυτή την περίπτωση θα απαιτηθούν αλλαγές στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα, αλλά δεν θα έχουν το μέγεθος της δεύτερης επιλογής.

Στην έρευνα που διενεργήθηκε εξετάστηκαν αυτές οι επιλογές. Διαμορφώθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού και με βάση δύο διαφορετικές μεθοδολογίες αξιολόγησης της αειφορίας που σχεδιάστηκαν, έγινε σύγκριση τους βάση κριτηρίων. Από την κάθε μία μέθοδο προέκυψε ένα μέγεθος της αειφορίας για κάθε σενάριο, αλλά στα πλαίσια της μέτρησης ανέκυψαν και ποικίλα δεδομένα τα οποία προσδιορίζουν επιμέρους θέματα, αλλά και δίνουν απαντήσεις σε ερευνητικά ερωτήματα που είχαν τεθεί. Σε αυτό το κεφάλαιο διατυπώνονται οι απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα, συζητούνται τα αποτελέσματα της έρευνας και εξάγονται συμπεράσματα, τα οποία στο τέλος χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση προτάσεων για τον βέλτιστο ενεργειακό σχεδιασμό του νησιού και τις επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων που διαθέτει, στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης.

6.2 Απαντήσεις ερευνητικών ερωτημάτων

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των δύο εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού και τα σχετικά αποτελέσματα, όπως και η δοκιμή των υποθέσεων της παρούσας έρευνας οδηγούν στις απαντήσεις για τα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα που έχουν τεθεί. Για το πρώτο επιμέρους ερώτημα, ποια είναι η οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, η ανάλυση είτε με τον συνδυασμό των μεθόδων PESTEL – SWOT, είτε με τη μεθοδολογία που βασίζεται στη διαδικασία για μια μελέτη AKZ, οδήγησε σε δύο διαφορετικές ομάδες κριτηρίων ή δεικτών τα οποία αποτυπώνουν και χαρακτηρίζουν την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου.

Η δυναμική για ανάπτυξη ή αύξηση του ΑΕΠ και το κόστος της ενέργειας είναι στοιχεία της οικονομικής πτυχής που προέκυψαν και από τις δύο μεθόδους. Ωστόσο επιπλέον στοιχεία όπως το εισόδημα, το κόστος της υποδομής οι ενδεχόμενες ελλείψεις σε χρηματοδότηση και το πιθανό φαινόμενο της «Ολλανδικής Ασθένειας», εντοπίστηκαν από τη μία ή την άλλη μέθοδο. Κοινά στοιχεία την κοινωνικής πτυχής που προέκυψαν είναι η εργοδότηση, η επαγγελματική Ασφάλεια και Υγεία και οι ενστάσεις ή αντιδράσεις από την κοινωνία. Ωστόσο επίσης προέκυψαν ως στοιχεία της κοινωνικής πτυχής η ενεργειακή φτώχεια, η ενεργειακή ασφάλεια, αλλά και η μειωμένη συμμετοχή της κοινωνίας στον ενεργειακό σχεδιασμό και προφανώς στο ενδεχόμενο οικονομικό αλλά και κοινωνικό όφελος από την ενέργεια. Για την περιβαλλοντική πτυχή προέκυψαν κοινά στοιχεία και από τις δύο μεθόδους, όπως η κλιματική αλλαγή και οι συνδεδεμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είτε γενικά, είτε συγκεκριμένα όπως η σκόνη, οι οσμές, ο θόρυβος, η οπτική όχληση, η μόλυνση, τα απόβλητα, οι επιπτώσεις στη χλωρίδα και πανίδα, η χρήση γης και η διαθεσιμότητα ή ανάγκη σε πόρους. Ενώ από τη μία μέθοδο αναδείχθηκαν και τα περιβαλλοντικά ατυχήματα και από την άλλη η χρήση ανανεώσιμων πόρων. Η μέθοδος που συνδυάζει τις PESTEL – SWOT ανέδειξε επιπλέον και πολιτικά, τεχνολογικά και νομικά θέματα που σχετίζονται με την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων της Κύπρου τα οποία επίσης έχουν σημασία και είναι χρήσιμο να συνυπολογίζονται. Επιπρόσθετα, η απόδοση βαρύτητας και μεγέθους για τα στοιχεία της κάθε πτυχής, κατά την εφαρμογή των μεθόδων, δίνει και εικόνα για το ποια θεωρούνται τα περισσότερο σημαντικά.

Σχετικά με το ερώτημα ποια εργαλεία θεωρούνται πιο αποτελεσματικά για την περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική αξιολόγηση των επιλογών εκμετάλλευσης των

ενεργειακών πόρων στην Κύπρο, σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης και σύγκρισης της αιφορίας που περιείχαν δείκτες, κριτήρια και έδωσαν μεγέθη. Η έρευνα ανέδειξε ωστόσο ως περισσότερο αποτελεσματική την μέθοδο που συνδυάζει τις μεθόδους PESTEL – SWOT με την μέθοδο Ιεραρχική Ανάλυσης Αποφάσεων. Εντούτοις, υπήρχαν σημεία που η εναλλακτική μέθοδος που ακολουθεί τις πρόνοιες της AKZ, πλεονεκτούσε.

Για το ερώτημα εάν οι επιλογές εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου όσον αφορά την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή τους είναι στα πλαίσια της αιφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων, ελέγχθηκε η μηδενική υπόθεση H_0 , η οποία και επαληθεύτηκε. Επομένως, προέκυψε ότι η απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι αρνητική και προφανώς δεν συνάδει απαραίτητα οποιαδήποτε επιλογή ενεργειακού σχεδιασμού στην Κύπρο με την γενικότερη στρατηγική και τις πολιτικές και στόχους για αιφόρο ανάπτυξη.

Όσον αφορά το ερώτημα εάν η εξόρυξη και χρήση υδρογονανθράκων σε σχέση με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο είναι περισσότερο ή λιγότερο επωφελής στα πλαίσια της αιφόρου ανάπτυξης βάση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων, και με δεδομένο ότι διαψεύστηκε η μηδενική υπόθεση H_0 , προκύπτει ότι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι περισσότερο επωφελής. Από την εφαρμογή και των δύο εναλλακτικών μεθόδων αξιολόγησης της αιφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου προέκυψε σαφώς ότι το σενάριο Β που προβλέπει την περεταίρω ανάπτυξη των ΑΠΕ είναι περισσότερο αιφόρο σε σχέση με το σενάριο Γ που προβλέπει την ανάπτυξη των εγχώριων κοιτασμάτων φυσικού αερίου κατά προτεραιότητα.

Ένας άλλος επιμέρους ερευνητικός στόχος της παρούσας έρευνας είναι ο προσδιορισμός και ο καθορισμός μεταβλητών βάση των οποίων να μπορεί να μετρηθεί και να διασφαλιστεί η αιφόρος εκμετάλλευση ενεργειακών πόρων, οι οποίες να είναι κατάλληλες για την περίπτωση της Κύπρου. Τα κριτήρια και δείκτες που προέκυψαν από την εφαρμογή και των δύο μεθόδων αποτελούν ακριβώς αυτές τις μεταβλητές. Επιπλέον και οι δύο μέθοδοι περιλάμβαναν στάδιο και μεθοδολογία με το οποίο μετρούνται αυτές οι μεταβλητές και καθορίζεται το μέγεθος τους για το κάθε σενάριο ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο.

Τέλος, ζητούμενο της έρευνας ήταν να προσδιοριστούν και να καθοριστούν σενάρια (what - if) γεωστρατηγικών συνθηκών για την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων της Κύπρου. Έγινε εκτενής ανάλυση των στρατηγικών ενεργειακού σχεδιασμού και των ενεργειακών πολιτικών και στόχων που ισχύουν παγκόσμια. Επίσης έγινε εκτενής ανάλυση του

ενεργειακού συστήματος, των αναγκών, των απαιτήσεων, των διαθέσιμων πόρων και των διαθέσιμων ή πιθανών επιλογών σχετικά με την ενέργεια για την Κύπρο. Με βάση αυτή την ανάλυση διαμορφώθηκαν και συγκρίθηκαν τρία διαφορετικά πιθανά σενάρια επιλογών ενεργειακής πολιτικής για το νησί. Τα σενάρια λάμβαναν υπόψη τα ερωτήματα της έρευνας. Ωστόσο το κάθε ένα βασίζεται σε μια διαφορετική προσέγγιση και επιλογή για την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, η οποία ενδέχεται να προκύψει με βάση διαφορετικές γεωστρατηγικές συνθήκες.

Το ένα σενάριο ακολουθεί τη λογική της μηδενικής λύσης και τη συνέχιση της υφιστάμενης κατάστασης, η οποία συνδέεται με εισαγωγή και χρήση ορυκτών ενεργειακών πόρων, την ενεργειακή απομόνωση, την περιορισμένη εκμετάλλευση του δυναμικού ΑΠΕ που υπάρχει στο νησί και τη μη συμβατότητα με τις ευρωπαϊκές πολιτικές αειφορίας και τους παγκόσμιους στόχους για περιορισμό του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, το δεύτερο σενάριο προβλέπει τη συμμόρφωση της ενεργειακής πολιτικής της Κύπρου με την πολιτική της ΕΕ και τους στόχους του ΟΗΕ, την αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ, την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την ενεργειακή διασύνδεση, ενώ το τρίτο σενάριο προβλέπει την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων φυσικού αερίου που έχουν εντοπιστεί στην ΑΟΖ του νησιού, αλλά καμία άλλη ενέργεια. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των δύο μεθόδων ανέδειξαν ότι το δεύτερο σενάριο είναι το πλέον αειφόρο, αλλά και τι συνεπάγεται η εφαρμογή του κάθε ενός όσον αφορά τις επιμέρους συνιστώσες της αειφορίας. Επίσης η εφαρμογή της μεθόδου που συνδυάζει τις μεθόδους PESTEL – SWOT με την μέθοδο Ιεραρχική Ανάλυσης Αποφάσεων δίνει συγκρίσιμες μετρήσεις μεγεθών για το πολιτικό, οικονομικό, κοινωνικό, τεχνολογικό, περιβαλλοντικό και νομικό πλαίσιο για το κάθε εναλλακτικό σενάριο που εξετάζεται.

Γενικά προέκυψε ότι η συμβατότητα με τις διεθνείς στρατηγικές και πολιτικές συνδέεται οπωσδήποτε με το πλέον αειφόρο σενάριο. Εντούτοις μία επιλογή εκμετάλλευσης των υδρογονανθράκων μπορεί να υπερέχει όσον αφορά την οικονομική διάσταση, ενώ δεν φάνηκε κάτι τέτοιο όσον αφορά την πολιτική πτυχή. Επίσης η επιλογή παραμονής στην παρούσα κατάσταση, φάνηκε ότι θεωρείται ότι υπερέχει σε σχέση με την επιλογή εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου περιβαλλοντικά αλλά και νομικά, από τις συγκρίσεις των ειδικών, αλλά ο έλεγχος συνέπειας δεν επικύρωσε κάτι τέτοιο.

Επομένως η συμβατότητα με την διεθνή τάση και νομιμότητα, η προστασία του περιβάλλοντος, η προώθηση της τεχνολογίας και το περιβαλλοντικό και κοινωνικό όφελος επιτάσσει την υιοθέτηση και εφαρμογή του εθνικού σχεδίου για το κλίμα και την ενέργεια,

ενώ μόνο η επιλογή για οικονομικό όφελος μπορεί να ενισχυθεί από την επιλογή για εκμετάλλευση των κοιτασμάτων υδρογονανθράκων χωρίς τη λήψη άλλων μέτρων. Ενώ, δεν φαίνεται να υπάρχει συνθήκη με την οποία το να παραμείνει η παρούσα κατάσταση μπορεί να είναι μία επωφελής επιλογή.

6.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Στις επόμενες παραγράφους συζητούνται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από την παρούσα έρευνα.

6.3.1 Μέθοδοι αξιολόγησης

Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει προκύψει ότι χρησιμοποιούνται αρκετές διαφορετικές μέθοδοι για την αξιολόγηση της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού και των σχετικών στρατηγικών ή και πολιτικών. Οι Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων διαπιστώθηκε ότι έχουν χρησιμοποιηθεί συχνότερα. Επίσης αρκετά συχνά και με όχι πολύ μικρότερο αριθμό σχετικών δημοσιεύσεων, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες αειφορίας. Επιπλέον εντοπίστηκε ένας αριθμός δημοσιεύσεων που ακολούθησαν τη μέθοδο γενικής ανάλυσης, ενώ συναντώνται και περισσότερο εξειδικευμένες μέθοδοι ανάλυσης, μεταξύ αυτών και η ανάλυση SWOT (Markovska, Taseska and Pop-Jordanov, 2009; Ul-Haq et al., 2020). Σε μία άλλη ομάδα ερευνών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (AKZ). Επίσης αρκετές άλλες μέθοδοι διαπιστώθηκε ότι χρησιμοποιήθηκαν σε το πολύ σε δύο ή και μεμονωμένες έρευνες.

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκαν δύο εναλλακτικές μέθοδοι αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού της Κύπρου προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη. Ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στις διαπιστώσεις από τη βιβλιογραφία σχετικά με τις διαθέσιμες μεθόδους και την εφαρμογή της κάθε μίας, αλλά κυρίως στο ζητούμενο ότι έπρεπε να είναι κατάλληλες για χρήση και αποτελεσματικές. Οπότε, και οι δύο μέθοδοι εμπεριέχουν και συνδυάζουν εργαλεία τα οποία, διαπιστώθηκε από τη βιβλιογραφία ότι είναι αποτελεσματικά και μπορούν να οδηγήσουν σε αποτελέσματα. Η μία μέθοδος, δομεί ιεραρχικά το πρόβλημα αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού, ακολουθώντας την λογική της Πολυκριτηριακής Μεθόδου Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων που σχεδιάστηκε από τον Saaty (Saaty, 1980) και συνδυάζει την ανάλυση PESTEL με την ανάλυση SWOT για τον καθορισμό δεικτών, οι οποίοι ποσοτικοποιούνται με βάση το βήμα υπολογισμών που περιέχεται επίσης στην μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, χρησιμοποιώντας ποιοτικές αξιολογήσεις από ειδικούς. Η ανάλυση SWOT έχει χρησιμοποιηθεί για παρόμοια ανάλυση και προηγουμένως (Markovska, Taseska and

Pop-Jordanov, 2009; Ul-Haq *et al.*, 2020). Επίσης η μέθοδος PESTEL έχει συνδυαστεί με τη Μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων για την υποστήριξη του καθορισμού ενεργειακής πολιτικής (Krysiak and Kluczek, 2021). Ωστόσο στην προτεινόμενη μέθοδο χρησιμοποιείται ο συνδυασμός τους. Η Μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων χρησιμοποιείται ευρέως για διάφορες εφαρμογές (Mardani *et al.*, 2015), αλλά και στον ενεργειακό σχεδιασμό (Pohekar and Ramachandran, 2004). Επίσης είναι ένα εργαλείο για την απόδοση βαρύτητας σε κριτήρια αξιολόγησης (Konidari and Mavrakakis, 2007). Στην μέθοδο που προτείνεται ωστόσο, χρησιμοποιούνται στοιχεία της μεθόδου για να δοθεί μέγεθος σε ποιοτικούς δείκτες αξιολόγησης της αειφορίας. Παρόμοια προσέγγιση αξιολόγησης έχει ακολουθηθεί και σε άλλη έρευνα, αλλά για άλλο ερευνητικό αντικείμενο (Srdjevic, Bajcetic and Srdjevic, 2012) και με τη διαφορά ότι οι παράγοντες που προέκυψαν σε αυτή την περίπτωση κατατάχθηκαν ως προς την σημασία τους, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση άλλων εναλλακτικών, όπως προτείνεται στην παρούσα μέθοδο.

Η δεύτερη μέθοδος που σχεδιάστηκε και χρησιμοποιείται σε αυτή τη διατριβή είναι ποσοτική και βασίζεται στην προσέγγιση της μεθόδου Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (AKZ) για την διαμόρφωση δεικτών αειφορίας, των οποίων το μέγεθος εκτιμάται από ειδικούς. Η AKZ εντοπίστηκε ότι επίσης χρησιμοποιείται αρκετά στην βιβλιογραφία για την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων ενεργειακού σχεδιασμού ή και των επιπτώσεων της χρήσης ενεργειακών πόρων. Σε παρόμοια προσέγγιση με την μέθοδο που προτείνεται οι García-Gusano *et al.* (2016) διαμόρφωσαν δείκτες επιπτώσεων στον κύκλο ζωής για την κλιματική αλλαγή, την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων με τους οποίους αξιολόγησαν δύο διαφορετικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού με εφαρμογή της Μοντελοποίησης Ενεργειακών Συστημάτων. Επίσης η μέθοδος έχει συνδυαστεί και με Πολυκριτηριακές Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων για την αξιολόγηση εναλλακτικών ενεργειακών πόρων (Atilgan and Azapagic, 2016) ή και με την μέθοδο Ανάλυσης Καθαρής Ενέργειας (Net Energy Analysis) (Raugei *et al.*, 2018). Στην προτεινόμενη μέθοδο ωστόσο, πέρα από τους δείκτες που χαρακτηρίζουν γενικές επιπτώσεις που αξιολογούνται συχνά, όπως η κλιματική αλλαγή, η εργοδότηση, η ζήτηση ενέργειας και το κόστος, χρησιμοποιούνται και δείκτες χαρακτηρισμού για την μέτρηση περισσότερο εξειδικευμένων επιπτώσεων όπως για παράδειγμα οι οσμές, ο θόρυβος, αλλά και η αύξηση του ΑΕΠ ή και η ενεργειακή φτώχεια. Η εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων από ειδικούς που προτείνεται, δεν συναντάται σε άλλη περίπτωση στη βιβλιογραφία, αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι δίνει τη δυνατότητα προσμέτρησης δεικτών χαρακτηρισμού αυτών των

εξειδικευμένων επιπτώσεων για τους οποίους είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το μέγεθος με άλλη μέθοδο.

6.3.2 Δείκτες αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού

Και οι δύο μέθοδοι αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού που εφαρμόζονται στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιούν δείκτες. Αυτοί, στην μία μέθοδο προσδιορίζονται ως κριτήρια αξιολόγησης με βάση τον συνδυασμό των μεθόδων ανάλυσης PESTEL και SWOT και στην άλλη προκύπτουν από την ανάλυση του Κύκλου Ζωής του ενεργειακού συστήματος της Κύπρου. Στην πρώτη μέθοδο οι δείκτες διαχωρίζονται σε έξι ομάδες, σχετικά με το πολιτικό, το οικονομικό, το κοινωνικό, το τεχνολογικό, το περιβαλλοντικό και το νομικό πλαίσιο. Στην δεύτερη μέθοδο οι δείκτες ομαδοποιούνται με γνώμονα τις τρεις διαστάσεις της αειφορίας, την κοινωνική, την οικονομική και την περιβαλλοντική. Ωστόσο, αρκετοί από τους δείκτες που προέκυψαν και μετρήθηκαν είτε στην μία, είτε στην άλλη μέθοδο συναντώνται και στην βιβλιογραφία σχετικά με την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού και διαφορετικών ενεργειακών στρατηγικών επιλογών ή και πολιτικών.

6.3.2.1 Δείκτες PESTEL / SWOT

Ανασκοπώντας τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία για την εφαρμογή πολυκριτηριακών μεθόδων παρατηρούμε ότι εντοπίζονται κριτήρια που μπορούν να ομαδοποιηθούν αντίστοιχα ως πολιτικά, κοινωνικά, τεχνικά, οικονομικά, νομικά και περιβαλλοντικά, όπως γίνεται και στην μέθοδο που συνδυάζει την ανάλυση PESTEL με την ανάλυση SWOT για τον καθορισμό δεικτών αξιολόγησης της αειφορίας, ενώ στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται και κριτήρια που χαρακτηρίζουν την ευελιξία. Η ενεργειακή ασφάλεια που συνδέεται με το κριτήριο «Π1. Δυναμική για ενεργειακή ασφάλεια», δεν εντοπίζεται σε προηγούμενη βιβλιογραφία ως κριτήριο, αλλά εντοπίζονται σχετικά η αυτονομία σε πόρους ως πολιτικό κριτήριο (Volkart et al., 2017) και η κατανάλωση ιδίων πόρων ως οικονομικό (Aryanpur et al., 2019). Για το κριτήριο «Π2. Συμβατότητα με πολιτικές και στόχους του ΟΗΕ και ΕΕ», εντοπίζεται αντίστοιχα το κριτήριο συμβατότητα με κυβερνητικό ενεργειακό σχεδιασμό ή στρατηγικά πλάνα (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Papapostolou et al., 2019; Saraswat and Dugalwar, 2021; Bilal et al., 2022). Το «Π5. Πιθανότητα σύγκρουσης» εμφανίζεται ως κοινωνικό κριτήριο στη βιβλιογραφία. Τα άλλα δύο πολιτικά κριτήρια που προκύπτουν και χρησιμοποιούνται ως δείκτες στη μέθοδο δεν φαίνεται να έχουν χρησιμοποιηθεί σε κάποια

σχετικά αναφορά στη βιβλιογραφία. Ειδικά για το «Π4. Κυπριακό Πρόβλημα», αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς είναι ένα ειδικό θέμα που αφορά την Κυπριακή Δημοκρατία.

Όσον αφορά το οικονομικό κριτήριο «Ο1. Εισόδημα» επίσης δεν έχει χρησιμοποιηθεί αυτούσιο σε άλλη έρευνα, αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί τα κριτήρια αποδοτικότητα κόστους (Konidari and Mavrakis, 2007; Nikolaev and Konidari, 2017) και αύξηση κερδών (Kok and Lootsma, 1985) που μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σχετικά. Επίσης σε αρκετές έρευνες έχει χρησιμοποιηθεί το κόστος λειτουργίας, συντήρησης και επισκευής (Volkart et al., 2017; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Aryanpur et al., 2019; Genco and Genco, 2021; Saraswat and Digalwar, 2021; Bilal et al., 2022) που επίσης είναι σχετικό με το «Ο2. Κόστος υποδομής». Το κριτήριο «Ο3. Δυνητική αύξηση ΑΕΠ» σαφώς σχετίζεται με το κριτήριο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν που επίσης έχει εντοπιστεί στη βιβλιογραφία (Brodny and Tutak, 2021). Το «Ο4. Κόστος ενέργειας» αντίστοιχα εμφανίζεται σε αρκετές βιβλιογραφίας ως κόστος ενέργειας ή πόρων (Kok and Lootsma, 1985; Stagl, 2006; Boran, Boran and Dizdar, 2012; Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013; Pušnik and Sučić, 2014; Streimikiene, 2020; Tutak et al., 2020; Bilal et al., 2022) ή και ως κοινωνικό κριτήριο με περιγραφή τιμή ρεύματος σε νοικοκυριά (Brodny and Tutak, 2021). Το «Ο5. Έλλειψη χρηματοδότησης» μπορεί να θεωρηθεί ότι σχετίζεται με το κριτήριο διαθεσιμότητα κεφαλαίων που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση του ενεργειακού τομέα της Ινδίας (Saraswat and Digalwar, 2021).

Όσον αφορά τα κοινωνικά κριτήρια το «Κ1. Ανάγκες εργοδότησης», εντοπίζεται σε αρκετές έρευνες προσδιοριζόμενο ως δημιουργία θέσεων εργασίας και εργοδότηση (Boran, Boran and Dizdar, 2012; Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Saraswat and Digalwar, 2021; Bilal et al., 2022). Αντίστοιχα το «Κ2. Κίνδυνοι Α & Υ», ενώ δεν έχει χρησιμοποιηθεί το ίδιο επίσης σχετίζεται με το κριτήριο σοβαρά ατυχήματα που συναντάται σε παλαιότερες έρευνες (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013; Volkart et al., 2017). Δεδομένης της σημασίας του το «Κ3. Κοινωνική αποδοχή για την απαιτούμενη υποδομή» σαφώς εντοπίστηκε ότι έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες έρευνες (Boran, Boran and Dizdar, 2012; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Genco and Genco, 2021; Saraswat and Digalwar, 2021; Bilal et al., 2022). Το «Κ4. Μειωμένη συμμετοχή» ωστόσο, αν και δεν εντοπίστηκε να χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία, σχετίζεται με κριτήρια που συναντώνται, όπως τα κοινωνικά οφέλη (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Saraswat and Digalwar, 2021) και η ισότητα (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013; Nikolaev and Konidari, 2017).

Τα τεχνολογικά κριτήρια επίσης χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία για την αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών ή σχεδίων. Συγκρίνοντας με αυτά που έχουν προκύψει από την παρούσα έρευνα διαπιστώνουμε ότι το «Τ1. Διασύνδεση» έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλη έρευνα ως συνδεσιμότητα (Streimikiene, 2020). Το «Τ2. Έλλειψη τεχνολογίας» το οποίο είναι αδύνατο σημείο όπως και το «Τ3. Διαθεσιμότητα τεχνολογιών» που είναι ευκαιρία, αντιστοιχούν σε κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν σε άλλες έρευνες για τη διαθεσιμότητα τεχνολογίας (Genco and Genco, 2021) και την ωριμότητα τεχνολογίας (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Genco and Genco, 2021; Saraswat and Digalwar, 2021) τα οποία χαρακτηρίζουν θετικά την κάθε εναλλακτική που εξετάζεται. Το «Τ4. Καινοτομία» επίσης συναντάται στην βιβλιογραφία (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018), αντίθετα με το «Τ5. Αύξηση ζήτησης ενέργειας» το οποίο δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε άλλη έρευνα, ειδικά ως αρνητικό κριτήριο.

Η μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου είναι ένα από τα πλέον σημαντικά ζητήματα στον ενεργειακό σχεδιασμό οπότε αντίστοιχα με το «ΠΕ1. Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου» χρησιμοποιείται το κριτήριο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ή αερίων του θερμοκηπίου σε σημαντικό αριθμό ερευνών (Konidari and Mavrakis, 2007; Boran, Boran and Dizdar, 2012; Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013; Pušnik and Sučić, 2014; Nikolaev and Konidari, 2017; Volkart et al., 2017; Tutak et al., 2020; Brodny and Tutak, 2021; Genco and Genco, 2021; Bilal et al., 2022). Κριτήρια που χαρακτηρίζουν επιπτώσεις στο περιβάλλον επίσης συχνά συναντώνται στη βιβλιογραφία σε διάφορες μορφές, όπως οι επιπτώσεις στα οικοσυστήματα (Volkart et al., 2017; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Saraswat and Digalwar, 2021), ο θόρυβος (Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018), οι εκπομπές αέριων ρύπων (Kok and Lootsma, 1985; Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Tutak et al., 2020; Brodny and Tutak, 2021; Saraswat and Digalwar, 2021), τα απόβλητα, οσμές και σκόνη (Kok and Lootsma, 1985; Pušnik and Sučić, 2014; Volkart et al., 2017; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018) και οι έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Konidari and Mavrakis, 2007; Nikolaev and Konidari, 2017). Αυτά αντιστοιχούν προφανώς στο κριτήριο «ΠΕ2. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις», το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα. Επίσης η χρήση γης είναι κριτήριο που έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες έρευνες χαρακτηριζόμενο ως ανάγκες σε γη (Meyar-Naimi and Vaez-Zadeh, 2013; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Saraswat and Digalwar, 2021; Bilal et al., 2022) και αντιστοιχεί στο «ΠΕ3. Χρήση γης» της παρούσας έρευνας. Ωστόσο δεν φαίνεται να εντοπίζεται στη βιβλιογραφία κριτήριο που να σχετίζεται με τη χρήση μη ανανεώσιμων πόρων σε προηγούμενη έρευνα όπως το αρνητικό κριτήριο «ΠΕ4. Ανάγκη για μη ανανεώσιμους

πόρους» που έχει χρησιμοποιηθεί στην παρούσα. Από την άλλη τόσο το «ΠΕ5. Διαθεσιμότητα πόρων», όσο και το «ΠΕ6. Κλιματική αλλαγή» εντοπίζονται σε σχετικές έρευνες. Το πρώτο σε μία δημοσίευση (Boran, Boran and Dizdar, 2012) και το δεύτερο σε περισσότερες (Stagl, 2006; Büyüközkan, Karabulut and Mukul, 2018; Saraswat and Dugalwar, 2021). Τέλος το κριτήριο «N1. Νομοθετικό πλαίσιο» επίσης έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλη έρευνα (Papapostolou et al., 2019).

6.3.2.2 Δείκτες AKZ

Η μέθοδος αξιολόγησης που βασίζεται στη μεθοδολογία AKZ επίσης χρησιμοποιεί δείκτες που χαρακτηρίζουν επιπτώσεις από τον ενεργειακό σχεδιασμό και την αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων στην Κύπρο, στο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία. Οι δείκτες ανάγονται προς μία (1) MWh παραγόμενης ενέργειας. Κάποιοι από τους δείκτες έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλες έρευνες. Η κλιματική αλλαγή εκφραζόμενη με δείκτη τη μάζα εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα ανά λειτουργική μονάδα είναι η πλέον κοινά αξιολογούμενη επίπτωση σε έρευνες που εξετάζουν εναλλακτικές επιλογές ενεργειακού σχεδιασμού (Tokimatsu *et al.*, 2006; Stamford and Azapagic, 2012; Takeshita *et al.*, 2014; Turconi *et al.*, 2014; Atilgan and Azapagic, 2016; García-Gusano *et al.*, 2016; Akber, Thaheem and Arshad, 2017; Quek *et al.*, 2018; Kiss, Kácsor and Szalay, 2020). Επίσης και άλλοι περιβαλλοντικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα συναντώνται στην βιβλιογραφία, συνήθως όμως με έμμεση έκφραση, όπως η εξάλειψη πόρων σε στοιχεία ή αβιοτικούς πόρους ή η μόλυνση ως ευτροφισμός, οξίνιση, φωτοχημική οξείδωση ή τοξικότητα (Stamford and Azapagic, 2012; Turconi *et al.*, 2014; Atilgan and Azapagic, 2016; Akber, Thaheem and Arshad, 2017; Quek *et al.*, 2018; Kiss and Popovics, 2021) ή την επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία (García-Gusano *et al.*, 2016). Οι επιπτώσεις στην χλωρίδα και πανίδα εκφράζονται με δείκτη που αφορά την ποιότητα του οικοσυστήματος (Raugei *et al.*, 2018). Αντίστοιχα, δείκτης σχετικά με τη χρήση γης χαρακτηριζόμενος ως κατάληψη γης, έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλη έρευνα (Stamford and Azapagic, 2012). Εντούτοις, οι περισσότεροι περιβαλλοντικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα έρευνα και αφορούν επιπτώσεις όπως οι οσμές, η σκόνη, ο θόρυβος και η οπτική όχληση, αλλά και τα περιβαλλοντικά ατυχήματα, δεν εντοπίζεται να εκφράζονται άμεσα, ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί σε αξιολογήσεις με βάση πολυκριτηριακές μεθόδους.

Αντίστοιχα, όσον αφορά τους κοινωνικούς δείκτες η εργοδότηση συναντάται συχνά ως αξιολογούμενη κοινωνική επίπτωση στον κύκλο ζωής (Stamford and Azapagic, 2012; Atilgan and Azapagic, 2016; Akber, Thaheem and Arshad, 2017). Επίσης αξιολογείται η επίπτωση στην ασφάλεια και υγεία με δείκτη τους θανάτους ή τους τραυματισμούς από

ατυχήματα (Stamford and Azapagic, 2012; Atilgan and Azapagic, 2016), Οι άλλες κοινωνικές επιπτώσεις που εξετάζονται στην παρούσα έρευνα δεν φαίνεται να έχουν εξεταστεί σε άλλες. Όσον αφορά τους οικονομικούς δείκτες το κόστος επίσης εξετάζεται και σε άλλες έρευνες που εξετάζουν τον κύκλο ζωής ενεργειακών επιλογών (Stamford and Azapagic, 2012; Atilgan and Azapagic, 2016), όπως και η ανάπτυξη για παράδειγμα ως οικονομική εκκίνηση (Stamford and Azapagic, 2012). Ωστόσο η ενεργειακή φτώχεια επίσης δεν φαίνεται να έχει προσμετρηθεί σε άλλη σχετική έρευνα.

6.3.2.3 Δείκτες αειφορίας

Οι δείκτες αειφορίας έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί αρκετά στη βιβλιογραφία για την αξιολόγηση των ενεργειακών επιλογών. Σε αρκετές περιπτώσεις αυτοί είναι σύνθετοι και προσμετρούν μεγέθη που χαρακτηρίζουν τις επιμέρους διαστάσεις της αειφορίας, δηλαδή την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον. Αντίστοιχα δείκτες που χρησιμοποιούνται είτε στη μία, είτε στην άλλη από τις δύο εναλλακτικές μεθόδους που εφαρμόζονται στην παρούσα έρευνα συναντώνται στην σχετική βιβλιογραφία. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ή αερίων του θερμοκηπίου προς ένα επιλεγμένο μέγεθος είναι μία αρκετά κοινή μέτρηση που χρησιμοποιείται σε αρκετές έρευνες (Shortall and Davidsdottir, 2017; Martínez *et al.*, 2018; Rösch *et al.*, 2018; Sarangi *et al.*, 2019; Ligus and Peternek, 2021; Pakere *et al.*, 2021).

Επίσης και άλλοι δείκτες, είτε περιβαλλοντικοί όπως για το θόρυβο, τις εκπομπές αέριων ρύπων, τα απόβλητα και την αισθητική που συνδέεται με την οπτική όχληση (Gallego Carrera and Mack, 2010; Shortall and Davidsdottir, 2017), πολιτικοί δείκτες όπως η πολιτική σταθερότητα (Gallego Carrera and Mack, 2010), κοινωνικοί όπως η εργοδότηση και η κοινωνική ισότητα (Dialga, 2021) και η προσιτότητα ή οι ανισότητες (Angelis-Dimakis, Arampatzis and Assimacopoulos, 2012) ή και οικονομικοί δείκτες όπως το ΑΕΠ (Sheinbaum-Pardo, Ruiz-Mendoza and Rodríguez-Padilla, 2012; Shortall and Davidsdottir, 2017; Martínez *et al.*, 2018) έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του ενεργειακού σχεδιασμού και σε προηγούμενες δημοσιεύσεις.

6.3.3 Σύγκριση μεθόδων

Και στις δύο εναλλακτικές μεθόδους αξιολόγησης της αειφορίας που σχεδιάστηκαν και προτείνονται με την παρούσα έρευνα, υπάρχουν δύο στάδια. Το πρώτο περιέχει την ανάλυση προκειμένου να καθοριστούν οι δείκτες αειφορίας που θα εξεταστούν και το δεύτερο αφορά τη μέτρηση των δεικτών μέσω συλλογής στοιχείων. Εντούτοις, τόσο το πρώτο όσο και το δεύτερο μέρος των δύο μεθόδων διαφέρουν ως προς τα εργαλεία, αλλά

και την εφαρμογή. Στο πρώτο μέρος χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι ανάλυσης και συγκεκριμένα ανάλυση που συνδυάζει τη μέθοδο PESTEL με τη μέθοδο SWOT βάση της ιεραρχικής δόμησης του προβλήματος όπως προτείνει η μέθοδος Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, ενώ στη δεύτερη ακολουθούνται στάδια που βασίζονται στη διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου AKZ. Στο δεύτερο μέρος των δύο μεθόδων, η αξιολόγηση των δεικτών, στην πρώτη γίνεται μέσω ποιοτικών συγκρίσεων από ειδικούς που ανήκουν σε ενδιαφερόμενες ομάδες, ενώ στη δεύτερη μέσω ποσοτικών εκτιμήσεων από ειδικούς εμπειρογνώμονες.

Προκειμένου να διαπιστωθεί ποια από τις δύο εναλλακτικές μεθόδους αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού που σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν στην παρούσα έρευνα, είναι η καταλληλότερη για χρήση, τέθηκαν οκτώ κριτήρια. Με βάση απόψεις ειδικών, και εφαρμόζοντας πολυκριτηριακή ανάλυση, προέκυψε ότι η καταλληλότερη μέθοδος για να εφαρμοστεί είναι αυτή που συνδυάζει την ανάλυση PESTEL με την ανάλυση SWOT για τον καθορισμό δεικτών αξιολόγησης της αειφορίας, οι οποίοι υπολογίζονται με χρήση της διαδικασίας απόδοσης βαρύτητας από τη μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων .

Από την ανάλυση των απαντήσεων που δόθηκαν προκύπτει ότι η μέθοδος που αναδείχτηκε ως η καταλληλότερη, ενώ αξιολογήθηκε ότι υστερεί ως προς τα όρια εφαρμογής της σε σχέση με τη μέθοδο που βασίζεται στην AKZ, υπερτερεί σημαντικά σε ότι αφορά την ευκολία εφαρμογής και την ευκολία πρόσβασης σε δεδομένα. Επίσης κρίθηκε ότι υπερτερεί όσον αφορά την συμμετοχή των ενδιαφερομένων μερών, κάτι που πράγματι ισχύει, αφού προσμετρά απόψεις από διάφορες κατηγορίες ενδιαφερομένων καλύπτοντας την τεχνική, την οικονομική και την περιβαλλοντική ειδίκευση αλλά και την άποψη των πολιτικών ή διαμορφωτών πολιτικής και των οικολόγων. Ωστόσο ενδιαφέρον έχει το ότι, όσον αφορά την ακρίβεια αποτελέσματος, υπερίσχυσαν σημαντικά οι απαντήσεις που επέλεξαν την δεύτερη μέθοδο και όχι αυτή που αναδείχθηκε ως η καταλληλότερη. Επίσης αν ληφθεί υπόψη ότι οι συμμετέχοντες στην έρευνα αξιολόγησαν με μεγαλύτερη βαρύτητα την καταλληλότητα για την εφαρμογή, είναι αξιοσημείωτο ότι για αυτό το κριτήριο οι δύο μέθοδοι κρίθηκαν ισοδύναμες. Κριτήριο αξιολόγησης με επίσης ισχυρή βαρύτητα αναδείχθηκε και η συμμετοχή των ενδιαφερομένων μερών για το οποίο, σαφώς προέκυψε ότι υπερτερεί η μέθοδος συνδυασμού της ανάλυσης PESTEL με την ανάλυση SWOT και την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων.

Τα πιο πάνω αποτελέσματα δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν με δεδομένα από τη βιβλιογραφία. Έχει εντοπιστεί έρευνα που αξιολογεί δείκτες αειφορίας του ενεργειακού

σχεδιασμού (Shortall and Davidsdottir, 2017), ωστόσο αυτό γίνεται ποιοτικά και ως προς θέματα που αφορούν την αιεφορία και όχι τους δείκτες όπως στην παρούσα έρευνα. Επίσης υπάρχουν έρευνες που εφαρμόζουν διαφορετικές Πολυκριτηριακές Μεθόδους Λήψης Αποφάσεων για το ίδιο πρόβλημα και με κοινά κριτήρια (Brodny and Tutak, 2021; Saraswat and Dugalwar, 2021). Εντούτοις και αυτές δεν είναι συγκρίσιμες με την παρούσα έρευνα, καθώς γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων κατάταξης των εναλλακτικών που δίνει κάθε μέθοδος και επαλήθευση τους και όχι σύγκριση των εναλλακτικών μεθόδων. Για άλλο ερευνητικό πεδίο όμως, και συγκεκριμένα για τον μεταβολισμό των πόλεων, έχει γίνει αξιολόγηση διαφορετικών διαθέσιμων μεθόδων αξιολόγησης βάση κριτηρίων, με εφαρμογή της μεθόδου Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων (Voukkali and Zorpas, 2022). Ωστόσο, το αποτέλεσμα ότι η μέθοδος που αναδείχθηκε από την έρευνα ως η πιο κατάλληλη και χρησιμοποιεί στοιχεία της μεθόδου Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων, είναι σε συνέπεια με τη συχνότητα της χρήσης των πολυκριτηριακών μεθόδων στη βιβλιογραφία.

Από την εφαρμογή των μεθόδων διαπιστώθηκε ότι πράγματι υπήρχε διαφορά των απαιτήσεων για την κάθε μία και των χαρακτηριστικών τους. Επίσης ενώ και οι δύο ανέδειξαν το σενάριο ενεργειακού σχεδιασμού Β (WEM) ως το πλέον αιεφόρο, τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους διέφεραν ως προς την δεύτερη και τρίτη θέση κατάταξης. Ενώ η μέθοδος PESTEL - SWOT - Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων ανέδειξε δεύτερο το σενάριο ενεργειακού σχεδιασμού Α ως προς την αιεφορία και τρίτο το σενάριο Γ, η μέθοδος που βασίζεται στην ΑΚΖ κατέληξε σε αντίστροφη κατάταξη. Μία κοινή διαπίστωση και για τις δύο μεθόδους είναι ότι υπήρχε δυσκολία στην συλλογή απαντήσεων. Τα ερωτηματολόγια που χρησιμοποιήθηκαν και για τις δύο ήταν απαιτητικά και σε χρόνο και σε αντίληψη των θεμάτων που αφορούν την ενέργεια. Ωστόσο το ερωτηματολόγιο για την πρώτη μέθοδο απαιτούσε κρίση και έκφραση άποψης, ενώ για την δεύτερη οι ερωτήσεις απαιτούσαν εκτίμηση μεγθών και εξειδικευμένη αντίληψη. Επιπλέον, ο έλεγχος συνέπειας που έγινε, έδειξε ότι τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου δεν ήταν πλήρως συνεπή γεγονός που συνδέεται με τη δυσκολία έκφρασης συνεπών κρίσεων σε όλες τις ερωτήσεις.

Και οι δύο μέθοδοι, ενώ καταλήγουν σε ένα τελικό αποτέλεσμα και αναδεικνύουν σαφώς βέλτιστη εναλλακτική, δίνουν τη δυνατότητα αξιολόγησης επιμέρους θεμάτων που αφορούν την αιεφορία του ενεργειακού σχεδιασμού και εξαγωγής επιμέρους συμπερασμάτων. Η μέθοδος που συνδυάζει τις PESTEL - SWOT με την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων περιέχει αξιολογήσεις από ομάδες ειδικών που μπορούν να αναλυθούν επιμέρους, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τις απόψεις και προτιμήσεις της κάθε μιας ομάδας. Επίσης δίνει εικόνα για την συγκριτική αξιολόγηση επιμέρους στοιχείων του πλαισίου του

ενεργειακού σχεδιασμού που εξετάζονται και είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί, ώστε να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών θεμάτων, όπως για παράδειγμα πολιτικών θεμάτων σε σύγκριση με τα κοινωνικά θέματα για το κάθε εναλλακτικό σενάριο που εξετάζεται. Η μέθοδος που βασίζεται στην AKZ καταλήγει επίσης σε συγκεκριμένα μεγέθη για τις διάφορες κατηγορίες κοινωνικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων που συνδέονται με τον ενεργειακό σχεδιασμό. Η ποσοτικοποίηση γίνεται σε κοινή κλίμακα, επομένως μπορεί να διαπιστωθεί και ποιες κατηγορίες επιπτώσεων για κάθε σενάριο επιβαρύνει περισσότερο. Έτσι, είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για την κάθε ιδιαίτερη επίπτωση, αλλά και να εντοπιστούν σημεία με επιβάρυνση στα οποία θα ληφθούν μέτρα για βελτίωση.

Όσον αφορά την ποιότητα των αποτελεσμάτων, καταρχήν και για τις δύο μεθόδους αυτό εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων. Τα δεδομένα για την ανάλυση και διαμόρφωση των δεικτών προς αξιολόγηση, και για τις δύο μεθόδους, είναι δευτερογενή και η ποιότητα τους σαφώς εξαρτάται από την πληρότητα των στοιχείων που εντοπίστηκαν και από τις πηγές. Τα δεδομένα ωστόσο που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των δεικτών και στις δύο μεθόδους είναι πρωτογενή και λήφθηκαν με απευθείας απαντήσεις από συμμετέχοντες στην έρευνα. Για την μέθοδο συνδυασμού PESTEL - SWOT με την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων οι συμμετέχοντες καλύπτουν όλο το φάσμα των ενδιαφερομένων μερών για τον ενεργειακό σχεδιασμό, ενώ για την μέθοδο που βασίζεται στην AKZ, οι προσμέτρηση εκτιμήσεων από διάφορες ειδικότητες διασφάλισε ότι το αποτέλεσμα θα είναι όσον το δυνατόν αντικειμενικό.

6.3.4 Σύγκριση σεναρίων ενεργειακού σχεδιασμού

Κοινό αποτέλεσμα της εφαρμογής και των δύο μεθόδων είναι ότι το σενάριο Β που περιέχει την εφαρμογή του εθνικού σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα και την υιοθέτηση των στόχων για το 2030, δηλαδή την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ, την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, την διασύνδεση, αλλά και την χρήση εισαγόμενου φυσικού αερίου σε ένα βαθμό. Εντούτοις, η μέθοδος που συνδυάζει την ανάλυση PESTEL - SWOT με την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων αναδεικνύει ως δεύτερο σενάριο ως προς την αειφορία το σενάριο Α που αφορά τη μη λήψη περεταίρω μέτρων και συνέχιση της υφιστάμενης κατάστασης, ενώ η μέθοδος που βασίζεται σε στοιχεία της μεθόδου AKZ αναδεικνύει ως δεύτερο σενάριο ως προς την αειφορία το Γ που περιλαμβάνει την μη λήψη περεταίρω μέτρων αλλά την αξιοποίηση των κοιτασμάτων υδρογονάνθρακα.

Σε έλεγχο συνέπειας των αποτελεσμάτων που έγινε, μέσω απευθείας αξιολόγησης των εναλλακτικών σεναρίων των δεικτών για κάθε σενάριο από τους συμμετέχοντες στην κάθε έρευνα, για την δεύτερη μέθοδο προέκυψε ότι οι αποκρίσεις που λήφθηκαν είναι σε κοινή κατεύθυνση με την κατάταξη που προέκυψε για τα εναλλακτικά σενάρια και τα ευρήματα επικυρώθηκαν. Για την πρώτη μέθοδο ωστόσο, οι αξιολογήσεις δεν είχαν κοινή κατεύθυνση και ενώ επίσης έδειξαν ότι το σενάριο Β αξιολογείται ότι υπερέχει ως προς την αιφορία για τους περισσότερους δείκτες, το σενάριο Γ έρχεται δεύτερο και το σενάριο Α συλλέγει τις λιγότερες επιλογές. Ενδεχόμενα αυτό αναδεικνύει μία αδυναμία της μεθόδου Ι ως προς την συνέπεια των αποτελεσμάτων η οποία ενδέχεται να οφείλεται τόσο στη μέθοδο και τον τρόπο ανάλυσης, στη δυσκολία έκφρασης των συγκρίσεων και απάντησης των ερωτημάτων, αλλά και στο δείγμα που συμμετείχε στην έρευνα.

Εντούτοις, αυτό που προκύπτει ως κοινό αποτέλεσμα και από τις δύο μεθόδους, δηλαδή ότι η πρόκριση των ΑΠΕ, η αποτελεσματικότερη ενεργειακή απόδοση, η ενεργειακή διασύνδεση και η χρήση του φυσικού αερίου ως μεταβατικό ορυκτό καύσιμο που εμπεριέχονται στο σενάριο Β είναι η πλέον αιφόρος επιλογή, είναι σε συνέπεια με τα αποτελέσματα και άλλων ερευνών που συναντώνται στη βιβλιογραφία. Η χρήση συνδυασμού ανανεώσιμων πηγών σε συνδυασμό με εισαγωγές και εξαγωγές ισχύος έχει αναδειχθεί ως η βέλτιστη επιλογή για την Ινδία (Saraswat and Digalwar, 2021). Η Λετονία που φαίνεται να κατατάσσεται στην ψηλότερη θέση ως προς την αιφορία του ενεργειακού συστήματος μεταξύ των χωρών της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης που είναι μέλη της ΕΕ, χαρακτηρίζεται από υψηλή συμμετοχή των ΑΠΕ, όχι όμως την υψηλότερη μεταξύ των χωρών που συγκρίνονται (Brodny and Tutak, 2021). Ένα σενάριο με συμμετοχή 32% καθαρών τεχνολογιών στην ηλεκτροπαραγωγή επίσης έχει προκύψει ως το καλύτερο σε σχέση με την αιφορία για το Ιράν (Arganpur *et al.*, 2019).

Σε άλλη έρευνα για την ενεργειακή στρατηγική της Τουρκίας, η στρατηγική αύξησης του μεριδίου ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα της χώρας αναδείχθηκε στην τρίτη θέση μετά την στρατηγική μετατροπής της χώρας σε ενεργειακό κόμβο και την στρατηγική μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις ενεργειακές δραστηριότητες (Cayir Ervural *et al.*, 2018). Δράσεις προς παρόμοια κατεύθυνση, όπως η διασύνδεση και η προώθηση των ΑΠΕ η οποία θα μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ενέργειας περιλαμβάνονται στο σενάριο Β για την Κύπρο. Το σενάριο που προβλέπει προτεραιότητα στους ενδογενείς ενεργειακούς πόρους το οποίο προσομοιάζει με το σενάριο Γ της παρούσας έρευνας, φάνηκε να υστερεί σημαντικά σε σχέση με άλλες που εξετάστηκαν χωρίς να είναι όμως η λιγότερο αιφόρα (Cayir Ervural *et al.*, 2018). Αντίστοιχα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε

συνδυασμό και η χρήση φυσικού αερίου, επίσης διαπιστώθηκε ότι θα έχουν σημαντική συμβολή σε σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού που έχουν περιβαλλοντικό και κοινωνικό προσανατολισμό αλλά και οικονομικό προσανατολισμό και προσανατολισμό αειφορίας, όπως το σενάριο Β στην παρούσα έρευνα. Ωστόσο σε περιόδους με υψηλή ζήτηση ενέργειας, για όλα τα σενάρια το ντίζελ και το μαζούτ είχαν σημαντική θέση ως πρωτογενής πηγές ενέργειας (Fathipour and Saidi-Mehrabad, 2018).

Μελέτες με χρήση της AKZ έχουν δείξει ότι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού, παρουσιάζουν μικρότερα μεγέθη οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε σχέση με τη χρήση ορυκτών καυσίμων, περιλαμβανομένου του φυσικού αερίου (Atilgan and Azaragic, 2016). Εντούτοις, ενώ το πετρέλαιο ως καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρισμού, όπως συμβαίνει και στο σενάριο Α της παρούσας έρευνας, είναι η χείριστη επιλογή κυρίως λόγω οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων (Akber, Thaheem and Arshad, 2017), η μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν συνδέεται απαραίτητα με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Quek *et al.*, 2018). Οπότε εφόσον το σενάριο ενεργειακού σχεδιασμού Β που εξετάστηκε για την Κύπρο, προβλέπει την αύξηση της συμβολής ΑΠΕ και το σενάριο Γ προβλέπει την χρήση ορυκτών πόρων, υπάρχει συμφωνία προς τα ευρήματα της παρούσας έρευνας.

Ενώ νέες τεχνολογίες και εντοπισμός νέων αποθεμάτων έχουν καταστήσει το φυσικό αέριο την κύρια επιλογή για μετάβαση σε ενεργειακά συστήματα με χαμηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυτό στην πραγματικότητα έχει διαπιστωθεί ότι δεν θα συμβεί (Vahl and Filho, 2015) και μια τέτοια επιλογή, όπως και στο σενάριο Γ που εξετάζεται στην παρούσα έρευνα, μακροχρόνια θα εμποδίσει την ανάπτυξη των ΑΠΕ (Gürsan and de Gooyert, 2021). Οπότε η μη επιλογή, του σεναρίου ενεργειακού σχεδιασμού Γ που προβλέπει τη χρήση των κοιτασμάτων φυσικού αερίου, όπως προκύπτει και από τις δύο μεθόδους φαίνεται να είναι δικαιολογημένη.

6.3.5 Ερμηνεία επιμέρους αποτελεσμάτων

Η μέθοδος που δομώντας ιεραρχικά το πρόβλημα αξιολόγησης, συνδυάζει την ανάλυση PESTEL - SWOT για τον καθορισμό δεικτών και χρησιμοποιεί την προσέγγιση της μεθόδου Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων για τον υπολογισμό τους δίνει αποτελέσματα που οδηγούν σε επιμέρους ερμηνείες. Ενώ η χρήση των μέσων όρων των τιμών που προκύπτουν για κάθε ομάδα δεικτών διασφαλίζει την ισόρροπη συμμετοχή όλων των ειδικοτήτων και προσεγγίσεων που εξέφρασαν άποψη στην ανάδειξη του πλέον αειφόρου σεναρίου, η μελέτη των επιμέρους απαντήσεων τονίζει κάποια σημεία που αξίζουν προσοχής. Οι ειδικοί

στο περιβάλλον και οι Περιβαλλοντιστές δίνουν υψηλότερη τιμή στα περιβαλλοντικά κριτήρια για το σενάριο Α από ότι στο σενάριο Β το οποίο λαμβάνει υπόψη περιβαλλοντικούς στόχους και πολιτικές της ΕΕ. Κάτι τέτοιο ενδέχεται να συνδέεται με τους ενδοιασμούς και αντιρρήσεις για τα έργα ΑΠΕ ή και τον τρόπο ανάπτυξης τους (Cohen, Reichl and Schmidthaler, 2014). Επίσης οι ειδικοί στην οικονομία δίνουν υψηλότερη αξιολόγηση στα οικονομικά κριτήρια για το σενάριο Γ, κάτι που ενδεχόμενα συνδέεται με αναμενόμενη αυξημένη οικονομική ανταπόδοση από την εκμετάλλευση των αποθεμάτων φυσικού αερίου, αλλά επίσης αξιολογούν υψηλότερα το σενάριο Α ως προς το σενάριο Β. Αυτό μπορεί να συνδέεται με την επένδυση που απαιτεί η αποτελεσματική αξιοποίηση των ΑΠΕ (Shinwari *et al.*, 2022).

Οι ειδικοί στην τεχνολογία δίνουν την υψηλότερη αξιολόγηση στα πολιτικά κριτήρια για το σενάριο Β και Γ και τη δεύτερη υψηλότερη για το σενάριο Α. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ότι θεωρούν ότι η όποια επιλογή είναι πολιτική. Αντίστοιχα οι πολιτικοί και διαμορφωτές πολιτικής αξιολογούν υψηλά τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια για το σενάριο Β, ενώ για τα σενάρια Α και Γ τα οικονομικά. Επίσης αξιολογούν υψηλά τα πολιτικά κριτήρια για το σενάριο Α που προβλέπει τη διατήρηση της παρούσας κατάστασης, κάτι που δείχνει τα ενδεχόμενα κίνητρα για μια τέτοια επιλογή. Άλλο αξιοσημείωτο που προκύπτει από τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου είναι ότι τα νομικά κριτήρια γενικά αξιολογούνται χαμηλά από όλους και για όλα τα σενάρια, οπότε μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν αποτελούν κύριο οδηγό για αποφάσεις, παρά τις νομικές υποχρεώσεις που προκύπτουν από την συμμετοχή της Κύπρου στην ΕΕ και το σχετικό νομοθετικό πλαίσιο.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου που βασίζεται στην ΑΚΖ μπορούν να ερμηνευτούν ανάλογα, αλλά με τρόπο πιο μονοδιάστατο. Υπολογίζονται τα μεγέθη των δεικτών χαρακτηρισμού των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών δεικτών που έχουν επιλεγεί για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων και συνυπολογίζοντας τη βαρύτητα του κάθε δείκτη προκύπτει ένα σταθμισμένο μέγεθος βάση του οποίου αναδεικνύεται το βέλτιστο σενάριο. Μια ευκαιρία για επί μέρους ερμηνεία είναι η σύγκριση των μεγεθών ανά ομάδα επιπτώσεων για κάθε σενάριο, καταλήγοντας στο βέλτιστο σενάριο για κάθε συνιστώσα της αειφορίας, αλλά και στο ποιες είναι η περισσότερο επιβαρυντικές επιπτώσεις για κάθε σχεδιασμό.

Εντούτοις στην παρούσα έρευνα προκύπτει ότι τα επιμέρους μεγέθη επιπτώσεων κατατάσσονται αντίστοιχα όπως και το σύνολο. Για τους περιβαλλοντικούς δείκτες απόβλητα, χρήση γης, χρήση γης και επιπτώσεις στην πανίδα και χλωρίδα και τον οικονομική δείκτη για το φαινόμενο της «Ολλανδικής Ασθένειας» το σενάριο Α

παρουσιάζει καλύτερο μέγεθος επιπτώσεων. Αντίστοιχα για την σκόνη και τα περιβαλλοντικά ατυχήματα, την ενεργειακή ασφάλεια και την οικονομική ανάπτυξη οι εκτιμήσεις του μεγέθους των επιπτώσεων προκύπτουν να αναδεικνύουν το σενάριο Γ, που προβλέπει την αξιοποίηση των κοιτασμάτων φυσικού αερίου του νησιού ως το βέλτιστο έναντι των άλλων δύο τα οποία δεν περιλαμβάνουν παρόμοια πρόβλεψη ή σχεδιασμό.

6.4 Συμπεράσματα

Από την παρούσα έρευνα διαπιστώθηκε ότι η Κύπρος αντιμετωπίζει προκλήσεις όσο αφορά τον ενεργειακό της σχεδιασμό, αλλά έχει και επιλογές. Έχει στη διάθεση της διαφορετικές δυνατότητες και πόρους, ανανεώσιμους αλλά και ορυκτούς, όμως πρέπει να διασφαλιστεί η αειφορία, ενώ υπάρχει και υποχρέωση που προκύπτει από τη συμμετοχή του κράτους σε διεθνείς οργανισμούς όπως η ΕΕ και ο ΟΗΕ αλλά και αναγκαιότητα για αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ο ενεργειακός σχεδιασμός, ο οποίος περιλαμβάνει αποφάσεις και δράσεις για συμμόρφωση με τις διεθνείς στρατηγικές και πολιτικές, την ενεργειακή διασύνδεση, τη λήψη μέτρων ενεργειακής απόδοσης και κυρίως τις επιλογές για το βαθμό αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων, έχει εκτός από πολυδιάστατη οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική πτυχή, επίσης πολιτική, τεχνολογική αλλά και νομική πτυχή.

Γενικότερος σκοπός της διατριβής είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων εργαλείων, για την αξιολόγηση της αειφορίας του στρατηγικού ενεργειακού σχεδιασμού στην Κύπρο μέσω εξέτασης των διαθέσιμων επιλογών για την εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων στο νησί στα πλαίσια και των διεθνών στρατηγικών και πολιτικών. Αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι, οι οποίες εμπεριέχουν στοιχεία από δοκιμασμένα εργαλεία ανάλυσης και αξιολόγησης, αλλά με τρόπο που να είναι κατάλληλες για τον πιο πάνω σκοπό. Η μία αναλύει ιεραρχικά το πρόβλημα αξιολόγησης όπως προτείνεται από τον Saaty (1980) και συνδυάζει τις μεθόδους ποιοτικής ανάλυσης PESTEL – SWOT για τον καθορισμό κριτηρίων αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού, που ορίζονται ως δείκτες, οι οποίοι μετρούνται εφαρμόζοντας την προσέγγιση ποσοτικοποίησης ζευγαρωτών κρίσεων από ειδικούς που περιέχεται στη μέθοδο Ιεραρχικής Ανάλυσης Αποφάσεων επίσης του Saaty (1980). Η άλλη βασίζεται σε στοιχεία της μεθοδολογίας ετοιμασίας μιας μελέτης AKZ σύμφωνα με το ISO 14040 (ISO, 2006a) για την αξιολόγηση του ενεργειακού συστήματος και των διαφορετικών επιλογών, ώστε επίσης να προκύψουν δείκτες χαρακτηρισμού επιπτώσεων και για τις τρεις διαστάσεις της αειφορίας, οι οποίοι ως μεταβλητές θα μπορούν να μετρηθούν με βάση εκτιμήσεις ειδικών.

Από την εφαρμογή των μεθόδων για τρία εναλλακτικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο που αποτυπώνουν τις διαφορετικές συνθήκες και προτεραιότητες, προέκυψε ποια είναι η οικονομική, περιβαλλοντική και κοινωνική πτυχή των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων που διαθέτει η Κύπρος, όπως και ότι όλες οι επιλογές δεν είναι απαραίτητα στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης και των σχετικών στρατηγικών, πολιτικών και στόχων, όσον αφορά την κοινωνική, περιβαλλοντική και οικονομική πτυχή τους. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι και οι δύο μέθοδοι είναι δυνατόν να καταλήξουν σε αποτελέσματα, δίνοντας ένα μέγεθος της αειφορίας, βάση των μεταβλητών που προσδιορίστηκαν, για τα εναλλακτικά σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού που καθορίστηκαν προς σύγκριση, αλλά και να αναδείξουν το πλέον αειφόρο. Οι μέθοδοι θα μπορούσαν να εφαρμοστούν και για άλλα κράτη ή ενώσεις ή συνεργασίες κρατών, αλλά και για οργανισμούς, προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας τις ιδιαίτερες μεταβλητές και ιδιαίτερους δείκτες ενεργειακής αειφορίας για την κάθε περίπτωση.

Ωστόσο, επίσης από ανάλυση αξιολογήσεων ειδικών, στη βάση κριτηρίων που τέθηκαν, διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος που συνδυάζει τις PESTEL – SWOT με την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων, πλεονεκτεί για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Όμως, κατά την εφαρμογή της εντοπίστηκε ένας περιορισμός. Σε έλεγχο της συνέπειας των αποτελεσμάτων της διαπιστώθηκε διαφοροποίηση ως προς την κατάταξη των σεναρίων. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη μέθοδος δίνοντας την δυνατότητα για επιμέρους ανάλυση, ανέδειξε και επιμέρους κρίσιμα στοιχεία τα οποία είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για την λήψη αποφάσεων. Ο έλεγχος της συνέπειας για τη μέθοδο που βασίζεται στην AKZ, από την άλλη, έδειξε ότι η κατάταξη που ανέδειξε ήταν συνεπής. Εντούτοις, και οι δύο μέθοδοι ανέδειξαν το σενάριο ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο που προβλέπει την εφαρμογή των πολιτικών της ΕΕ, την αξιοποίηση των ΑΠΕ που διαθέτει το νησί, την ηλεκτρική διασύνδεση, την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και την χρήση εισαγόμενου φυσικού αερίου ως λύση μετάβασης σε λύσεις καθαρής ενέργειας, ότι είναι η πλέον αειφόρος επιλογή αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου. Το σενάριο που προβλέπει την αξιοποίηση των κοιτασμάτων φυσικού αερίου χωρίς την λήψη άλλων μέτρων, από την μέθοδο AKZ αναδείχθηκε ως δεύτερο περισσότερο αειφόρο, ενώ από την μέθοδο PESTEL – SWOT τρίτο.

Ωστόσο, δεν μπορεί να διαπιστωθεί με πλήρη βεβαιότητα ποιο σενάριο μεταξύ των δύο άλλων που εξετάστηκαν, εκτός του κοινά αποδεκτού ως πρώτο, η μηδενική λύση ή η αξιοποίηση των αποθεμάτων ορυκτών πόρων, είναι περισσότερο αειφόρο. Είναι όμως βέβαιο ότι και τα δύο αυτά σενάρια δεν συμβαδίζουν με την στρατηγική και τις πολιτικές

και στόχους του ΟΗΕ και της ΕΕ σε σχέση με την ενέργεια και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ενώ, από την μέθοδο που βασίζεται στην ΑΚΖ προέκυψε ότι το πλέον αειφόρο σενάριο, είναι επίσης πλέον αειφόρο για την κάθε επιμέρους από τις τρεις διαστάσεις της αειφορίας, από την μέθοδο PESTEL – SWOT – Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων, διαπιστώθηκε ότι όσον αφορά επιμέρους στοιχεία του πολιτικού, οικονομικού, κοινωνικού, τεχνολογικού και περιβαλλοντικού πλαισίου του ενεργειακού σχεδιασμού και της αειφορίας του, και ανάλογα με ποια ομάδα ενδιαφερομένων εξέφραζε εκτίμηση, αυτά τα σενάρια υπερείχαν εν μέρει.

Επομένως, είναι δυνατόν να διατυπωθεί ότι η μέθοδος η οποία αξιολογήθηκε ως καταλληλότερη ανέδειξε την πλέον αειφόρο επιλογή ενεργειακού σχεδιασμού και αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, αλλά και επιμέρους στοιχεία τα οποία χρήζουν προσοχής ώστε να επιτευχθεί αυτός ο στόχος. Ωστόσο, και οι δύο μέθοδοι που σχεδιάστηκαν και δοκιμάστηκαν ανέδειξαν επιμέρους θέματα τα οποία πρέπει να εξετάζονται, να ρυθμίζονται και να παρακολουθούνται στον στόχο για επίτευξη της αειφορίας. Επίσης, όπως φάνηκε, ειδικά από την εφαρμογή της μεθόδου PESTEL – SWOT, εάν ο στόχος είναι να επιτευχθεί μόνο οικονομική, μόνο περιβαλλοντική ή μόνο κοινωνική αποδοτικότητα, τότε και οι άλλες επιλογές πέρα από την πλέον αειφόρο είναι διαθέσιμες και δυνατές. Αυτό όμως είναι σαφώς αντίθετο στις επιταγές της αειφορίας που προϋποθέτει ισόρροπη ανάπτυξη και στις τρεις συνιστώσες της. Επιπλέον, διαπιστώθηκε με βεβαιότητα ότι η εξόρυξη και χρήση των αποθεμάτων υδρογονανθράκων είναι λιγότερο επωφελής στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης βάση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών κριτηρίων, σε σχέση με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο.

6.5 Σημερινή κατάσταση

Η παρούσα έρευνα ολοκληρώνεται σε μία περίοδο που ο τομέας της ενέργειας ειδικά για την ΕΕ βρίσκεται αντιμέτωπος με σημαντικές προκλήσεις. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου λόγω διάφορων παραγόντων, περιλαμβανομένης της πανδημίας, από το δεύτερο μισό του 2021 παραμένουν εξαιρετικά υψηλές (Mišik, 2022). Αυτή η κατάσταση δυσχεραίνεται από τον πρόσφατη εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή σχεδιάζει την αντικατάσταση των υψηλών εισαγωγών ορυκτών ενεργειακών πόρων από τη Ρωσία με αυξημένες εισαγωγές από άλλα κράτη, αλλά και την χρήση ΑΠΕ και υιοθέτηση μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης (Tollefson, 2022). Οι συνέπειες για την κλιματική αλλαγή από αυτό τον πόλεμο είναι σημαντικές (Thorp, 2022).

Σε αυτό το πλαίσιο ενισχύεται η πρόβλεψη για εφαρμογή ενός σεναρίου ενεργειακού σχεδιασμού που προβλέπει αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στην Κύπρο, αλλά παράλληλα αποκτά πλεονέκτημα τόσο οικονομικό όσο και πολιτικό, η επιλογή ενός σεναρίου συντομότερης εξόρυξης των διαπιστωμένων κοιτασμάτων φυσικού αερίου τα οποία υπάρχουν στην ΑΟΖ στην Κύπρο και των οποίων η εκμετάλλευση δεν έχει ξεκινήσει ακόμη. Επίσης τα πιο πάνω δεδομένα ενδέχεται να επηρεάζουν την αιεφορία ως προς τους επιμέρους δείκτες που εξετάστηκαν. Την περίοδο που συλλέχθηκαν τα στοιχεία με τη χρήση των ερωτηματολογίων τα πιο πάνω γεγονότα ήταν σε εξέλιξη, οπότε είναι αναμενόμενο να λήφθηκαν υπόψη από τα άτομα που συμμετείχαν στο δείγμα που ανταποκρίθηκε στα ερωτηματολόγια και για τις δύο μεθόδους. Λόγω του ότι στην ανάλυση προέκυψαν και περιλήφθηκαν δείκτες που αφορούσαν την ενεργειακή ασφάλεια, αλλά και το κόστος της ενέργειας, φαίνεται ότι η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της έρευνας μπορεί να αποκτά ιδιαίτερη χρησιμότητα και σημασία, ειδικά στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον που υπάρχει σήμερα.

6.6 Περιορισμοί έρευνας

Πέρα από τους περιορισμούς που συνδέονται με τις παραδοχές που έγιναν κατά την εφαρμογή της μεθόδου που βασίζεται στην ΑΚΖ, η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ακόμη κάποιους περιορισμούς οι οποίοι σχετίζονται με το δείγμα που παρείχε στοιχεία για την πρωτογενή έρευνα. Ο πρώτος αφορά στη σύνθεση του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της κάθε μεθόδου. Τα πρωτογενή στοιχεία που απαιτούνται δεν έχουν να κάνουν με δεδομένα, αλλά με συγκρίσεις μεταξύ κριτηρίων και εκτιμήσεις μεγεθών από εμπειρογνώμονες διαφόρων ειδικοτήτων. Οπότε ο αριθμός όσων αποκρίθηκαν και απάντησαν στις ερωτήσεις δεν είναι τόσο σημαντικός, όσο το κατά πόσο οι συμμετέχοντες είναι γνώστες των θεμάτων ενέργειας και των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων της Κύπρου, όπως και των ενδεχόμενων συνεπειών από την κάθε επιλογή. Τα ερωτηματολόγια στάλθηκαν σε επιλεγμένα άτομα και όχι στο κοινό και οι απαντήσεις που συλλέχθηκαν ήταν από συμμετέχοντες με εξειδίκευση και γνώση. Ένα διαφορετικό μίγμα και διαφορετικός αριθμός συμμετεχόντων υπάρχει ενδεχόμενο να διαφοροποιήσει τα αποτελέσματα. Ωστόσο η ευρύτητα των ειδικοτήτων όσων συμμετείχαν και ο τρόπος επεξεργασίας των απαντήσεων περιορίζει αυτόν τον περιορισμό.

Ο δεύτερος περιορισμός αφορά την κατανόηση των ερωτήσεων και του ζητούμενου της έρευνας από τους συμμετέχοντες. Τα ερωτηματολόγια ειδικά για την εφαρμογή των δύο εναλλακτικών ήταν πολύπλοκα και απαιτητικά. Αυτός είναι και ένας λόγος για τον οποίο δεν θα ήταν σκόπιμο να απευθυνθούν σε ευρύτερο δείγμα. Όσοι τα απάντησαν, ειδικά για

την μέθοδο που συνδυάζει τις αναλύσεις PESTEL – SWOT με την Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων, έπρεπε να κατανοούν πλήρως την κάθε διάσταση του κάθε σεναρίου, γι' αυτό και τα ερωτηματολόγια ζητήθηκε να συμπληρωθούν από επιλεγμένο δείγμα ειδικών, ενώ στην εισαγωγή υπήρχε εκτενή επεξήγηση των τριών σεναρίων υπό εξέταση. Επίσης, οι συμμετέχοντες από κάθε ειδικότητα υπάρχει η πιθανότητα να δώσουν προτεραιότητα στα θέματα που γνωρίζουν καλύτερα. Η προσμέτρηση των μέσων όρων του μεγέθους της κάθε ομάδας δεικτών, που προέκυψαν από κάθε ομάδα συμμετεχόντων, για τον υπολογισμό των μεγεθών, διασφάλιζε ότι κάτι τέτοιο δεν θα δημιουργήσει σφάλμα στα αποτελέσματα λόγω προκατάληψης.

Όσοι αξιολόγησαν τις μεθόδους, υπάρχει ενδεχόμενο να μην τις κατανόησαν πλήρως. Για να προληφθεί κάτι τέτοιο έγινε σύντομη περιγραφή τους στην εισαγωγή του σχετικού ερωτηματολογίου, επεξηγήθηκαν επίσης τα σενάρια εναλλακτικού σχεδιασμού που θα ελέγχονταν και ζητήθηκαν απαντήσεις από επιλεγμένο δείγμα με σχετική γνώση. Τέλος δεδομένου ότι η συγκυρία είναι σημαντική για τα θέματα ενέργειας, η περίοδος που γίνεται η έρευνα επηρεάζει τα δεδομένα και συνεπώς τα αποτελέσματα της. Ωστόσο, κατά την ανάλυση και για τις δύο μεθόδους ανασκοπήθηκαν στοιχεία για το ενεργειακό σύστημα της Κύπρου και τις επιλογές τα οποία δεν είναι πρόσκαιρα μόνο. Θα ήταν σκόπιμο οπότε η κάθε μέθοδος αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού να επαναλαμβάνεται κατά διαστήματα για αναπροσαρμογή των σχεδίων που θα αποφασιστούν, ειδικά αν αυτά θα είναι μακροπρόθεσμα. Αυτός ο περιορισμός, εντούτοις μπορεί να θεωρηθεί και πλεονέκτημα, όταν ο σχεδιασμός θα είναι βραχυπρόθεσμος ή όταν το ζητούμενο θα είναι να γίνει αξιολόγηση βάση επίκαιρων ή νέων δεδομένων.

6.7 Εισηγήσεις

Η στρατηγική που θα ακολουθηθεί στην Κύπρο για τον ενεργειακό σχεδιασμό και οι σχετικές πολιτικές που θα αποφασιστούν μπορούν να ακολουθήσουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Αυτές εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα ενεργειακών πόρων που υπάρχουν στο νησί, αλλά και από το πολιτικό, οικονομικό, κοινωνικό, τεχνολογικό, περιβαλλοντικό και νομικό πλαίσιο. Ωστόσο, βάση της παγκόσμιας τάσης που πηγάζει από τις συμφωνίες που προωθεί ο ΟΗΕ και απαιτεί η επιτακτική δράση για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής αλλά και των οικονομικών και κοινωνικών ανισοτήτων, αυτές θα πρέπει να είναι σύμφωνες με τις επιταγές για αειφόρο ανάπτυξη. Σε αυτό το πλαίσιο η κάθε πιθανή επιλογή ενεργειακής στρατηγικής για τη χώρα συνδέεται με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Η έρευνα που διεξήχθη μελέτησε τρία διαφορετικά σενάρια που διαμορφώθηκαν βάση των συνθηκών και των δυνατών επιλογών για αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων του νησιού και ανέδειξε στη βάση κριτηρίων και δεικτών, από τη μία το βέλτιστο σενάριο ενεργειακού σχεδιασμού, όσον αφορά το ζητούμενο της αειφορίας, για την Κύπρο, από την άλλη τα σημεία που το κάθε ένα από αυτά πλεονεκτεί ή μειονεκτεί. Επίσης στην έρευνα εφαρμόστηκαν και δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων. Η ερμηνεία των ευρημάτων που προέκυψαν και τα συμπεράσματα δίνουν τη δυνατότητα για τη διατύπωση εισηγήσεων τόσο για την διαδικασία λήψης αποφάσεων όσον αφορά τη στρατηγική και τις πολιτικές, όσο για ένα αποτελεσματικό ενεργειακό σχεδιασμό για το νησί, ο οποίος θα είναι αειφόρος υπό τις οποιεσδήποτε συνθήκες.

Καταρχήν η πρώτη εισήγηση αφορά τη μέθοδο για τη λήψη αποφάσεων για τον ενεργειακό σχεδιασμό. Αυτές προφανώς δεν πρέπει να στηρίζονται μόνο οικονομικά, κοινωνικά ή περιβαλλοντικά κριτήρια και σαφώς όχι μόνο πρόσκαιρες συνθήκες και δυνατότητες, αλλά το ζητούμενο της αειφορίας. Οπότε προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού που συνδυάζει τις μεθόδους ανάλυσης PESTEL – SWOT για την ανάδειξη κριτηρίων δεικτών προς αξιολόγηση οι οποίοι ποσοτικοποιούνται με βάση τις απόψεις συμμετεχόντων από ένα φάσμα ειδικοτήτων και προσεγγίσεων, η οποία παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή. Η μέθοδος δίνει τη δυνατότητα να αξιολογηθούν σε σύγκριση και συνδυασμό τα πολλαπλά στοιχεία του εξωτερικού, αλλά και εσωτερικού πλαισίου της κάθε επιλογής για ενεργειακό σχεδιασμό και να αναδειχθεί η πλέον αειφόρος. Επίσης αυτή η μέθοδος προσμετρά απόψεις διαφορετικών ενδιαφερόμενων ομάδων και κατά την εφαρμογή της απεικονίζει επιμέρους σημεία που αφορούν το κάθε χωριστό στοιχείο του πλαισίου.

Εντούτοις, επειδή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη δεδομένα που σε κάποιες περιπτώσεις είναι επίκαιρα ή μεταβάλλονται στο χρόνο, κρίνεται σκόπιμη και προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου αρχικά και πριν την υιοθέτηση οποιασδήποτε στρατηγικής ή πολιτική και την ετοιμασία του οποιουδήποτε σχεδίου, αλλά και η επανάληψη εφαρμογής της σε τακτά διαστήματα ή σε περιόδους ορόσημα για την επιβεβαίωση των αρχικών σχεδίων ή τη λήψη διορθωτικών ή βελτιωτικών μέτρων που ενδεχόμενα θα απαιτούνται για την επίτευξη του στόχου της αειφορίας. Με την μέθοδο ωστόσο θα μπορεί και να αξιολογηθεί οποιαδήποτε τυχόν νέα απόφαση θα επηρεάζει τον ενεργειακό σχεδιασμό ή οποιοδήποτε νέο στοιχείο σχετικά με την ενέργεια και το πολιτικό, οικονομικό, κοινωνικό, τεχνολογικό,

περιβαλλοντικό και νομικό πλαίσιο της είτε σε τοπικό, είτε σε ευρύτερο ή και παγκόσμιο επίπεδο, ενδέχεται να προκύψει.

Σε κάποια σημεία φαίνεται να πλεονεκτεί ή να είναι επίσης χρήσιμη ή και χρησιμότερη η άλλη μέθοδος αξιολόγησης της αειφορίας που βασίζεται στην AKZ του ενεργειακού συστήματος και επίσης έχει εφαρμοστεί και δοκιμάζεται στην παρούσα διατριβή. Οπότε μία άλλη εισήγηση είναι η μέθοδος να παραμένει διαθέσιμη και όταν κρίνεται να εφαρμόζεται είτε για την εξαγωγή περεταίρω συμπερασμάτων, είτε για την επιβεβαίωση όσων αναδεικνύει η πρώτη μέθοδος. Από τη δεύτερη μέθοδο, είναι επίσης δυνατό να διαπιστωθεί ποιες κατηγορίες επιπτώσεων για κάθε ενεργειακό σχεδιασμό που εξετάζεται επιβαρύνει περισσότερο και αποτελεί κρίσιμο σημείο προς διαχείρισης. Εντούτοις, η από κοινού εφαρμογή και των δύο μεθόδων είναι δεδομένο ότι θα δίνει την ευκαιρία για πληρέστερη μελέτη και ανάλυση.

Όσον αφορά τον ενεργειακό σχεδιασμό για την Κύπρο και βάση των όσων προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, προτείνεται σαφώς η προώθηση και επιτάχυνση κατά το δυνατόν του σεναρίου υιοθέτησης των δράσεων του ολοκληρωμένου εθνικού σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα της Κυπριακής Δημοκρατίας (Republic of Cyprus, 2020) το οποίο σήμερα φαίνεται να συνοψίζει την ενεργειακή πολιτική της Κύπρου. Το σενάριο προωθεί τις ΑΠΕ και την εξοικονόμηση ενέργειας και φαίνεται να οδηγεί σε ένα αειφόρο μέλλον, ενώ θέτει και ένα πλαίσιο για την χρήση φυσικού αερίου στο νησί. Ωστόσο και αυτό, όπως και κάθε σχέδιο πρέπει να αξιολογείται και να παρακολουθείται, ενώ κάποιες δράσεις που προβλέπει εκ' των πραγμάτων φαίνεται ότι έχουν καθυστερήσει να εφαρμοστούν όπως για παράδειγμα η χρήση εισαγόμενου φυσικού αερίου για ηλεκτροπαραγωγή. Η επανάληψη εφαρμογής της μεθόδου κατά επιλεγμένα και σε περιόδους ορόσημα όπως μετά από την έναρξη ή την ολοκλήρωση κάθε δράσης, που προτείνεται πιο πάνω μπορεί να είναι μία διαδικασία για μια τέτοια παρακολούθηση και ευκαιρία για διορθώσεις και εξέλιξη του σχεδίου.

Η επιλογή της μηδενικής λύσης και μη λήψης περεταίρω μέτρων σαφώς υστερεί ως προς την ενεργειακή αειφορία και δεν πρέπει να ακολουθηθεί, όπως και η επιλογή εκμετάλλευσης των υπεράκτιων κοιτασμάτων φυσικού αερίου που διαθέτει το νησί χωρίς τη λήψη άλλων μέτρων. Όμως, δεδομένης της πρόνοιας και των ήδη δρομολογημένων σχεδίων για εισαγωγή φυσικού αερίου στο ενεργειακό μίγμα της Κύπρου, ως ενδιάμεση λύση για την απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος, προτείνεται να εξεταστεί περεταίρω μία επιλογή συνδυασμού των δράσεων που ήδη έχουν σχεδιαστεί με το σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα (Republic of Cyprus, 2020) με την εξόρυξη και εκμετάλλευση του εγχώριου φυσικού αερίου. Άλλωστε, το υφιστάμενο σχέδιο λαμβάνει υπόψη την αξιοποίηση των

κοιτασμάτων, χωρίς ωστόσο χρονικό ορίζοντα ή συγκεκριμένες πρόνοιες. Αυτό συνεπάγεται τη διαμόρφωση μίας ενεργειακής στρατηγικής που θα συνδυάζει τις επιταγές των παγκόσμιων και ευρωπαϊκών τάσεων με την αιεφόρο αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων, κυρίως οικονομικών, που συνδέονται με τους εγγώριους ορυκτούς ενεργειακούς πόρους. Κάτι τέτοιο ωστόσο θα έπρεπε να περιέχει σαφή και αποτελεσματικά μέτρα για την πρόληψη πρόκλησης αρνητικού αντικτύπου από τα μειονεκτήματα και σημαντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την εξόρυξη και χρήση ορυκτών ενεργειακών πόρων, τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση που έγινε και στις δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν στην παρούσα έρευνα. Ωστόσο, ειδικά το παγκόσμιο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής καθιστά ένα τέτοιο σχεδιασμό μόνο ως μία πρόσκαιρη μεταβατική επιλογή προς ένα ενεργειακό μέλλον με τις δυνατόν χαμηλότερες ή και μηδενικές εκπομπές άνθρακα.

Τέλος μία εισήγηση που επίσης προκύπτει από την παρούσα έρευνα, είναι ότι πρέπει να διασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση η προσμέτρηση των απόψεων όλου του φάσματος των ενδιαφερομένων μερών στον ενεργειακό σχεδιασμό. Η ενέργεια είναι ένα θέμα που ενδιαφέρει, αλλά και επηρεάζει όλο το εύρος των δραστηριοτήτων και την ευημερία μίας κοινότητας και ενός κράτους. Ούτως ή άλλως ισότιμος πυλώνας της αειφορίας, εκτός από το περιβάλλον και την οικονομία είναι και η κοινωνία. Ειδικά η μέθοδος που αναδείχθηκε ως καταλληλότερη διασφαλίζει αυτή την συμμετοχή και τον συγκερασμό απόψεων από διαφορετικές ομάδες και αντιλήψεις, οπότε η εφαρμογή της μπορεί να διασφαλίσει κάτι τέτοιο.

6.8 Πεδίο για περεταίρω έρευνα

Η παρούσα έρευνα δίνει απάντηση σε ερευνητικά ερωτήματα και πρακτικά συμπεράσματα τα οποία είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν για την βελτιστοποίηση των επιλογών εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων που διαθέτει η Κύπρος και του ενεργειακού σχεδιασμού της χώρας. Ωστόσο έχουν προκύψει κάποια σημεία για περεταίρω έρευνα τα οποία θα ήταν χρήσιμο να αναφερθούν και ληφθούν υπόψη.

Το πρώτο σημείο αφορά την αξιολόγηση και άλλων πιθανών εναλλακτικών σεναρίων στρατηγικής και ενεργειακού σχεδιασμού. Όπως έχει διατυπωθεί και στις εισηγήσεις που έχουν προκύψει από την παρούσα έρευνα, ένα σενάριο που θα συνδυάζε την αξιοποίηση των ΑΠΕ και τα μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας με τη χρήση του εγγώριου φυσικού αερίου θα είχε ενδεχόμενα πλεονεκτήματα τα οποία θα ήταν σκόπιμο να εξεταστούν. Οπότε αποτελεί αντικείμενο έρευνας η αξιολόγηση και άλλων σεναρίων ενεργειακού σχεδιασμού για την Κύπρο.

Επίσης πεδίο περαιτέρω έρευνας θα ήταν η αξιολόγηση και σύγκριση των μεθόδων που σχεδιάστηκαν και προτάθηκαν στην παρούσα διατριβή με άλλες μεθόδους αξιολόγησης της αειφορίας του ενεργειακού σχεδιασμού που εντοπίζονται στην βιβλιογραφία. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με τα κριτήρια και τη μέθοδο σύγκρισης που προτείνεται, αλλά ενδεχόμενα και με άλλη μέθοδο σύγκρισης. Στην συζήτηση των αποτελεσμάτων γίνεται σύγκριση των όσων έχουν προκύψει με ευρήματα από άλλες έρευνες, ωστόσο θα είχαν ενδιαφέρον όσα θα προέκυπταν, εάν και άλλες μέθοδοι εφαρμόζονταν για τα σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού που έχουν εξεταστεί στην παρούσα.

Βιβλιογραφία

- Agoris, D. *et al.* (2004) ‘An analysis of the Greek energy system in view of the Kyoto commitments’, *Energy Policy*, 32(18), pp. 2019–2033. doi: 10.1016/S0301-4215(03)00177-0.
- Agovino, M. *et al.* (2018) ‘Explanatory analysis of the key factors in an energy sustainability index’, *Qual Quant*, 52, pp. 2597–2632. doi: 10.1007/s11135-017-0679-0.
- Ahmed, S. and Husseiny, A. A. (1978) ‘A multivariate-utility approach for selection of energy sources’, *Energy*, 3(6), pp. 669–700. doi: 10.1016/0360-5442(78)90039-7.
- Akber, M. Z., Thaheem, M. J. and Arshad, H. (2017) ‘Life cycle sustainability assessment of electricity generation in Pakistan: Policy regime for a sustainable energy mix’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 111(September), pp. 111–126. doi: 10.1016/j.enpol.2017.09.022.
- Akrofi, M. M. and Akanbang, B. A. A. (2021) ‘Integrating sustainable energies into local government plans in Ghana’, *Scientific African*. Elsevier B.V., 12, p. e00764. doi: 10.1016/j.sciaf.2021.e00764.
- Aldieri, L. *et al.* (2020) ‘Wind power and job creation’, *Sustainability (Switzerland)*, 12(1), pp. 1–23. doi: 10.3390/SU12010045.
- Ang, B. W., Choong, W. L. and Ng, T. S. (2015) ‘Energy security: Definitions, dimensions and indexes’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, pp. 1077–1093. doi: 10.1016/j.rser.2014.10.064.
- Angelis-Dimakis, A., Arampatzis, G. and Assimacopoulos, D. (2012) ‘Monitoring the sustainability of the Greek energy system’, *Energy for Sustainable Development*. International Energy Initiative., 16(1), pp. 51–56. doi: 10.1016/j.esd.2011.10.003.
- Arababadi, R. *et al.* (2017) ‘Energy policy assessment at strategic, tactical, and operational levels: Case studies of EU 20-20-20 and U.S. Executive Order 13514’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 109(June 2017), pp. 530–538. doi: 10.1016/j.enpol.2017.07.042.
- Aryanpur, V. *et al.* (2019) ‘An overview of energy planning in Iran and transition pathways towards sustainable electricity supply sector’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 112(May), pp. 58–74. doi: 10.1016/j.rser.2019.05.047.
- Atems, B. and Hotaling, C. (2018) ‘The effect of renewable and nonrenewable electricity generation on economic growth’, *Energy Policy*. doi: 10.1016/j.enpol.2017.10.015.

- Atilgan, B. and Azapagic, A. (2016) ‘An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey’, *Energy Policy*. Elsevier, 93, pp. 168–186. doi: 10.1016/j.enpol.2016.02.055.
- Atuguba, R. A. and Tuokuu, F. X. D. (2020) ‘Ghana’s renewable energy agenda: Legislative drafting in search of policy paralysis’, *Energy Research and Social Science*. Elsevier, 64(February), p. 101453. doi: 10.1016/j.erss.2020.101453.
- Awopone, A. K., Zobaa, A. F. and Banuenumah, W. (2017) ‘Assessment of optimal pathways for power generation system in Ghana’, *Cogent Engineering*. Cogent, 4(1). doi: 10.1080/23311916.2017.1314065.
- Aydin, M. (2018) ‘Natural gas consumption and economic growth nexus for top 10 natural Gas–Consuming countries: A granger causality analysis in the frequency domain’, *Energy*, 165, pp. 179–186. doi: 10.1016/j.energy.2018.09.149.
- B. P. Weidema et al. (2013) *Overview and methodology, Data quality guideline for theecoinvent database version 3*. St. Gallen: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Baidya, S. and Nandi, C. (2020) *Green Energy Generation Using Renewable Energy Technologies, Green Energy and Technology*. Springer Singapore. doi: 10.1007/978-981-15-4246-6_16.
- Baills, A., Garcin, M. and Bulteau, T. (2020) ‘Assessment of selected climate change adaptation measures for coastal areas’, *Ocean and Coastal Management*. Elsevier Ltd, 185(June 2019), p. 105059. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2019.105059.
- Balitskiy, S. et al. (2016) ‘Energy efficiency and natural gas consumption in the context of economic development in the European Union’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, pp. 156–168. doi: 10.1016/j.rser.2015.10.053.
- Bang, G. (2010) ‘Energy security and climate change concerns: Triggers for energy policy change in the United States?’, *Energy Policy*. Elsevier, 38(4), pp. 1645–1653. doi: 10.1016/j.enpol.2009.01.045.
- Banti, D. C. et al. (2020) ‘LCA of a membrane bioreactor compared to activated sludge system for municipal wastewater treatment’, *Membranes*, 10(12), pp. 1–15. doi: 10.3390/membranes10120421.
- Bartzas, G. and Komnitsas, K. (2017) ‘Life cycle analysis of pistachio production in Greece’, *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.251.

- Basedau, M. and Lacher, W. (2006) *A Paradox of Plenty? Rent Distribution and Political Stability in Oil States*. GIGA Working Papers, No. 21, German Institute of Global and Area Studies.
- Bassi, A. M. (2011) 'A context-inclusive approach to support energy policy formulation and evaluation', *Regional Environmental Change*, 11(2), pp. 285–295. doi: 10.1007/s10113-010-0139-z.
- Bazán-Perkins, S. D. and Fernández-Zayas, J. L. (2008) 'Evaluation of Mexico's 1975-2000 energy plan', *Energy Economics*, 30(5), pp. 2569–2586. doi: 10.1016/j.eneco.2007.02.006.
- Bazilian, M. *et al.* (2020) 'Four scenarios of the energy transition: Drivers, consequences, and implications for geopolitics', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 11(2), pp. 1–7. doi: 10.1002/wcc.625.
- Beccali, M. *et al.* (2016) 'Solar heating and cooling systems versus conventional systems assisted by photovoltaic: Application of a simplified LCA tool', *Solar Energy Materials and Solar Cells*. Elsevier, 156, pp. 92–100. doi: 10.1016/j.solmat.2016.03.025.
- Behzadan, N. *et al.* (2017) 'Does inequality drive the Dutch disease? Theory and evidence', *Journal of International Economics*. Elsevier B.V., 106, pp. 104–118. doi: 10.1016/j.jinteco.2017.02.003.
- Bilal, M. *et al.* (2022) 'A multifaceted evaluation of hybrid energy policies: The case of sustainable alternatives in special Economic Zones of the China Pakistan Economic Corridor (CPEC)', *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Elsevier Ltd, 52(PA), p. 101958. doi: 10.1016/j.seta.2022.101958.
- Biresseilioglu, M. E., Demir, M. H. and Turan, U. (2018) 'Trinity on thin ice: Integrating three perspectives on the European Union's likelihood of achieving energy and climate targets', *Energy Research and Social Science*. Elsevier, 42(March 2018), pp. 247–257. doi: 10.1016/j.erss.2018.04.001.
- Boran, F. E., Boran, K. and Dizdar, E. (2012) 'A fuzzy multi criteria decision making to evaluate energy policy based on an information axiom: A case study in Turkey', *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 7(3), pp. 230–240. doi: 10.1080/15567240902839294.
- BPMSG Software (2018) *AHP Online System*. Available at: <https://bpmsg.com/academic/ahp.php> (Accessed: 28 September 2018).

- Brodny, J. and Tutak, M. (2021) ‘Assessing sustainable energy development in the central and eastern European countries and analyzing its diversity’, *Science of the Total Environment*, 801. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149745.
- Brouwer, F. *et al.* (2018) ‘The nexus concept integrating energy and resource efficiency for policy assessments: A comparative approach from three cases’, *Sustainability (Switzerland)*, 10(12), pp. 1–18. doi: 10.3390/su10124860.
- Brown, M. A. and Sovacool, B. K. (2007) ‘Developing an “energy sustainability index” to evaluate energy policy’, *Interdisciplinary Science Reviews*, 32(4), pp. 335–349. doi: 10.1179/030801807X211793.
- Bugaje, A.-A. B. *et al.* (2022) ‘Rethinking the position of natural gas in a low-carbon energy transition’, *Energy Research & Social Science*. Elsevier Ltd, 90(March), p. 102604. doi: 10.1016/j.erss.2022.102604.
- Bulavskaya, T. and Reynès, F. (2018) ‘Job creation and economic impact of renewable energy in the Netherlands’, *Renewable Energy*, 119(2018), pp. 528–538. doi: 10.1016/j.renene.2017.09.039.
- Büyüközkan, G. and Karabulut, Y. (2018) ‘Sustainability performance evaluation: Literature review and future directions’, *Journal of Environmental Management*. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.03.064.
- Büyüközkan, G., Karabulut, Y. and Mukul, E. (2018) ‘A novel renewable energy selection model for United Nations’ sustainable development goals’, *Energy*, 165, pp. 290–302. doi: 10.1016/j.energy.2018.08.215.
- Cadoret, I. and Padovano, F. (2016) ‘The political drivers of renewable energies policies’, *Energy Economics*. Elsevier B.V., 56(2016), pp. 261–269. doi: 10.1016/j.eneco.2016.03.003.
- Calanter, P. (2017) ‘Use of integrated analysis for assessing the energy mix’, *Quality - Access to Success*, 18, pp. 101–106.
- Camacho, E. F. and Berenguel, M. (2012) ‘Control of solar energy systems’, in *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. doi: 10.3182/20120710-4-SG-2026.00181.
- Cayir Ervural, B. *et al.* (2018) ‘An ANP and fuzzy TOPSIS-based SWOT analysis for Turkey’s energy planning’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2017.06.095.

- CERA (2021a) *Annual report of Cyprus Energy Regulatory Authority 2020*. Nicosia. Available at: https://www.cera.org.cy/Templates/00001/data/ektheseis/2020_en.pdf.
- CERA (2021b) *List of Licenses*. Available at: <https://www.cera.org.cy/Templates/00001/data/hlektrismos/mitrwo/adeies.pdf>.
- CERA (2022a) *Electricity*. Available at: <https://www.cera.org.cy/en-gb/ilektrismos/details/ilektrismos-adeiodotisi> (Accessed: 18 February 2022).
- CERA (2022b) *Natural Gas*. Available at: <https://www.cera.org.cy/en-gb/fisiko-aerio/details/fa-adeiodotisi> (Accessed: 21 February 2022).
- Chalvatzis, K. J. and Ioannidis, A. (2017) 'Energy supply security in the EU: Benchmarking diversity and dependence of primary energy', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 207, pp. 465–476. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.010.
- Chang, Y. and Fang, Z. (2017) 'Efficient, equitable and sustainable energy policy in a small open economy: Concepts and assessments', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 105(June 2015), pp. 493–501. doi: 10.1016/j.enpol.2017.03.031.
- Chankov, G. and Hinov, N. (2021) 'The energy strategy and energy policy of the european union', *Ikonomicheski Izsledvania*, 30(8), pp. 3–31.
- Chapman, A. J., McLellan, B. and Tezuka, T. (2016) 'Proposing an evaluation framework for energy policy making incorporating equity: Applications in Australia', *Energy Research and Social Science*. Elsevier Ltd, 21(2016), pp. 54–69. doi: 10.1016/j.erss.2016.06.021.
- Chávez-Rodríguez, M. F. *et al.* (2017) 'Modelling the natural gas dynamics in the Southern Cone of Latin America', *Applied Energy*. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.05.061.
- CHC (2022) *ABOUT US*. Available at: <https://chc.com.cy/about-us/#responsibilities> (Accessed: 18 February 2022).
- Chen, C. C. (2011) 'An analytical framework for energy policy evaluation', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 36(10), pp. 2694–2702. doi: 10.1016/j.renene.2011.02.023.
- Chen, C. W., Chen, C. Y. and Chen, Y. Y. (2009) 'Evaluation of the feasibility of the energy policy developed to reduce carbon dioxide emissions in Taiwan', *Energy and Environment*, 20(4), pp. 553–566. doi: 10.1260/095830509788707329.
- Chen, Y. kuang, Kirkerud, J. G. and Bolkesjø, T. F. (2022) 'Balancing GHG mitigation and land-use conflicts: Alternative Northern European energy system scenarios', *Applied*

Energy, 310(July 2021). doi: 10.1016/j.apenergy.2022.118557.

Chentouf, M. and Allouch, M. (2021) ‘Assessment of renewable energy transition in Moroccan electricity sector using a system dynamics approach’, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 40(4), pp. 1–11. doi: 10.1002/ep.13571.

Cho, S. and Kim, J. (2015) ‘Feasibility and impact analysis of a renewable energy source (RES)-based energy system in Korea’, *Energy*. Elsevier Ltd, 85, pp. 317–328. doi: 10.1016/j.energy.2015.03.081.

Cholewa, M., Mammadov, F. and Nowaczek, A. (2022) ‘The obstacles and challenges of transition towards a renewable and sustainable energy system in Azerbaijan and Poland’, *Mineral Economics*, 35(1), pp. 155–169. doi: 10.1007/s13563-021-00288-x.

Chunark, P., Hanaoka, T. and Limmeechokchai, B. (2021) ‘Shared socioeconomic pathways and long-term GHG mitigation towards 2050 in Thailand cement industry’, *Cleaner and Responsible Consumption*. Elsevier Ltd, 2(December 2020), p. 100006. doi: 10.1016/j.clrc.2020.100006.

Cielo, D. and Subiantoro, A. (2021) ‘Net zero energy buildings in New Zealand: Challenges and potentials reviewed against legislative, climatic, technological, and economic factors’, *Journal of Building Engineering*. Elsevier Ltd, 44(February), p. 102970. doi: 10.1016/j.jobe.2021.102970.

Cohen, J. J. *et al.* (2016) ‘Linking the value of energy reliability to the acceptance of energy infrastructure: Evidence from the EU’, *Resource and Energy Economics*. Elsevier B.V., 45(2016), pp. 124–143. doi: 10.1016/j.reseneeco.2016.06.003.

Cohen, J. J., Reichl, J. and Schmidthaler, M. (2014) ‘Re-focussing research efforts on the public acceptance of energy infrastructure: A critical review’, *Energy*. Elsevier Ltd, 76, pp. 4–9. doi: 10.1016/j.energy.2013.12.056.

Costa, D. *et al.* (2018) ‘Life Cycle Assessment of a shale gas exploration and exploitation project in the province of Burgos, Spain’, *Science of the Total Environment*, 645, pp. 130–145. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.085.

CTSO (2021) *Ενεργειακό Μείγμα της Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου για το 2020*. Available at: https://tsoc.org.cy/files/regulations-directives/APOKALIPSI_ENERG_MEIGMATOS_2020.pdf (Accessed: 18 February 2022).

Cusenza, M. A. *et al.* (2020) ‘Environmental assessment of 2030 electricity generation scenarios in Sicily: An integrated approach’, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 160(September 2015), pp. 1148–1159. doi: 10.1016/j.renene.2020.07.090.

CYSTAT (2020) *ENERGY STATISTICS 2018*. Nicosia. Available at: https://library.cystat.gov.cy/Documents/Publication/ENERGY_STATISTICS-A2018-170220.pdf.

CYSTAT (2021a) *EDUCATION_INDICATORS-A85_86-19_20-EN-311221*. Nicosia. Available at: <https://www.cystat.gov.cy/en/KeyFiguresList?s=33>.

CYSTAT (2021b) *National Accounts*. Available at: <https://www.cystat.gov.cy/en/Announcement?id=64744> (Accessed: 20 February 2022).

CYSTAT (2022) *Labour Market*. Available at: <https://www.cystat.gov.cy/en/SubthemeStatistics?s=43> (Accessed: 18 February 2022).

DEFA (no date) *Scope of Work*. Available at: <https://defa.com.cy/en/scope-of-work.html> (Accessed: 18 February 2022).

Delbeke, J. *et al.* (2019) ‘The paris agreement’, *Towards a Climate-Neutral Europe: Curbing the Trend*, pp. 24–45. doi: 10.4324/9789276082569-2.

Dergachova, V. *et al.* (2020) ‘Ukraine’s energy policy: Analysis and development strategy’, *Polityka Energetyczna*, 23(4), pp. 67–90. doi: 10.33223/epj/128598.

Dialga, I. (2021) ‘Evaluating Normandy’s sustainable development and energy transition policies’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 305, p. 127096. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127096.

Din, T. *et al.* (2021) ‘Operation and energy evaluation of diesel and hybrid trains with smart switching controls’, *Control Engineering Practice*. Elsevier Ltd, 116(March), p. 104935. doi: 10.1016/j.conengprac.2021.104935.

Dong, Y. *et al.* (2018) ‘Environmental sustainable decision making– The need and obstacles for integration of LCA into decision analysis’, *Environmental Science and Policy*. Elsevier, 87(June), pp. 33–44. doi: 10.1016/j.envsci.2018.05.018.

Doukas, H. *et al.* (2014) ‘Foresight for energy policy: Techniques and methods employed in Greece’, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 9(2), pp. 109–119. doi: 10.1080/15567241003735217.

EAC (2019a) *Annual Report, Annual Report 2019*. Available at: https://www.eac.com.cy/EN/EAC/FinancialInformation/Documents/AHK-Annual_Report_2019_ENG_DIGITAL.pdf019-Annual-Report.pdf.

EAC (2019b) *ENERGY POLICY*. Available at: <https://www.eac.com.cy/EN/EAC/Sustainability/Pages/EnergyPolicy.aspx> (Accessed: 19 February 2022).

EAC (no date) *GENERATION*. Available at: <https://www.eac.com.cy/EN/eac/operations/Pages/Generation.aspx> (Accessed: 18 February 2022).

Elbisy, M. S. (2016) 'Environmental management of offshore gas platforms in Abu Qir Bay, Egypt', *KSCE Journal of Civil Engineering*. doi: 10.1007/s12205-015-0146-1.

Elizondo, A. *et al.* (2017) 'Mexico's low carbon futures: An integrated assessment for energy planning and climate change mitigation by 2050', *Futures*. Elsevier Ltd, 93(June 2017), pp. 14–26. doi: 10.1016/j.futures.2017.08.003.

Elleuch, M. A. *et al.* (2021) 'Solving a multiple user energy source selection problem using a fuzzy multi-criteria group decision-making approach', *Energies*, 14(14). doi: 10.3390/en14144313.

Emil, F. and Diab, A. (2021) 'Energy rationalization for an educational building in Egypt: Towards a zero energy building', *Journal of Building Engineering*. Elsevier Ltd, 44(September), p. 103247. doi: 10.1016/j.jobbe.2021.103247.

Energy Service (no date a) *Διατήρηση Αποθεμάτων Πετρελαιοειδών*. Available at: <https://energy.gov.cy/secondary-menu/τομείς-πολιτικής/πετρελαιοειδή-και-καύσιμα/διατήρηση-αποθεμάτων-πετρελαιοειδών.html> (Accessed: 22 February 2022).

Energy Service (no date b) *Ποιότητα Πετρελαιοειδών και Καυσίμων*. Available at: <https://energy.gov.cy/secondary-menu/τομείς-πολιτικής/πετρελαιοειδή-και-καύσιμα/ποιότητα-πετρελαιοειδών-και-καυσίμων.html> (Accessed: 21 February 2022).

Espinilla M., de Andrés R., Martínez F.J., M. L. (2011) 'A Heterogeneous Evaluation Model for the Assessment of Sustainable Energy Policies', in Melo-Pinto P., Couto P., Serôdio C., Fodor J., D. B. B. (ed.) *Advances in Intelligent and Soft Computing, vol 107*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 209–220. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-24001-0_20.

EU (no date) *EU Treaties*. Available at: https://europa.eu/european-union/law/treaties_en

(Accessed: 16 July 2021).

European Commission (2019) 'UNION LIST OF PROJECTS OF COMMON INTEREST, SWD(2019) 395 final'.

European Commission (2016a) 'Communication from the Commission: Accelerating Europe's transition to a low-carbon economy', (2016). Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0500&from=en>.

European Commission (2016b) 'Next steps for a sustainable European future', *Journal of Chemical Information and Modeling*, p. 19.

European Commission (2020) *Summary of the Commission assessment of the draft National Energy and Climate Plan 2021-2030*.

European Commission (2022) *Europe 2020 targets: statistics and indicators for Cyprus*. Available at: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/european-semester-your-country/cyprus/europe-2020-targets-statistics-and-indicators-cyprus_en (Accessed: 5 February 2022).

European Commission (no date) *Oil and gas licensing*. Available at: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-security/oil-and-gas-licensing_en (Accessed: 21 February 2022).

European Economic Community (1957) 'The Treaty of Rome'.

European Parliament (2020) 'Energy Policy. General Principles', *Fact Sheets on the European Union*, pp. 1–7. Available at: http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/en/FTU_2.4.7.pdf%0Ahttps://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/68/energy-policy-general-principles.

European Union (no date) *What are the benefits of the euro?* Available at: https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/euro/benefits_en (Accessed: 29 April 2022).

Eurostat (2020) *Energy, transport and environment statistics 2020 edition, Printed by Imprimeries Bietlot Freres, Belgium- Statistical Books*. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/about/policies/copyright>.

Faramawy, S., Zaki, T. and Sakr, A. A. E. (2016) 'Natural gas origin, composition, and processing: A review', *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. doi: 10.1016/j.jngse.2016.06.030.

- Fathipour, F. and Saidi-Mehrabad, M. (2018) 'A multi-objective energy planning considering sustainable development by a TOPSIS-based augmented e-constraint', *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(3). doi: 10.1063/1.5008545.
- Fernández, P. M. *et al.* (2020) 'An evaluation of the energy and environmental policy efficiency of the EU member states in a 25-year period from a modern portfolio theory perspective', *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 26(Special Issue), pp. 19–32. doi: 10.5278/ijsepm.3482.
- Fertel, C. *et al.* (2013) 'Canadian energy and climate policies : A SWOT analysis in search of federal / provincial coherence', *Energy Policy*, 63, pp. 1139–1150. doi: 10.1016/j.enpol.2013.09.057.
- Flacke, J. and De Boer, C. (2017) 'An interactive planning support tool for addressing social acceptance of renewable energy projects in the Netherlands', *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(10). doi: 10.3390/ijgi6100313.
- Fokaides, P. A. and Kylili, A. (2014) 'Towards grid parity in insular energy systems: The case of photovoltaics (PV) in Cyprus', *Energy Policy*. Elsevier, 65, pp. 223–228. doi: 10.1016/J.ENPOL.2013.10.045.
- Fortes, P. *et al.* (2014) 'Integrated technological-economic modeling platform for energy and climate policy analysis', *Energy*. Elsevier Ltd, 73, pp. 716–730. doi: 10.1016/j.energy.2014.06.075.
- Fortier, M. O. P. *et al.* (2019) 'Introduction to evaluating energy justice across the life cycle: A social life cycle assessment approach', *Applied Energy*. Elsevier, 236(October 2017), pp. 211–219. doi: 10.1016/j.apenergy.2018.11.022.
- Fozer, D. *et al.* (2017) 'Life cycle, PESTLE and Multi-Criteria Decision Analysis of CCS process alternatives', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 147, pp. 75–85. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.056.
- Franki, V. and Višković, A. (2021) 'Multi-criteria decision support: A case study of Southeast Europe power systems', *Utilities Policy*, 73(December 2020). doi: 10.1016/j.jup.2021.101286.
- Fu, F. Y. *et al.* (2021) 'The dynamic role of energy security, energy equity and environmental sustainability in the dilemma of emission reduction and economic growth', *Journal of Environmental Management*. Elsevier Ltd, 280(November 2020), p. 111828. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111828.

- Gallego Carrera, D. and Mack, A. (2010) ‘Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: Results of a survey among European energy experts’, *Energy Policy*. Elsevier, 38(2), pp. 1030–1039. doi: 10.1016/j.enpol.2009.10.055.
- Galvin, R. and Healy, N. (2020) ‘The Green New Deal in the United States: What it is and how to pay for it’, *Energy Research and Social Science*, 67(December 2019). doi: 10.1016/j.erss.2020.101529.
- García-Álvarez, M. T. and Soares, I. (2018) ‘Empirical assessment of sustainable energy markets in the EU-28’, *Environment, Development and Sustainability*. Springer Netherlands, 20(s1), pp. 83–108. doi: 10.1007/s10668-018-0172-5.
- García-Gusano, D. *et al.* (2016) ‘Prospective analysis of life-cycle indicators through endogenous integration into a national power generation model’, *Resources*, 5(4). doi: 10.3390/resources5040039.
- García-Pérez, S., Sierra-Pérez, J. and Boschmonart-Rives, J. (2018) ‘Environmental assessment at the urban level combining LCA-GIS methodologies: A case study of energy retrofits in the Barcelona metropolitan area’, *Building and Environment*. Elsevier, 134(December 2017), pp. 191–204. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.01.041.
- Garrett-Peltier, H. (2017) ‘Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model’, *Economic Modelling*. Elsevier, 61(November 2016), pp. 439–447. doi: 10.1016/j.econmod.2016.11.012.
- Gaudard, L. and Romerio, F. (2020) ‘A conceptual framework to classify and manage risk, uncertainty and ambiguity: An application to energy policy’, *Energies*, 13(6). doi: 10.3390/en13061422.
- Genco, F. and Genco, G. (2021) ‘Selection of energy matrix sources in Chile using a fuzzy logic decision approach’, *Energy Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 12(2), pp. 411–429. doi: 10.1007/s12667-019-00340-4.
- Goepel, K. (2018) ‘Implementation of an Online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS)’, *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), pp. 469–487. doi: 10.13033/ijahp.v10i3.590.
- González-Eguino, M. (2015) ‘Energy poverty: An overview’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, pp. 377–385. doi: 10.1016/j.rser.2015.03.013.

- Greaves, D. *et al.* (2016) ‘Environmental Impact Assessment: Gathering experiences from wave energy test centres in Europe’, *International Journal of Marine Energy*. doi: 10.1016/j.ijome.2016.02.003.
- Griffiths, S. (2017) ‘A review and assessment of energy policy in the Middle East and North Africa region’, *Energy Policy*, 102(September 2016), pp. 249–269. doi: 10.1016/j.enpol.2016.12.023.
- Gruver, W. A., Ford, A. and Gardiner, P. C. (1984) ‘Public Policy Analysis Using Three Systems Science Techniques’, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. IEEE, SMC-14(2), pp. 355–361.
- Guinée, J. (2001) *Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO standards, ECO-EFFICIENCY IN INDUSTRY AND SCIENCE*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gulagi, A. *et al.* (2020) ‘Current energy policies and possible transition scenarios adopting renewable energy: A case study for Bangladesh’, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 155, pp. 899–920. doi: 10.1016/j.renene.2020.03.119.
- Gunfaus, M. T. and Waisman, H. (2021) ‘Assessing the adequacy of the global response to the Paris Agreement: Toward a full appraisal of climate ambition and action’, *Earth System Governance*. Elsevier Ltd, 8, p. 100102. doi: 10.1016/j.esg.2021.100102.
- Gürel, A. and Le Cornu, L. (2014) ‘Can Gas Catalyse Peace in the Eastern Mediterranean?’, *International Spectator*. doi: 10.1080/03932729.2014.906799.
- Gürsan, C. and de Gooyert, V. (2021) ‘The systemic impact of a transition fuel: Does natural gas help or hinder the energy transition?’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 138(March 2020), p. 110552. doi: 10.1016/j.rser.2020.110552.
- Haines, A. and Scheelbeek, P. (2020) ‘European Green Deal: a major opportunity for health improvement’, *The Lancet*, 395(10233), pp. 1327–1329. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30109-4.
- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2010) *Fundamentals of Physics Extended 9th Edition*, Wiley; 9 edition (November 16, 2010).
- Han, B. *et al.* (2014) ‘Paths toward smart energy: A framework for comparison of the EU and China Energy Policy’, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. IEEE, 5(2), pp. 423–433. doi: 10.1109/TSTE.2013.2288937.

- Harmelink, M., Voogt, M. and Cremer, C. (2006) ‘Analysing the effectiveness of renewable energy supporting policies in the European Union’, *Energy Policy*, 34(3), pp. 343–351. doi: 10.1016/j.enpol.2004.08.031.
- Hauser, P. (2021) ‘Does “more” equal “better”? – Analyzing the impact of diversification strategies on infrastructure in the European gas market’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 153(September 2020). doi: 10.1016/j.enpol.2021.112232.
- Hayat, F., Khan, A. A. and Ashraf, M. A. (2019) ‘Energy planning and sustainable development of Pakistan’, *International Journal of Energy Sector Management*, 13(1), pp. 24–44. doi: 10.1108/IJESM-04-2018-0006.
- Heijungs, R., Huppes, G. and Guinée, J. B. (2010) ‘Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis’, *Polymer Degradation and Stability*, 95(3), pp. 422–428. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.010.
- Heinrichs, H. *et al.* (2016) *Sustainability science An Introduction*, *Sustainability Science*. doi: 10.1017/CBO9780511794469.
- Helio International (2000) ‘Sustainable Energy Watch (SEW) - Indicator Selection and Rationale’, pp. 1–10. Available at: http://helio-international.org/wp-content/uploads/2017/03/Ind-Descrip.EN_all-10.pdf.
- Helms, M. M. and Nixon, J. (2010) *Exploring SWOT analysis – where are we now?: A review of academic research from the last decade*, *Journal of Strategy and Management*. doi: 10.1108/17554251011064837.
- Henderson, S. (2013) ‘Natural Gas Export Options for Israel and Cyprus’, *Mediterranean Paper Series*.
- Herva, M. *et al.* (2011) ‘Review of corporate environmental indicators’, *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.05.019.
- Hiremath, R. B., Shikha, S. and Ravindranath, N. H. (2007) ‘Decentralized energy planning; modeling and application-a review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2005.07.005.
- Hooper, T. *et al.* (2018) ‘Do energy scenarios pay sufficient attention to the environment? Lessons from the UK to support improved policy outcomes’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 115(June 2017), pp. 397–408. doi: 10.1016/j.enpol.2018.01.028.

Hughes, M. (2014) ‘Introducing Oil and Gas to a Remote, Iconic Tourism Destination: Impacts on Broome and the West Kimberley’, pp. 137–152. doi: 10.1007/978-3-642-53873-5_9.

Hydrocarbons Service (2020a) *Granted Licenses*. Available at: http://www.meci.gov.cy/MECI/hydrocarbon.nsf/page16_en/page16_en?OpenDocument (Accessed: 21 February 2022).

Hydrocarbons Service (2020b) *License Types*. Available at: http://www.meci.gov.cy/MECI/hydrocarbon.nsf/page15_en/page15_en?OpenDocument (Accessed: 18 February 2022).

Hydrocarbons Service (no date) *Laws - Regulations*. Available at: http://www.meci.gov.cy/MECI/hydrocarbon.nsf/page09_en/page09_en?OpenDocument (Accessed: 21 February 2022).

IEA (2020) *Report extract, 2020 Global overview: Capacity, supply and emissions*. Available at: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-december-2020/2020-global-overview-capacity-supply-and-emissions> (Accessed: 19 April 2022).

Igos, E. *et al.* (2015) ‘Combination of equilibrium models and hybrid life cycle-input-output analysis to predict the environmental impacts of energy policy scenarios’, *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 145, pp. 234–245. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.02.007.

Inglezakis, V. J. and Zorpas, A. A. (2014) ‘Environmental indicators’, in *Sustainability behind Sustainability*. Nova Science Publishers, pp. 17–33.

Invernizzi, D. C. *et al.* (2020) ‘Developing policies for the end-of-life of energy infrastructure: Coming to terms with the challenges of decommissioning’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 144(August 2019), p. 111677. doi: 10.1016/j.enpol.2020.111677.

IPCC WGII (2022) *Sixth Assessment Report, Summary for Policymakers*.

ISO (2006a) ‘14040: Environmental management–life cycle assessment—Principles and framework’, *International organization for standardization*.

ISO (2006b) ‘ISO 14044:2006 - Life cycle assessment - Requirements and guidelines’, *International organization for standardization*.

Jekabsone, A. *et al.* (2019) ‘Assessment of the Implementation of Sustainable Energy Action Plans at Local Level. Case Study of Latvia’, *Environmental and Climate Technologies*, 23(2), pp. 36–46. doi: 10.2478/rtuect-2019-0053.

- Johansson, B. (2013) 'Security aspects of future renewable energy systems-A short overview', *Energy*. Elsevier Ltd, 61, pp. 598–605. doi: 10.1016/j.energy.2013.09.023.
- Kabak, M., Dağdeviren, M. and Burmaoğlu, S. (2016) 'A hybrid SWOT-FANP model for energy policy making in Turkey', *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*. Taylor & Francis, 11(6), pp. 487–495. doi: 10.1080/15567249.2012.673692.
- Kagiannas, A. G. *et al.* (2003) 'Energy policy assessment of the Euro-Mediterranean cooperation', *Energy Conversion and Management*, 44(16), pp. 2665–2686. doi: 10.1016/S0196-8904(03)00012-8.
- Kagiannas, A. G. *et al.* (2004) 'Energy policy indicators for the assessment of the Euro-Mediterranean energy cooperation', *International Journal of Energy Technology and Policy*, 2(4), pp. 301–322.
- Kalogirou, S. A. (2013) 'Solar thermoelectric power generation in Cyprus: Selection of the best system', *Renewable Energy*. doi: 10.1016/j.renene.2012.01.014.
- Kalogirou, S. A. (2014) *Solar Energy Engineering: Processes and Systems: Second Edition*, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems: Second Edition*. doi: 10.1016/C2011-0-07038-2.
- Kamran, M., Fazal, M. R. and Mudassar, M. (2020) 'Towards empowerment of the renewable energy sector in Pakistan for sustainable energy evolution: SWOT analysis', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 146, pp. 543–558. doi: 10.1016/j.renene.2019.06.165.
- Karakaş, E. and Yildiran, O. V. (2019) 'Evaluation of renewable energy alternatives for Turkey via modified fuzzy AHP', *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), pp. 31–39. doi: 10.32479/ijeep.7349.
- Kastrinos, N. and Weber, K. M. (2020) 'Sustainable development goals in the research and innovation policy of the European Union', *Technological Forecasting and Social Change*. Elsevier, 157(April 2020), p. 120056. doi: 10.1016/j.techfore.2020.120056.
- Kaya, İ., Çolak, M. and Terzi, F. (2019) 'A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making', *Energy Strategy Reviews*, 24(May 2017), pp. 207–228. doi: 10.1016/j.esr.2019.03.003.
- Kazamias, G. and Zorpas, A. (2021) 'Drill cuttings waste management from oil & gas exploitation industries through end-of-waste criteria in the framework of circular economy strategy', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 322(August), p. 129098. doi:

10.1016/j.jclepro.2021.129098.

Kinnon, M. Mac *et al.* (2019) ‘Considering future regional air quality impacts of the transportation sector’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 124(September 2018), pp. 63–80. doi: 10.1016/j.enpol.2018.09.011.

Kiss, B., Kácsor, E. and Szalay, Z. (2020) ‘Environmental assessment of future electricity mix – Linking an hourly economic model with LCA’, *Journal of Cleaner Production*, 264. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121536.

Kiss, T. and Popovics, S. (2021) ‘Evaluation on the effectiveness of energy policies – Evidence from the carbon reductions in 25 countries’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pergamon, 149, p. 111348. doi: 10.1016/J.RSER.2021.111348.

Kjärstad, J. and Johnsson, F. (2008) ‘An Outlook on the European Gas Market’, pp. 33–60. doi: 10.1007/978-1-4020-5774-8_3.

Knez, S. *et al.* (2022) ‘Prices of conventional and renewable energy as determinants of sustainable and secure energy development: regression model analysis’, *Energy, Sustainability and Society*. Springer Berlin Heidelberg, 12(1), pp. 1–12. doi: 10.1186/s13705-022-00333-9.

Kochanek, E. (2021) ‘Evaluation of energy transition scenarios in poland’, *Energies*, 14(19). doi: 10.3390/en14196058.

Kocsis, V. and Hof, B. (2016) ‘Energy policy evaluation in practice: the case of production subsidies and DEN-B in the Netherlands’, *Environment, Development and Sustainability*, 18(5), pp. 1433–1455. doi: 10.1007/s10668-016-9837-0.

Kok, M. and Lootsma, F. A. (1985) ‘Pairwise-comparison methods in multiple objective programming, with applications in a long-term energy-planning model’, *European Journal of Operational Research*, 22(1), pp. 44–55. doi: 10.1016/0377-2217(85)90114-6.

Kong, Y., Feng, C. and Yang, J. (2020) ‘How does China manage its energy market? A perspective of policy evolution’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 147(June), p. 111898. doi: 10.1016/j.enpol.2020.111898.

Konidari, P. and Mavrakakis, D. (2007) ‘A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments’, *Energy Policy*, 35(12), pp. 6235–6257. doi: 10.1016/j.enpol.2007.07.007.

Kothari, C. R. . (2004) ‘Research Methodology: An Introduction’, in *Research*

Methodology: Methods and Techniques. New Age International Ltd.,

Kougias, I. *et al.* (2021) ‘The role of photovoltaics for the European Green Deal and the recovery plan’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144(April), pp. 1–8. doi: 10.1016/j.rser.2021.111017.

Krysiak, M. and Kluczek, A. (2021) ‘A multifaceted challenge to enhance multicriteria decision support for energy policy’, *Energies*, 14(14), pp. 1–20. doi: 10.3390/en14144128.

Kythreotou, N., Tassou, S. A. and Florides, G. (2012) ‘An assessment of the biomass potential of Cyprus for energy production’, *Energy*. Elsevier Ltd, 47(1), pp. 253–261. doi: 10.1016/j.energy.2012.09.023.

Lakhanpal, S. (2019) ‘Contesting renewable energy in the global south: A case-study of local opposition to a wind power project in the Western Ghats of India’, *Environmental Development*. Elsevier Ltd, 30(February), pp. 51–60. doi: 10.1016/j.envdev.2019.02.002.

Laouris, Y. and Michaelides, M. (2018) ‘Structured Democratic Dialogue: An application of a mathematical problem structuring method to facilitate reforms with local authorities in Cyprus’, *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 268(3), pp. 918–931. doi: 10.1016/j.ejor.2017.04.039.

Lee, C. Y. (2018) ‘Oil and Terrorism: Uncovering the Mechanisms’, *Journal of Conflict Resolution*. doi: 10.1177/0022002716673702.

Lee Stephen Windheim (1977) ‘Evaluation of Energy Policy’, *Water, Air, and Soil Pollution*, 7, pp. 181–185.

Lee, T., Glick, M. B. and Lee, J. H. (2020) ‘Island energy transition: Assessing Hawaii’s multi-level, policy-driven approach’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 118(March 2019), p. 109500. doi: 10.1016/j.rser.2019.109500.

Lehmann, P. *et al.* (2019) ‘Addressing multiple externalities from electricity generation: a case for EU renewable energy policy beyond 2020?’, *Environmental Economics and Policy Studies*. Springer Japan, 21(2), pp. 255–283. doi: 10.1007/s10018-018-0229-6.

Leibowicz, B. D. (2014) ‘Evaluation of post-Fukushima Japanese electricity strategies: A stochastic simulation model’, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH*, 38(4), pp. 1578–1598. doi: 10.1002/er.

Li, S. *et al.* (2022) ‘Trajectory, driving forces, and mitigation potential of energy-related greenhouse gas (GHG) emissions in China’s primary aluminum industry’, *Energy*. Elsevier

Ltd, 239, p. 122114. doi: 10.1016/j.energy.2021.122114.

Li, T., Liu, P. and Li, Z. (2020) ‘Quantitative relationship between low-carbon pathways and system transition costs based on a multi-period and multi-regional energy infrastructure planning approach: A case study of China’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 134(July), p. 110159. doi: 10.1016/j.rser.2020.110159.

Li, X. (2018) ‘Renewable energy and energy sources’, in Md. Rabiul Islam, Naruttam Kumar Roy, S. R. (ed.). Singapore: Springer.

Ligus, M. and Peternek, P. (2021) ‘The sustainable energy development index—an application for european union member states’, *Energies*, 14(4), pp. 1–32. doi: 10.3390/en14041117.

Limaye, D. R. and Sharko, J. R. (1974) ‘US energy policy evaluation: some analytical approaches’, *Energy Policy*. Elsevier, 2(1), pp. 3–17. doi: 10.1016/0301-4215(74)90031-7.

Lin, J. H., Wu, Y. K. and Lin, H. J. (2016) ‘Successful Experience of Renewable Energy Development in Several Offshore Islands’, *Energy Procedia*. The Author(s), 100(September), pp. 8–13. doi: 10.1016/j.egypro.2016.10.137.

Linares, P., Santos, F. J. and Pérez-Arriaga, I. J. (2008) ‘Scenarios for the evolution of the Spanish electricity sector: Is it on the right path towards sustainability?’, *Energy Policy*, 36(11), pp. 4057–4068. doi: 10.1016/j.enpol.2008.06.017.

López-Ochoa, L. M. *et al.* (2021) ‘Towards nearly zero-energy buildings in Mediterranean countries: Fifteen years of implementing the Energy Performance of Buildings Directive in Spain (2006–2020)’, *Journal of Building Engineering*, 44. doi: 10.1016/j.jobe.2021.102962.

MacArthur, J. L. *et al.* (2020) ‘Canada’s Green New Deal: Forging the socio-political foundations of climate resilient infrastructure?’, *Energy Research and Social Science*. Elsevier, 65(February), p. 101442. doi: 10.1016/j.erss.2020.101442.

Machado, A. P. *et al.* (2007) ‘Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities’, *Water Science and Technology*, 56(3), pp. 15–22. doi: 10.2166/wst.2007.497.

Manzini, F. and Martínez, M. (1999) ‘Using final energies to plan a sustainable future for Mexico’, *Energy*, 24(11), pp. 945–958. doi: 10.1016/S0360-5442(99)00046-8.

Marcucci, A. and Turton, H. (2012) *Swiss Energy Strategies under Global Climate Change and Nuclear Policy Uncertainty, Statistics*.

- Mardani, A. *et al.* (2015) ‘Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014’, *Economic Research-Ekonomiska Istrazivanja*. doi: 10.1080/1331677X.2015.1075139.
- Mardani, A. *et al.* (2019) ‘Carbon dioxide (CO₂) emissions and economic growth: A systematic review of two decades of research from 1995 to 2017’, *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 649, pp. 31–49. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.229.
- Market Observatory for Energy (2022) ‘Quarterly report On European gas markets’, 14(3), pp. 1–11.
- Markovska, N., Taseska, V. and Pop-Jordanov, J. (2009) ‘SWOT analyses of the national energy sector for sustainable energy development’, *Energy*. doi: 10.1016/j.energy.2009.02.006.
- Martinez, A. *et al.* (2016) ‘Sustainability as a paradigm of energy policy’, *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(14), pp. 662–667. doi: 10.24084/repqj14.422.
- Martínez, A. *et al.* (2018) ‘Macroeconomic indicators analysis for energy sustainability’, *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(16), pp. 197–202. doi: 10.24084/repqj16.259.
- Masson-Delmotte, V. *et al.* (2018) *IPCC report Global warming of 1.5°C, Ipcc - Sr1.5*. Available at: www.environmentalgraphiti.org.
- Mateo, J. R. S. C. (2012a) ‘AHP’, in *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry, Green Energy and Technology*. Springer. doi: 10.1007/978-1-4471-2346-0.
- Mateo, J. R. S. C. (2012b) ‘Multi Criteria Analysis’, in *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry, Green Energy and Technology*. Springer. doi: 10.1007/978-1-4471-2346-0.
- Mateo, J. R. S. C. (2012c) ‘Weighted Sum Method and Weighted Product Method’, in *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry, Green Energy and Technology*. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2346-0_4.
- McKie, R. E. (2019) ‘An environmental harm perspective to examine our understanding of UK nuclear energy expansion’, *Extractive Industries and Society*. doi: 10.1016/j.exis.2019.10.011.
- MECI (2020a) *Energy Service*. Available at: <https://meci.gov.cy/en/departments-services/energy-service> (Accessed: 21 February 2022).

- MECI (2020b) *Hydrocarbons Service*. Available at: <https://meci.gov.cy/en/departments-services/hydrocarbons-service> (Accessed: 19 February 2022).
- Meyar-Naimi, H. and Vaez-Zadeh, S. (2013) ‘Sustainability assessment of a power generation system using DSR-HNS framework’, *IEEE Transactions on Energy Conversion*. IEEE, 28(2), pp. 327–334. doi: 10.1109/TEC.2013.2253610.
- Milić, V. *et al.* (2019) ‘Evaluation of energy renovation strategies for 12 historic building types using LCC optimization’, *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 197, pp. 156–170. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.05.017.
- Mišík, M. (2022) ‘The EU needs to improve its external energy security’, *Energy Policy*, 165(April), p. 112930. doi: 10.1016/j.enpol.2022.112930.
- Moher, D. *et al.* (2009) ‘Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement’, *PLoS Medicine*. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- Moinuddin, M. and Kuriyama, A. (2019) ‘Japan 2050 Low Carbon Navigator: Possible application for assessing climate policy impacts’, *Energy Strategy Reviews*. Elsevier, 26(July), p. 100384. doi: 10.1016/j.esr.2019.100384.
- Mondal, M. A. H. *et al.* (2018) ‘The Philippines energy future and low-carbon development strategies’, *Energy*. Elsevier Ltd, 147, pp. 142–154. doi: 10.1016/j.energy.2018.01.039.
- Morgan, J. and Patomäki, H. (2021) ‘Planetary good governance after the Paris Agreement: The case for a global greenhouse gas tax’, *Journal of Environmental Management*, 292(March), p. 112753. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112753.
- Muhammed, G. and Tekbiyik-Ersoy, N. (2020) ‘Development of renewable energy in china, usa, and brazil: A comparative study on renewable energy policies’, *Sustainability (Switzerland)*, 12(21), pp. 1–30. doi: 10.3390/su12219136.
- Mulugetta, Y., Mantajit, N. and Jackson, T. (2007) ‘Power sector scenarios for Thailand: An exploratory analysis 2002-2022’, *Energy Policy*, 35(6), pp. 3256–3269. doi: 10.1016/j.enpol.2006.11.018.
- Mundaca, L. (2013) ‘Climate change and energy policy in Chile: Up in smoke?’, *Energy Policy*. Elsevier, 52, pp. 235–248. doi: 10.1016/j.enpol.2012.08.073.
- Nam, K. J., Hwangbo, S. and Yoo, C. K. (2020) ‘A deep learning-based forecasting model for renewable energy scenarios to guide sustainable energy policy: A case study of Korea’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 122(February), p. 109725. doi:

10.1016/j.rser.2020.109725.

Neves, S. A. and Marques, A. C. (2021) ‘The substitution of fossil fuels in the US transportation energy mix: Are emissions decoupling from economic growth?’, *Research in Transportation Economics*. Elsevier Ltd, (xxxx), p. 101036. doi: 10.1016/j.retrec.2021.101036.

Niedzballa, H. A. and Schmitt, D. (2001) ‘Comparison of the specific energy demand of aeroplanes and other vehicle systems’, *Aircraft Design*, 4(4), pp. 163–178. doi: 10.1016/S1369-8869(01)00011-8.

Nikolaev, A. and Konidari, P. (2017) ‘Development and assessment of renewable energy policy scenarios by 2030 for Bulgaria’, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 111(2017), pp. 792–802. doi: 10.1016/j.renene.2017.05.007.

Nock, D. and Baker, E. (2019) ‘Holistic multi-criteria decision analysis evaluation of sustainable electric generation portfolios: New England case study’, *Applied Energy*. Elsevier, 242(February), pp. 655–673. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.019.

Nunes, L. J. R., Causer, T. P. and Ciolkosz, D. (2020) ‘Biomass for energy: A review on supply chain management models’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2019.109658.

Nwagbara, U. (2011) ‘Waterstone’s and the Changing Bookselling Environment in the UK: the Journey so far and Prospects.’, *Petroleum-Gas University of Ploiesti BULLETIN*, 63(3), pp. 14–26. Available at: <http://w3.bgu.ac.il/lib/customproxy.php?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=77709510&site=eds-live&authtype=ip,uid&custid=s4309548&groupid=main&profile=eds>.

O, N. C. and Kim, H. (2019) ‘Towards the 2 °C goal: Achieving Sustainable Development Goal (SDG) 7 in DPR Korea’, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier, 150(July), p. 104412. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104412.

Oikonomou, V. *et al.* (2012) ‘A qualitative assessment of EU energy policy interactions’, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 7(2), pp. 177–187. doi: 10.1080/15567240902788996.

Oldenbroek, V. *et al.* (2021) ‘Fuel cell electric vehicles and hydrogen balancing 100 percent renewable and integrated national transportation and energy systems’, *Energy Conversion and Management: X*. Elsevier Ltd, 9(February), p. 100077. doi:

10.1016/j.ecmx.2021.100077.

Omri, A. (2014) ‘An international literature survey on energy-economic growth nexus: Evidence from country-specific studies’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 38, pp. 951–959. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.084.

Page, M. J. *et al.* (2021) ‘The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews’, *The BMJ*, 372. doi: 10.1136/bmj.n71.

Pakere, I. *et al.* (2021) ‘Ranking EU climate and energy policies’, *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), pp. 367–381. doi: 10.2478/rtuect-2021-0027.

Panayides, P. M., Lambertides, N. and Andreou, C. (2017) ‘Reforming public port authorities through multiple concession agreements: The case of Cyprus’, *Research in Transportation Business and Management*. Elsevier Ltd, 22, pp. 58–66. doi: 10.1016/j.rtbm.2016.10.002.

Papada, L. and Kaliampakos, D. (2020) ‘Being forced to skimp on energy needs: A new look at energy poverty in Greece’, *Energy Research and Social Science*. Elsevier, 64(February), p. 101450. doi: 10.1016/j.erss.2020.101450.

Papapostolou, A. *et al.* (2019) ‘Supporting Europe’s energy policy towards a decarbonised energy system: A comparative assessment’, *Sustainability (Switzerland)*, 11(15). doi: 10.3390/su11154010.

Pareek, A. *et al.* (2020) ‘Insights into renewable hydrogen energy: Recent advances and prospects’, *Materials Science for Energy Technologies*. doi: 10.1016/j.mset.2019.12.002.

Park, M., Barrett, M. and Gallo Cassarino, T. (2019) ‘Assessment of future renewable energy scenarios in South Korea based on costs, emissions and weather-driven hourly simulation’, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 143, pp. 1388–1396. doi: 10.1016/j.renene.2019.05.094.

Patole, M. *et al.* (2017) ‘Energy sector planning using multiple-index pinch analysis’, *Clean Technologies and Environmental Policy*. Springer Berlin Heidelberg, 19(7), pp. 1967–1975. doi: 10.1007/s10098-017-1365-6.

Peleckis, K. (2022) ‘Application of the Fuzzy VIKOR Method to Assess Concentration and Its Effects on Competition in the Energy Sector’, *Energies*, 15. doi: doi.org/10.3390/en15041349.

Petrillo, A. *et al.* (2016) ‘Life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC) analysis model for a stand-alone hybrid renewable energy system’, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd,

- 95, pp. 337–355. doi: 10.1016/j.renene.2016.04.027.
- Pierk, S. and Tysiachniouk, M. (2016) ‘Structures of mobilization and resistance: Confronting the oil and gas industries in Russia’, *Extractive Industries and Society*. doi: 10.1016/j.exis.2016.07.004.
- Pilavachi, P. A. *et al.* (2009) ‘The energy policy of the Republic of Cyprus’, *Energy*, 34(5), pp. 547–554. doi: 10.1016/j.energy.2008.08.007.
- Pischke, E. C. *et al.* (2019) ‘From Kyoto to Paris: Measuring renewable energy policy regimes in Argentina, Brazil, Canada, Mexico and the United States’, *Energy Research and Social Science*. Elsevier, 50(February 2018), pp. 82–91. doi: 10.1016/j.erss.2018.11.010.
- Pohekar, S. D. and Ramachandran, M. (2004) ‘Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2003.12.007.
- Pomponi, F. and Stephan, A. (2021) ‘Water, energy, and carbon dioxide footprints of the construction sector: A case study on developed and developing economies’, *Water Research*. Elsevier Ltd, 194, p. 116935. doi: 10.1016/j.watres.2021.116935.
- Proka, A., Hisschemöller, M. and Loorbach, D. (2018) ‘Transition without conflict? Renewable energy initiatives in the dutch energy transition’, *Sustainability (Switzerland)*, 10(6). doi: 10.3390/su10061721.
- Pušnik, M. and Sučić, B. (2014) ‘Integrated and realistic approach to energy planning - a case study of Slovenia’, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 25(1), pp. 30–51. doi: 10.1108/MEQ-05-2013-0060.
- Qiu, M. *et al.* (2020) ‘Improving Evaluation of Energy Policies with Multiple Goals: Comparing Ex Ante and Ex Post Approaches’, *Environmental Science and Technology*, 54(24), pp. 15584–15593. doi: 10.1021/acs.est.0c01381.
- Quek, A. *et al.* (2018) ‘Challenges in Environmental Sustainability of renewable energy options in Singapore’, *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 122(August), pp. 388–394. doi: 10.1016/j.enpol.2018.07.055.
- Ramírez-Cendrero, J. M. and Wirth, E. (2016) ‘Is the Norwegian model exportable to combat Dutch disease?’, *Resources Policy*. Elsevier, 48, pp. 85–96. doi: 10.1016/j.resourpol.2016.02.010.
- Randolph, J. *et al.* (2018) ‘Fundamentals of Energy Science’, in *Energy for Sustainability*.

doi: 10.5822/978-1-61091-821-3_4.

Randolph, J. and Masters, G. M. (2018) *Energy for Sustainability, Energy for Sustainability*. doi: 10.5822/978-1-61091-821-3.

Rastogi, N. and Trivedi, M. K. (2016) 'PESTLE Technique - A Tool to Identify External Risks in Construction Projects', *International Research Journal of Engineering and Technology*, 03(01), pp. 384–388. Available at: www.irjet.net.

Ratanakuakangwan, S. and Morita, H. (2022) 'Measuring the efficiency of energy planning under uncertainty', *Energy Reports*. Elsevier Ltd, 8, pp. 544–551. doi: 10.1016/j.egy.2021.11.164.

Raugei, M. *et al.* (2018) 'Net energy analysis and life cycle energy assessment of electricity supply in Chile: Present status and future scenarios', *Energy*. Elsevier Ltd, 162(2018), pp. 659–668. doi: 10.1016/j.energy.2018.08.051.

Republic of Cyprus (2020) 'Cyprus' Integrated national energy and climate plan for the period 2021-2030', (January 2020), pp. 1–302. Available at: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en.

Rodríguez-Martínez, A. *et al.* (2018) 'Consequences of the national energy strategy in the Mexican energy system: Analyzing strategic indicators with an optimization energy model', *Energies*, 11(10). doi: 10.3390/en11102837.

Roelfsema, M. *et al.* (2014) 'Are major economies on track to achieve their pledges for 2020? An assessment of domestic climate and energy policies', *Energy Policy*. Elsevier, 67(2014), pp. 781–796. doi: 10.1016/j.enpol.2013.11.055.

Rösch, C. *et al.* (2018) 'Sustainability assessment of the German energy transition', *Energy, Sustainability and Society*. Energy, Sustainability and Society, 8(1). doi: 10.1186/s13705-018-0153-4.

Roy, N. K. and Das, A. (2018) *Prospects of Renewable Energy Sources*. Renewable. Edited by M. R. I. et Al. Springer Nature Singapore Pte Ltd. doi: 10.1007/978-981-10-7287-1_1.

Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

Sáfián, F. (2014) 'Modelling the Hungarian energy system - The first step towards sustainable energy planning', *Energy*, 69, pp. 58–66. doi: 10.1016/j.energy.2014.02.067.

Santika, W. G. *et al.* (2020) 'An assessment of energy policy impacts on achieving

- Sustainable Development Goal 7 in Indonesia', *Energy for Sustainable Development*. International Energy Initiative, 59, pp. 33–48. doi: 10.1016/j.esd.2020.08.011.
- Sarangi, G. K. *et al.* (2019) 'Indian electricity sector, energy security and sustainability: An empirical assessment', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 135(May), p. 110964. doi: 10.1016/j.enpol.2019.110964.
- Saraswat, S. K. and Digalwar, A. K. (2021) 'Evaluation of energy alternatives for sustainable development of energy sector in India: An integrated Shannon's entropy fuzzy multi-criteria decision approach', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 171, pp. 58–74. doi: 10.1016/j.renene.2021.02.068.
- Sarker, P. C. *et al.* (2018) 'Solar Photovoltaic Power Plants: Necessity and Techno-Economical Development', (January), pp. 41–69. doi: 10.1007/978-981-10-7287-1_2.
- Schlör, H., Fischer, W. and Hake, J. F. (2013) 'Methods of measuring sustainable development of the German energy sector', *Applied Energy*. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.010.
- Seljom, P. and Rosenberg, E. (2011) 'A study of oil and natural gas resources and production', *International Journal of Energy Sector Management*, 5(1), pp. 101–124. doi: 10.1108/17506221111120929.
- Sgouridis, S. *et al.* (2013) 'A sustainable energy transition strategy for the United Arab Emirates: Evaluation of options using an Integrated Energy Model', *Energy Strategy Reviews*. Elsevier Ltd, 2(1), pp. 8–18. doi: 10.1016/j.esr.2013.03.002.
- Shah, K. U. and Niles, K. (2016) 'Energy policy in the Caribbean green economy context and the Institutional Analysis and Design (IAD) framework as a proposed tool for its development', *Energy Policy*. Elsevier, 98, pp. 768–777. doi: 10.1016/j.enpol.2016.07.045.
- Shaikh, F., Ji, Q. and Fan, Y. (2017) 'An ecological network analysis of the structure, development and sustainability of China's natural gas supply system security', *Ecological Indicators*. Elsevier Ltd, 73(2017), pp. 235–246. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.09.051.
- Sharifi, A. and Murayama, A. (2013) 'A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools', *Environmental Impact Assessment Review*, 38, pp. 73–87. doi: 10.1016/j.eiar.2012.06.006.
- Sheinbaum-Pardo, C., Ruiz-Mendoza, B. J. and Rodríguez-Padilla, V. (2012) 'Mexican energy policy and sustainability indicators', *Energy Policy*, 46, pp. 278–283. doi:

10.1016/j.enpol.2012.03.060.

Shinwari, R. *et al.* (2022) ‘What drives investment in renewable energy resources? Evaluating the role of natural resources volatility and economic performance for China’, *Resources Policy*, 77(December 2021), p. 102712. doi: 10.1016/j.resourpol.2022.102712.

Shortall, R. and Davidsdottir, B. (2017) ‘How to measure national energy sustainability performance: An Icelandic case-study’, *Energy for Sustainable Development*. International Energy Initiative, 39, pp. 29–47. doi: 10.1016/j.esd.2017.03.005.

Silva, L. and Sareen, S. (2021) ‘Solar photovoltaic energy infrastructures, land use and sociocultural context in Portugal’, *Local Environment*, 26(3), pp. 347–363. doi: 10.1080/13549839.2020.1837091.

Simeon, M. *et al.* (2018) ‘Renewable Energy Integration Enhancement Using Energy Storage Technologies’, *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018*, (June), pp. 864–868. doi: 10.1109/PowerAfrica.2018.8521075.

Skipka, K. J. and Theodore, L. (2014) *Energy resources: Availability, management, and environmental impacts, Energy Resources: Availability, Management, and Environmental Impacts*. Boca Raton: Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/b16782.

Smil, V. (2012) *Energy: A beginner’s Guide*. London: Oneworld.

Smits, C. C. A., van Leeuwen, J. and van Tatenhove, J. P. M. (2017) ‘Oil and gas development in Greenland: A social license to operate, trust and legitimacy in environmental governance’, *Resources Policy*. Elsevier Ltd, 53(June), pp. 109–116. doi: 10.1016/j.resourpol.2017.06.004.

Solarin, S. A., Gil-Alana, L. A. and Lafuente, C. (2020) ‘An investigation of long range reliance on shale oil and shale gas production in the U.S. market’, *Energy*. doi: 10.1016/j.energy.2020.116933.

Song, J., Sun, Y. and Jin, L. (2017) ‘PESTEL analysis of the development of the waste-to-energy incineration industry in China’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.066.

Sorensen, B. (2011) *Renewable Energy Physics, Engineering, Environmental Impacts, Economics & Planning*. 4th edn. Oxford: Academic Press.

Sorgho, R. *et al.* (2020) ‘Climate Change Policies in 16 West African Countries A Systematic Review of Adaptation with a Focus on Agriculture Food Security and Nutrition

International Journal of Environmental Research and Public Health’.

Sovacool, B. K. *et al.* (2021) ‘Decarbonizing the food and beverages industry: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 143(March), p. 110856. doi: 10.1016/j.rser.2021.110856.

Spalding-Fecher, R. (2003) ‘Indicators of sustainability for the energy sector: a South African case study’, *Energy for Sustainable Development*, 7(1), pp. 35–49.

Speight, J. G. (2015) *Handbook of Offshore Oil and Gas Operations*. doi: 10.1016/B978-1-85617-558-6/00001-5.

Srdjevic, Z., Bajcetic, R. and Srdjevic, B. (2012) ‘Identifying the Criteria Set for Multicriteria Decision Making Based on SWOT/PESTLE Analysis: A Case Study of Reconstructing A Water Intake Structure’, *Water Resources Management*. doi: 10.1007/s11269-012-0077-2.

Stagl, S. (2006) ‘Multicriteria evaluation and public participation: The case of UK energy policy’, *Land Use Policy*, 23(1), pp. 53–62. doi: 10.1016/j.landusepol.2004.08.007.

Stamford, L. and Azapagic, A. (2012) ‘Life cycle sustainability assessment of electricity options for the UK’, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH*, 36, pp. 1263–1290. doi: 10.1002/er.2962.

Stout, S. A. *et al.* (2017) ‘Assessing the footprint and volume of oil deposited in deep-sea sediments following the Deepwater Horizon oil spill’, *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 114(1), pp. 327–342. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.09.046.

Streimikiene, D. (2020) ‘Ranking of baltic states on progress towards the main energy security goals of european energy union strategy’, *Journal of International Studies*, 13(4), pp. 24–37. doi: 10.14254/2071-8330.2020/13-4/2.

Takatsuka, H., Zeng, D. Z. and Zhao, L. (2015) ‘Resource-based cities and the Dutch disease’, *Resource and Energy Economics*. Elsevier B.V., 40, pp. 57–84. doi: 10.1016/j.reseneeco.2015.01.003.

Takeshita, T. *et al.* (2014) ‘Life cycle analysis of world electricity in the 21st century using the world energy LCA model’, *International Journal of Global Energy Issues*, 11(1–4). Available at: <https://www.inderscienceonline.com/doi/pdf/10.1504/IJGEI.1998.000818>.

Taliotis, C., Rogner, H., *et al.* (2017) ‘Natural gas in Cyprus: The need for consolidated

- planning’, *Energy Policy*, 107(May 2017), pp. 197–209. doi: 10.1016/j.enpol.2017.04.047.
- Taliotis, C., Taibi, E., *et al.* (2017) ‘Renewable energy technology integration for the island of Cyprus: A cost-optimization approach’, *Energy*, 137, pp. 31–41. doi: 10.1016/j.energy.2017.07.015.
- Taliotis, C. *et al.* (2020) ‘Estimating the economy-wide impacts of energy policies in Cyprus’, *Energy Strategy Reviews*. Elsevier Ltd, 29, p. 100495. doi: 10.1016/j.esr.2020.100495.
- Team FME (2013) ‘PESTLE Analysis. Strategy Skills’, *Www.Free-Management-Ebooks.Com*, pp. 1–26. Available at: <https://free-management-ebooks.com/>.
- Thorp, H. H. (2022) ‘To solve climate, first achieve peace’, *Science*, 376(6588), p. 7. doi: 10.1126/science.abq2761.
- Thushara, D. S. M., Hornberger, G. M. and Baroud, H. (2019) ‘Decision analysis to support the choice of a future power generation pathway for Sri Lanka’, *Applied Energy*, 240(January), pp. 680–697. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.02.074.
- Tokimatsu, K. *et al.* (2006) ‘Evaluation of lifecycle CO₂ emissions from the Japanese electric power sector in the 21st century under various nuclear scenarios’, *Energy Policy*, 34(7), pp. 833–852. doi: 10.1016/j.enpol.2004.08.011.
- Toledo, D. *et al.* (2021) ‘Mexican power system to 2050: Sustainability assessment with an energy model’, *Chemical Engineering Transactions*, 86(April), pp. 481–486. doi: 10.3303/CET2186081.
- Tollefson, J. (2022) ‘What the war in Ukraine means for energy, climate and food’, *Nature*, 604, pp. 232–233.
- Trimikliniotis, N. (2018) ‘The national question, partition and geopolitics in the 21st century: the Cyprus problem, the social question and the politics of reconciliation’, *Global Discourse*. Routledge, 8(2), pp. 303–320. doi: 10.1080/23269995.2018.1461440.
- Tsai, W. T. (2010) ‘Energy sustainability from analysis of sustainable development indicators: A case study in Taiwan’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), pp. 2131–2138. doi: 10.1016/j.rser.2010.03.027.
- Tsangas, M. *et al.* (2018) ‘Cyprus energy resources and their potential to increase sustainability’, in *2018 9th International Renewable Energy Congress, IREC 2018*, pp. 1–7. doi: 10.1109/IREC.2018.8362480.

- Tsangas, M. *et al.* (2019) ‘The application of analytical hierarchy process in combination with Pestel-SWOT analysis to assess the hydrocarbons sector in Cyprus’, *Energies*. doi: 10.3390/en12050791.
- Tsangas, M. *et al.* (2020) ‘Life Cycle Analysis in the Framework of Agricultural Strategic Development Planning in the Balkan Region’, *Sustainability*, 12(5), p. 1813. doi: 10.3390/su12051813.
- Turconi, R. *et al.* (2014) ‘Environmental impacts of future low-carbon electricity systems: Detailed life cycle assessment of a Danish case study’, *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 132(x), pp. 66–73. doi: 10.1016/j.apenergy.2014.06.078.
- Tutak, M. *et al.* (2020) ‘Studying the Level of Sustainable Energy Development of the European Union Countries and Their Similarity Based on the Economic and Demographic Potential’, *Energies*, 13. doi: doi:10.3390/en13246643.
- Uddin, N. S. and Taplin, R. (2008) ‘Toward Sustainable Energy Development in Bangladesh’, *The Journal of Environment & Development*, 17(3), pp. 292–315. doi: 10.1007/978-981-4560-99-3_4.
- Ul-Haq, A. *et al.* (2020) ‘Energy Scenario in South Asia: Analytical Assessment and Policy Implications’, *IEEE Access*, 8, pp. 156190–156207. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3019648.
- UN Climate Change Conference (2021) *COP26. The Glasgow Climate Pact*.
- UNEP (2009) “‘Global green new deal: Policy brief’”, *United Nations Environment Programme*, 19(2), pp. 185–193.
- United Nations (no date a) *Energy*. Available at: <https://sdgs.un.org/topics/energy> (Accessed: 19 March 2022).
- United Nations (no date b) *Support Sustainable Development and Climate Action*. Available at: <https://www.un.org/en/our-work/support-sustainable-development-and-climate-action> (Accessed: 17 June 2021).
- United Nations (no date c) *THE 17 GOALS*. Available at: <https://sdgs.un.org/goals> (Accessed: 17 June 2021).
- United Nations (no date d) *UNITED NATIONS, About Us*. Available at: <https://www.un.org/en/about-us/> (Accessed: 17 June 2021).
- United Nations, environment programme (2021) *Making Peace with Nature, Making Peace*

with Nature. doi: 10.18356/9789280738377.

United Nations Department of Economic and Social Affairs (no date) *Goal 7*. Available at: <https://sdgs.un.org/goals/goal7> (Accessed: 19 March 2022).

Vahl, F. P. and Filho, N. C. (2015) 'Energy transition and path creation for natural gas in the Brazilian electricity mix', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 86, pp. 221–229. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.08.033.

Vazhayil, J. P. and Balasubramanian, R. (2012) 'Hierarchical multi-objective optimization of India's energy strategy portfolios for sustainable development', *International Journal of Energy Sector Management*, 6(3), pp. 301–320. doi: 10.1108/17506221211259691.

Verma, S. K. *et al.* (2022) 'Hygrothermal dynamics for developing energy-efficient buildings: Building materials and ventilation system considerations', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 260, p. 111932. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.111932.

Viswanathan, B. (2016) *Energy Sources Fundamentals of Chemical Conversion Processes and Applications Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*. Oxford: Elsevier B.V.

Vogler, S. and Thompson, E. V (2015) 'Gas Discoveries in the Eastern Mediterranean: Implications for Regional Maritime Security', (March), pp. 1–9.

Volkart, K. *et al.* (2017) 'Multi-criteria decision analysis of energy system transformation pathways: A case study for Switzerland', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 106(March), pp. 155–168. doi: 10.1016/j.enpol.2017.03.026.

Voukkali, I. and Zorpas, A. A. (2022) 'Evaluation of urban metabolism assessment methods through SWOT analysis and analytical hierocracy process', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 807, p. 150700. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150700.

WCED (1987) 'The Brundtland Report: "Our Common Future"'. doi: 10.1080/07488008808408783.

Wen, Y. *et al.* (2020) 'Quantitative analysis of China's Low-Carbon energy transition', *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. Elsevier, 119(March), p. 105854. doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105854.

Woodward, D. G. (1997) 'Life cycle costing - Theory, information acquisition and application', *International Journal of Project Management*, 15(6), pp. 335–344. doi: 10.1016/S0263-7863(96)00089-0.

- Wu, M. *et al.* (2022) ‘Carbon Emission Trading Scheme in the shipping sector: Drivers, challenges, and impacts’, *Marine Policy*. Elsevier Ltd, 138(January 2022), p. 104989. doi: 10.1016/j.marpol.2022.104989.
- Xie, H., Wen, J. and Choi, Y. (2021) ‘How the SDGs are implemented in China—A comparative study based on the perspective of policy instruments’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 291, p. 125937. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.125937.
- Yahyaoui, H., Dahmani, N. and Krichen, S. (2021) ‘Sustainable maritime crude oil transportation: a split pickup and split delivery problem with time windows’, *Procedia Computer Science*. Elsevier B.V., 192, pp. 4300–4309. doi: 10.1016/j.procs.2021.09.206.
- Yen, C. H. *et al.* (2008) ‘Energy indicators for sustainable development in Malaysia’, *European Journal of Social Sciences*, 6(2), pp. 213–231.
- Yu, H. H. *et al.* (2019) ‘A Monte Carlo simulation-based decision support system for reliability analysis of Taiwan’s power system: Framework and empirical study’, *Energy*. Elsevier Ltd, 178, pp. 252–262. doi: 10.1016/j.energy.2019.04.158.
- Yuan, M. *et al.* (2021) ‘The electrification of transportation in energy transition’, *Energy*, 236. doi: 10.1016/j.energy.2021.121564.
- Zachariadis, T. and Taibi, E. (2015) ‘Exploring drivers of energy demand in Cyprus - Scenarios and policy options’, *Energy Policy*, 86, pp. 166–175. doi: 10.1016/j.enpol.2015.07.003.
- Zeng, J., Tong, W. and Tang, T. (2020) ‘How do energy policies affect industrial green development in China: Renewable energy, energy conservation, or industrial upgrading?’, *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*. Elsevier Ltd, 18(2), pp. 79–86. doi: 10.1016/j.cjpre.2021.04.020.
- Zhang, S. C. *et al.* (2021) ‘Contribution of nearly-zero energy buildings standards enforcement to achieve carbon neutral in urban area by 2060’, *Advances in Climate Change Research*. Elsevier Ltd, 12(5), pp. 734–743. doi: 10.1016/j.accre.2021.07.004.
- Zhang, Y. and Song, Y. (2021) ‘Environmental regulations, energy and environment efficiency of China’s metal industries: A provincial panel data analysis’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 280, p. 124437. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124437.
- Zhou, Y. (2019) ‘Global Energy Interconnection vision and key technologies’, *Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin*, 64(19), pp. 1985–1994. doi: 10.1360/N972018-00757.

Zorpas, A. A. *et al.* (2017) ‘Evaluation of renewable energy sources (solar, wind, and biogas) established in Cyprus in the framework of sustainable development’, *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(9), pp. 5529–5536.

Zorpas, A. A. (2020) ‘Strategy development in the framework of waste management’, *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 716, p. 137088. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137088.

Zorpas, A. A. and Saranti, A. (2016) ‘Multi-criteria analysis of sustainable environmental clean technologies for the treatment of winery’s wastewater’, *International Journal of Global Environmental Issues*. doi: 10.1504/IJGENVI.2016.074359.

Στατιστική Υπηρεσία (2019) *Δημογραφικές Στατιστικές 2019*. Λευκωσία.

Τμήμα Περιβάλλοντος (2022) *Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου*. Available at: <http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/0/b2900cbe0423f24dc2257ff0003545ea?OpenDocument&ExpandSection=9,8,7.1,3> (Accessed: 21 April 2022).

Υπηρεσία Ενέργειας (no date) *Φυσικό Αέριο*. Available at: <https://energy.gov.cy/secondary-menu/τομείς-πολιτικής/φυσικό-αέριο/> (Accessed: 4 February 2022).

Υπηρεσία Υδρογονανθράκων (2022a) *Αδειοδοτήσεις*. Available at: http://www.meci.gov.cy/meci/hydrocarbon.nsf/page18_gr/page18_gr?OpenDocument (Accessed: 5 February 2022).

Υπηρεσία Υδρογονανθράκων (2022b) *Ερευνητικές Δραστηριότητες*. Available at: http://www.meci.gov.cy/meci/hydrocarbon.nsf/page17_gr/page17_gr?OpenDocument (Accessed: 4 February 2022).