



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Διεπιστημονική Προσέγγιση της Ανάλυσης μιας Πράσινης
Μετάβασης του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΓΓΕΛΟΣ Κ. ΜΠΟΜΠΟΤΑΣ

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διεπιστημονική Προσέγγιση της Ανάλυσης μιας Πράσινης Μετάβασης του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΓΓΕΛΟΣ Κ. ΜΠΟΜΠΟΤΑΣ

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12^η Ιουλίου 2019

.....
Χ. Δούκας
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2019

.....

ΜΠΟΜΠΟΤΑΣ Κ. ΑΓΓΕΛΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Άγγελος Κ. Μπομποτάς, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων, της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Χάρη Δούκα, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την παρούσα διπλωματική εργασία, δίνοντάς μου, έτσι, την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και σύγχρονο θέμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Αλέξανδρο Νίκα, για την ουσιαστική υποστήριξη και διαρκή παρακολούθηση, παρέχοντάς μου πολύτιμες υποδείξεις, συμβουλές και παρατηρήσεις καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας. Η προθυμία του να με βοηθήσει μέσω της εμπειρίας και των γνώσεων του στάθηκε καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας. Εξίσου θερμές ευχαριστίες οφείλω και στον Υποψήφιο Διδάκτορα Απόστολο Αρσενόπουλο, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την κατασκευή του ασαφή γνωστικού χάρτη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και συνεχή υποστήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η μετάβαση σε μια κοινωνία χαμηλών εκπομπών άνθρακα αποτελεί επιτακτική ανάγκη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτή η μετάβαση είναι η αναδιάρθρωση του ενεργειακού συστήματος. Ωστόσο, μια τέτοια μετάβαση εσωκλείει αρκετές αβεβαιότητες και κινδύνους τόσο αναφορικά με τη δυνατότητα υλοποίησης όσο και αναφορικά με τις αρνητικές επιπτώσεις που μπορούν να εμφανιστούν σε οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο. Αναγνωρίζοντας την σημασία των ρίσκων αυτών και επικεντρωμένη στα γεωγραφικά πλαίσια της Ελλάδος, η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των σημαντικότερων κινδύνων που λειτουργούν ως εμπόδια για την επιτυχή μετάβαση του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος σε χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα. Επίσης, επιχειρεί να εκτιμήσει και να αξιολογήσει τις πιθανές συνέπειες που θα υποστεί η Ελλάδα σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο.

Για τον σκοπό αυτό, η μεθοδολογία που ακολουθείται βασίζεται στην διαμόρφωση ενός Ασαφούς Γνωστικού Χάρτη, μέσω του οποίου εκμαιεύονται οι γνώσεις από δεκατέσσερις εμπλεκόμενους φορείς και δύο ποσοτικά μοντέλα: (i) ένα μακροοικονομικό δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας, το MEMO, και (ii) ένα μοντέλο ανάλυσης της επιχειρηματικής στρατηγικής, το BSAM, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η έκταση των πιθανών αρνητικών συνεπειών.

Αρχικά, για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα της μεθοδολογίας που ακολουθείται, αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο των μοντέλων και των εργαλείων που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα, αναλύεται η θεωρία των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών και ο τρόπος προσομοίωσή τους. Επίσης, περιγράφεται η δομή των μοντέλων MEMO και BSAM. Τέλος, γίνεται αναφορά στην διεπιστημονική προσέγγιση που ακολουθήθηκε και στην σημασία και τους λόγους για τους οποίους ενσωματώνονται διαφορετικά εργαλεία.

Στην συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο σχηματίστηκε ο χάρτης από τους εμπλεκόμενους φορείς. Αρχικά, προσδιορίζεται το σύνολο των εννοιών/κόμβων που εμπεριέχουν τις κατάλληλες πολιτικές, τα ρίσκα και τις ενδιάμεσες καταστάσεις και διαμορφώνονται οι αιτιακές σχέσεις και ο πίνακας βαρών. Μετέπειτα, με την βοήθεια κατάλληλων σεναρίων δίνονται τιμές στα εμπόδια και στις πολιτικές και προσομοιώνεται ο ΑΓΧ. Κατόπιν ολοκλήρωσης των απαραίτητων προσομοιώσεων πραγματοποιούνται κατάλληλες συγκρίσεις μεταξύ τους ούτως ώστε να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα. Τα αποτελέσματα αυτά ποσοτικοποιούνται σε παραμέτρους και διαμορφώνονται σενάρια, τα οποία εισάγονται στα μοντέλα BSAM και MEMO, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά της μοντελοποίησης. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης και τονίζονται ορισμένες αδυναμίες, βάσει των οποίων προτείνονται προοπτικές για περαιτέρω έρευνα και ανάλυση.

Λέξεις-κλειδιά: Ελλάδα, ενεργειακή μετάβαση, ηλιακή ενέργεια, χαμηλές εκπομπές άνθρακα, Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες, MEMO, BSAM

Abstract

The transition to a low-carbon society constitutes a major necessity for the confrontation of the climate change. One way for this transition to be achieved is by restructuring the energy system. Nevertheless, such a transition encloses several uncertainties and risks both during the implementation as well as consequences that can be induced at a financial and societal level. Understanding the importance of these risks for the success of such venture and focused on the national context of Greece, the current thesis discusses the identification and assessment of the most critical risks that may impede a successful green transition of the Greek energy system. In addition, this research attempts to assess and evaluate the possible negative consequences that Greece may suffer as a result of this transition.

For this purpose, the employed methodological approach is based on Fuzzy Cognitive Mapping, so that the knowledge of fourteen stakeholders can be elicited, and two quantitative models for the evaluation of the extent of the potential consequential risks: (i) MEMO, a macroeconomic dynamic stochastic general equilibrium model, and (ii) BSAM, a business strategy assessment model.

Initially, to support the adequacy of the methods used, the theoretical background of the models is discussed. In particular, the fuzzy cognitive mapping theory is analysed. In addition, the structure of the MEMO and BSAM models is described in detail. Finally, the importance of the adopted transdisciplinary approach is highlighted.

Then, the stakeholder engagement process and the formulation of the fuzzy cognitive map is presented. The concepts/nodes of the map are specified, including the appropriate policies, risks and intermediate situations, and the causal relationships and the weighted matrix are formulated. Then, by drawing socioeconomic scenarios and policy mixes based on the identified most critical barriers and policy measures, the propagation of causality within the FCM is simulated. Valuable conclusions are obtained, regarding the impacts of the barriers and policies from the stakeholders' perspective, by comparing the simulations. These findings are finally quantified into parameters and modelling scenarios are formed, so that they can be used to feed the BSAM and MEMO modelling analysis and their quantitative results are presented. Eventually, the conclusions and findings of the study are summarised, while weaknesses future prospects are highlighted.

Keywords: Greece, energy transition, solar power, low carbon emissions, Fuzzy Cognitive Maps, MEMO, BSAM

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Σκοπός της διπλωματικής	1
1.2	Δομή της διπλωματικής	2
2	Μέθοδοι και εργαλεία	5
2.1	Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες	5
2.1.1	Γνωστική χαρτογράφηση	5
2.1.2	Προσθήκη ασάφειας και κατασκευή ασαφών γνωστικών χαρτών.....	6
2.1.3	Δημιουργία και προσομοίωση ασαφών γνωστικών χαρτών.....	9
2.1.3.1	Σχεδίαση μοντέλου.....	9
2.1.3.2	Κατασκευή του πίνακα βαρών	11
2.1.3.3	Συναρτήσεις ενεργοποίησης.....	12
2.1.3.4	Συναρτήσεις κατωφλίου	14
2.1.3.5	Προγραμματιστικά εργαλεία προσομοίωσης ασαφών γνωστικών χαρτών .	14
2.2	Υπολογιστικά Μακροοικονομικά Μοντέλα	17
2.2.1	Εισαγωγή στα Υπολογιστικά Μοντέλα Γενικής Ισορροπίας	17
2.2.2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	21
2.2.3	Το μοντέλο MEMO	25
2.2.3.1	Κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου MEMO.	25
2.2.3.2	Δομή του μοντέλου.....	26
2.3	Το μοντέλο BSAM.....	37
2.4	Διεπιστημονική προσέγγιση	42
3	Προσδιορισμός ρίσκων με την συνεισφορά φορέων.....	49
3.1	Εισαγωγή	49
3.2	Προσδιορισμός του συνόλου των ενδιαφερόμενων φορέων	50
3.3	Σχεδίαση Γνωστικού Χάρτη	51
3.3.1	Οικονομικό περιβάλλον.....	52
3.3.2	Τεχνολογική εξέλιξη	53
3.3.3	Πολιτικό και ρυθμιστικό περιβάλλον.....	54
3.3.4	Σχεδίαση τελικού μοντέλου γνωστικού χάρτη	56

3.4	Εισαγωγή βαρών στις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος.....	61
3.5	Ποσοτικοποίηση των κόμβων κινδύνου	70
3.5.1	Σενάριο 1: «Βιωσιμότητα».....	70
3.5.2	Σενάριο 2: «Στα μέσα του δρόμου»	71
3.5.3	Σενάριο 3: «Τοπική αντιπαλότητα»	71
3.5.4	Σενάριο 4: «Ανισότητες».....	72
3.5.5	Σενάριο 5: «Ανάπτυξη των ορυκτών καυσίμων».....	73
3.6	Επιλογή παραμέτρων διαμόρφωσης	74
3.7	Εκτέλεση της προσομοίωσης.....	75
3.8	Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	75
4	Διαμόρφωση σεναρίων για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων.....	81
4.1	Διαμόρφωση σεναρίων	81
4.2	Μοντελοποίηση των υποθέσεων και των παραμέτρων.	85
4.2.1	Η προβλεπόμενη ανάπτυξη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.....	85
4.2.2	Εγκατάσταση νέων ΑΠΕ.....	86
4.2.3	Κόστη των ΑΠΕ	87
5	Αποτελέσματα ποσοτικής μοντελοποίησης.....	89
5.1	Οικονομικά ρίσκα	90
5.2	Κοινωνικά ρίσκα.....	104
6	Συμπεράσματα & Προοπτικές.....	109
6.1	Συμπεράσματα	109
6.2	Προοπτικές.....	111
7	Βιβλιογραφία.....	113
	Παράρτημα: Πίνακες προσομοίωσης του ασαφούς γνωστικού χάρτη	121
	Σενάριο 1 «Βιωσιμότητα».....	121
	Σενάριο 2: «Στα μέσα του δρόμου»	126
	Σενάριο 3: «Τοπική αντιπαλότητα»	131
	Σενάριο 4: «Ανισότητες».....	137
	Σενάριο 5: «Ανάπτυξη των ορυκτών καυσίμων».....	142

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1 Πίνακας γειτνίασης του γνωστικού χάρτη της εικόνας 2.1.....	6
Πίνακας 2.2 Πίνακας γειτνίασης του ΑΓΧ της εικόνας 2.2.....	8
Πίνακας 2.3 Επισκόπηση των Υπολογιστικών Μοντέλων Γενικής Ισορροπίας (CGE).	19
Πίνακας 2.4 Τεχνολογικές αλλαγές και μεταχείριση της αβεβαιότητας στα CGE μοντέλα. ..	20
Πίνακας 3.1 Πίνακας πολιτικών που καθόρισαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.....	52
Πίνακας 3.2 Πίνακας εμποδίων που καθόρισαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.....	56
Πίνακας 3.3 Πίνακας επακόλουθων ρίσκων που καθόρισαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.	56
Πίνακας 3.4 Σύνολο εννοιών του ΑΓΧ όπως προέκυψε από τους φορείς.....	59
Πίνακας 3.5 Πίνακας γειτνίασης.....	60
Πίνακας 3.6 Γλωσσικοί όροι που χρησιμοποιούν οι ειδικοί.....	61
Πίνακας 3.7 Αντιστοιχία γλωσσικών όρων με αριθμητικές τιμές από το διάστημα [-1, 1]....	62
Πίνακας 3.8 Πίνακας βαρών.....	64
Πίνακας 3.9 Συνέχεια πίνακα βαρών.....	65
Πίνακας 3.10 Τιμές για τα αναγνωρισμένα εμπόδια σε κάθε σενάριο.....	73
Πίνακας 4.1 Πίνακας των εννέα σεναρίων που αναπτύχθηκαν για την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών και του μεριδίου της αγοράς των μικρής κλίμακας συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, για το μοντέλο BSAM.....	82
Πίνακας 4.2 Σενάρια για την εκτίμηση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τα τεχνολογικά κόστη, για το μοντέλο MEMO.....	85
Πίνακας 4.3 Οι υποθέσεις για την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών και των αιολικών πάρκων την περίοδο 2020-2050 για το μοντέλο MEMO.....	87
Πίνακας 4.4 Τα λειτουργικά κόστη και τα κόστη συντήρησης ως ποσοστά του αρχικού κεφαλαίου που επενδύεται για τα αιολικά συστήματα στην Ελλάδα.....	88
Πίνακας 4.5 Η δομή των τεχνολογιών παραγωγής (ενεργειακό μείγμα) για το βασικό σενάριο στο μοντέλο MEMO.....	88
Πίνακας Π. 1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής Ρ1.....	121
Πίνακας Π. 2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής Ρ2.....	122
Πίνακας Π. 3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής Ρ3.....	123
Πίνακας Π. 4 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής Ρ4.....	124
Πίνακας Π. 5 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και μη πολιτικής.....	125
Πίνακας Π. 6 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής Ρ1.....	126
Πίνακας Π. 7 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής Ρ2.....	127
Πίνακας Π. 8 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής Ρ3.....	128
Πίνακας Π. 9 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής Ρ4.....	129
Πίνακας Π. 10 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και μη πολιτικής.....	130

Πίνακας Π. 11 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής P1.....	131
Πίνακας Π. 12 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής P2.....	132
Πίνακας Π. 13 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής P3.....	134
Πίνακας Π. 14 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής P4.....	135
Πίνακας Π. 15 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και μη πολιτικής.....	136
Πίνακας Π. 16 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P1.....	137
Πίνακας Π. 17 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P2.....	138
Πίνακας Π. 18 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P3.....	139
Πίνακας Π. 19 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P4.....	140
Πίνακας Π. 20 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και μη πολιτικής.....	141
Πίνακας Π. 21 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P1.....	142
Πίνακας Π. 22 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P2.....	143
Πίνακας Π. 23 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P3.....	144
Πίνακας Π. 24 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P4.....	145
Πίνακας Π. 25 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και μη πολιτικής.....	146

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1 Παράδειγμα γνωστικού χάρτη.	5
Εικόνα 2.2 Παράδειγμα ΑΓΧ.	7
Εικόνα 2.3 Δομή μοντέλου MEMO.	27
Εικόνα 2.4 Παραγωγική διαδικασία των προϊόντων.	30
Εικόνα 2.5 Διεπιστημονικό πλαίσιο της εργασίας.	48
Εικόνα 3.1 Διαμόρφωση του συνόλου εννοιών κλειδιών για τον ΑΓΧ από τους φορείς.	57
Εικόνα 3.2 Διαδικασία παραγωγής πίνακα γειτνίασης και πίνακα βαρών από τους φορείς. ..	63
Εικόνα 3.3 Αναπαράσταση του ΑΓΧ που παρήγαγαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.	66
Εικόνα 3.4 Διάγραμμα με τις τιμές των εμποδίων για τα εκάστοτε σενάρια.	74
Εικόνα 3.5 Τα αποτελέσματα του ΑΓΧ για τις επιπτώσεις των πολιτικών P1-P4 στα ρίσκα C1-C5 σε σύγκριση με την μη εφαρμογή κάποιας πολιτικής.	78
Εικόνα 4.1 Η μηνιαία εξέλιξη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας της ηπειρωτικής Ελλάδας από το 2008 μέχρι τα μέσα του 2016. Η κάθετες διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στον μήνα Ιανουάριο του εκάστοτε χρόνου.	86
Εικόνα 5.1 Η εκτιμώμενη, από το μοντέλο BSAM, επίδραση της αποθήκευσης ενέργειας στις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας για 5% μερίδιο στην αγορά από την αποθήκευση (Σ01, Σ11, Σ21).	90
Εικόνα 5.2 Η εκτιμώμενη, από το μοντέλο BSAM, επίδραση της αποθήκευσης ενέργειας στις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας για 10% μερίδιο στην αγορά από την αποθήκευση (Σ02, Σ12, Σ22).	91
Εικόνα 5.3 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ΑΕΠ.	102
Εικόνα 5.4 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στις επενδύσεις.	103
Εικόνα 5.5 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ποσοστό δραστηριότητας.	105
Εικόνα 5.6 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ποσοστό ανεργίας.	106

1 *Εισαγωγή*

1.1 Σκοπός της διπλωματικής

Οι περιβαλλοντικοί και κλιματικοί στόχοι που έχουν τεθεί παγκοσμίως, θέτουν ως επιτακτική ανάγκη την μείωση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα και την μετάβαση σε μια κοινωνία χαμηλού άνθρακα. Η μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα αποτελεί μια λύση που μπορεί να οδηγήσει στην επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων. Μέσω της διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας αλλά και της μείωσης της ζήτησης ενέργειας μια τέτοια μετάβαση μπορεί να καταστεί δυνατή (Johnson et al., 2015). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα διάφορα ρίσκα και στις αρνητικές συνέπειες που υπεισέρχονται σε τέτοιου είδους μεταβάσεις και μπορεί να οφείλονται σε σημαντικό βαθμό στο εκάστοτε εθνικό πλαίσιο μέσα στο οποίο εξετάζονται.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με το ελληνικό ενεργειακό σύστημα αποκλειστικά. Συγκεκριμένα, αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η αναγνώριση και η εκτίμηση της επιρροή των ρίσκων υλοποίησης των πολιτικών, που μπορεί να εμποδίσουν μια επιτυχή μετάβαση χαμηλών εκπομπών άνθρακα στο ελληνικό σύστημα. Επίσης, σκοπός της είναι η εκτίμηση των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων που θα έχει μια τέτοια μετάβαση σε διάφορους τομείς. Η κύρια λογική της εργασίας είναι ότι τα οφέλη από την περαιτέρω διείσδυση της ηλιακής ενέργειας θα υπερβούν τα αντίστοιχα κόστη. Ωστόσο, κάτι τέτοιο μπορεί να αποδειχθεί εσφαλμένο οπότε χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση έτσι ώστε να διασφαλιστεί η επιτυχία ενός τέτοιου μονοπατιού.

Με γνώμονα την όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη και πλήρη εικόνα για τα στάδια και τις επιπτώσεις μιας τέτοιας μετάβασης και για να εξαχθούν ασφαλέστερα αποτελέσματα, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα εργαλεία ούτως ώστε να εκτιμηθούν κατάλληλα τα ρίσκα που συνδέονται με την χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την μείωση των εκπομπών

άνθρακα στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Αρχικά, στοχεύοντας στην ενσωμάτωση της γνώσης και της εμπειρίας των ελληνικών φορέων, η διαμόρφωση των ρίσκων και των συνεπειών που έχουν πολιτικές που αποσκοπούν στην προώθηση της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα, έγινε με την χρήση ασαφών γνωστικών χαρτών (ΑΓΧ). Εν συνεχεία, έχοντας τα αποτελέσματα από την προηγούμενη ανάλυση, εντοπίστηκαν, μέσα σε αβέβαιες παραμέτρους, τα κρισιμότερα ρίσκα και διαμορφώθηκαν αντίστοιχα σενάρια. Βάση αυτών των παραμέτρων και σεναρίων, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο αξιολόγησης επιχειρηματικής στρατηγικής (BSAM), που περιλαμβάνει ένα μοντέλο ηλεκτρικής αγοράς και ένα μοντέλο συστημάτων πρακτόρων, έτσι ώστε να προσομοιώσει την προσφορά ενέργειας και τις επενδυτικές αποφάσεις από τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως επίσης και ένα δυναμικό στοχαστικό γενικής ισορροπίας μοντέλο (DSGE). Τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας παρουσιάζουν τις επιδράσεις των κινδύνων υλοποίησης, όπως επίσης, και τις πιθανές θετικές ή αρνητικές συνέπειες από την εξάπλωση της ηλιακής ενέργειας.

1.2 Δομή της διπλωματικής

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα και τους σκοπούς που θέτει η έρευνά, εισάγοντας το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί. Ακόμα, γίνεται αναφορά στον τρόπο διάρθρωσης της διπλωματικής και περιγράφονται συνοπτικά τα κεφάλαια από τα οποία αποτελείται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, θέτεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται η έρευνα και αναλύονται με σαφήνεια οι μέθοδοι και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν στην πορεία. Αρχικά, γίνεται εισαγωγή στην έννοια των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (ΑΓΧ), προσδιορίζοντας αρχικά την δομή των Γνωστικών Χαρτών και εισάγοντας σε αυτούς την έννοια της ασάφειας. Στην συνέχεια, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η δημιουργία και η προσομοίωση του ΑΓΧ, περιγράφοντας τα χαρακτηριστικά τους αλλά και τα σημαντικότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωσή τους. Ολοκληρώνοντας την θεωρία των ΑΓΧ, γίνεται εισαγωγή στα υπολογιστικά μακροοικονομικά μοντέλα. Παρουσιάζονται τα υπολογιστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας (Computable General Equilibrium) ή (CGE) και γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση σε αυτά. Στην συνέχεια, αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά και η δομή του μοντέλου MEMO, το οποίο είναι το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων που θα προκληθούν από την ενεργειακή μετάβαση του Ελληνικού συστήματος. Το τρίτο σκέλος του κεφαλαίου, επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και περιγραφή του ενεργειακού μοντέλου BSAM, το οποίο χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των οικονομικών

επιπτώσεων σε βραχυχρόνιο ορίζοντα. Το δεύτερο κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την επισήμανση της διεπιστημονικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε στην έρευνα που διεξάχθηκε, τόσο ως προς το εύρος των φορέων και ειδικών που εμπλέκονται όσο και στην ποικιλία των μοντέλων που χρησιμοποιούνται.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται ο προσδιορισμός των αβεβαιοτήτων υλοποίησης αλλά και των αρνητικών συνεπειών λόγω της ενεργειακής μετάβασης του Ελληνικού συστήματος, με την βοήθεια των φορέων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται βήμα προς βήμα η δημιουργία και η προσομοίωση του χάρτη ξεκινώντας, αρχικά, από τον προσδιορισμό του συνόλου των φορέων που καλούνται να βοηθήσουν παρέχοντας τις γνώσεις τους στο θέμα αυτό. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται ο χάρτης αναγνωρίζοντας τους κατάλληλους κόμβους και τις αιτιακές σχέσεις από τα οποία αποτελείται. Ακόμα, διαμορφώνεται ο πίνακας βαρών του και επιλέγονται οι κατάλληλες παράμετροι διαμόρφωσης. Για να μπορέσει να εκτελεστεί η προσομοίωση του χάρτη δημιουργούνται κατάλληλα σενάρια έτσι ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι αρχικές έννοιες και στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την προσομοίωση. Τέλος, για να μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα από όλη αυτή την διαδικασία, λόγω του ότι πρόκειται για μια ποιοτική μέθοδο, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε σενάριο και αναλύονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται η διαμόρφωση των σεναρίων και ο προσδιορισμός των παραμέτρων έτσι ώστε να μπορούν να ποσοτικοποιηθούν, τα αναγνωρισμένα από την προηγούμενη ανάλυση εμπόδια υλοποίησης στα μοντέλα BSAM και MEMO έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις που θα έχει μια τέτοια μετάβαση σε διάφορους κοινωνικοοικονομικούς δείκτες για την Ελλάδα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μοντέλων BSAM και MEMO και αναλύονται οι επιπτώσεις που θα έχει η ενεργειακή μετάβαση που μελετάμε από οικονομικής πλευράς τόσο σε βραχυχρόνιο ορίζοντα, παρατηρώντας τις επιπτώσεις από την εισαγωγή μικρής κλίμακας PV μέσω της ιδιοκατανάλωσης σε συνδυασμό με την αποθήκευση ενέργειας στις χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και σε μακροχρόνιο ορίζοντα παρατηρώντας την επίδραση από την ανάπτυξη των ΑΠΕ στο ΑΕΠ της χώρας αλλά και στις επενδύσεις. Επίσης, εξετάζονται οι επιπτώσεις στην κοινωνία παρατηρώντας τα ποσοστά δραστηριότητας και τις επιπτώσεις στην εργασία.

Στο έκτο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την έρευνα σημειώνοντας τα προτερήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Από την άλλη μεριά, τονίζονται ορισμένες αδυναμίες της και σημειώνονται οι προοπτικές για περαιτέρω έρευνα

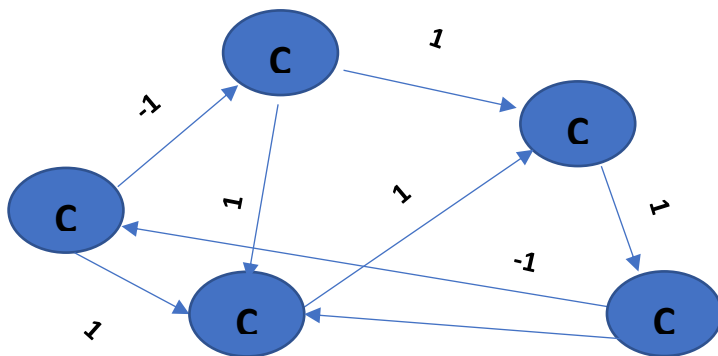
που θα οδηγήσουν στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων αναφορικά με την αναγνώριση των ρίσκων και την επιτυχή μετάβαση του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος.

2 Μέθοδοι και εργαλεία

2.1 Ασαφείς Γνωστικοί Χάρτες

2.1.1 Γνωστική χαρτογράφηση

Ο πολιτικός επιστήμονας Axelrod (1976) εισήγαγε την έννοια των γνωστικών χαρτών για να αναπαραστήσει κοινωνική επιστημονική γνώση. Οι γνωστικοί χάρτες είναι μια ποιοτική τεχνική που σκοπεύει στο να συλλάβει την αντίληψη ενός ατόμου, για ένα συγκεκριμένο θέμα, σε διαγραμματική μορφή (Eden & Ackermann, 1998). Συγκεκριμένα, ο χάρτης εστιάζει στις εκτιμήσεις, απόψεις και υποθέσεις ενός ατόμου για ένα συγκεκριμένο τομέα και αναδεικνύει πως αυτές συσχετίζονται ούτως ώστε να εκμαιευτούν πληροφορίες για το πώς η μεταβολή σε μια έννοια θα επηρεάσει τις υπόλοιπες. Συνοψίζοντας, ένας γνωστικός χάρτης αποτελείται από τους κόμβους που αναπαριστούν ευμετάβλητες έννοιες και τις ακμές οι οποίες αναπαριστούν αιτιώδεις συνδέσεις (Εικόνα 2.1). Μια θετική ακμή από τον κόμβο A στον κόμβο B σημαίνει ότι ο κόμβος A αιτιολογικά αυξάνει τον κόμβο B. Αντίστοιχα, μια αρνητική ακμή από τον κόμβο A στον κόμβο B σημαίνει ότι ο κόμβος A αιτιολογικά μειώνει τον κόμβο B.



Εικόνα 2.1 Παράδειγμα γνωστικού χάρτη.

Κάθε γνωστικός χάρτης διαθέτει και έναν μοναδικό πίνακα γειτνίασης $A = [a_{ij}]$ ο οποίος παρέχει πληροφορίες όσον αφορά την δομή του. Ο πίνακας γειτνίασης είναι ένας τετραγωνικός πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις έννοιες του χάρτη στον οριζόντιο και στον κάθετο άξονα αντίστοιχα. Το στοιχείο του πίνακα a_{ij} , θέτεται, $a_{ij} = 1$ ή $a_{ij} = -1$, όταν υπάρχει μια θετική ή αρνητική αιτιώδης σχέση από την έννοια c_i στην έννοια c_j , σε αντίθετη περίπτωση θέτεται $a_{ij} = 0$. Δηλαδή, όταν $a_{ij} = 1$ η έννοια c_i θεωρείται αίτιο της έννοιας c_j και αντίστοιχα η έννοια c_j αποτέλεσμα της έννοιας c_i . Παρακάτω φαίνεται ο αντίστοιχος πίνακας γειτνίασης του γνωστικού χάρτη στην εικόνα 2.1

Πίνακας 2.1 Πίνακας γειτνίασης του γνωστικού χάρτη της εικόνας 2.1

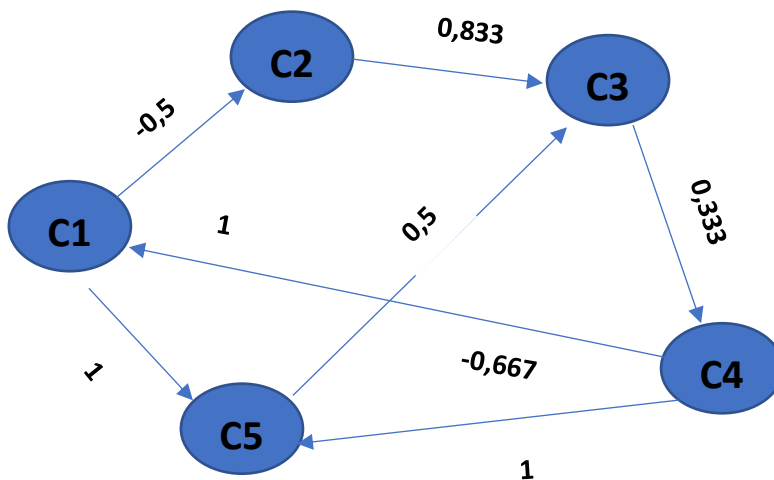
	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0	-1	0	0	1
C2	0	0	1	0	1
C3	0	0	0	1	0
C4	-1	0	0	0	1
C5	0	0	1	0	0

2.1.2 Προσθήκη ασάφειας και κατασκευή ασαφών γνωστικών χαρτών

Οι γνωστικοί χάρτες, λόγω του ότι η αιτιότητα εμπεριέχει ασάφεια, γίνονται πολύ δεσμευτικοί. Η αιτιότητα κατά κύριο λόγο υπεισέρχεται σε βαθμούς, οι οποίοι και αυτοί είναι σχετικά αόριστοι π.χ. μερικώς, κάποιες φορές, πολύ λίγο, συνήθως κλπ.. Επιπροσθέτως, όταν ο γνωστικός χάρτης έχει εξαχθεί από άλλους, τότε θα έχει τον βαθμό ασάφειας εκείνου του γνωστικού χάρτη που έχει την μεγαλύτερη ασάφεια σε σχέση με τους υπολοίπους. Οι ασαφείς γνωστικοί χάρτες (ΑΓΧ) μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτή την ιδιότητα που παρουσιάζει η αιτιότητα (Kosko, 1986). Οι ΑΓΧ αποτελούν ασαφείς γραφικές δομές που αναπαριστούν αιτιώδεις συλλογισμούς. Η ασάφεια που εμπεριέχουν επιτρέπουν αόριστους βαθμούς αιτιότητας ανάμεσα σε αόριστες αιτιώδεις έννοιες. Η γραφική δομή τους επιτρέπει την συστηματική αιτιώδη διάδοση, είτε προς τα εμπρός είτε προς τα πίσω σε αλυσιδωτή μορφή, και επιτρέπει την ανάπτυξη γνώσης με το να συνδέονται διαφορετικοί ΑΓΧ. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των εννοιών, δίνει την δυνατότητα στον σχεδιαστή να δείξει την δυναμική ενός συστήματος (Groumpos, 2010).

Όπως και στην περίπτωση των γνωστικών χαρτών, έτσι και οι ΑΓΧ έχουν έναν μοναδικό πίνακα γειτνίασης. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι ΑΓΧ έχουν επιπλέον και έναν πίνακα

βαρών $\mathbf{W} = [w_{ij}]$. Η ύπαρξη αυτού του πίνακα έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι αιτιώδεις σχέσεις σε έναν ΑΓΧ δεν έχουν όλες την ίδια ισχύ, οπότε με την βοήθεια του πίνακα βαρών δίνεται η δυνατότητα να προσδιοριστεί ο βαθμός σύνδεσης μεταξύ των εννοιών. Οι εισοδοί σε έναν πίνακα βαρών δεν είναι μόνο οι τιμές 0, 1 και -1, αλλά μπορεί να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα στο διάστημα $[-1,1]$. Πιο αναλυτικά, αν υπάρχει μια θετική αιτιώδη σχέση ανάμεσα στην έννοια c_i και την έννοια c_j , δηλαδή μια αύξηση στην έννοια c_i οδηγεί σε μια αντίστοιχη αύξηση στην έννοια c_j , τότε θα πάρει τιμή στο διάστημα $(0, 1]$. Αντίστοιχα, αν υπάρχει μια αρνητική αιτιώδη σχέση ανάμεσα στην έννοια c_i και την έννοια c_j , δηλαδή μια αύξηση στην έννοια c_i οδηγεί σε μια αντίστοιχη μείωση στην έννοια c_j , τότε θα πάρει τιμή στο διάστημα $[-1, 0)$. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει καμία αιτιώδη σχέση μεταξύ των δύο εννοιών c_i, c_j τότε θα πάρει την τιμή 0. Παρακάτω, φαίνεται το προηγούμενο παράδειγμα γνωστικού χάρτη στην περίπτωση που υπάρχει ασάφεια στις σχέσεις μεταξύ των εννοιών, χρησιμοποιώντας έναν ΑΓΧ και παρουσιάζεται και ο αντίστοιχος πίνακας βαρών.



Εικόνα 2.2 Παράδειγμα ΑΓΧ.

Πίνακας 2.2 Πίνακας γειτνίασης του ΑΓΧ της εικόνας 2.2

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0	-0,5	0	0	1
C2	0	0	0,833	0	1
C3	0	0	0	0,333	0
C4	-0,667	0	0	0	1
C5	0	0	0,5	0	0

Ένας ΑΓΧ περιλαμβάνει τρεις τύπους εννοιών, αυτοί είναι: πομπός, δέκτης και συνήθης κόμβος (Eden, Ackermann, & Cropper, 1992). Ένας πομπός είναι μια έννοια η οποία όσες αιτιώδεις σχέσεις έχει με άλλες έννοιες του συστήματος έχουν κατεύθυνση από αυτήν προς τις άλλες, δηλαδή μόνο αυτή επηρεάζει τις άλλες έννοιες θετικά ή αρνητικά και δεν επηρεάζεται από αυτές. Ένας δέκτης είναι μια έννοια η οποία όσες αιτιώδεις σχέσεις έχει με άλλες έννοιες του συστήματος έχουν κατεύθυνση από τις άλλες προς αυτήν, δηλαδή μόνο αυτή επηρεάζεται από τις άλλες έννοιες θετικά ή αρνητικά και δεν τις επηρεάζει. Ένας συνήθης κόμβος είναι μια έννοια η οποία από όσες αιτιώδεις σχέσεις έχει με τις άλλες έννοιες του συστήματος, μια τουλάχιστον σχέση θα έχει κατεύθυνση από αυτήν προς μια άλλη έννοια και μια τουλάχιστον σχέση θα έχει κατεύθυνση από μια άλλη έννοια προς αυτή, δηλαδή ένας συνήθης κόμβος και επηρεάζει και επηρεάζεται θετικά ή αρνητικά.

Αυτοί οι τύποι που περιγράφηκαν πιο πάνω, μπορούν να προσδιοριστούν από τον βαθμό εισόδου και τον βαθμό εξόδου του κάθε κόμβου. Ο βαθμός εισόδου ενός κόμβου i είναι ένας δείκτης και ορίζεται ως το άθροισμα των αιτιωδών σχέσεων που εισέρχονται στον κόμβο και δίνεται από τον τύπο

$$ID(C_i) = \sum_{k=1}^N |w_{ki}|$$

Όπου N είναι το σύνολο των εννοιών και w_{ki} είναι το βάρος της αιτιώδους σχέσης που εισέρχεται στον κόμβο i από τον κόμβο k . Αντίστοιχα, ο βαθμός εξόδου ενός κόμβου i είναι ένας δείκτης και ορίζεται ως το άθροισμα των αιτιωδών σχέσεων που εξέρχονται από τον κόμβο και δίνεται από τον τύπο

$$OD(C_i) = \sum_{k=1}^N |w_{ik}|$$

Όπου N είναι το σύνολο των εννοιών και w_{ik} είναι το βάρος της αιτιώδους σχέσης που εξέρχεται από τον κόμβο i και εισέρχεται στον κόμβο j . Οπότε, για ένα πομπό ο δείκτης εισόδου θα είναι μηδενικός, ενώ ο δείκτης εξόδου θα είναι διάφορος του μηδέν. Αντιστρόφως, για ένα δέκτη ο δείκτης εισόδου θα είναι διάφορος του μηδέν, ενώ ο δείκτης εξόδου θα είναι μηδενικός. Όσον αφορά τον συνήθη κόμβο τόσο ο δείκτης εισόδου όσο και ο δείκτης εξόδου θα είναι διάφοροι του μηδενός (Özesmi, 1999). Επίσης, με την βοήθεια αυτών των δεικτών υπολογίζεται η κεντρικότητα των εννοιών, η οποία είναι το άθροισμα των βαθμών εισόδου και εξόδου της κάθε έννοιας (Hanary, Norman, & Cartwright, 1965) και η πολυπλοκότητά του ΑΓΧ, η οποία είναι ο λόγος του αριθμού των δεκτών ως προς του αριθμού των πομπών (Özesmi & Özesmi, 2004).

2.1.3 Δημιουργία και προσομοίωση ασαφών γνωστικών χαρτών

2.1.3.1 Σχεδίαση μοντέλου

Οι ΑΓΧ δεν παρέχουν πραγματικές τιμές για το σύστημα το οποίο μελετάνε, αφού η ποσοτικοποίηση των μεταβλητών του χάρτη βασίζεται πλήρως σε ποιοτικές πληροφορίες. Οπότε, δεν έχουν ως στόχο να παρέχουν συγκεκριμένες τιμές για το σύστημα άλλα να μπορέσουν να δώσουν αξιόπιστες πληροφορίες ως προς το ποιο μονοπάτι θα πρέπει να προτιμηθεί ώστε να εκπληρωθούν οι στόχοι που είχαν τεθεί εξ αρχής. Αυτά τα μονοπάτια αποτελούν τις διάφορες πολιτικές που μπορούν να εφαρμοστούν στο εκάστοτε σύστημα που μελετάται σε κάθε εφαρμογή. Για τον σωστό σχεδιασμό του χάρτη ο σχεδιαστής χρησιμοποιεί την βοήθεια ειδικών πάνω στο θέμα που μελετάται, οι οποίοι έχουν την απαραίτητη γνώση και εμπειρία έτσι ώστε να μπορέσουν να διακρίνουν όλες τις έννοιες και σχέσεις που υπάρχουν στο σύστημα και με αυτόν τον τρόπο να μπορέσουν να δημιουργήσουν ένα χάρτη που θα αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα. Όλοι οι ειδικοί ή φορείς που πρόκειται να συνεισφέρουν στην δημιουργία του χάρτη καλούνται να συμμετάσχουν στις ίδιες έρευνες, ερωτηματολόγια και workshops, έτσι ώστε να εκμαιευτεί όσο πιο πολύ πληροφορία γίνεται από τις γνώσεις τους.

Για τον σχεδιασμό του χάρτη ο σχεδιαστής μπορεί να ζητήσει βοήθεια από τους διάφορους φορείς στους οποίους απευθύνεται ή και να τους ζητήσει να τον σχεδιάσουν μόνοι τους. Οι Özesmi και Özesmi (2004) αναφέρουν τους πιο συνηθισμένους τρόπους για να αποκτηθεί ο χάρτης. Αυτός που συναντάται συχνότερα στην βιβλιογραφία είναι η χρήση ερωτηματολογίων. Ο τρόπος αυτός βασίζεται στην ενσωμάτωση των απόψεων πολλών ειδικών όπως και σε ειδικούς που έχουν γνώσεις πάνω στο θέμα ή ενδιαφέρονται για το συγκεκριμένο θέμα αλλά

δεν προέρχονται απαραίτητα από ένα συγκεκριμένο τεχνολογικό τομέα. Η διαδικασία, αρχικά, ασχολείται με την αναγνώριση των μεταβλητών και μετά από αυτές τις μεταβλητές επιλέγονται οι πιο σημαντικές για να ενσωματωθούν στο χάρτη. Διαφορετικές προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση αυτών των βημάτων, όπως την χρησιμοποίηση προκαταρτικών ερωτηματολογίων ή με συναντήσεις με τους φορείς. Τέλος, οι αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών προσδιορίζονται από τους ειδικούς μέσω ταξινομημένων ζευγών των μεταβλητών σε μορφή ερωτηματολογίων που πρέπει να απαντήσουν. Αυτό επιτρέπει την συστηματική σύγκριση όλων των ταξινομημένων ζευγών των μεταβλητών (Roberts, 1976). Ο δεύτερος τρόπος έχει να κάνει με την κωδικοποίηση του χάρτη από γραπτά κείμενα (Wrightson, 1976). Δηλαδή, αναζητούνται στα κείμενα οι αιτιώδεις σχέσεις που αναδεικνύουν έννοιες αίτια/συνδέσεις/αποτελέσματα. Οι σχέσεις αυτές κατά κύριο λόγο είναι κατηγορηματικές αλλά μερικές φορές υπονοούνται. Ο γνωστικός χάρτης μπορεί να σχεδιαστεί βασιζόμενοι σε δεδομένα που δείχνουν τις αιτιώδεις σχέσεις (Schneider, Shnaider, Kandel, & Chew, 1998). Σε αυτή την μέθοδο, κάθε μεταβλητή που έχει διαθέσιμες μετρήσεις αντιπροσωπεύεται από ένα αριθμητικό διάνυσμα, όπου κάθε στοιχείο του διανύσματος αντιπροσωπεύει μια μέτρηση. Τα αριθμητικά διανύσματα μεταφέρονται σε ασαφή σύνολα και κάθε στοιχείο του διανύσματος αντιπροσωπεύεται από έναν βαθμό συμμετοχής. Μετά, η σχέση μεταξύ των μεταβλητών αποσαφηνίζεται με την εξέταση των δεδομένων, είτε είναι ευθέως είτε αντίστροφη, και επίσης καθορίζεται και η εγγύτητα των μεταβλητών. Τέλος, οι συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών καθορίζονται και εκτιμώνται εκείνες οι συσχετίσεις που αντιπροσωπεύουν αιτιώδεις σχέσεις. Τέλος, ένας επίσης συνηθισμένος τρόπος σχεδίασης του χάρτη είναι με τον να τον σχεδιάζουν οι ειδικοί απευθείας, αφού πρώτα γίνουν συνεντεύξεις και επεξηγηθεί επαρκώς η διαδικασία της κατασκευής ενός χάρτη στους συνεντευξιαζόμενους (Ozesmi, 1999; Papageorgiou & Kontogianni, 2012).

Αφού έχει δημιουργηθεί μια μεγάλη λίστα εννοιών για το υπό εξέταση σύστημα είναι πολύ σημαντικό να συγκροτηθεί ένας ενιαίος και περιεκτικός χάρτη. Για να μπορέσει να γίνει αυτό πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος για να μειωθεί ο αριθμός των εννοιών σε αυτούς που είναι πιο κρίσιμοι. Οι Lopolito et al. (2011) επιδίωξαν την ομοφωνία με το να συμβιβάσουν την απαιτούμενη ακρίβεια και την αναπόφευκτη ασάφεια που χαρακτηρίζει την ανθρώπινη γλώσσα όπως επίσης και με την επιλογή των τελικών εννοιών κατά την διάρκεια των συζητήσεων με τους εμπλεκόμενους φορείς. Άλλες μεθοδολογίες, όπως η μέθοδος Delfi χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η ομοφωνία. Σύμφωνα με την θεωρία γράφων, ένας γνωστικός χάρτης μπορεί να μεταφραστεί σε έναν πίνακα γειτνίασης όπως επεξηγήθηκε παραπάνω. Εάν, είναι απαραίτητο να μειωθεί περαιτέρω ο χάρτης μπορούν να εφαρμοστούν και άλλες τεχνικές που αναφέρονται στην βιβλιογραφία, όπως η αντικατάσταση υπογράφων με μια μόνο έννοια, αυτή η τεχνική ονομάζεται συμπύκνωση. Σύμφωνα με τους Özesmi και Özesmi (2004), όταν ένας χάρτης

περιέχει περισσότερες από 30 μεταβλητές τείνει να γίνει πολύπλοκος και δεν μπορούν να εξαχθούν εύκολα κάποια συμπεράσματα.

2.1.3.2 Κατασκευή του πίνακα βαρών

Έχοντας διαμορφωθεί ο γνωστικός χάρτης και ο αντίστοιχος πίνακας γειτνίασης, το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή του πίνακα βαρών. Τα βάρη του πίνακα μπορούν να πάρουν τιμές που βρίσκονται στο διάστημα $[0, 1]$ ή στο διάστημα $[-1, 1]$ ή ακόμα και μόνο τις τιμές 0 και 1, το σύνολο που θα επιλεγεί εξαρτάται από το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται κάθε φορά. Το πρόσημο εκφράζει την θετική ή αρνητική επίδραση που θα έχει μια έννοια σε μια άλλη με την οποία συνδέεται στον χάρτη.

Οι μέθοδοι που συναντώνται στην βιβλιογραφία για την διαμόρφωση του πίνακα από τους εμπλεκόμενους φορείς είναι πολλοί. Οι Özesmi και Özesmi (2004) αναφέρουν ότι, μόλις οι φορείς έχουν ολοκληρώσει την σχεδίαση του χάρτη, τους ζητείται εν συνεχεία να σημειώσουν τα βάρη, που μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα στο διάστημα $[-1, 1]$, των αιτιωδών σχέσεων μεταξύ των εννοιών οι οποίες έχουν προκύψει από την σχεδίαση. Ακόμα, οι Parageorgiou και Kontogianni (2012) χρησιμοποιούν κανόνες if-then για να εξάγουν μια ασαφής γλωσσική μεταβλητή από μια ομάδα δεκατριών τέτοιων μεταβλητών, εναλλακτικά οι φορείς μπορούν απευθείας να εκχωρήσουν ασαφείς γλωσσικά βάρη από το ίδιο σύνολο (Nikas & Doukas, 2016). Αντίστοιχα, οι Lopolito et al. (2011) χρησιμοποίησαν μόνο τρεις γλωσσικές μεταβλητές και τις αντιστοίχησαν με τρία αριθμητικά βάρη (0.33, 0.67, 1) ανάλογα με τον βαθμό αιτιότητας που εξέφραζε η κάθε μια. Οι Biloslavo και Dolinšek (2010) χρησιμοποίησαν μια επαναληπτική προσέγγιση με ανατροφοδότηση βασισμένη στην μέθοδο Delphi (Dalkey & Helmer, 1963) και στην μέθοδο πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων που ονομάζεται Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytical Hierarchy Process) (Thomas, 1980) για τον υπολογισμό των βαρών. Ο Olazabal (2015) χρησιμοποίησε την Q-μεθοδολογία (S. R. Brown, 1980) για να υποστηρίξει την διαδικασία της συμμετοχής των φορέων, συμπεριλαμβανομένου την εξαγωγή βαρών. Τέλος, διάφοροι ερευνητές χρησιμοποιούν επαναλαμβανόμενους αλγόριθμους που βασίζονται στην επιβολή ποινών στους φορείς χρησιμοποιώντας συντελεστές αξιοπιστίας (Groumpos, 2010).

Έχοντας σχηματίσει τον χάρτη μαζί με τον πίνακα βαρών, πρέπει να οριστούν ποιες έννοιες θα είναι σταθερές για το σύστημά και ποιες θα είναι μεταβλητές. Αν οριστούν όλες οι έννοιες ως μεταβλητές τότε το διάνυσμα τελικής κατάστασης θα εξαρτάται πλήρως από το σύνολο των εννοιών, τον πίνακα γειτνίασης και τον πίνακα βαρών. Θέλοντας, όμως, κάθε προσομοίωση να εξαρτάται από ένα αρχικό διάνυσμα κατάστασης, που μπορεί να διαμορφώνει ένα

συγκεκριμένο μίγμα πολιτικής, οι έννοιες που διαφοροποιούν κάθε εναλλακτική θα πρέπει να παραμένουν σταθερές και ανεπηρέαστες από την συνάρτηση καταωφλίου.

2.1.3.3 Συναρτήσεις ενεργοποίησης

Για την προσομοίωση του συστήματος που έχει σχεδιαστεί, χρησιμοποιείται μια συνάρτηση ενεργοποίησης προσομοίωσης. Μια πολύ δημοφιλής συνάρτηση που χρησιμοποιείται κατά κόρον στις εφαρμογές των ΑΓΧ είναι η ακόλουθη:

$$C_j^{(t)} = f\left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n C_i^{(t-1)} w_{ij} + C_j^{(t-1)}\right)$$

Όπου, $C_j^{(t)}$ είναι η ποσότητα της έννοιας j στο τέλος της επανάληψης, $C_j^{(t-1)}$ είναι η ποσότητα της έννοιας j στην αρχή της επανάληψης, παρομοίως $C_i^{(t-1)}$ είναι η ποσότητα της έννοιας i στην αρχή της επανάληψης, w_{ij} είναι η τιμή του βάρους της αιτιώδους σχέσης που συσχετίζει τις έννοιες i και j και f είναι η συνάρτηση καταωφλίου. Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει την τιμή της έννοιας $C_j^{(t)}$ στο τέλος της επανάληψης αθροίζοντας την τιμή της έννοιας αυτής στην αρχή της επανάληψης και τις τιμές των εννοιών με τις οποίες είναι συνδεδεμένες πολλαπλασιασμένες με τα αντίστοιχα βάρη.

Εάν δεν υπάρχει η έννοια της αυτό-συσχέτισης στο σύστημά μας, τότε ο δεύτερος όρος στο δεξί μέρος της εξίσωσης μπορεί να παραλειφθεί. Επίσης, αν ο πίνακας βαρών έχει τα στοιχεία της κύριας διαγώνιας ίσα με μονάδα, δηλαδή συμπεριλαμβάνεται η αυτό-συσχέτιση, τότε μπορεί να ενσωματωθεί ο δεύτερος όρος στον πρώτο και διαμορφώνεται η εξής συνάρτηση:

$$C_j^{(t)} = f\left(\sum_{i=1}^n C_i^{(t-1)} w_{ij}\right)$$

Οι Stylios και Groumpos (2004) πρότειναν μια διαφορετική προσέγγιση για τον υπολογισμό της νέας τιμής της έννοιας j στο τέλος της επανάληψης, με την εισαγωγή δύο συντελεστών k_1 και k_2 που έχουν να κάνουν με τον βαθμό που η αυτό-συσχέτιση επηρεάζει κάθε έννοια. Η συνάρτηση ενεργοποίησης προσομοίωσης είναι η ακόλουθη:

$$C_j^{(t)} = f\left(k_1^j \sum_{i=1}^n C_i^{(t-1)} w_{ij} + k_2^j C_j^{(t-1)}\right)$$

Ωστόσο, μια τέτοια προσέγγιση απαιτεί αρκετά μεγαλύτερη πληροφορία από την μεριά των φορέων, αφού πρέπει να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον βαθμό στον οποίο κάθε έννοια εξαρτάται από τις προηγούμενες τιμές σε σύγκριση με τις συνεισφορές των αιτιών του.

Οι Parageorgiou και Kontogianni (2012) για να μπορέσουν να ξεπεραστούν ορισμένοι περιορισμοί που παρουσιάζονται από την σιγμοειδής συνάρτηση κατωφλίου, που έχουν να κάνουν με τις περιπτώσεις όπου οι αρχικές τιμές είναι 0 ή 0.5 ή η αρχική κατάσταση δεν μπορεί να περιγραφεί (Parageorgiou, Markinos, & Gemtos, 2010), παρουσίασαν την ακόλουθη συνάρτηση:

$$C_j^{(t)} = f\left(\sum_{i=1}^n (2C_i^{(t-1)} - 1)w_{ij} + 2C_j^{(t-1)} - 1\right)$$

Οι Papaioannou et al. (2013) παρουσίασαν μια συνάρτηση η οποία δεν χρησιμοποιεί κάποια συνάρτηση κατωφλίου και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$C_j^{(t)} = \sum_{i=1}^n (C_i^{(t-1)} - C_i^{(t-2)}) \frac{C_j^{(t-1)}}{C_i^{(t-2)}} w_{ij} + C_j^{(t-1)}$$

Οι Nikas και Doukas (2016) παρουσίασαν μια συνάρτηση η οποία βασίζεται στην αρχική συνάρτηση που παρουσιάστηκε και είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ενσωματώνοντας όμως σε αυτήν και την έννοια της χρονοκαθυστέρησης. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί, με το να πολλαπλασιαστεί το βάρος μιας σχέσης μεταξύ μιας έννοιας i και μιας έννοιας j με την ποσότητα της έννοιας i την χρονική στιγμή t μείον την χρονοκαθυστέρηση lag_{ij} της αντίστοιχης επίπτωσης. Η μορφή της έχει την ακόλουθη μορφή:

$$C_j^{(t)} = f\left(\sum_{i=1}^n C_i^{(t-lag_{ij})} w_{ij} + C_j^{(t-1)}\right)$$

Μια διαφορετική προσέγγιση για την ενσωμάτωση της χρονοκαθυστέρησης, που χρησιμοποίησαν οι Biloslavo και Dolinšek (2010) ήταν η μοντελοποίησή της σαν συνάρτηση του χρόνου ως εξής:

$$C_j(t_{n+1}) = f\left(\sum_{i=1}^N \mu_{ij}(t_n) C_i(t_n)\right)$$

Όπου, $\mu_{ij}(t_n)$ είναι η τιμή του αποτελέσματος του κόμβου i στον κόμβο j τη στιγμή t_n

2.1.3.4 Συναρτήσεις κατωφλίου

Όπως παρατηρήθηκε και νωρίτερα, μια συνάρτηση κατωφλίου εφαρμόζεται στην προσομοίωση έτσι ώστε οι νέες τιμές των εννοιών που έχουν προκύψει στο τέλος της κάθε επανάληψης να κανονικοποιούνται στο διάστημα τιμών που έχει οριστεί. Όπως και στα νευρωνικά δίκτυα υπάρχουν πολλές διαφορετικές συναρτήσεις κατωφλίου π.χ. η logistic, η γραμμική (linear) και η βηματική (step). Ωστόσο, οι πιο διαδεδομένες συναρτήσεις κατωφλίου είναι η σιγμοειδής (sigmoid) και η υπερβολική εφαπτομένη (hyperbolic tangent).

Όταν οι τιμές των εννοιών μπορούν να πάρουν μόνο θετικές τιμές τότε, συνήθως, η μονοπολική σιγμοειδής συνάρτηση ($\lambda > 0$) χρησιμοποιείται. Ο τύπος της συνάρτησης είναι ο εξής:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$$

Όταν οι τιμές των εννοιών παίρνουν και αρνητικές τιμές, δηλαδή αν παίρνουν τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$, τότε η συνάρτηση υπερβολικής εφαπτομένης μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με τύπο:

$$f(x) = \tanh(x)$$

Ο μη-αρνητικός μετασχηματισμός της σιγμοειδής συνάρτησης επιτρέπει καλύτερη κατανόηση των επιπέδων ενεργοποίησης των εννοιών (Özesmi & Özesmi, 2004). Επιπροσθέτως, δεδομένου ότι κανονικοποιεί τις τιμές σε ένα πιο περιορισμένο διάστημα τιμών, συνήθως συγκλίνει γρηγορότερα από την συνάρτηση υπερβολικής εφαπτομένης. Ωστόσο, η συνάρτηση υπερβολικής εφαπτομένης επιτρέπει την πιο ρεαλιστική απεικόνιση του αιτιώδους αποτελέσματος και δεν απαιτεί βαθμονόμηση (Nikas & Doukas, 2016). Δηλαδή, αν η τιμή μιας συγκεκριμένης έννοιας μπορεί μόνο να μειωθεί, η σιγμοειδής συνάρτηση θα συνεχίσει να παράγει θετικό αποτέλεσμα στο διάνυσμα τελικής κατάστασης. Οπότε, στην περίπτωση ενός μοναδικού σεναρίου, το διάνυσμα που έχει προκύψει θα πρέπει να συγκριθεί με ένα αδρανές μοντέλο έτσι ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα. Αυτή η διαδικασία δεν χρειάζεται να γίνει για περιπτώσεις που ασχολούνται με έναν αριθμό εναλλακτικών σεναρίων, αφού μπορεί να γίνει απευθείας σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών.

2.1.3.5 Προγραμματιστικά εργαλεία προσομοίωσης ασαφών γνωστικών χαρτών

Λόγου της εκτεταμένης χρήσης των ΑΓΧ σε διάφορα επιστημονικά πεδία, πολλές προσπάθειες ανάπτυξης διαφόρων υπολογιστικών εργαλείων, που ως στόχο είχαν να βοηθήσουν στην πραγματοποίηση των προσομοιώσεων που απαιτούνται, πραγματοποιήθηκαν.

Ανατρέχοντας στην βιβλιογραφία, βρέθηκαν αρκετά λογισμικά εργαλεία για την δημιουργία και την πραγματοποίηση πειραμάτων με τους ΑΓΧ. Παρακάτω γίνεται αναφορά και συνοπτική παρουσίαση των εργαλείων αυτών:

- **FCM Modeler:** (Mohr, 1997) είναι ένα πρωτοπόρο λογισμικό για τον σχεδιασμό συστημάτων που βασίζονται στους ΑΓΧ. Αναπτύχθηκε πριν από περίπου 20 χρόνια και αποτελείται από μια απλή διεπαφή με στόχο την υποστήριξη συλλογικών αποφάσεων σε ένα ποιοτικό στατικό μοντέλο. Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτού του λογισμικού εργαλείου περιλαμβάνουν : (i) ευκολονόητη διεπαφή χρήστη (ii) την δυνατότητα σχεδιασμού και αποθήκευσης συστημάτων ΑΓΧ (iii) την εξαγωγή του μοντέλου του ΑΓΧ βασιζόμενοι στις καταγεγραμμένες έννοιες και στα διαδοχικά διανύσματα κατάστασης. Το FCM Modeler προοριζόταν να λειτουργήσει σαν ένα γενικό εργαλείο μοντελοποίησης αλλά αυτό το σχέδιο ποτέ δεν εξελίχθηκε προς αυτήν την κατεύθυνση.
- **FCM Designer:** (Jose & Contreras, 2010) αν και είναι μια αρκετά παρόμοια προσέγγιση με αυτή του FCM Modeler, έχει πολύ καλύτερη εφαρμογή και επεκτείνει την αρχική ιδέα του FCM Modeler. Οι κύριες λειτουργίες του περιλαμβάνουν (i) διαδραστική γραφική απεικόνιση (ii) γραφική υποστήριξη στην σχεδίαση μοντέλων ΑΓΧ (iii) και την δυνατότητα να προσομοιώσει νέα σενάρια χρησιμοποιώντας την διαθέσιμη αιτιώδη γνώση. Ένα σημαντικό μειονέκτημα αυτού του λογισμικού βρίσκεται στην έλλειψη αλγορίθμων εκμάθησης για τον υπολογισμό των παραμέτρων που ορίζουν το σύστημα.
- **Mental Modeler:** (Gray, Gray, Cox, & Henly-shepard, 2013) είναι ένα λογισμικό μοντέλο που έχει προταθεί πρόσφατα. Υποστηρίζει μια web-based μοντελοποίηση για την εφαρμογή ομαδικών αποφάσεων, ως εκ τούτου επιτρέπει στους ειδικούς να παρουσιάσουν και να τεστάρουν συνεργατικά τις εκτιμήσεις τους για το εκάστοτε σύστημα. Το Mental Modeler μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ειδικούς και φορείς σε έναν δεδομένο τομέα που χρειάζονται να σχεδιάσουν έναν απλό γνωστικό χάρτη (θέτοντας πρόσημα και βάρη στις σχέσεις) και να προσομοιώσουν την συμπεριφορά του για κάποια σενάρια. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα αυτού του εργαλείου είναι η έλλειψη αλγορίθμων εκμάθησης και το περιορισμένο σύνολο πειραματικών επιλογών.
- **Java Fuzzy Cognitive Maps (JFCM):** (De Franciscis, 2014) πρόκειται για μια open-source βιβλιοθήκη για την μοντελοποίηση των ΑΓΧ. Η βιβλιοθήκη είναι μικρή και απλή αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθούν ποικίλα μοντέλα ΑΓΧ. Η JFCM επιτρέπει την φόρτωση δικτύων απευθείας από XML αρχεία, ως εκ τούτου αυξάνει την ευχρηστία του. Η κεντρική ιδέα πίσω από αυτό το εγχείρημα είναι να δημιουργήσει επαναχρησιμοποιήσιμες ενότητες που θα μπορούν να φορτωθούν όταν

αναζητείται μια λύση βασισμένη σε ΑΓΧ σε ένα δεδομένο πρόβλημα. Η ιδέα του JFCM προήλθε από μια αντικειμενοστραφής οπτική, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι εάν τα δεδομένα στοιχεία δεν είναι αρκετά για πιο περίπλοκα προβλήματα ή θεωρητικές προτάσεις, ο πηγαίος κώδικας μπορεί να επεκταθεί αντίστοιχα. Αυτό το πλεονέκτημα μπορεί να γίνει ένας περιορισμός, αφού οι ειδικοί χωρίς ικανότητες προγραμματισμού δεν μπορούν να το εκμεταλλευτούν.

- **FCM Tool:** (León et al., 2011) αρχικά δημιουργήθηκε για να μοντελοποιήσει ένα πρόβλημα απόφασης που αφορούσε τα δημόσια μέσα μεταφοράς στο Βέλγιο. Αυτό το λογισμικό επιτρέπει (i) το σχεδιασμό περίπλοκων μοντέλων ΑΓΧ μέσω μιας διαδραστικής γραφικής οπτικοποίησης (ii) προσαρμόζει τον ενημερωμένο κανόνα με το να επιλέγει το είδος της συνάρτησης μεταφοράς και τα κριτήρια τερματισμού που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν (iii) αναλύουν τα σενάρια και τα αποτελέσματά τους για όλο το σύστημα. Το FCM Tool παρέχει έναν αλγόριθμο εκμάθησης βασισμένο στον πληθυσμό για την αυτόματη άντληση αιτιωδών βαρών από τα ιστορικά δεδομένα. Άλλο ένα χαρακτηριστικό είναι ότι περιλαμβάνει μεθόδους για τον συνδυασμό διαφορετικών ΑΓΧ σε μια αναπαράσταση.
- **FCM Expert:** (Nápoles, Grau, Espinosa, & Vanhoof, 2017) πρόκειται για την εξέλιξη του FCM Tool και είναι ένα γενικού σκοπού και περισσότερο πλήρες λογισμικό. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το FCM Tool είχε ως σκοπό να εξυπηρετήσει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, αυτό είχε ως αποτέλεσμα ότι οι εφαρμοσμένοι αλγόριθμοι εκμάθησης δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε γενικότερα προβλήματα. Το FCM Expert κληρονομεί τα δυνατότερα χαρακτηριστικά του FCM Tool και προσθέτει αρκετούς μη εποπτικούς και εποπτικούς αλγόριθμους εκμάθησης για την κατασκευή του πίνακα βαρών. Το λογισμικό αυτό περιλαμβάνει τεχνικές βελτιστοποίησης της τοπολογίας του δικτύου (Nápoles, Grau, Bello, & Grau, 2014) και βελτιώνει την σύγκλιση του συστήματος (Nápoles, Bello, & Vanhoof, 2014; Nápoles, Papageorgiou, Bello, & Vanhoof, 2016) χωρίς να χάνει σχετική πληροφορία. Επιπροσθέτως, ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει τις παραμέτρους του μοντέλου και να ωφεληθεί από μια φιλική ως προς τον χρήστη γραφική διεπαφή.
- **FCMapper:** Το εργαλείο αυτό διατίθεται δωρεάν, επιτρέπει τον υπολογισμό των βασικών δεικτών των ΑΓΧ, διεξάγει δυναμικές αναλύσεις και οπτικοποιεί τους ΑΓΧ. Επίσης, βασίζεται στο Microsoft Excel και στο VBA (Visual Basic Applications). Μέσω αυτού του εργαλείου ο χρήστης υπολογίζει όλους τους δείκτες από την θεωρία γράφων και εκτελεί διάφορες προσομοιώσεις σεναρίων. Το λογισμικό ανταποκρίνεται σε καταστάσεις όπου είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η ανθρώπινη συμπεριφορά και όταν τα επιστημονικά δεδομένα είναι λίγα ή λείπουν.

2.2 Υπολογιστικά Μακροοικονομικά Μοντέλα

2.2.1 Εισαγωγή στα Υπολογιστικά Μοντέλα Γενικής Ισορροπίας

Τα Υπολογιστικά Μοντέλα Γενικής Ισορροπίας ή Computable General Equilibrium (CGE) models είναι οικονομικά μοντέλα που εκτιμούν πώς μια οικονομία θα συμπεριφερθεί σε επιρροές που δέχεται από εξωγενείς παράγοντες. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση οικονομίας-περιβάλλοντος. Τα CGE χρησιμοποιούν αλγεβρικές αναπαραστάσεις για να περιγράψουν τις περίπλοκες λειτουργίες της αγοράς. Η ζήτηση και η προσφορά προκύπτει με την μεγιστοποίηση της χρησιμότητας των καταναλωτών και του κέρδους των παραγωγών και οι τιμές καθορίζουν την ισορροπία της αγοράς. Με την χρησιμοποίηση οικονομικών δεδομένων τα μοντέλα αυτά είναι σε θέση να καθορίσουν τις παραμέτρους και να προσομοιώσουν τον πραγματικό κόσμο έτσι ώστε να δείξουν πως θα κινηθούν οι τιμές ισορροπίας, η ζήτηση και τα επίπεδα προσφοράς των αγαθών. Συγκεκριμένα, οι Εθνικοί Λογαριασμοί για ένα έτος όπως επίσης και δεδομένα που προκύπτουν από εμπειρικές εργασίες ούτως ώστε να υπολογιστούν οι ελαστικότητες ζήτησης, προσφοράς και ο βαθμός υποκατάστασης αποτελούν τα απαραίτητα στοιχεία έτσι ώστε η λύση του μοντέλου να αναπαράγει με ακρίβεια τα δεδομένα της πραγματικής οικονομίας.

Πιο συγκεκριμένα τα κύρια χαρακτηριστικά των CGE μοντέλων είναι τα εξής:

- Συμπεριλαμβάνουν σαφείς προδιαγραφές των συμπεριφορών διαφόρων οικονομικών πρακτόρων. Τυπικά αναπαριστούν τα νοικοκυριά σαν πράκτορες οι οποίοι έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση της χρησιμότητάς τους και τις εταιρίες παραγωγούς σαν πράκτορες οι οποίοι έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους τους ή την ελαχιστοποίηση του κόστους τους. Μέσω της χρήσης τέτοιων εκτιμήσεων βελτιστοποίησης δίνεται έμφαση στον ρόλο του προϊόντος και της τιμής στην επιρροή της κατανάλωσης και στις αποφάσεις παραγωγής από τα νοικοκυριά και τις εταιρίες. Μπορούν, ακόμα, να περιλαμβάνουν προδιαγραφές βελτιστοποίησης για να περιγράψουν την συμπεριφορά των κυβερνήσεων, των συντεχνιών, του κεφαλαίου, των εισαγωγέων και των εξαγωγέων.
- Περιγράφουν πως οι αποφάσεις για την ζήτηση και την προσφορά που γίνεται από διαφορετικούς οικονομικούς πράκτορες διαμορφώνουν τις τιμές διάφορων προϊόντων και συντελεστών. Για κάθε μία από αυτές, τα μοντέλα έχουν εξισώσεις που διασφαλίζουν ότι οι τιμές προσαρμόζονται έτσι ώστε η συνολική ζήτηση δεν υπερβαίνει την συνολική προσφορά.

- Παράγουν αριθμητικά αποτελέσματα, για αυτόν τον λόγο και τα μοντέλα αυτά ονομάζονται υπολογιστικά. Οι συντελεστές και οι παράμετροι στις εξισώσεις υπολογίζονται έχοντας ως αναφορά μια αριθμητική βάση δεδομένων. Ο κεντρικός πυρήνας της βάσης ενός CGE μοντέλου είναι συνήθως ένα σύνολο εισερχόμενων-εξερχόμενων λογαριασμών οι οποίοι δείχνουν την κίνηση των εμπορευμάτων και των συντελεστών ανάμεσα στις βιομηχανίες, τα νοικοκυριά, τις κυβερνήσεις, των εισαγωγέων και των εξαγωγέων. Τα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο συμπληρώνονται και από αριθμητικές εκτιμήσεις των διάφορων παραμέτρων για τις ελαστικότητες. Τέτοιες είναι ελαστικότητες για την υποκατάσταση μεταξύ διαφορετικών εισροών στην διαδικασία παραγωγής, εκτιμήσεις των ελαστικοτήτων τιμής και εισοδήματος της ζήτησης από νοικοκυριά για διαφορετικά εμπορεύματα και εξωτερικές ελαστικότητες της ζήτησης για εξαγόμενα προϊόντα.

Μια εναλλακτική ονομασία για τα CGE μοντέλα είναι εφαρμοσμένα μοντέλα γενικής ισορροπίας. Αυτή η ονομασία δίνει έμφαση στο γεγονός ότι στα CGE μοντέλα η βάση δεδομένων και τα αριθμητικά αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται είναι πραγματικά δεδομένα από χώρες και περιοχές και παράγουν αριθμητικά αποτελέσματα που αφορούν πραγματικές εφαρμογές.

Για την ανάλυση πολιτικών, τα μοντέλα CGE αλλάζουν μια ή περισσότερες εξωγενείς παραμέτρους, υπολογίζουν το νέο ισοζύγιο και το συγκρίνουν με το αρχικό έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η επίδραση ενός “shock” λόγω της πολιτικής που εφαρμόστηκε στην οικονομία.

Επιπροσθέτως, τα συγκεκριμένα μοντέλα επειδή συνδέουν διαφορετικούς τομείς της οικονομίας, είναι σε θέση να υπολογίσουν ολόκληρο το μέγεθος της επίδρασης μιας πολιτικής στην οικονομία και όχι μόνο την άμεση επίδραση που θα έχει στον συγκεκριμένο τομέα που θα εφαρμοστεί. Έτσι, στο τέλος, υπολογίζεται η αλλαγή στην κατανάλωση του αντίστοιχου αντιπροσωπευτικού πράκτορα, το οποίο αποτελεί και ένα μέτρο της επίπτωσης που έχουν διάφορες αλλαγές στην ευημερία. Αυτό το χαρακτηριστικό των CGE αποτελεί ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα σε σχέση με τα μοντέλα μερικής ισορροπίας που επικεντρώνονται σε ένα συγκεκριμένο τομέα ή μοντέλα που δεν έχουν λεπτομερή αναπαράσταση των διάφορων τομέων της οικονομίας. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται μια συνολική επισκόπηση των CGE μοντέλων που μπορεί να βρεθούν στην βιβλιογραφία.

Πίνακας 2.3 Επισκόπηση των Υπολογιστικών Μοντέλων Γενικής Ισορροπίας (CGE).

Μοντέλο	Οπτική του Μοντέλου	Περιοχή	Περίοδο Πρόβλεψης
AIM	top-down	Τοπική	1990-2100
AIM/Material	top-down	Ιαπωνία	1995-2010
Dynamic GTAP	top-down	Παγκόσμια	1997-2025
G-CUBED	top-down	Τοπική	2000-2100
GEM-E3	top-down	Τοπική (Ευρώπη)	1996-2020
GREEN	top-down	Παγκόσμια	1985-2050
GTAP-E	top-down	Τοπική	
GTEM	top-down	Παγκόσμια	1997-2100
ICES	top-down	Τοπική	2001-2050
IGEM	top-down	Τοπική (ΗΠΑ)	2000-2060
IMACLIM-R	top-down	Τοπική	1997-2100
LINKAGE	top-down	Παγκόσμια	2004-2080
MEMO	bottom-up	Εθνική	2010-2030
MIRAGE	top-down	Τοπική	2004-2020
MIT EPPA	top-down	Τοπική	2000-2100
MS-MRT	hybrid	Τοπική	2000-2030
SGM 2004	hybrid	Παγκόσμια	2000-2050
WIAGEM	top-down	Τοπική	2000-2050
WORLDSCAN	top-down	Τοπική	2000-2050

Οι τεχνολογικές αλλαγές και η διαχείριση της αβεβαιότητας από τα διάφορα CGE μοντέλα παρουσιάζεται στον πίνακα 2.4. Παρατηρείται, ότι τα περισσότερα μοντέλα προσδιορίζουν τις τεχνολογικές αλλαγές σαν εξωγενείς παράγοντες, ωστόσο κάποια μοντέλα όπως τα GEM-E3, IGEM, IMACLIM-R και MIT EPPA θεωρούν ότι ο προσδιορισμός των τεχνολογικών αλλαγών γίνεται ενδογενώς. Επίσης, φαίνεται ότι όσον αφορά την αβεβαιότητα, τα περισσότερα μοντέλα χρησιμοποιούν σενάρια ή ντετερμινιστικές αναλύσεις ευαισθησίας. Η μόνη εξαίρεση είναι το μοντέλο MIT EPPA, όπου χρησιμοποιήθηκε στοχαστική ανάλυση.

Πίνακας 2.4 Τεχνολογικές αλλαγές και μεταχείριση της αβεβαιότητας στα CGE μοντέλα.

Μοντέλο	Τεχνολογικές αλλαγές		Διαχείριση αβεβαιότητας	
	Ενδογενείς	Εξωγενείς	Ντετερμινιστική	Στοχαστική
AIM		✓	ανάλυση σεναρίων	
AIM/Material		✓	ανάλυση σεναρίων	
Dynamic GTAP		✓	ανάλυση σεναρίων	
G-CUBED		✓	ανάλυση σεναρίων	
GEM-E3	✓		ανάλυση σεναρίων	
GREEN		✓	ανάλυση σεναρίων	
GTAP-E		✓	ανάλυση σεναρίων	
GTEM		✓	ανάλυση σεναρίων	
ICES		✓	ανάλυση σεναρίων	
IGEM	✓	✓	ανάλυση σεναρίων	
IMACLIM-R	✓		ανάλυση σεναρίων	
LINKAGE		✓	ανάλυση σεναρίων	
MEMO		✓	ανάλυση σεναρίων; ανάλυση ευαισθησίας	
MIRAGE		✓	ανάλυση σεναρίων	
MIT EPPA	✓	✓	ανάλυση σεναρίων	ανάλυση Monte Carlo; στατιστική ανάλυση
MS-MRT		✓	ανάλυση σεναρίων	
SGM 2004		✓	ανάλυση σεναρίων; ανάλυση ευαισθησίας	
WIAGEM		✓	ανάλυση σεναρίων; ανάλυση ευαισθησίας	
WORLDSCAN		✓	ανάλυση σεναρίων	

Τα CGE μοντέλα, στην προσπάθεια των σχεδιαστών να κατασκευάσουν μοντέλα που αναπαριστούν πιο πιστά την δομή της οικονομίας, εξελίχθηκαν στα δυναμικά στοχαστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας ή dynamic stochastic general equilibrium models (DSGE). Τα DSGE μοντέλα όπως και τα CGE μοντέλα, πρόκεινται για μοντέλα τα οποία στοχεύουν να εξερευνήσουν και να αναλύσουν μακροοικονομικούς δείκτες της οικονομίας μέσω μιας δομής η οποία βασίζεται σε μικροοικονομικά θεμέλια. Δηλαδή, και στα μοντέλα αυτά γίνεται η χρήση πρακτόρων οι οποίοι αντιστοιχούν σε διάφορα κομμάτια της οικονομίας, με γενικές κατηγορίες να είναι αυτές των νοικοκυριών, των επιχειρήσεων και της κυβέρνησης και οι οποίοι έχουν ως στόχο να μεγιστοποιήσουν την αντικειμενική τους συνάρτηση (π.χ. μεγιστοποίηση της συνάρτησης χρησιμότητας ή μεγιστοποίηση του αναμενόμενου κέρδους) δεδομένων κάποιων περιορισμών. Η διαφορά τους σε σχέση με τα CGE μοντέλα έγκειται στο γεγονός ότι στα DSGE μοντέλα προσομοιώνεται η εξέλιξη της οικονομίας στον χρόνο, γι' αυτό τον λόγο και ονομάζονται δυναμικά. Όπως επίσης και ότι το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργούν είναι στοχαστικό και όχι ντετερμινιστικό. Δηλαδή, τα DSGE μοντέλα καλούνται να αντιμετωπίσουν αρκετές αβεβαιότητες της οικονομίας και γι' αυτό τον λόγο ονομάζονται στοχαστικά. Αυτές οι δύο διαφορές έχουν ως αποτέλεσμα τα μοντέλα DSGE να αναπαριστούν πιο ρεαλιστικά την οικονομία αλλά και να είναι πιο δύσκολη η υλοποίησή τους από τους σχεδιαστές.

Η κατασκευή και χρήση των DSGE μοντέλων ξεκίνησε από την δεκαετία του 80. Το πρώτο DSGE μοντέλο θεωρείται ότι κατασκευάστηκε από τους Kydland και Prescott (1982). Τα πρώτα DSGE μοντέλα ονομάστηκαν Real Business Cycle (RBC) μοντέλα και μοντελοποιούσαν τις αγορές αγαθών και εργασίας υποθέτοντας τέλει ανταγωνισμό και ευέλικτες τιμές και μισθούς. Αργότερα, εμφανίστηκαν τα New Keynesian (NK) μοντέλα τα οποία είχαν παρόμοια δομή με τα RBC μοντέλα, με την διαφορά ότι οι αγορές αγαθών και εργασίας τώρα έχουν μονοπωλιακό ανταγωνισμό και οι τιμές και οι μισθοί δεν είναι ευέλικτοι αλλά παρουσιάζουν κάποιες ακαμψίες. Πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση αυτών των μοντέλων είναι αρκετά μεγάλη ιδιαίτερα για λόγους ανάλυσης πολιτικών και για την πραγματοποίηση προβλέψεων.

2.2.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Ιστορικά, τα CGE μοντέλα προέρχονται από τα μοντέλα εισόδου-εξόδου και τα μοντέλα γραμμικού προγραμματισμού.

Η σύνταξη ενός πίνακα εισόδου-εξόδου για την οικονομία των Ηνωμένων Πολιτειών από τον Leontief (1936) άνοιξε τον δρόμο για την ανάπτυξη των πολυτομεακών μοντέλων. Στην βάση αυτού του λογιστικού πλαισίου κατασκευάστηκε και δημοσιοποιήθηκε το 1937 το μοντέλο εισόδου-εξόδου από τον Leontief. Μέσω αυτής της εργασίας τα μοντέλα εισόδου-εξόδου

έγιναν δημοφιλείς σαν εργαλεία σχεδιασμού μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι πολυτομεακές πτυχές αυτών των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν για να εντοπιστούν οι διασυνδέσεις ανάμεσα στους διαφορετικούς τομείς της οικονομίας κατά την διαδικασία σχεδιασμού.

Αν και τα μοντέλα εισόδου-εξόδου είναι συνεπείς μοντέλα και ικανά να συλλάβουν κύρια στοιχεία της αλληλοεξάρτησης στην οικονομία, έχουν αρκετές ελλείψεις. Κάποιες από αυτές είναι ότι περιλαμβάνουν έντονο προσανατολισμό προς την ζήτηση και δεν έχουν ικανοποιητική μεταχείριση των διεθνών εμπορικών συναλλαγών. Τα μοντέλα αυτά προσδιορίζονται κυρίως από την ζήτηση και δεν περιλαμβάνουν περιορισμούς προσφοράς ή δυνατότητες υποκατάστασης. Η πιο σημαντική υπόθεση των μοντέλων είναι η προκαθορισμένη τεχνολογία των συντελεστών. Ως εκ τούτου, η χρήση όλων των εισόδων επεκτείνεται σε άμεση αναλογία μέχρι το επίπεδο της εξόδου. Αυτή η προκαθορισμένη τεχνολογία δεν επιτρέπει σε κάποια βιομηχανία να αλλάζει το μείγμα εισόδου της σε αλλαγές στις σχετικές τιμές. Τα επίπεδα των εξόδων της βιομηχανίας είναι απλά γραμμικές συναρτήσεις εξωγενούς δεδομένης τελικής ζήτησης. Οπότε, στα μοντέλα εισόδου-εξόδου μια εξωγενής ανάθεση στις ποσότητες των στοιχείων της τελικής ζήτησης είναι αρκετή για να προσδιορίσει τα επίπεδα εξόδου και ως εκ τούτου τα επίπεδα του αρχικού συντελεστή εργασίας. Αυτή η ανάθεση μπορεί να γίνει τελείως ξεχωριστά από τον αρχικό συντελεστή περιορισμών. Η έλλειψη οποιασδήποτε σχέσης μεταξύ του αρχικού συντελεστή περιορισμών και της τελικής ζήτησης είναι μια από τις κύριες αδυναμίες αυτών των μοντέλων. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι τα μοντέλα αυτά είναι κατάλληλα μόνο για περιπτώσεις όπου η ζήτηση είναι κυρίαρχη. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι γνωστό ως ακραίος προσανατολισμός ζήτησης των μοντέλων εισόδου-εξόδου.

Σε αυτά τα μοντέλα υποτίθεται ότι δεν υπάρχει το κομμάτι των περιορισμών της προσφοράς στην οικονομία. Η εργασία και το κεφάλαιο είναι διαθέσιμα έχοντας τέλεια ελαστικότητα προσφοράς. Αυτό μεταφράζεται σαν μια επίπεδη καμπύλη προσφοράς και μια σταθερή τιμή, έτσι η ποσότητα που συναλλάσσεται προσδιορίζεται πλήρως από την ζήτηση. Ωστόσο, υπάρχει η πιθανότητα να προστεθούν περιορισμοί στην προσφορά (Dixon, Parmenter, Powell, & Wilcoxon, 1992). Όμως, η προκαθορισμένη τεχνολογία των συντελεστών και τα εξωγενείς δεδομένα επίπεδα της τελικής ζήτησης πρακτικά περιορίζουν την χρησιμοποίηση των περιορισμών της προσφοράς. Οι δύο αυτές υποθέσεις δεν επιτρέπουν στις δομές των εισόδων των βιομηχανιών και των μιγμάτων των εμπορευμάτων της τελικής ζήτησης να ανταποκριθούν στις αλλαγές των σχετικών τιμών. Ως εκ τούτου, οι τιμές έχουν μόνο παθητικό ρόλο στον προσδιορισμό των ατομικών συμπεριφορών των πρακτόρων και δεν επηρεάζονται από τις αλλαγές στις σχετικές τιμές.

Όσον αφορά την μη ικανοποιητική μεταχείριση των διεθνών συναλλαγών, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τα μοντέλα αντιμετωπίζουν τις εξαγωγές μαζί με την εγχώρια τελική ζήτηση για την εγχώρια έξοδο ως εξωγενείς παράγοντες και οι εισαγωγές θεωρούνται ως μη ανταγωνιστικές. Ούτε οι εξαγωγές ούτε οι εισαγωγές βασίζονται στις σχετικές τιμές. Οπότε, το μείζον θέμα της ανταπόκρισης των εμπορικών ροών σε αλλαγές στις σχετικές τιμές δεν περιλαμβάνεται σε αυτά τα μοντέλα.

Η ανάπτυξη των μοντέλων Γραμμικού Προγραμματισμού (LP), κατά τις αρχές της δεκαετίας του 60, δημιούργησε μια άλλη κατηγορία πολυτομεακών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν αρκετούς από τους περιορισμούς των μοντέλων εισόδου-εξόδου. Η μεθοδολογία τους βασίζεται σε μια σαφώς ορισμένη αντικειμενική συνάρτηση την οποία πρέπει να βελτιστοποιηθεί, ενώ υπόκειται σε συγκεκριμένους γραμμικούς περιορισμούς.

Ανατρέχοντας στην βιβλιογραφία, η εφαρμογή των μοντέλων από τον Evans (1972) για την οικονομία της Αυστραλίας και του Goreux (1977) για την Ακτή Ελεφαντοστού μπορεί να θεωρηθούν σαν αντιπροσωπευτικά παραδείγματα. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται σαν προσεγγίσεις των CGE μοντέλων (Dervis, Melo, & Robinson, 1982) και οι Dixon και Butlin (1977) έδειξαν ότι στο μοντέλο του Evans υπάρχει μια ισορροπία την οποία ονόμασαν Evans Equilibrium (EEs). Οι υπολογισμοί στο μοντέλο του Evans από τους Dixon και Butlin κατέδειξαν ότι τα LP μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μέθοδοι επίλυσης των CGE μοντέλων.

Τα LP μοντέλα θεωρούνται σημαντική αναβάθμιση στην μοντελοποίηση της ευρείας οικονομίας σε σχέση με τα μοντέλα εισόδου-εξόδου, ωστόσο παρουσιάζουν και αυτά κάποια προβλήματα. Για παράδειγμα, μια σημαντική θεωρητική δυσκολία που αντιμετωπίζουν αφορά την ερμηνεία της συμπεριφοράς της μικροοικονομίας όταν τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να επιλύσουν προβλήματα μεγιστοποίησης μιας καλά ορισμένης συνάρτησης ευημερίας για όλη την κοινωνία. Ακόμα, παρότι είναι σε θέση να ενσωματώσουν πρωταρχικούς παράγοντες και περιορισμούς σε εμπορικές συναλλαγές, δεν μπορούν να χειριστούν αυτές τις περιπτώσεις με έναν ρεαλιστικό τρόπο. Για παράδειγμα, το μοντέλο του Evans μπορούσε να ενσωματώσει την ισορροπία στους περιορισμούς στις εμπορικές συναλλαγές, ωστόσο ήταν αρκετά ευαίσθητο σε μικρές αλλαγές στις σχετικές τιμές.

Οι ανάπτυξη των CGE μοντέλων μπορεί να θεωρηθεί ως η φυσική επέκταση των μοντέλων εισόδου-εξόδου και LP. Τα μοντέλα CGE είναι εμπειρικές αντιστοιχίες της γνωστής ανάλυσης του Walras (1874) ως προς την γενική ισορροπία της οικονομίας, η οποία αργότερα αναπτύχθηκε από τους Arrow και Debreu (1954) και άλλους. Σύμφωνα με τους Whalley και Srinivasan (1986) το κύριο χαρακτηριστικό της προσέγγισης μέσω της αριθμητικής γενικής ισορροπίας είναι η προσπάθεια να συνδυαστούν θεωρία και πολιτική έτσι ώστε και οι δύο να

βελτιώσουν την είδη υπάρχουσα αναλυτική εργασία για την εκτίμηση πολιτικών και να φέρει το θεωρητικό υπόβαθρο που υπάρχει στην βιβλιογραφία ακόμα περισσότερο μέσα στην διαμόρφωση πολιτικών. Λόγω των αρκετών πλεονεκτημάτων συγκριτικά με τα προϋπάρχοντα μοντέλα, ένας μεγάλος αριθμός CGE μοντέλων αναπτύχθηκε κατά την δεκαετία του 70.

Σημαντική συμβολή για την ανάπτυξη των CGE μοντέλων θεωρείται η εργασία του Johansen (1960). Ο Bergman (1985) ανέλυσε λεπτομερώς την σύνδεση μεταξύ του μοντέλου του Johansen και των CGE μοντέλων. Η δουλειά του Johansen δεν συνεχίστηκε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 70, όπου οι Adelman και Robinson (1978) κατασκεύασαν ένα μοντέλο για την οικονομία της Νότιας Κορέας. Σύμφωνα με τον Bergman (1985) οι λόγοι για τους οποίους υπήρξε αυτό το κενό ανάμεσα στην δουλειά του Johansen και σε άλλες εργασίες οι οποίες θα βασίζονταν σε αυτήν και θα χρησιμοποιούσαν παρόμοια μεθοδολογία ήταν οι εξής:

- Όσον αφορά τις συνθήκες σταθερότητας της οικονομικής ανάπτυξης διαφόρων οικονομιών η τομεακή διάσταση τους δεν θεωρούταν σημαντική την δεκαετία του 60.
- Η ανάπτυξη αλγορίθμων επίλυσης και φθινών λογισμικών ήταν περιορισμένη.
- Η σχεδιαστές των πολιτικών εκείνης της περιόδου είχαν εστιάσει στα LP μοντέλα.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι το 1967 υπήρξε, η πολύ σημαντική για την ανάπτυξη των CGE μοντέλων, κατασκευή του γνωστού αλγόριθμου του Herbert Scarf για τον υπολογισμό της Walrasian γενικής ισορροπίας (Scarf, 1967). Όπου, οι Shoven και Whalley (1984) χρησιμοποιώντας αυτόν τον αλγόριθμο κατασκεύασαν μια υπολογιστική διαδικασία για την εύρεση γενικής ισορροπίας με φόρους. Αργότερα, πολύ σημαντική ήταν η συμβολή του Jorgenson (1998) στην μοντελοποίηση των CGE, όπου χρησιμοποίησε οικονομετρικές μεθόδους για τον υπολογισμό των παραμέτρων.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η έλλειψη υπολογιστικής ισχύς και κατάλληλου λογισμικού ήταν κάποια από τα κύρια στοιχεία που περιόριζαν την χρήση των CGE μοντέλων στα πρώτα χρόνια. Επίσης, η πολυπλοκότητα του κώδικα τα έκανε δύσκολα στην χρήση τους και η ανάλυση ευαισθησίας για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας των παραμέτρων ήταν πολύ χρονοβόρα. Η ταχύτατη ανάπτυξη των υπολογιστών, όμως, άλλαξε τα δεδομένα σε αυτούς τους τομείς. Τεράστια αλλαγή έφερε η εισαγωγή του GAMS (General Algebraic Modeling System) (Brooke, Kendrick, Meeraus, & Raman, 1988), το οποίο επιτρέπει σε μη ειδικούς σε αριθμητικές μεθόδους να σχεδιάσουν και να λύσουν Walrasian μοντέλα. Πιο αποδοτικοί υπολογιστές έκαναν δυνατή την λύση μοντέλων με περισσότερους τομείς και έγινε το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη των δυναμικών CGE μοντέλων. Επίσης, έγινε εφικτή η εκτεταμένη ανάλυση ευαισθησίας. Με την ανάπτυξη του GAMS/PATH (Ferris & Munson, 2000) έγινε εύκολη η λύση δυναμικών μοντέλων με σχετικά μεγάλο αριθμό τομέων και χαμηλό κόστος ως προς τον χρόνο και το χρήμα. Αυτό σημαίνει ότι τα CGE μοντέλα έγιναν ένα προσιτό

εργαλείο για τα εφαρμοσμένα οικονομικά και ο χρόνος λύσης δεν αποτελεί πρόβλημα για τον σχεδιαστή. Αντιθέτως, η χρήση εκτεταμένης ανάλυσης ευαισθησίας, στην οποία το μοντέλο λύνεται για αρκετές χιλιάδες τυχαίων επιλεγμένων συνδυασμών των ποσοτήτων των αβέβαιων παραμέτρων, είναι τυπικό χαρακτηριστικό των μοντέρνων CGE εργασιών.

Όσον αφορά την σύνδεση των CGE μοντέλων με την διαμόρφωση ενεργειακής πολιτικής, η πρώτη εργασία είναι αυτή των Hudson και Jorgeson (1975) οι οποίοι κατασκεύασαν ένα οικονομικό CGE μοντέλο. Εκείνη την περίοδο ακολούθησαν και άλλα μοντέλα, που ασχολούνταν με την αύξηση της τιμής του πετρελαίου την περίοδο 1973 με 1979. Στις αρχές της δεκαετίας του 90 η προσοχή μετατέθηκε από προβλήματα που ασχολούνται με την προσφορά της ενέργειας σε προβλήματα που έχουν να κάνουν με εξωτερικές επιδράσεις από την χρήση της ενέργειας όπως είναι τα ορυκτά καύσιμα και την κλιματική αλλαγή λόγω των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, καινούργια CGE μοντέλα σχεδιάστηκαν για την ανάλυση πολιτικών σχετικά με την κλιματική αλλαγή όπως είναι το μοντέλο GREEN (Burniaux, Nicoletti, & Oliveira-Martins, 1992) το οποίο ασχολείται με κλιματικές πολιτικές σε παγκόσμια κλίμακα αλλά και μοντέλα τα οποία ασχολούνται με μια χώρα μόνο (Bergman, 1990; Hazilla & Kopp, 1990) κ.α..

2.2.3 Το μοντέλο MEMO

2.2.3.1 Κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου MEMO.

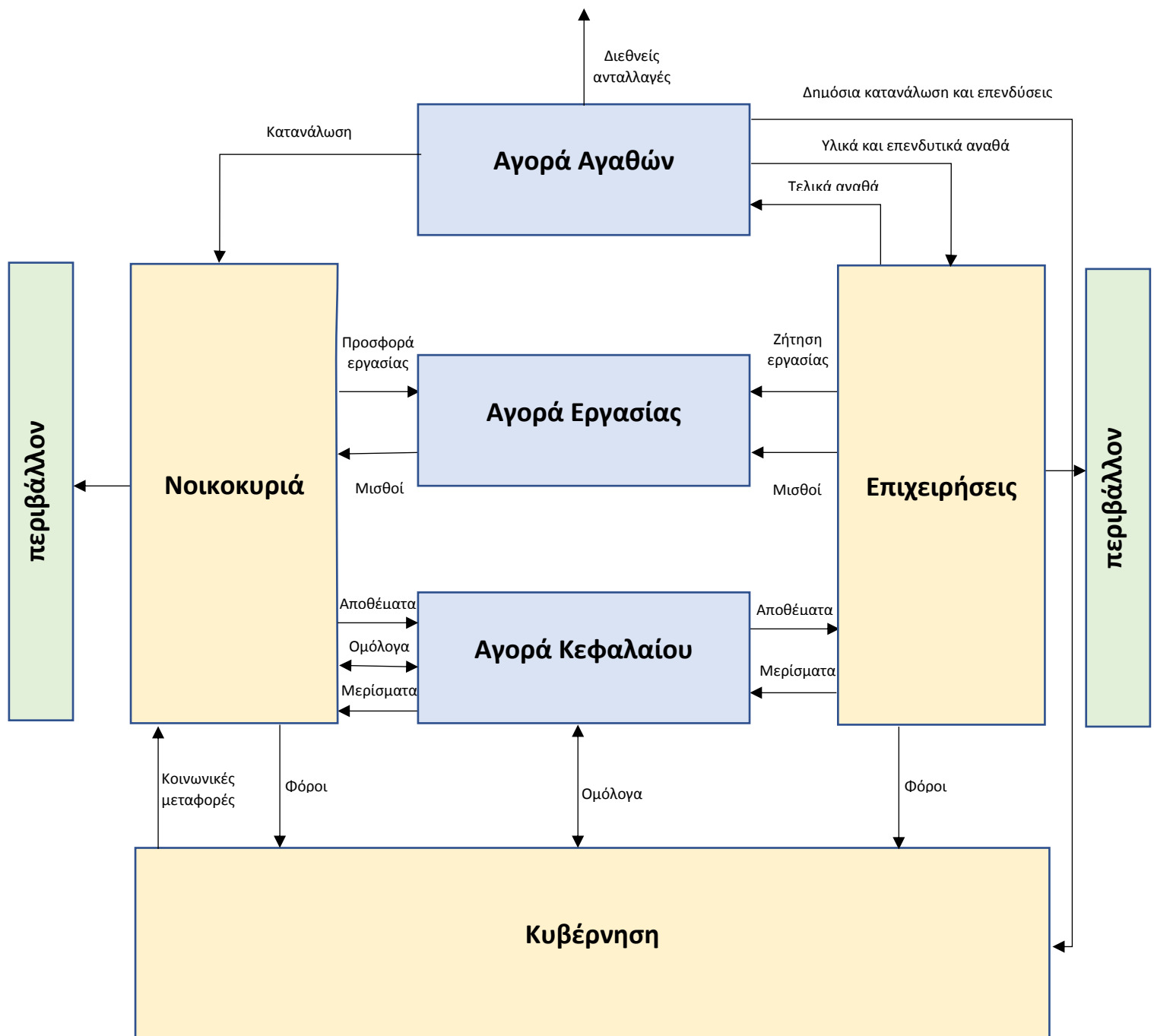
Το MacroEconomic Mitigations Options μοντέλο ή μοντέλο MEMO είναι ένα μεγάλης κλίμακας πολυτομεακό δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας, το οποίο κατασκευάστηκε για την εκτίμηση πολιτικών που αφορούν τον τομέα της ενέργειας και την κλιματική αλλαγή, όπως για παράδειγμα πολιτικές για την μείωση των εκπομπών CO₂. Οι διασυνδέσεις ανάμεσα στους τομείς του μοντέλου αντιστοιχούν σε ρεαλιστικές αναπαραστάσεις της οικονομίας και λαμβάνουν υπόψιν όχι μόνο τις άμεσες εκπομπές CO₂ που συμβαίνουν στον κάθε τομέα αλλά και τις έμμεσες που συμβαίνουν λόγω της κατανάλωσης διαφόρων καυσίμων (Antosiewicz & Kowal, 2016).

Μέσω της προσομοίωσης διαφόρων εναλλακτικών πολιτικών δίνεται η δυνατότητα να εκτιμηθούν οι επιδράσεις που θα επιφέρουν οι πολιτικές αυτές σε διάφορους σημαντικούς μακροοικονομικούς δείκτες, όπως είναι ο δείκτης για το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (GDP), για την συνολική προστιθέμενη αξία στον κάθε τομέα, για την ζήτηση ενέργειας, για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO₂), για την ανεργία και το επίπεδο μισθών, για την συναλλαγματική ισοτιμία, για την ευημερία της κοινωνίας κ.α. (Antosiewicz & Kowal, 2016).

2.2.3.2 Δομή του μοντέλου.

Το μοντέλο MEMO αναπτύχθηκε στο Institute of Structural Research και η λεπτομερής περιγραφή και ανάλυση της δομής και των χαρακτηριστικών του παρουσιάζεται στην εργασία των Antosiewicz και Kowal (2016). Παρακάτω, παρουσιάζονται τα κύρια στοιχεία της δομής του μοντέλου MEMO, σύμφωνα με την εργασία αυτή.

Η δομή του μοντέλου MEMO αποτελείται από τρία κύρια τμήματα, τα οποία είναι τα νοικοκυριά, οι επιχειρήσεις και η κυβέρνηση. Τα τμήματα αυτά αποτελούνται από πράκτορες, οι οποίοι λειτουργούν βάσει κάποιων συναρτήσεων βελτιστοποίησης, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα σε πιο σύνολο ανήκει ο αντίστοιχος πράκτορας. Επίσης, υπάρχουν τρεις κύριες αγορές στο μοντέλο, μέσω των οποίων μπορούν οι πράκτορες των διαφορετικών συνόλων να επικοινωνήσουν και να επηρεάσουν ο ένας τον άλλον. Οι αγορές αυτές είναι η αγορά εργασίας, η αγορά κεφαλαίου και η αγορά αγαθών. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα που αναπαριστά τα κύρια τμήματα της δομής του μοντέλου MEMO και τις αντίστοιχες διασυνδέσεις τους.



Εικόνα 2.3 Δομή μοντέλου MEMO.

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα τα νοικοκυριά ορίζουν το επίπεδο κατανάλωσης αγαθών που θα ζητήσουν στην αγορά αγαθών το οποίο προσφέρουν αντίστοιχα οι επιχειρήσεις. Ακόμα, από την αγορά αγαθών οι επιχειρήσεις παίρνουν υλικά και επενδυτικά αγαθά που τους χρειάζονται για την παραγωγή και η κυβέρνηση καλύπτει τις δημόσιες καταναλώσεις και επενδύσεις. Στην αγορά εργασίας τα νοικοκυριά παρέχουν το εργατικό δυναμικό και οι επιχειρήσεις τις θέσεις εργασίας και καθορίζονται τα επίπεδα μισθών. Τέλος, στην αγορά κεφαλαίου τα νοικοκυριά αγοράζουν αποθέματα και ομόλογα και ως αντάλλαγμα λαμβάνουν

μερίσματα από τις επιχειρήσεις και πληρωμές επιτοκίων από την κυβέρνηση. Η κυβέρνηση, ακόμα, λαμβάνει άμεσους και έμμεσους φόρους από τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις, όπως επίσης και φόρους CO₂ και δίνει στα νοικοκυριά επιδόματα για τους ανέργους και τους συνταξιούχους, τα οποία ονομάζονται «κοινωνικές μεταφορές». Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι εκπομπές CO₂ μοντελοποιούνται τόσο στο τμήμα των νοικοκυριών όσο και στο τμήμα των επιχειρήσεων. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση του κάθε τμήματος με περισσότερη ανάλυση:

- **Νοικοκυριά:** τα νοικοκυριά έχουν ως στόχο να μεγιστοποιήσουν την αναμενόμενη συνάρτηση χρησιμότητάς τους, οπότε η συνάρτηση μεγιστοποίησης είναι η εξής:

$$\max U_t = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta_t u(C_t)$$

Όπου, E_0 είναι ο συντελεστής προσδοκίων, β^t είναι ο υποκειμενικός συντελεστής προεξόφλησης, C_t είναι η κατανάλωση αγαθών και $u(C_t)$ είναι η συνάρτηση χρησιμότητας. Ως εισόδημα τα νοικοκυριά έχουν το εισόδημα από την εργασία $W_t N_t$, τα μερίσματα που λαμβάνουν από τις επιχειρήσεις Π_t , τις συντάξεις που πληρώνει η κυβέρνηση PEN_t και το εισόδημα που λαμβάνουν από την αποθήκευση αγαθών B_t , το οποίο παράγει έναν συγκεκριμένο βαθμό επιτοκίου R_t . Για τον υπολογισμό της αποθήκευσης αγαθών λαμβάνονται υπόψιν τόσο τα ομόλογα που εκδόθηκαν εγχώρια όσο και τα ομόλογα των ξένων χωρών. Τα έξοδα των νοικοκυριών αποτελούνται από την κατανάλωση αγαθών $P_t C_t$, τους φόρους των εισοδήματος PIT , τους φόρους προστιθέμενης αξίας VAT , τις συνεισφορές για τις συντάξεις T_t , το κόστος για την έρευνα εργασίας Ξ_t και το κόστος για την επένδυση σε περιουσιακά στοιχεία, τα οποία θα επιφέρουν επιτόκια r_{t-1} για μια περίοδο. Έχοντας συγκεντρώσει τις ροές εσόδων και εξόδων των νοικοκυριών κατασκευάζεται ο αντίστοιχος περιορισμός προϋπολογισμού τους.

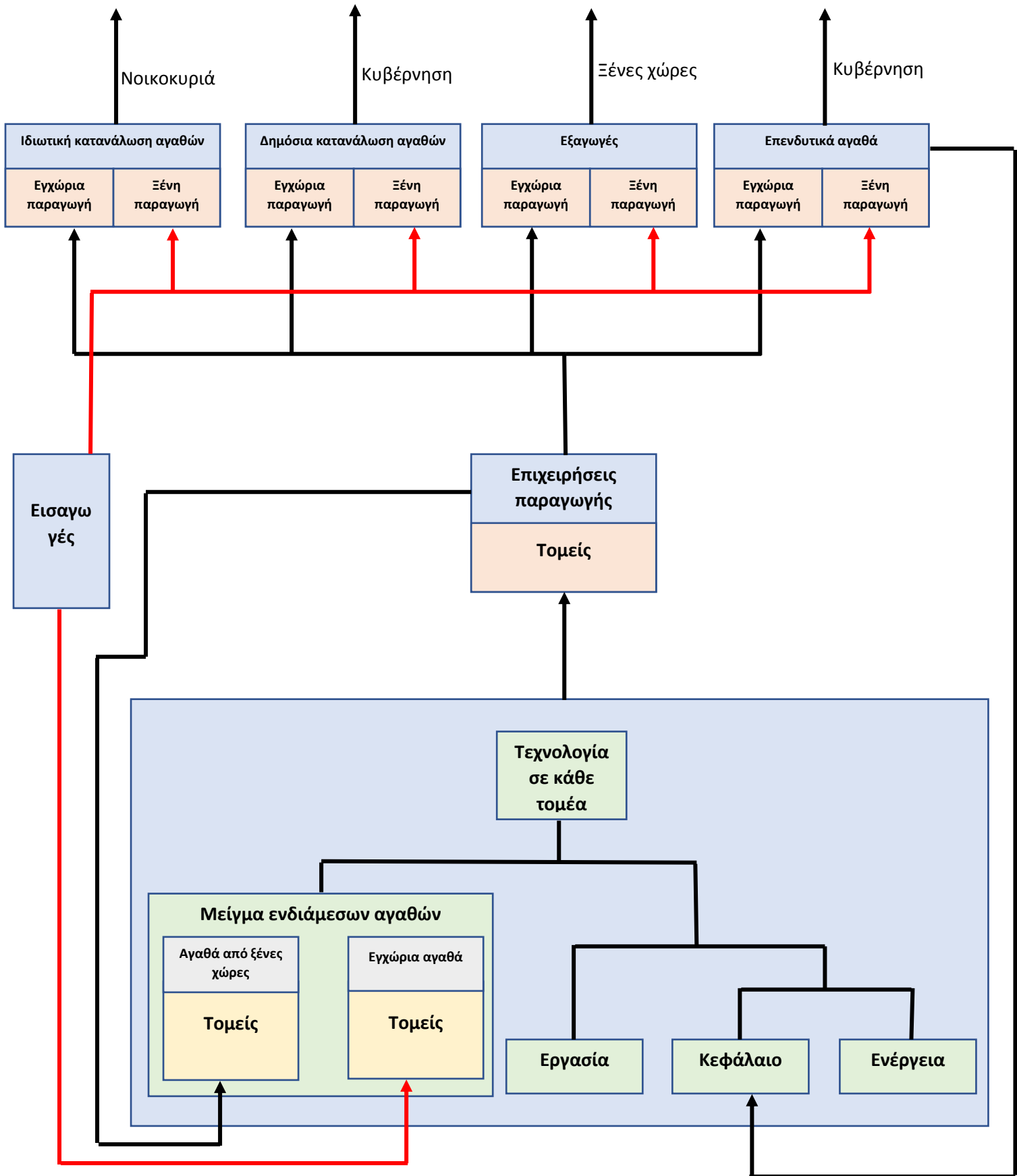
$$P_t^C C_t + T_t + VAT_t^H + \Xi_t + A_t = A_{t-1}(r_{t-1}) + \Delta_t^B + \Pi_t + (1 - \tau_t^S)(1 - \tau_t^W)W_t N_t + PEN_t$$

Όπου, τ_t^S είναι ο βαθμός συνεισφοράς για τις συντάξεις, τ_t^W είναι ο βαθμός φόρου εισοδήματος και Δ_t^B είναι οι αλλαγές στην ποσότητα ομολόγων που έχουν στην κατοχή τους. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ο πληθυσμός των νοικοκυριών χωρίζεται σε άτομα που δεν ανήκουν στο εργατικό δυναμικό, όπως είναι τα παιδιά και οι συνταξιούχοι OUT_t και στο υπόλοιπο κομμάτι που αποτελεί το εργατικό δυναμικό της

χώρας-μοντέλου. Το τελευταίο σύνολο χωρίζεται σε αυτούς που εργάζονται N_t και τους μη εργαζόμενους NE_t , οι οποίοι με την σειρά τους χωρίζονται σε άνεργους U_t και σε άεργους IN_t . έτσι ο συνολικός πληθυσμός των νοικοκυριών γράφεται

$$POP_t = N_t + U_t + IN_t + OUT_t$$

- **Επιχειρήσεις:** το κομμάτι που αφορά τις επιχειρήσεις χωρίζεται σε διάφορους τομείς. Ο μέγιστος αριθμός των τομέων που μπορεί να φτάσει το μοντέλο MEMO είναι μέχρι δέκα. Υπάρχει, βέβαια, η δυνατότητα για περαιτέρω ανάλυση κάποιου τομέα, ο οποίος μπορεί να είναι σημαντικός για τους σκοπούς της μελέτης που διεξάγεται. Παρόλα αυτά, για να καταστεί δυνατή μια τέτοια διάσπαση πρέπει να είναι διαθέσιμα τα απαραίτητα δεδομένα. Σε αυτούς τους βασικούς τομείς που θα συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο πρέπει να υπάρχουν οπωσδήποτε ο τομέας της ενέργειας και ο τομέας των πρώτων υλών. Η παραγωγή αγαθών χωρίζεται σε τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση οι επιχειρήσεις σε κάθε τομέα παράγουν το βασικό τομεακό αγαθό, υπό το καθεστώς μονοπωλίου. Έπειτα, αυτά τα προϊόντα πωλούνται σε επιχειρήσεις, οι οποίες θα μεταπωλήσουν τα προϊόντα σε παραγωγούς βασικών τομεακών αγαθών, σε επιχειρήσεις οι οποίες εξάγουν προϊόντα και σε παραγωγούς τελικών αγαθών. Στο τέλος, τα τελικά προϊόντα πωλούνται μέσω της αγοράς αγαθών στα νοικοκυριά, στην κυβέρνηση, σε παραγωγούς βασικών αγαθών και σε ξένες χώρες. Μια σαφής αναπαράσταση της παραγωγικής διαδικασίας των προϊόντων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2.4 Παραγωγική διαδικασία των προϊόντων.

Οι επιχειρήσεις λαμβάνουν τις αποφάσεις τους βάσει μιας συνάρτησης μεγιστοποίησης των κερδών τους όπως φαίνεται παρακάτω

$$\max \Pi_t^s, \Pi_t^s = \Pi_t^s + E_t \{ \Lambda_{t+1} \Pi_{t+1}^s \}$$

Όπου, s είναι ο εκάστοτε τομέας και S το σύνολο των τομέων, έτσι έχουμε $s \in S$, Π_t^s είναι τα τρέχοντα κέρδη της επιχείρησης και Λ_t είναι ο αναμενόμενος συντελεστής προεξόφλησης. Τα κέρδη της επιχείρησης προέρχονται από την πώληση των προϊόντων της $P_t^s Y_t^s$, όπου P_t^s είναι η τιμή πώλησης των προϊόντων και Y_t^s είναι το προϊόν του τομέα s , μείον τις δαπάνες για επενδύσεις $P_t^I I_t^s$, όπου P_t^I είναι η τιμή για την εκάστοτε επένδυση και I_t^s είναι η επένδυση στον τομέα s , τις δαπάνες για τις πληρωμές των εργαζομένων, τα κόστη για την αγορά ενδιάμεσων προϊόντων και ηλεκτρικής ενέργειας CM_t^s , τους φόρους για τις εκπομπές CO_2 $T_t^{CO_2, s}$, τους ενδιάμεσους φόρους EXC_t^s , τους φόρους εταιρικού εισοδήματος CIT_t^s και τα κόστη λόγω χρεών. Έτσι τα κέρδη προκύπτουν από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Pi_t^s = P_t^s Y_t^s - N_t^s W_t^s - P_t^I I_t^s - CM_t^s - T_t^{CO_2, s} - EXC_t^s - CIT_t^s + \psi_t^{s, D}$$

Όπου, $\psi_t^{s, D}$ είναι οι καθαρές ροές από την διαχείριση του χρέους.

Για την παραγωγή των βασικών αγαθών οι επιχειρήσεις ακολουθούν μια διαδικασία παραγωγής που αποτελείται από τρία στάδια. Αρχικά, συνδυάζονται το κεφάλαιο που προορίζεται για την παραγωγή προϊόντων με την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια και δημιουργούν το πρώτο μεικτό αγαθό. Δηλαδή,

$$KE_t^s = \left[\left(1 - \theta_{ENG, t}^s \right) \frac{1}{\varepsilon_E^s} (u_t^s K_t^s)^{\frac{\varepsilon_E^s - 1}{\varepsilon_E^s}} + \left(\theta_{ENG, t}^s \right) \frac{1}{\varepsilon_E^s} (ENG_t^s)^{\frac{\varepsilon_E^s - 1}{\varepsilon_E^s}} \right]^{\frac{\varepsilon_E^s}{\varepsilon_E^s - 1}}$$

Όπου, χρησιμοποιείται η συνάρτηση παραγωγής με σταθερή ελαστικότητα υποκατάστασης (CES). Η μεταβλητή u_t^s είναι ο βαθμός χρησιμοποίησης κεφαλαίου, $\theta_{ENG, t}^s$ είναι η ενδιάμεση κατανάλωση ηλεκτρισμού στον τομέα s , ε_E^s είναι η ελαστικότητα υποκατάστασης μεταξύ κεφαλαίου και ηλεκτρισμού και KE_t^s είναι το μεικτό αγαθό κεφαλαίου-ηλεκτρισμού. Στην δεύτερη φάση, το αγαθό που παράχθηκε νωρίτερα συνδυάζεται με την εργασία και παράγουν ένα άλλο μεικτό αγαθό, που αποτελείται από το κεφάλαιο, τον ηλεκτρισμό και την εργασία. Η διαδικασία παραγωγής είναι ίδια με αυτήν που ακολουθήθηκε στην πρώτη φάση, συνεπώς ισχύει

$$KLE_t^S = \left[(\theta_{KE,t}^S)^{\frac{1}{\varepsilon_{KE}^S}} (KE_t^S)^{\frac{\varepsilon_{KE}^S-1}{\varepsilon_{KE}^S}} + (1 - \theta_{KE,t}^S)^{\frac{1}{\varepsilon_{KE}^S}} (N_t^S)^{\frac{\varepsilon_{KE}^S-1}{\varepsilon_{KE}^S}} \right]^{\frac{\varepsilon_{KE}^S}{\varepsilon_{KE}^S-1}}$$

Όπου, $\theta_{KE,t}^S$ είναι το μερίδιο του κεφαλαίου και του ηλεκτρισμού στην παραγωγή και αντίστοιχα $(1-\theta_{KE,t}^S)$ είναι το μερίδιο της εργασίας, ε_{KE}^S είναι η ελαστικότητα υποκατάστασης μεταξύ του μείγματος κεφαλαίου-ενέργειας και της εργασίας. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο, ο συνδυασμός κεφαλαίου-ενέργειας-εργασίας συνδυάζεται με το σύνολο των ενδιάμεσων υλικών και παράγουν το τελικό αποτέλεσμα

$$KLEM_t^S = \left[(1 - \theta_{M,t}^S)^{\frac{1}{\varepsilon_M^S}} (KLE_t^S)^{\frac{\varepsilon_M^S-1}{\varepsilon_M^S}} + (\theta_{M,t}^S)^{\frac{1}{\varepsilon_M^S}} (M_t^S)^{\frac{\varepsilon_M^S-1}{\varepsilon_M^S}} \right]^{\frac{\varepsilon_M^S}{\varepsilon_M^S-1}}$$

Όπου, $\theta_{M,t}^S$ είναι το μερίδιο των ενδιάμεσων υλικών που απαιτούνται για την παραγωγική διαδικασία και ε_M^S είναι η ελαστικότητα υποκατάστασης μεταξύ του μείγματος κεφαλαίου-ενέργειας-εργασίας με τα ενδιάμεσα υλικά. Για την τελική παραγωγή των βασικών τομεακών προϊόντων χρησιμοποιείται η εξής εξίσωση

$$Y_t^S = e^{\xi_t^Y} KLEM_t^S (K_t^{PUB})^{\varepsilon_{KP}}$$

Όπου, K_t^{PUB} είναι το δημόσιο κεφάλαιο, ξ_t^Y είναι ένα σοκ παραγωγικότητας που χρησιμοποιείται για να βαθμονομηθούν οι δυναμικές ιδιότητες του μοντέλου και ε_{KP} είναι η ελαστικότητα του προϊόντος στις δημόσιες υποδομές.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι για τα ενδιάμεσα υλικά που αφορούν τον τομέα των πρώτων υλών γίνεται σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στα καύσιμα (κάρβουνο, πετρέλαιο, αέριο κ.α.) και στις υπόλοιπες πρώτες ύλες. Επίσης, γίνεται διαχωρισμός μεταξύ των εγχώριων ενδιάμεσων υλικών και των εισαγόμενων. Όσον αφορά τις εκπομπές CO₂, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως γίνεται διαχωρισμός σε εκπομπές που γίνονται από τις παραγωγικές διαδικασίες των επιχειρήσεων και σε εκπομπές που γίνονται από τα νοικοκυριά.

Για τις εκπομπές CO₂ των επιχειρήσεων θεωρείται ότι παράγονται κατά την διαδικασία παραγωγής των προϊόντων σε κάθε τομέα αλλά και από την χρησιμοποίηση των ενδιάμεσων αγαθών. Έτσι διαμορφώνεται η εξής συνάρτηση

$$CO_{2t}^s = \theta_{H,CO_2,t}^s Y_t^s + \sum_{j \in T} \theta_{j,CO_2,t}^s (M_{j,H,t}^s + M_{j,F,t}^s)$$

Όπου, $\theta_{H,CO_2,t}^s$ είναι ένας συντελεστής για τις εκπομπές CO₂ στον κάθε τομέα, $\theta_{j,CO_2,t}^s$ είναι το ποσό CO₂ που εκπέμφθηκε στον τομέα s από την χρησιμοποίηση του υλικού j, $M_{j,H,t}^s$ είναι το εγχώριο υλικό j που χρησιμοποιήθηκε στον τομέα s και $M_{j,F,t}^s$ είναι το εισαγόμενο υλικό j που χρησιμοποιήθηκε στον τομέα s.

Αντίστοιχα, η περίπτωση των εκπομπών CO₂ που παράχθηκαν από τα νοικοκυριά υπολογίζεται ακολούθως

$$CO_{2t}^{CNS} = \sum_{j \in T} \theta_{j,CO_2,t}^{CNS} M_{j,t}^{CNS}$$

Στο μοντέλο MEMO εμπεριέχονται διαδικασίες για την επιλογή των κατάλληλων επενδυτικών αποφάσεων από τις επιχειρήσεις αλλά και διαδικασίες για την έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που στοχεύουν κυρίως στην παρατήρηση της επίδρασης σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του κεφαλαίου, το οποίο είναι η ενεργειακή ένταση.

Στην δεύτερη φάση της παραγωγικής διαδικασίας, αφού έχουν παραχθεί τα βασικά τομεακά αγαθά σε ένα μονοπωλιακό περιβάλλον, παράγονται τα τελικά τομεακά αγαθά μέσω παραγωγών που αγοράζουν τα ήδη παραχθέντα τομεακά αγαθά στον εκάστοτε τομέα, τα αθροίζουν χρησιμοποιώντας την μεταβλητή \tilde{Y}_t^s και μετά τα πουλάνε, σε ένα τέλειο ανταγωνιστικό περιβάλλον, με σκοπό την μεγιστοποίηση του κέρδους τους. Έτσι ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις

$$\Pi_t^s = P_t^s \tilde{Y}_t^s - \int_0^1 P_t^s(i) Y_t^s(i) di$$

$$s. t. \tilde{Y}_t^s = \left(\int_0^1 (Y_t^s(i))^{\frac{\rho^s}{\rho^s-1}} di \right)^{\frac{\rho^s-1}{\rho^s}}$$

Όπου, P_t^s και $P_t^s(i)$ είναι η τιμή στην οποία το τελικό τομεακό αγαθό και η τιμή στην οποία το βασικό τομεακό αγαθό, αντίστοιχα, πωλούνται και η παράμετρος ρ^s καθορίζει την ποσότητα με την οποία η τιμή του αγαθού αυξήθηκε για να ξανά πωληθεί στην συνέχεια.

Στην τρίτη φάση της παραγωγής παράγονται τα τελικά αγαθά. Τα τελικά αγαθά αποτελούνται από τρεις διαφορετικούς τύπους, οι οποίοι είναι αγαθά για την κατανάλωση CNS, επενδυτικά αγαθά INV και κυβερνητικά αγαθά COV. Τα αγαθά για την κατανάλωση αγοράζονται από τα νοικοκυριά, τα επενδυτικά αγαθά χρησιμοποιούνται για την συσσώρευση ιδιωτικού και δημόσιου κεφαλαίου ενώ τα κυβερνητικά αγαθά αγοράζονται από την κυβέρνηση. Το σύνολο των τελικών αγαθών ορίζεται ως f , οπότε ισχύει $f = \{CNS, INV, COV\}$. Σκοπός των επιχειρήσεων σε αυτή την φάση είναι να μεγιστοποιήσουν τα αναμενόμενα κέρδη τους. Συνεπώς και σε αυτή τη φάση υπάρχει μια συνάρτηση μεγιστοποίησης, η οποία είναι

$$\max \Pi_t^f, \Pi_t^f = \Pi_t^f + E_t \{ \Lambda_{t+1} \Pi_{t+1}^f \}$$

Και τα κέρδη της επιχείρησης δίνονται από την εξής εξίσωση

$$\Pi_t^f = P_t^f Y_t^f - COST_t^f$$

Όπου, $COST_t^f$ είναι τα κόστη της παραγωγής, P_t^f είναι η τιμή πώλησης των τελικών αγαθών και Y_t^f είναι τα τελικά αγαθά. Η διαδικασία για την παραγωγή των αγαθών αυτών είναι παρόμοια με αυτήν που αναλύθηκε στην πρώτη φάση της παραγωγικής διαδικασίας.

Οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες ενδιάμεσων υλικών κατά την παραγωγή των τελικών αγαθών προκύπτουν από τις απαιτούμενες ποσότητες εγχώριων υλικών και τις απαιτούμενες ποσότητες εισαγόμενων υλικών. Δηλαδή,

$$M_{i,t}^f = \left[(\theta_{i,H,t}^f)^{\frac{1}{\varepsilon_H^i}} (M_{i,H,t}^f)^{\frac{\varepsilon_H^i - 1}{\varepsilon_H^i}} + (1 - \theta_{i,H,t}^f)^{\frac{1}{\varepsilon_H^i}} (M_{i,F,t}^f)^{\frac{\varepsilon_H^i - 1}{\varepsilon_H^i}} \right]^{\frac{\varepsilon_H^i}{\varepsilon_H^i - 1}}$$

Όπου, $M_{i,H,t}^f$ και $M_{i,F,t}^f$ είναι οι ποσότητες ενδιάμεσων υλικών, που παράχθηκαν εγχώρια και από άλλες χώρες αντίστοιχα και χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του τελικού αγαθού τύπου f , $\theta_{i,H,t}^f$ είναι το μερίδιο των εγχώριων ενδιάμεσων υλικών στην παραγωγή και ε_H^i είναι η ελαστικότητα της υποκατάστασης μεταξύ των εγχώριων και των ξένων υλικών τύπου i .

Το συνολικό κόστος για την παραγωγή των τελικών αγαθών δίνεται από την εξίσωση

$$COST_t^f = \sum_{i \in T} P_t^{i,H} M_{i,H,t}^f + \sum_{i \in T} P_t^{i,IM} M_{i,F,t}^f$$

Όπου, $P_t^{i,H}$ είναι η τιμή πώλησης των εγχώριων αγαθών και $P_t^{i,IM}$ είναι, αντίστοιχα, η τιμή πώλησης των ξένων αγαθών.

Τέλος, ο υπολογισμός των εκπομπών CO_2 που αφορά τον τελικό τομέα παραγωγής, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξής εξίσωση

$$CO_{2t}^f = \sum_{j \in T} \theta_{j,CO_2,t}^f (M_{i,H,t}^f + M_{i,F,t}^f)$$

Όπου, $\theta_{j,CO_2,t}^f$ είναι η ποσότητα CO_2 που παράχθηκε στον τελικό τομέα για την χρησιμοποίηση του υλικού j .

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ο τομέας παραγωγής ηλεκτρισμού και ο τομέας πρώτων υλών πρέπει οπωσδήποτε να εμπεριέχονται στην μοντελοποίηση των επιχειρήσεων, γιατί παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση που πρέπει να γίνει. Επίσης, όπως και στον τομέα των πρώτων υλών, όπου έχει υπάρξει περεταίρω διάσπαση και ανάλυση, έτσι και ο τομέας παραγωγής ηλεκτρισμού (ENG) αναλύεται περεταίρω. Δηλαδή, θεωρείται ότι ο ηλεκτρισμός που παράγεται προέρχεται από διαφορετικές πηγές (π.χ. υδροηλεκτρικές, θερμοηλεκτρικές και ορυκτά καύσιμα). Έτσι, για κάθε τύπο αντιστοιχεί και ένας ξεχωριστός τομέας και μετέπειτα με την συνάθροιση όλων των διαφορετικών τύπων ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο τομέα ENG. Αυτό γίνεται βάση του τύπου

$$Y_t^{ENG} = \left(\sum_{j \in EGS} (Y_t^{ENG,j})^{\rho_{ENG}} \right)^{\frac{1}{\rho_{ENG}}}$$

Όπου, EGS είναι το σύνολο των τύπων ηλεκτρικής ενέργειας και ρ_{ENG} είναι η ελαστικότητα υποκατάστασης μεταξύ των τύπων ηλεκτρικής ενέργειας.

- **Κυβέρνηση:** η κυβέρνηση κερδίζει έσοδα μέσω των διάφορων φόρων τους οποίους επιβάλλει σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις. Ο υπολογισμός των φόρων αυτών δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις

$$VAT_t = VAT_t^H$$

$$PIT_t = \tau_t^w (1 - \tau_t^s) W_t N_t$$

$$CIT_t = \sum_{s \in T} CIT_t^s$$

$$\tau_t^{CO2} = \sum_{s \in T} \tau_t^{CO2,s}$$

$$EXC_t = \sum_{s \in T} EXC_t^s$$

Τα έσοδα αυτά ξοδεύονται για την απόκτηση δημόσιων αγαθών $P_t^{GOV}G_t$, σε δημόσιες επενδύσεις $P_t^{INV}GI_t$, σε κοινωνικές μεταβιβάσεις στα νοικοκυριά (επιδόματα σε ανέργους και συνταξιούχους) T_t και στην διαχείριση του δημόσιου χρέους B_{t-1} . Άρα, ο περιορισμός προϋπολογισμού δίνεται από την εξίσωση

$$\begin{aligned} & P_t^{GOV}G_t + P_t^{INV}GI_t + T_t + \frac{1}{\pi_t}B_{t-1} \\ & = VAT_t + PIT_t + CIT_t + EXC_t + \tau_t^{CO2} + \frac{B_t}{R_t} \end{aligned}$$

Όπου, οι μεταφορές στα νοικοκυριά καθορίζονται εξωγενώς.

Ο προσδιορισμός των δαπανών για τα δημόσια αγαθά και για τις δημόσιες επενδύσεις γίνεται βάσει του ΑΕΠ της χώρας. Δηλαδή,

$$P_t^{GOV}G_t = \omega^{GE}GDP_t e^{\xi_t^G}$$

$$P_t^{INV}GI_t = \omega^{GI}GDP_t e^{\xi_t^{GI}}$$

Όπου, οι μεταβλητές ξ_t^G , ξ_t^{GI} προσδιορίζονται εξωγενώς και χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση της συμπεριφοράς του μοντέλου βάση της κυβερνητικής πολιτικής για τις δαπάνες. Το δημόσιο μετοχικό κεφάλαιο υπολογίζεται βάση της εξίσωσης

$$K_t^{PUB} = (1 - \delta_K^{PUB})K_t^{PUB} + GI_t$$

Όσον αφορά τις συντάξεις PEN_t , βρίσκονται πάντα σε ισορροπία με τις συνεισφορές των νοικοκυριών για το συνταξιοδοτικό σύστημα

$$PEN_t = \tau_s W_t N_t$$

Έχοντας κατασκευαστεί η κύρια δομή του μοντέλου MEMO, πρέπει στην συνέχεια να προσδιοριστούν όλες οι απαραίτητες συνθήκες που θα εξασφαλίσουν ισορροπία σε όλες τις αγορές του μοντέλου, όπως είναι για παράδειγμα οι αγορές βασικών και τελικών αγαθών, η αγορά περιουσιακών στοιχείων, η διεθνή αγορά, η αγορά εργασίας κ.α..

Αφού, έχουν σχεδιαστεί και καθοριστεί οι εξισώσεις βελτιστοποίησης και οι συνθήκες ισορροπίας του μοντέλου, πρέπει να γίνει η κατάλληλη βαθμονόμηση του. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται διάφορες πηγές δεδομένων. Όσον αφορά την βαθμονόμηση των τομέων στο κομμάτι των επιχειρήσεων γίνεται με την χρήση πινάκων εισόδου/εξόδου, οι οποίοι διαχωρίζουν τα δεδομένα σε εγχώρια και δεδομένα που αφορούν τις εισαγωγές για τον κάθε τομέα στην συγκεκριμένη χώρα που εξετάζεται. Τέλος, ανάλογα με τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί, μπορεί να χρειαστεί να συγχωνευτούν διάφοροι τομείς εάν ο αριθμός τους είναι πολύ μεγάλος για το μοντέλο.

Για την λύση του προβλήματος, το μοντέλο, υπολογίζει, αρχικά, την σταθερή κατάσταση του συστήματος και στην συνέχεια με την χρήση γραμμικής προσέγγισης υπολογίζει τις δυναμικές γύρω από αυτήν την κατάσταση. Συνεπώς, τα αποτελέσματα διαφόρων μεταβλητών που παρουσιάζει το μοντέλο αναπαρίστανται ως αποκλίσεις από την αρχική σταθερή κατάσταση. Λόγω του συγκεκριμένου τρόπου επίλυσης, οι αποκλίσεις γύρω από την σταθερή κατάσταση δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλες ούτως ώστε τα αποτελέσματα να είναι εφικτά (Antosiewicz, 2018).

2.3 Το μοντέλο BSAM

Το μοντέλο εκτίμησης επιχειρηματικής στρατηγικής ή business strategy assessment model (BSAM) είναι ένα ενεργειακό μοντέλο υψηλής ανάλυσης. Παρακάτω, παρουσιάζεται η δομή και το πλαίσιο του μοντέλου όπως αναπτύχθηκε από τους Papadelis, Flamos, και Androulaki (2012).

Το BSAM είναι ένα μοντέλο το οποίο δίνει την δυνατότητα να προσομοιωθεί ένα κοινωνικό-οικονομικό σύστημα και πιο συγκεκριμένα ένα σύστημα που αφορά τον ενεργειακό τομέα μέσω της χρήσης πρακτόρων, οι οποίοι έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους και εφαρμόζοντας διάφορες πολιτικές να αναγνωριστεί το αντίκτυπο που θα έχει στο σύστημά βάσει των κινήσεων και αντιδράσεών τους.

Μια από τις αρμοδιότητες των μοντέλων είναι να παίρνουν αποφάσεις που έχουν να κάνουν με επενδύσεις. Για να είναι σε θέση να πάρουν αποφάσεις πρέπει να μπορούν να εκτιμήσουν κάθε δυνατή επένδυση. Αυτό το καταφέρνουν προσομοιώνοντας με δυναμικό τρόπο τις αγορές κάνοντας χρήση εναλλακτικών σεναρίων για τις τιμές ούτως ώστε να παράξουν στρατηγικές επενδύσεων λαμβάνοντας υπόψιν τις μελλοντικές συνθήκες της αγοράς.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι κανένα μοντέλο δεν μπορεί να συμπεριλάβει όλες τις παραμέτρους και πτυχές του εκάστοτε υπό ερεύνηση συστήματος, παρά μόνο ένα μέρος του.

Αυτό οδηγεί διαφορετικά μοντέλα να παρουσιάζουν διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τις υποθέσεις στις οποίες έδωσαν το μεγαλύτερο βάρος δεδομένου του στόχου που έχουν θέσει και τα ερωτήματα που καλούνται να απαντήσουν. Το μοντέλο BSAM βασίζεται στην άποψη ότι όταν έχουμε μια σύγκλιση μεταξύ της αξιολόγησης πολιτικών και των μοντέλων εκτίμησης επιχειρησιακής στρατηγικής, οι ρυθμιστικές αρχές θα είναι σε θέση να παράξουν αποτελεσματικές πολιτικές.

Στο μοντέλο αυτό δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην διαμόρφωση και μοντελοποίηση πρακτόρων με διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, οι οποίοι θα αντανακλούν το ετερογενές περιβάλλον των επενδυτών και οι οποίοι θα καλούνται να πάρουν επενδυτικές αποφάσεις μέσα σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την κριτική του Lucas (1976), ο οποίος αναφέρει ότι αν επιζητείται η πρόβλεψη της επίδρασης που θα έχει κάποια πολιτική, τότε πρέπει να συμπεριληφθεί κάθε στοιχείο που επηρεάζει την συμπεριφορά του κάθε «ατόμου» στο σύστημά, ούτως ώστε όταν αθροιστούν όλα τα «άτομα» θα υπολογιστεί και θα εκτιμηθεί η επίδραση που θα έχει η πολιτική στο σύστημα. Γι' αυτό τον λόγο και το μοντέλο BSAM έχει υιοθετήσει μια «οπτική πρακτόρων», δηλαδή όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα αναλύεται ο τρόπος και την διαδικασία με την οποία κάθε πράκτορας διαμορφώνει τις αποφάσεις του και τα κριτήρια που θέτει ώστε να γίνει μια σωστή εκτίμηση πολιτικής.

Το μοντέλο BSAM βασίστηκε, προήλθε και συμπλήρωσε τα μοντέλα Real Options τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για να εκτιμηθούν επενδύσεις σε διαφορετικές ενεργειακές τεχνολογίες. Τα μοντέλα αυτά όμως παρουσίαζαν κάποιους περιορισμούς κατά την εφαρμογή τους, τους οποίους και το μοντέλο BSAM προσπάθησε να αντιμετωπίσει. Παρακάτω φαίνονται οι διαφορετικές προσεγγίσεις του μοντέλου BSAM ούτως ώστε να ξεπεράσει τους περιορισμούς που παρουσίασαν τα μοντέλα Real Options:

- Αρχικά, τα μοντέλα Real Options αντιμετώπιζαν τις μακροπρόθεσμες αβεβαιότητες, οι οποίες αναπαρίστανται ως τάση κάποιων στοχαστικών παραμέτρων (π.χ. ζήτηση ενέργειας, επιτρεπόμενες εκπομπές CO₂ και τιμές καυσίμων), θεωρώντας την τάση αυτή ως προκαθορισμένη και σταθερή. Αντιθέτως, η αβεβαιότητα της τάσης στα μοντέλα BSAM μοντελοποιείται σαφώς χρησιμοποιώντας την μέθοδο κατασκευής σεναρίων που είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την μοντελοποίηση τέτοιου είδους αβεβαιοτήτων σε προβλήματα διαμόρφωσης ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής.
- Επίσης, τα μοντέλα Real Options χρησιμοποιούν διαδικασίες για την περιγραφή του μέλλοντος της αγοράς, όπως είναι οι μελλοντικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας και τα επίπεδα εγκατεστημένης ισχύος, οι οποίες αν και σωστές είναι αμετάβλητες στις αθροιστικές συμπεριφορές των πρακτόρων ως σύνολο, οι οποίες στην πραγματικότητα θα έχουν αντίκτυπο στην διαδικασία. Το μοντέλο BSAM, αντιθέτως, θεωρεί ότι τα

επίπεδα εγκατεστημένης ισχύος και οι διαδικασίες για τις μελλοντικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι αμετάβλητες. Γι' αυτό τον λόγο το BSAM παράγει προοπτικές των μελλοντικών επιπέδων εγκατεστημένης ισχύος και των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας με το να προσομοιώνει κάποια μοντέλα μελλοντικών τιμών. Αυτά τα μοντέλα παράγουν διάφορα σενάρια όσον αφορά τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία βασίζονται σε σενάρια για τις τιμές των χρησιμοποιούμενων συντελεστών για την παραγωγή της και μοντέλα για την πιθανή συμπεριφορά των επενδυτών.

- Τα μοντέλα Real Options όπως και τα μοντέλα BSAM χρησιμοποιούν οικονομικά εργαλεία και μοντέλα για να μετρήσουν και να εκτιμήσουν διάφορα μεγέθη που επηρεάζουν τις επενδυτικές αποφάσεις των εκάστοτε πρακτόρων και έτσι να σχηματίσουν το κατάλληλο πλαίσιο για τις στρατηγικές αποφάσεις. Όμως, λόγω του ότι τα μοντέλα BSAM λαμβάνουν τις διαφορετικές στρατηγικές θεωρήσεις των επενδυτών ως προς τον τρόπο που θα επενδύσουν, για παράδειγμα εάν θέλει να έχει το πλεονέκτημα του επενδυτή που κάνει την πρώτη κίνηση ή προτιμάει να περιμένει για να συγκεντρώσει περαιτέρω πληροφορίες, ενώ τα μοντέλα Real Options περιορίζονται, τα μοντέλα BSAM είναι σε θέση να εξάγουν τις καλύτερες ανταποκρίσιμες στρατηγικές μέσα από διάφορα παίγνια, τα οποία δεν έχουν έναν μακρύ χρονικό ορίζοντα έτσι ώστε να αποφευχθούν συσσωρεύσεις αρκετών υποθέσεων οι οποίες θα οδηγήσουν το μοντέλο σε αρκετά υποθετικά αποτελέσματα λόγω έλλειψης πραγματικών δεδομένων.
- Η τελευταία διαφορά των δύο μοντέλων είναι ότι το μοντέλο BSAM λειτουργεί σαν ένα μοντέλο για την εκτίμηση πολιτικών ενώ το μοντέλο Real Options λειτουργεί σαν ένα μοντέλο για την εκτίμηση και αποδοχή ή απόρριψη διάφορων επενδυτικών επιλογών.

Η διαδικασία της εκτίμησης πολιτικών στο BSAM αποτελείται από τρία βήματα:

- 1) Αναγνώριση των πρακτόρων που επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από την πολιτική.
- 2) Καταγραφή και επεξήγηση της μετάβασης από το πεδίο της χάραξης της πολιτικής στο πεδίο των επιλογών των πρακτόρων.
- 3) Ευθυγράμμιση των ιδιωτικών με τα δημόσια συμφέροντα.

Στο πρώτο βήμα πρέπει να αναγνωριστούν οι πράκτορες που θα επηρεαστούν άμεσα από την εφαρμογή μιας πολιτικής αλλά και αυτοί που με την συμπεριφορά τους μπορούν να επηρεάσουν θετικά ή αρνητικά την αποτελεσματικότητα της πολιτικής.

Στο δεύτερο βήμα γίνεται λεπτομερής και σαφής μοντελοποίηση του τρόπου με τον οποίο οι πράκτορες παίρνουν τις αποφάσεις τους. Έτσι ώστε να μπορέσουν οι εφαρμοσμένες πολιτικές

να επηρεάσουν το μέλλον του συστήματος προς την κατεύθυνση που θέλουν. Για να γίνει αυτή η μοντελοποίηση εμπλέκονται αρκετοί φορείς, οι οποίοι καλούνται να απαντήσουν σε κατάλληλα διαμορφωμένα ερωτηματολόγια.

Στο τρίτο βήμα γίνεται προσπάθεια να ευθυγραμμιστούν τα ιδιωτικά με τα δημόσια συμφέροντα. Αυτό το καταφέρνουν με την χρησιμοποίηση κάποιων δεικτών επιρροής, οι οποίοι δείχνουν εάν οι επιχειρήσεις έχουν την επιθυμητή συμπεριφορά ή όχι οπότε και θα ξανασχεδιάσουν τα όργανα της πολιτικής.

Πρέπει να αναφερθεί ότι μια πολιτική για να μπορέσει να είναι αποτελεσματική πρέπει να είναι σε θέση να μειώνει το απαιτούμενο ρίσκο για την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών, να μπορεί να υπερβαίνει την αδράνεια του συστήματος, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στο σύστημα παραγωγής ενέργειας και η επίδραση των μέτρων που λαμβάνει να παραμένει αμετάβλητη από τις απόψεις που έχουν οι πράκτορες.

Στην συνέχεια, θα περιγραφεί η αρχιτεκτονική του μοντέλου που χρησιμοποιείται για να υλοποιήσει τις λειτουργίες που έχουν αναφερθεί παραπάνω. Το μοντέλο BSAM αποτελείται από κάποιες μονάδες, όπου κάθε μια από αυτές είναι υπεύθυνη για μια συγκεκριμένη λειτουργία και οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ούτως ώστε το μοντέλο να είναι σε θέση να παραγάγει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αυτές οι μονάδες είναι οι εξής:

- Μονάδα προσδιορισμού σεναρίου.
- Μονάδα προσομοίωσης των μελλοντικών τιμών.
- Μονάδα οικονομικού σχεδιασμού.
- Μονάδα στρατηγικών διασυνδέσεων.

Μονάδα προσδιορισμού σεναρίου: αρχικά, το μοντέλο BSAM χρειάζεται σαν εισαγωγή κάποια σενάρια που θα περιγράφουν την μελλοντική κατάσταση του περιβάλλοντος, έτσι ώστε να μπορέσει να εκτιμήσει τις διάφορες πολιτικές που έχουν σχεδιαστεί. Τα σενάρια αυτά επηρεάζουν εξωγενείς παράγοντες του μοντέλου και θεωρείται ότι δεν αλλάζουν από τις διάφορες διεργασίες που γίνονται εσωτερικά στο μοντέλο. Η κατασκευή των σεναρίων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα να γίνει αναγνώριση των κυριότερων συντελεστών που επηρεάζουν την μελλοντική εικόνα του συστήματος και πάνω σε αυτά να καταστρωθούν διάφορα σενάρια με διαφορετικούς συνδυασμούς των συντελεστών αυτών. Εναλλακτικά, μπορεί να εκτιμηθεί η μελλοντική κατάσταση του συστήματος εξετάζοντας το ελάχιστο κόστος ή την μέγιστη τιμή που προκύπτει από μια πολιτική κ.α..

Μονάδα προσομοίωσης των μελλοντικών τιμών: έχοντας κατασκευαστεί τα διάφορα σενάρια χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες που παρέχονται από αυτά για να προσομοιωθούν οι μελλοντικές τιμές. Κατ' αρχάς, βάσει των ιστορικών στοιχείων και των δεδομένων λόγω

των σεναρίων, θα προσομοιωθούν οι τιμές των καυσίμων, του άνθρακα, του συνολικού φορτίου, της εισαγωγής των RES, της υδροηλεκτρικής παραγωγής και οι τρέχοντες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα, γίνεται προσομοίωση της τεχνολογικής προόδου και εξετάζονται διάφορες επιλογές ανάμεσα σε ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες και σε καινούργιες έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει επιλογή ως προς το ποιες τεχνολογίες τελικά θα υιοθετηθούν από τους επενδυτές. Στην συνέχεια, γίνεται μια εκτίμηση αναμενόμενης κερδοφορίας, η οποία λειτουργεί σαν ένδειξη για επενδυτικές αποφάσεις, μέσω του υπολογισμού των αναμενόμενων συντελεστών ισχύος, των αναμενόμενων λειτουργικών δαπανών και των αναμενόμενων τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και υπολογίζοντας τον δείκτη ROI (return of investment) που λειτουργεί ως κριτήριο για την λήψη αποφάσεων που έχουν να κάνουν με επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες αλλά και την ενσωμάτωση των επιδράσεων που έχουν οι διάφορες πολιτικές στις επενδυτικές αποφάσεις είτε άμεσα είτε έμμεσα και έτσι ανάλογα με τις αποφάσεις να υπολογιστεί η αναμενόμενη ισχύ λόγω της νέας τεχνολογίας.

Μονάδα οικονομικού σχεδιασμού: έχοντας εκτιμηθεί τα σενάρια για τις τιμές και την ισχύ, εκτελείται μια οικονομική αξιολόγηση των επιλογών κάθε επιχείρησης βρίσκοντας τις τιμές για το αναμενόμενο κέρδος που μπορούν να έχουν σε συνάρτηση με συγκεκριμένους περιορισμούς ρίσκου στους οποίους υπόκεινται εξαιτίας κάποιων χαρακτηριστικών τους όπως είναι:

- Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε επιχείρησης, όπως για παράδειγμα η θέση της στην αγορά.
- Αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε χώρας στην οποία εδράζεται η επιχείρηση, αν μιλάμε για ένα περιβάλλον που περιλαμβάνει παραπάνω από μια χώρα.

Μονάδα στρατηγικών διασυνδέσεων: τέλος, υπάρχει η μονάδα όπου προσομοιώνει τον ανταγωνισμό που υπάρχει μεταξύ των επιχειρήσεων έτσι ώστε να γίνει ορθότερα η εκτίμηση μιας επενδυτικής απόφασης αφού το αποτέλεσμα θα επηρεαστεί και από τις επιλογές των ανταγωνιστών. Αυτό επιτυγχάνεται προσδιορίζοντας ορισμένους ντετερμινιστικούς συντελεστές ανταγωνισμού, οι οποίοι αντιστοιχούν σε διαφορετικούς κόμβους ενός εκτεταμένης-μορφής δέντρου παιγνίου, το οποίο αναπαριστά όλες τις πιθανές στρατηγικές διασυνδέσεις που μπορεί να προκύψουν. Για να επιτευχθεί αυτή η διαδικασία, η μονάδα στρατηγικών διασυνδέσεων χρησιμοποιεί αλγόριθμους εκμάθησης έτσι ώστε να υπολογιστούν οι ενέργειες των ανταγωνιστών. Πρέπει να τονίσουμε ότι οι προσομοιώσεις αυτές έχουν νόημα μόνο για ένα μικρό διάστημα χρόνου, αφού για μεγαλύτερα διαστήματα δεν μπορούν να εκτιμηθούν με ασφάλεια οι ενέργειες των πρακτόρων. Οι διάφορες ενέργειες που θα εκτιμηθούν από την μονάδα αυτή θα ανατροφοδοτήσουν την μονάδα οικονομικού σχεδιασμού έτσι ώστε να τις λάβει υπόψιν του το μοντέλο για τους περαιτέρω υπολογισμούς.

2.4 Διεπιστημονική προσέγγιση

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναγνώριση και η εκτίμηση της επίδρασης που θα έχουν διάφορες αβεβαιότητες υλοποίησης συγκεκριμένων πολιτικών και που θα προσανατολίζονται προς την μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα στην Ελλάδα το οποίο θα έχει μειωμένες εκπομπές άνθρακα. Μια τέτοια μετάβαση θα βασίζεται κυρίως στην εισαγωγή μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπως επίσης και στην προώθηση καταναλωτών οι οποίοι θα παράγουν μέρος της παραγόμενης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας και οι οποίοι ονομάζονται αυτοπαραγωγοί ή «prosumers», αλλά και στην ανάπτυξη της ευελιξίας της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, σκοπός της εργασίας αυτής είναι και η αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των πιθανών συνεπειών που θα έχει μια τέτοια μετάβαση.

Ανατρέχοντας σε αντίστοιχες έρευνες, οι οποίες είχαν ως στόχο την μελέτη και ανάλυση τέτοιου είδους μεταβάσεων έτσι ώστε να εξάγουν ασφαλή συμπεράσματα ως προς τις διάφορες πολιτικές που μπορούν να ακολουθηθούν και έτσι να μπορέσουν να «φωτίσουν» ακόμα περισσότερο το υπό ερεύνηση πεδίο, παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν ποικίλες προσεγγίσεις από διάφορα επιστημονικά πεδία. Αρκετές από αυτές επικεντρώνονται σε ποσοτικές προσεγγίσεις βασισμένες σε κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο, ενώ άλλες θέλοντας να συμπεριλάβουν και τον ανθρώπινο παράγοντα, ακολουθούν μια πιο ποιοτική προσέγγιση.

➤ **Ποσοτικές μέθοδοι:**

Όσον αφορά τις μεθόδους που επιστρατεύουν ποσοτικά μοντέλα, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν αρκετές εφαρμογές. Για παράδειγμα, μέσω της χρήσης ενός κοινωνικό-τεχνικού ενεργειακού μοντέλου μετάβασης επιχειρείται να γίνει μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση του ενεργειακού συστήματος του Ηνωμένου Βασιλείου, όπου δίνεται βάση στην αντίσταση στις αλλαγές λόγω διαφόρων παραμέτρων (π.χ. κανονισμών, καθιερωμένων συμπεριφορών, τρόπο ζωής κ.α.) και έτσι εμποδίζεται ως ένα βαθμό η επίτευξη των καθορισμένων στόχων ως προς την μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα με λιγότερες εκπομπές άνθρακα (Li & Strachan, 2017). Οι Redondo & Van Vliet (2015) αξιολόγησαν μελλοντικά σενάρια για το Ελβετικό ενεργειακό σύστημα στα οποία το μερίδιο των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας ήταν αυξημένο, μέσω της χρησιμοποίησης ενός γραμμικού μοντέλου προγραμματισμού. Μια άλλη κατηγορία

μοντέλων που χρησιμοποιούνται με μεγάλη συχνότητα σε μελέτες που αφορούν περιβαλλοντικές πολιτικές είναι αυτή των Ολοκληρωμένων Μοντέλων Αξιολόγησης (Integrated Assessment Models) ή (IAM). Οι Amorim et al. (2014) μέσω ενός IAM έδειξαν ότι η διασύνδεση του συστήματος της Πορτογαλίας με αυτό της Ισπανίας αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για να επιτευχθεί μια αποδοτική μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα με την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι Shi, Chen, & Yin (2016) χρησιμοποίησαν το μοντέλο China TIMES για μια λεπτομερή καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων και ανέδειξαν ότι η χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στα κτίρια μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην μείωση των εκπομπών άνθρακα. Οι Huang, Chen, & Anandarajah (2017) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο που συμπεριελάμβανε 14 περιοχές σε μια παγκόσμια εφαρμογή και προσομοίωση μέσω της οποίας υποστήριξαν ότι η ανάπτυξη τεχνολογιών για την μείωση του άνθρακα πρέπει να ξεκινήσει από τις αναπτυσσόμενες χώρες και μέσω ενός κατάλληλου μηχανισμού για την διάδοση και διάχυση της τεχνολογίας και σε άλλες περιοχές θα βοηθήσει την ικανότητα και την διάθεση και των αναπτυσσόμενων χωρών να μειώσουν τις εκπομπές τους. Οι van der Zwaan, Kober, Longa, van der Laan, & Jan Kramer (2018) σε μια εφαρμογή που αφορούσε την μείωση του άνθρακα στην Αφρική μέσω της εκμετάλλευσης των δυνατοτήτων των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, χρησιμοποίησαν το μοντέλο TIAM-ECN και παρόλο που τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι ο στόχος για την ικανότητα παραγωγής 300 KW επιπρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ανανεώσιμων μορφών παραγωγής μέχρι το έτος 2030 είναι μη εφικτός, η επιλογή της ανανεώσιμης ενέργειας είναι η βέλτιστη λύση από άποψη κόστους σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα για την εκπλήρωση των ενεργειακών απαιτήσεων της Αφρικής έχοντας ως πλεονέκτημα την αποφυγή, λόγω των ορυκτών καυσίμων, μιας δαπανηρής δέσμευσης και την διόρθωση του ανθρακικού αποτυπώματος της ηπείρου μέχρι το 2050. Πέραν των ενεργειακών μοντέλων και των ολοκληρωμένων μοντέλων αξιολόγηση, ευρεία χρήση για την μελέτη ενεργειακών πολιτικών έχουν και διάφορα οικονομικά και επιχειρηματικά μοντέλα. Οι Karneyeva & Wüstenhagen (2017) χρησιμοποίησαν δύο επιχειρηματικά μοντέλα, ένα βασισμένο στα έσοδα και ένα βασισμένο στην αποταμίευση. Μέσω αυτών των μοντέλων ερεύνησαν τον κίνδυνο για μείωση των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά (PVs) και λόγω αυτού τον κίνδυνο να μην επιτευχθούν οι στόχοι για μείωση των εκπομπών άνθρακα, το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι το κόστος της ηλιακής ενέργειας φθάνει να ισούται ή να είναι μικρότερο από την τιμή της ενέργειας του υφιστάμενου ηλεκτρικού δικτύου και έτσι οι ρυθμιστικές αρχές αποφασίζουν να άρουν τις οικονομικές επιδοτήσεις προς την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών. Η έρευνά τους αφορούσε τρεις αγορές φωτοβολταϊκών (Γερμανία, Ιταλία και Ελβετία). Τα

αποτελέσματα της οποίας συνιστούν μείωση του ρίσκου των πολιτικών έτσι ώστε να διατηρηθεί η ποικιλία των επενδυτών. Οι Norwood, Goop, & Odenberger (2017) συνδύασαν ένα γραμμικής βελτιστοποίησης κόστους επενδυτικό μοντέλο (ELIN) μαζί με ένα τεχνολογικό μοντέλο για την ηλιακή ενέργεια (DCS-CHP) ούτως ώστε να δείξουν ότι η επιλογή της ανάπτυξης φωτοβολταϊκών μαζί με την χρήση μπαταριών για αποθήκευση είναι το καλύτερο σενάριο για το μελλοντικό ηλεκτρικό δίκτυο έτσι ώστε να επιτευχθεί η μείωση κατά 80-95% στα τρέχοντα επίπεδα εκπομπής CO₂ μέχρι το έτος 2050. Οι M. A. Brown & Li (2019) μέσω ενός πλήρως ολοκληρωμένου ενεργειακού-οικονομικού μοντέλου για το ενεργειακό σύστημα των Ηνωμένων Πολιτειών έδειξαν ότι οι φόροι για τις εκπομπές άνθρακα μαζί με πολιτικές ενεργειακής απόδοσης είναι σε θέση να ικανοποιήσουν στόχους μετάβασης σε ένα σύστημα χαμηλότερων εκπομπών άνθρακα, οι οποίοι θα βοηθήσουν στην επίτευξη του περιορισμού της αύξησης της θερμοκρασία κατά 1,5 °C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα στο τέλος του αιώνα. Επίσης, για την ανάλυση περιβαλλοντικών πολιτικών έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα ενεργειακών συστημάτων ή ενεργειακά μοντέλα. Για παράδειγμα, οι Valasai et al. (2017) χρησιμοποίησαν το ενεργειακό μοντέλο TIMES για την μελέτη της μείωσης των εκπομπών άνθρακα από τον ενεργειακό τομέα του Πακιστάν και έδειξαν ότι μπορούν να μειωθούν οι εκπομπές κατά 10-20% σταδιακά μέχρι το 2030, με ένα επιπρόσθετο κόστος της τάξης των 1 με 5 δισεκατομμυρίων αμερικάνικων δολαρίων. Ακόμα, οι Löffler et al. (2017) παρουσίασαν το ενεργειακό μοντέλο GENeSYS-MOD σε μια εφαρμογή για την ανάλυση σεναρίων για την μείωση άνθρακα σε παγκόσμια κλίμακα. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι για να επιτευχθεί ο στόχος του 1,5-2 °C, η λύση με το χαμηλότερο κόστος ήταν αυτή που συνδύαζε διάφορες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας με επικρατέστερη αυτή της ηλιακής ενέργειας. Μια ακόμη εφαρμογή του ενεργειακού μοντέλου GENeSYS-MOD έγινε από τους Lawrenz et al. (2018) εφαρμοσμένο όμως για την ανάλυση του ενεργειακού συστήματος της Ινδίας και χρησιμοποιώντας σενάρια έδειξαν ότι η μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλότερων εκπομπών άνθρακα μέχρι το έτος 2050 είναι εφικτή. Στην εργασία τους έκαναν, επίσης και ανάλυση των πιθανών κοινωνικών, οικονομικών και πολιτικών εμποδίων που θα πρέπει να ξεπεραστούν έτσι ώστε μια τέτοια μετάβαση να μπορέσει να πραγματοποιηθεί. Οι Selosse, Garabedian, Ricci, & Maïzi (2018) χρησιμοποίησαν το μοντέλο TIMES-Reunion για την ανάλυση πολιτικών που θα οδηγήσουν το νησί Ρεϋνιόν να καταφέρει να έχει ενεργειακή αυτονομία με την χρήση εκατό τοις εκατό ανανεώσιμων μορφών ενέργειας μέχρι το 2030. Για να γίνει αυτό, το μοντέλο έδειξε ότι είναι απαραίτητη η υποστήριξη μέσω διαφόρων πολιτικών και οικονομικών παρεμβάσεων, κυρίως για την ανάπτυξη της ηλιακής και της θαλάσσιας ενέργειας.

➤ **Ποιοτικές μέθοδοι:**

Εξίσου σημαντικές με τις υπολογιστικές προσεγγίσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι και οι μελέτες που επικεντρώνονται στην σημασία του ανθρώπινου παράγοντα και στις μεταξύ τους διαδράσεις για την μελέτη των περιβαλλοντικών πολιτικών και την επίτευξη των στόχων μετάβασης των ενεργειακών συστημάτων που έχουν τεθεί. Για παράδειγμα, πολλές μελέτες χρησιμοποιούν μοντελοποίηση που βασίζεται στην χρησιμοποίηση πρακτόρων. Έτσι, οι Kraan, Kramer, & Nikolic (2018) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο βασισμένο σε πράκτορες για την προσομοίωση επενδυτικών αποφάσεων που αφορούν τον τομέα του ηλεκτρισμού. Σε αυτή την εφαρμογή η συμπεριφορά των επενδυτών δεν είναι παρόμοια για όλο το σύνολό τους αλλά παρουσιάζει ανομοιογένεια θέλοντας να δοθεί μια ατελείς συμπεριφορά των επενδυτών, έτσι ώστε να έχουμε περισσότερο ρεαλισμό. Οι Geisendorf & Klippert (2017) θέλοντας να τοποθετήσουν τις δράσεις για μείωση των εκπομπών άνθρακα ως επενδύσεις αντί για κόστη και να τονίσουν την σημασία των εσφαλμένων αντιλήψεων και απόψεων οι οποίες επηρεάζουν τις επενδύσεις και το μέλλον της οικονομίας χρησιμοποίησαν ένα δυναμικό μοντέλο πρακτόρων έτσι ώστε να προσομοιώσουν αυτές τις συνήθειες. Οι Sachs, Meng, Giarola, & Hawkes (2019) μέσω ενός μοντέλου πρακτόρων, προσομοίωσαν τις επενδυτικές αποφάσεις για την υιοθέτηση νέων ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών στον κτιριακό τομέα. Οι αποφάσεις αυτές θα ποικίλουν λόγω των διαφορετικών προϋπολογισμών, των αντιλήψεων για τις νέες τεχνολογίες και των διαφορετικών στρατηγικών του εκάστοτε επενδυτή. Με αυτή τη μέθοδο δίνεται η δυνατότητα να περιγραφούν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά στην συμπεριφορά του εκάστοτε επενδυτή, η οποία δεν θα ήταν δυνατή με άλλου είδους μοντέλα. Οι Brugger & Henry (2019) ερεύνησαν με ποιόν τρόπο τα κοινωνικά δίκτυα επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων που προάγουν την υιοθέτηση φωτοβολταϊκών από τα νοικοκυριά. Οι δυναμικές του δικτύου αυτού προσομοιώθηκαν μέσω θεωρητικών μοντέλων πρακτόρων για την υιοθέτηση PV μέσα σε ένα υποθετικό κοινωνικό δίκτυο. Επίσης και οι Chappin & Afman (2013) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο πρακτόρων για να προσομοιώσουν την συμπεριφορά, στην αγορά λαμπών, των καταναλωτών η οποία βασίζεται στην μνήμη, τις αντιλήψεις αλλά και στις αλληλεπιδράσεις μέσα σε μια δομή ενός κοινωνικού δικτύου. Μέσω του μοντέλου αυτού έδειξαν ότι η απαγόρευση λαμπών πυρακτώσεως όντως θα είναι αποδοτική για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, όπως επίσης και ένας φόρος σε αυτού του τύπου τις λάμπες. Εκτός από την προσομοίωση της διαφορετικής συμπεριφοράς των συντελεστών σε ένα σύστημα, πολύ σημαντικό είναι να συμπεριληφθεί και η γνώση που έχουν διάφοροι ειδικοί πάνω σε έναν συγκεκριμένο

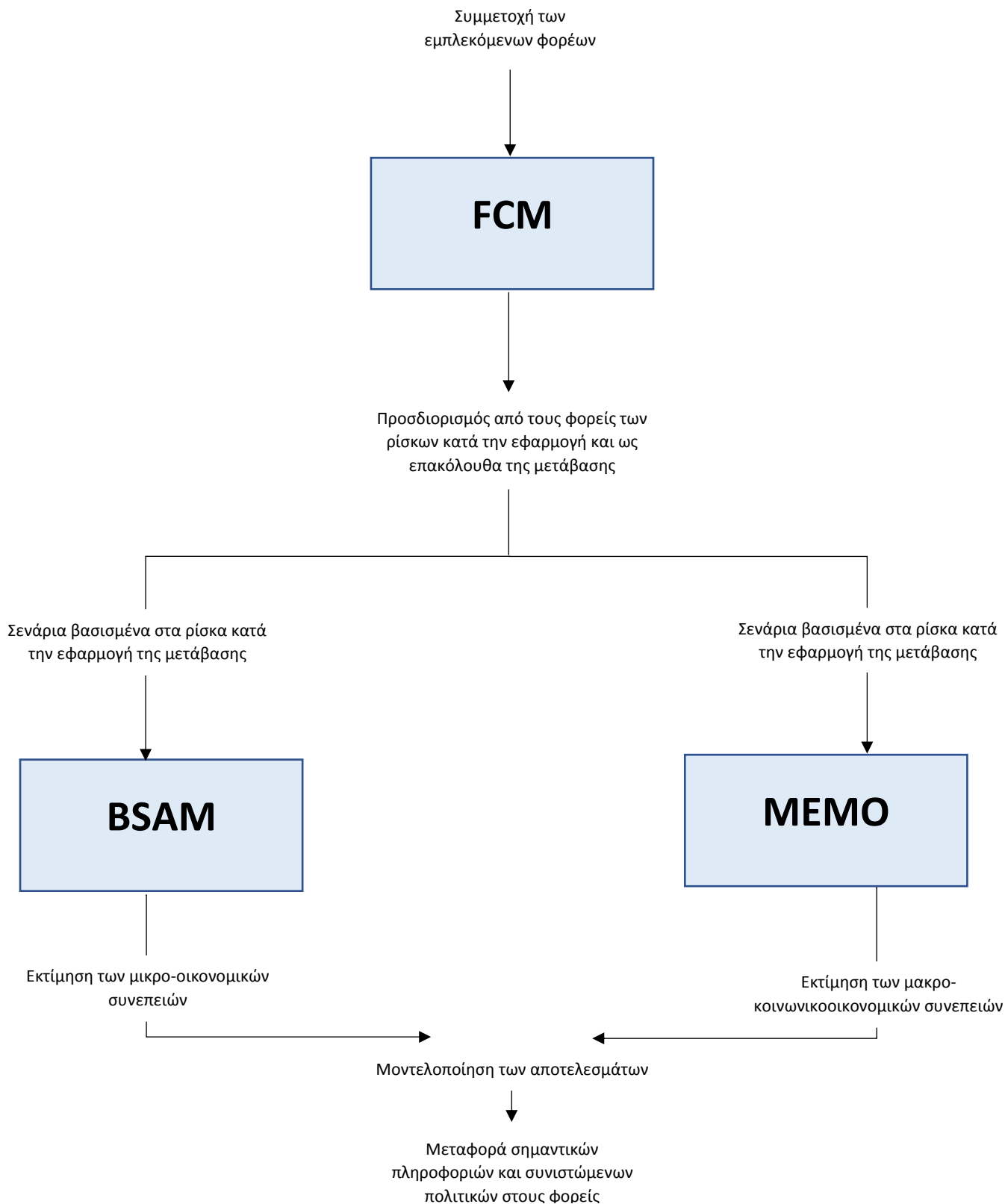
τομέα, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψιν και αυτό το κομμάτι κατά την διαμόρφωση των πολιτικών. Για παράδειγμα, οι Nikas, Doukas, van der Gaast, & Szendrei (2018) εκμαίευσαν την γνώση από διάφορους φορείς και ειδικούς μέσω της χρήσης ασαφών γνωστικών χαρτών, οι οποίοι εμπεριέχουν και την έννοια του χρόνου, έτσι ώστε να διαμορφώσουν πολιτικές για την μετάβαση του Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος σε μια κατάσταση χαμηλότερων εκπομπών άνθρακα. Οι Daim, Li, Kim, & Simms (2012) χρησιμοποίησαν την ασαφής Delphi μεθοδολογία, την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία και ένα ασαφή σταθερό πίνακα για να εκτιμήσουν και να επιλέξουν την κατάλληλη τεχνολογία για την αποθήκευση ενέργειας.

Βλέποντας όλες αυτές τις διαφορετικές προσεγγίσεις που αναφέρθηκαν νωρίτερα, πολλές έρευνες συνιστούν την ενσωμάτωση διαφορετικών εργαλείων έτσι ώστε να καταστεί δυνατή μια καλύτερη σχεδίαση των πολιτικών. Για παράδειγμα, οι Geels, Berkhout, & Van Vuuren (2016) συνιστούν την συνεργασία διαφορετικών μοντέλων, όπως τα ολοκληρωμένα μοντέλα αξιολόγησης και τα κοινωνικό-τεχνικά μοντέλα ανάλυσης, όπου το καθένα θα σχετίζεται με διαφορετικές διαστάσεις στην διαμόρφωση των πολιτικών με αποτέλεσμα να προκύψει μια διαφοροποιημένη προσέγγιση στη δημιουργία πολιτικών. Οι Doukas, Nikas, González-Eguino, Arto, & Anger-Kraavi (2018), επίσης, τονίζοντας την αναποτελεσματικότητα των μέχρι τώρα επιστημονικών συνεισφορών στην διαμόρφωση πολιτικών που θα φέρουν εις πέρας τους στόχους που τέθηκαν από της συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή, οι οποίες επικεντρώνονταν αποκλειστικά σε ποσοτικές μελέτες, επισήμαναν την ανάγκη χρησιμοποίησης συνδυασμών διαφόρων μοντέλων, τα οποία θα φέρουν τον ανθρώπινο παράγοντα στο επίκεντρο της σχεδίασης των πολιτικών.

Αναγνωρίζοντας την σημασία της ένταξης διαφορετικών μοντέλων για την σωστή σχεδίαση των πολιτικών στον τομέα του περιβάλλοντος, η παρούσα εργασία, ενσωματώνει ένα ποικίλο και συμπληρωματικό σύνολο αναλυτικών προσεγγίσεων, έτσι ώστε να είναι σε θέση να εξάγει και να εκτιμήσει τα ρίσκα που σχετίζονται με την μετάβαση του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος σε ένα σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα, το οποίο θα βασίζεται στην ένταξη της ηλιακής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Λόγω αυτής της προσέγγισης που ακολουθείται, το πλαίσιο της εργασίας είναι διεπιστημονικό, αφού θα εμπεριέχει διαφορετικές μορφές γνώσης αλλά και συνεργασία ακαδημαϊκών με μη ακαδημαϊκών φορέων. Το ερευνητικό ερώτημα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αφορά τα ρίσκα τα οποία θα ποσοτικοποιηθούν χρησιμοποιώντας κάποια ποσοτικά μοντέλα. Ως ρίσκα θεωρούνται οποιαδήποτε αρνητικά αποτελέσματα προκύπτουν από κάποια αβεβαιότητα. Επίσης, τα ρίσκα αυτά διαχωρίζονται σε ρίσκα που προκύπτουν κατά την υλοποίηση των πολιτικών, δηλαδή η προοπτική διαφορετικών αιτιών να επηρεάζουν την εκτέλεση ή την

επιτυχία μιας πολιτικής και σε ρίσκα που προκύπτουν ως αρνητικές συνέπειες, δηλαδή η πιθανότητα μιας δεδομένης πολιτικής να προκαλέσει ποικίλες αρνητικές επιπτώσεις.

Αρχικά, για να μπορέσει να εξαχθεί η γνώση από τους ειδικούς και τους διάφορους φορείς που σχετίζονται με το θέμα και έχουν πολύτιμη εμπειρία πάνω σε αυτό, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία των ΑΓΧ. Δηλαδή, ζητήθηκε από τους ειδικούς να σχεδιάσουν τον ΑΓΧ για την επιθυμητή μετάβαση με το να επιλέξουν κατάλληλες στρατηγικές και να αναγνωρίσουν τυχόν εμπόδια που μπορεί να προκύψουν και τυχόν αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί αυτές οι στρατηγικές μπορούν να προκαλέσουν. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία και έχουν αναγνωριστεί τα πιο κρίσιμα ρίσκα κατά την εκτέλεση της μετάβασης, μεταφράζονται αυτά τα ρίσκα σε παραμέτρους αβεβαιότητας και αναπτύσσονται αντίστοιχα σενάρια. Στην συνέχεια, χρησιμοποιείται το μοντέλο BSAM έτσι ώστε βάσει των ικανοτήτων του να μετρηθεί η επίδραση που θα έχει η ενεργειακή μετάβαση, βασισμένη στην αποθήκευση ενέργειας, στις τιμές του ηλεκτρισμού για διαφορετικά επίπεδα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και μεριδίου της αγοράς από την αποθήκευση. Εκτός από το BSAM μοντέλο, χρησιμοποιείται και ένα DSGE μοντέλο, συγκεκριμένα το μοντέλο MEMO, το οποίο είναι σε θέση να εκτιμήσει και να ποσοτικοποιήσει την αβεβαιότητα που σχετίζεται με νέες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, τα συνολικά τους κεφάλαια, τα λειτουργικά έξοδα και τα έξοδα συντήρησης και βάσει αυτών να υπολογιστούν οι μακροχρόνιες κοινωνικό-οικονομικές επιδράσεις μιας μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης ηλιακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Αυτές οι επιδράσεις περιλαμβάνουν την μακροχρόνια οικονομική ανάπτυξη, την επενδυτική δραστηριότητα και την εργασία. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το διεπιστημονικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε στην εργασία.



Εικόνα 2.5 Διεπιστημονικό πλαίσιο της εργασίας.

3 *Προσδιορισμός ρίσκων με την συνεισφορά φορέων*

3.1 Εισαγωγή

Όπως έγινε κατανοητό και από την ανάλυση που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο θεωρείται πολύ σημαντικό, για την διαμόρφωση και την ανάλυση πολιτικών που αφορούν την μελέτη μετάβασης ενός ενεργειακού συστήματος σε μια κατάσταση όπου θα εκπληρώνει τους στόχους που έχουν τεθεί από την διεθνή κοινότητα ως προς την κλιματική αλλαγή, η ενσωμάτωση ανθρώπων, φορέων και ιδρυμάτων που έχουν εμπειρία, γνώσεις και ασχολούνται ενεργά σε αυτόν τον τομέα. Οπότε, η κατανόηση των κινήτρων, των ανησυχιών, των στρατηγικών και των εξειδικεύσεων αυτών των φορέων είναι πολύ μεγάλης σημασίας τόσο για τους επιστήμονες όσο και για τους σχεδιαστές πολιτικής, αφού ο σκοπός τους είναι να μελετήσουν και να σχεδιάσουν πολιτικές ικανές να προάγουν κοινωνικά αποδεκτές, εύρωστες και βιώσιμες μεταβάσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν ερευνώνται τα ρίσκα και οι αβεβαιότητες που έχουν να κάνουν με τέτοιου είδους μεταβάσεις, αφού οι περισσότερες δομές που μοντελοποιούν αυτές τις μεταβάσεις έχουν περιορισμένη ικανότητα να ενσωματώσουν την ποικιλία και ολόκληρο το φάσμα των ρίσκων που υπεισέρχονται, ενώ από την άλλη μεριά η έρευνα πρέπει να λάβει υπόψιν της τα θεωρούμενα ρίσκα όλων των συμβαλλόμενων μερών (Frantzeskaki & Rok, 2018).

Στην εργασία χρησιμοποιείται η μέθοδος των ΑΓΧ για να καταγραφεί η γνώση και εμπειρία των συμβαλλόμενων φορέων και ειδικών, όσον αφορά την επιθυμητή μετάβαση στο Ελληνικό ενεργειακό σύστημα, ούτως ώστε να αναγνωριστούν τα πιο σημαντικά ρίσκα τα οποία θα προκύψουν κατά την εφαρμογή αλλά και ως συνέπεια αυτής της μετάβασης. Η διαδικασία

βάση της οποίας σχεδιάστηκε ο συγκεκριμένος ασαφής γνωστικός χάρτης στηρίζεται στην μεθοδολογία που ανέπτυξαν οι (Nikas & Doukas, 2016).

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην εργασία δεν λήφθηκε υπόψιν η έννοια του χρόνου. Επομένως, κατά την διαδικασία της σχεδίασης του ΑΓΧ παραλείφθηκε αυτό το βήμα και έτσι τα απαραίτητα βήματα που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία του ΑΓΧ είναι τα εξής:

- **Βήμα 1°:** Προσδιορισμός του συνόλου των φορέων/ειδικών.
- **Βήμα 2°:** Σχεδίαση του γνωστικού χάρτη.
- **Βήμα 3°:** Εισαγωγή βαρών στις αιτιακές σχέσεις.
- **Βήμα 4°:** Ποσοτικοποίηση των εννοιών.
- **Βήμα 5°:** Επιλογή παραμέτρων διαμόρφωσης.
- **Βήμα 6°:** Εκτέλεση της προσομοίωσης.

3.2 Προσδιορισμός του συνόλου των ενδιαφερόμενων φορέων

Για τον σκοπό του προσδιορισμού και αναγνώρισης των κυριότερων και κρισιμότερων κινδύνων υλοποίησης και των αρνητικών συνεπειών που εμφανίζονται λόγω της μετάβασης του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος, επίσης και για την εκτίμηση και αναγνώριση των πολιτικών που θα ακολουθηθούν σε αυτήν την μετάβαση συμμετείχαν 14 ειδικοί από τις εξής ομάδες:

- Τρεις ειδικοί από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
- Δύο ειδικοί από τον Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ).
- Ένας ειδικός από τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ).
- Τέσσερις σχεδιαστές πολιτικών από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ).
- Δύο ερευνητές.
- Δύο φορείς από τον ιδιωτικό τομέα των βιομηχανιών που ασχολούνται με την πρόληψη των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

3.3 Σχεδίαση Γνωστικού Χάρτη

Το βήμα της σχεδίασης του γνωστικού χάρτη αποτελεί ένα από τα πιο κομβικά σημεία της σχεδίασής. Για να καταγραφούν και να βρεθούν οι απαραίτητες έννοιες που θα αποτελέσουν τους κόμβους του χάρτη για την μετάβαση του Ελληνικού συστήματος σε μια νέα κατάσταση με χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα, αρχικά, προσδιορίστηκαν εκείνοι οι κόμβοι που αποτελούν τις έννοιες κλειδιά για το συγκεκριμένο θέμα.

Οι πρώτες έννοιες κλειδιά που έπρεπε να προσδιοριστούν από τους ειδικούς αφορούσαν τις πολιτικές που θα έπρεπε να εφαρμοστούν στο Ελληνικό σύστημα έτσι ώστε να αναλυθούν τα εμπόδια και οι συνέπιες της προκείμενης ενεργειακής μετάβασης, η οποία θα βασίζεται στην εισαγωγή και αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω της κατασκευής μεγάλης κλίμακας ηλιακών έργων και της ανάπτυξης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους ίδιους τους καταναλωτές μετατρέποντάς τους σε αυτοπαραγωγούς ή «prosumers». Για τον λόγο αυτό οι ειδικοί προσανατολίστηκαν στις εξής κατευθύνσεις:

- Την χρησιμοποίηση οικονομικών κινήτρων, συμπεριλαμβάνοντας ειδικών εισφορών και φορολογικών ελαφρύνσεων, ούτως ώστε να αναπτυχθούν μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας.
- Τον σωστό σχεδιασμό για την αξιοποίηση και χρησιμοποίηση γης σε τοπικό και δημοτικό επίπεδο, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη μεγάλων ηλιακών πάρκων.
- Την ανάπτυξη έξυπνων μετρητικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου και της αντικατάστασης των υπαρχόντων μετρητικών συστημάτων, με σκοπό οι καταναλωτές να συμμετέχουν πιο ενεργά στην αγορά της ενέργειας και στην πιο αποδοτική εξισορρόπηση της ζήτησης ενέργειας.
- Την χρησιμοποίηση οικονομικών κινήτρων για την ανάπτυξη και χρήση συσκευών αποθήκευσης ενέργειας, ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η αποθήκευση ενέργειας σε επίπεδο νοικοκυριών.

Αυτές οι τέσσερις κατευθύνσεις στις οποίες κατέληξαν οι ειδικοί αν και δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλος αριθμός, δεδομένου της μεγάλης γκάμας δράσεων που μπορούν να γίνουν έτσι ώστε να βοηθήσουν στην πραγματοποίηση του επιθυμητού μονοπατιού μετάβασης, παρόλα αυτά θεωρούνται από τους ειδικούς ως αντιπροσωπευτικές δράσεις για την επιτάχυνση της συγκεκριμένης ενεργειακής μετάβασης. Παρακάτω, παρουσιάζεται ο πίνακας που έχει συγκεντρωμένες τις πολιτικές στις οποίες συμφώνησαν οι φορείς και αποτελούν τις πρωταρχικές έννοιες κλειδιά για την δημιουργία του χάρτη μας.

Πίνακας 3.1 Πίνακας πολιτικών που καθόρισαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.

Πίνακας πολιτικών

P1.	Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας
P2.	Ενισχυμένος σχεδιασμός για την αξιοποίηση της γης
P3.	Ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα των έξυπνων μετρητικών συστημάτων
P4.	Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και χρήση των μονάδων και συσκευών αποθήκευσης

Το επόμενο βήμα των εμπλεκόμενων φορέων ήταν να προσδιορίσουν εκείνο το σύνολο των εννοιών/κόμβων, οι οποίες αποτελούν τα εμπόδια και τα ρίσκα τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την επιτυχή μετάβαση του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Για τον προσδιορισμό τους οι φορείς επικεντρώθηκαν σε τρεις άξονες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Το οικονομικό περιβάλλον της Ελλάδας.
- Η τεχνολογική εξέλιξη.
- Το πολιτικό και το ρυθμιστικό περιβάλλον της Ελλάδας.

3.3.1 *Οικονομικό περιβάλλον*

Όσον αφορά τις προκλήσεις που προέρχονται από το οικονομικό περιβάλλον της Ελλάδος, οι ειδικοί αναγνώρισαν τα εξής ρίσκα:

➤ **Η συνεχιζόμενη οικονομική κρίση:**

Το σενάριο της συνέχισης της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα θεωρείται, από τους ειδικούς ότι θα είχε σημαντική επίδραση στην ικανότητα τόσο των επενδυτών, που σκοπεύουν να επενδύσουν στην εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, να προβούν σε αυτές τις επενδύσεις, όσο και στους κατοίκους που σκοπεύουν να γίνουν πιο ενεργοί συντελεστές στο ενεργειακό σύστημα, με την έννοια των «prosumers». Όπως μας υποδεικνύει και η βιβλιογραφία (Nikas, Gkonis, et al., 2019), ένα δυσμενές οικονομικό περιβάλλον μπορεί να έχει πολύ μεγάλες επιπτώσεις στις προτεραιότητες του κοινωνικού συνόλου. Έτσι, μπορεί να υπάρξει μια εντελώς αντίθετη συμπεριφορά των πολιτών και από εκεί που ήταν προσανατολισμένοι σε συμπεριφορές και δράσεις που αφορούσαν το περιβάλλον και την ενέργεια να τις εγκαταλείψουν πλήρως. Επίσης, έρευνες που εστίασαν στο πως οι άνθρωποι φαντάζονται το μέλλον έδειξαν ότι οι άμεσες ανησυχίες των ανθρώπων που ζούσαν στην κρίση δεν συμπεριελάμβαναν ανησυχίες σχετικά με οικολογικά

θέματα και ως εκ τούτου κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η οικονομική κρίση συμβάλει στη μείωση των περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων (Garcia & Martinez-iglesias, 2017). Επίσης, ο Fernandes (2019) αναφέρει ότι η οικονομική κρίση αποτελεί ένα από τα κύρια εμπόδια για την Ιρλανδία έτσι ώστε να ικανοποιήσει τους στόχους για το 2020. Οι Campiglio, Godin, Kemp-Benedict, & Matikainen (2017) αναφέρουν ότι οι άμεσες επιδράσεις τις παγκόσμιας κρίσης στις μεταβάσεις σε κοινωνίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα ήταν κυρίως αρνητικές. Δηλαδή, οι εθνικές κυβερνήσεις αποσύρθηκαν από έξοδα και οικονομικές ενισχύσεις για την υποστήριξη νέων καθαρών τεχνολογιών. Ακόμα, οι ρυθμίσεις είχαν αποθαρρύνει τις τράπεζες από το να δανείσουν στην κατασκευή έργων που στόχευαν σε μείωση εκπομπών άνθρακα. Οι Holmes & Mohanty (2012) ανέφεραν ότι η συνεχιζόμενη οικονομική κρίση είχε ως αποτέλεσμα οι τιμές άνθρακα, οπότε και οι τιμές της ενέργειας παραγόμενης από ορυκτά καύσιμα, να είναι αρκετά χαμηλότερες από το αναμενόμενο.

➤ **Η μικρή κοινωνική αποδοχή:**

Η μικρή κοινωνική αποδοχή επηρεάζεται τόσο στο επίπεδο της συμμετοχής των πολιτών ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στην ύπαρξη του φαινομένου «όχι στην αυλή μου» που αφορά στην εναντίωση ως προς έργα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας που πρόκειται να δημιουργηθούν κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Ο Hirschl (2018) αναφέρει ότι η μικρή κοινωνική αποδοχή αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο μπορεί να καταπολεμηθεί με την χρήση ηλιακών μορφών ενέργειας (φωτοβολταϊκά) σε αστικές περιοχές όπου με την εγκατάσταση σε οροφές θα καταστήσει τα φωτοβολταϊκά «αόρατα» για τους κατοίκους, αλλά και η στοχευμένη προσάρτησή τους στα αρχιτεκτονικά σχέδια μπορεί να αυξήσει την αποδοχή των κατοίκων.

3.3.2 *Τεχνολογική εξέλιξη*

Σχετικά με τα ρίσκα που αφορούν την τεχνολογική εξέλιξη οι ειδικοί επισήμαναν την σπουδαιότητα αναφορικά με την διακύμανση του κόστους, συγκεκριμένα σημείωσαν το εξής:

➤ **Υψηλά τεχνολογικά κόστη:**

Πολύ σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας είναι η εμφάνιση τεχνολογικών επιτευγμάτων και η ικανότητα της Ελλάδας, συγκεκριμένα, να απορροφήσει αυτές τις βελτιώσεις. Αυτές οι ενέργειες θα μπορέσουν να συνεισφέρουν έτσι ώστε τα τεχνολογικά κόστη να μειωθούν, να επιταχυνθεί ο ρυθμός των επενδυτών και να αυξηθεί το επίπεδο ανάπτυξης των μονάδων αποθήκευσης

ενέργειας μέσα στο ενεργειακό δίκτυο. Οι Bistline et al. (2018) μελετώντας τους στόχους για μείωση εκπομπών άνθρακα για τις Ηνωμένες Πολιτείες μέσω πολιτικών που αφορούν τον ηλεκτρικό τομέα και λαμβάνοντας υπόψιν τις τεχνολογικές αλλαγές συμπέραναν ότι η μελλοντική παραγωγή άνθρακα θα μειωθεί σχετικά με τα τρέχοντα επίπεδα, ενώ η παραγωγή από φυσικό αέριο, αιολική και ηλιακή ενέργεια θα αυξηθεί. Ο ρυθμός όμως με τον οποίο θα γίνει αυτή η μετάβαση και το μέγεθος αυτών των αλλαγών ποικίλει ανάλογα με τις πολιτικές και τις τεχνολογικές εξελίξεις, την περιοχή και το μοντέλο. Οι Handayani, Krozer, & Filatova (2019) μελετώντας την διάχυση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό σύστημα και την επιρροή της διάχυσης αυτής από τις τεχνολογικές αλλαγές που μειώνουν τα κόστη, το φαινόμενο αυτό καλείται «τεχνολογική εκμάθηση», έδειξαν ότι με ένα μέσο και υψηλό ρυθμό «τεχνολογικής εκμάθησης» τα συνολικά κόστη της παραγωγής ενέργειας για την επίτευξη των μακροπρόθεσμων στόχων των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας μειώθηκαν κατά 4-10% σε σχέση με την περίπτωση στην οποία δεν υπάρχει καθόλου η παράμετρος της «τεχνολογικής εκμάθησης». Επίσης, η ηλιακή και αιολική ενέργεια γίνονται ανταγωνιστικές με άλλους είδους ανανεώσιμων μορφών και την πυρηνική ενέργεια. Τέλος, οι Choi, Choi, Friley, Kim, & Park (2017) ανέφεραν ότι μέσω διεθνών R&D επενδύσεων επιτυγχάνεται η μείωση στα κόστη των λιγότερων ώριμων τεχνολογιών χαμηλού άνθρακα και αυτή η μείωση θα έχει ως αποτέλεσμα την διευκόλυνση της εισαγωγής αυτών των τεχνολογιών στην αγορά.

3.3.3 Πολιτικό και ρυθμιστικό περιβάλλον

Σχετικά με τα ρίσκα που αφορούν το πολιτικό και ρυθμιστικό περιβάλλον οι φορείς κατέδειξαν δύο κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

➤ **Μικρή πολιτική βούληση και προτεραιότητα:**

Η μικρή πολιτική βούληση, βάση των ειδικών, μπορεί να αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την επιτυχή μετάβαση του Ελληνικού συστήματος. Επιπροσθέτως, ακόμα και αν οι πολιτικοί σκοπεύουν να κινηθούν προς μια τέτοια κατεύθυνση, οι πολιτικές αστάθειες και ασυνέχειες (Stavrakakis & Katsambekis, 2018) μπορούν να καταστήσουν ανέφικτη μια τέτοια μετάβαση του ενεργειακού συστήματος. Ως παράδειγμα, οι ειδικοί, αναφέρουν την πρόσφατη ανακοίνωση της κατασκευής δύο νέων λιγνιτικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτών της Πτολεμαΐδας V και του Μελίτη II, με το πρώτο να είναι ήδη υπό κατασκευή. Ο Scanu (2015) τονίζει ότι η πολιτική θέληση των τοπικών αρχών της Γένοβας, όπως επίσης και οι περιβαλλοντικές και οι πολιτικές ανησυχίες έτσι ώστε να κάνουν την Γένοβα

μια δυναμική, διεθνή, ελκυστική και έξυπνη πόλη, ήταν οι λόγοι που ξεκίνησαν τις διαδικασίες για την περιβαλλοντική μοντερνοποίηση της μέσω της εξάλειψης των εκπομπών άνθρακα από τον ενεργειακό τομέα. Τέλος, οι Schlegelmilch, Eichel, & Pegels (2014) σημείωσαν την σημασία της αναγνώρισης της πολιτικής και στρατηγικής οπτικής και εξήγησαν ότι η επιτυχία στην χρησιμοποίηση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά με το να χρησιμοποιηθούν τα έσοδα από τις ανανεώσιμες για την υποστήριξη των πιο σημαντικών εθνικών προτεραιοτήτων ακόμα και αν δεν συνδέονται απευθείας με το περιβάλλον.

➤ **Ασταθές ρυθμιστικό πλαίσιο:**

Πολύ σημαντικός παράγοντας που αποτελεί σημαντικό ρίσκο κατά την εφαρμογή οποιασδήποτε πολιτικής, η οποία στοχεύει σε μια επιτυχή μετάβαση του ενεργειακού συστήματος προς τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, είναι η αστάθεια που μπορεί να υπάρξει στο ρυθμιστικό πλαίσιο που έχει διαμορφωθεί. Όπως τονίζεται από τους ειδικούς, οι πολιτικές αστάθειες που παρουσιάζει μια χώρα αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα να μεταβληθεί αυτό το πλαίσιο. Ένα ασταθές ρυθμιστικό περιβάλλον όπως επίσης και η μεταβλητότητα των τιμών έχουν ως αποτέλεσμα να αυξάνουν το επενδυτικό ρίσκο στον τομέα της ενέργειας (Tulloch & Caldecott, 2016). Οι Witajewski-Baltvilks et al. (2018) σε μια έρευνα που αφορούσε τα ρίσκα που συνδέονται με την μείωση εκπομπών άνθρακα στον Πολωνικό τομέα ενέργειας, αναφέρουν ότι οι επενδύσεις που χρειάζονται να γίνουν για νέες υποδομές στην ενέργεια, εξαιτίας της αναπτυσσόμενης ζήτησης ενέργειας, των πιέσεων για μείωση εκπομπών άνθρακα από την Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως επίσης και επειδή οι υπάρχουσες υποδομές γερνάνε, επηρεάζονται εκτός των άλλων λόγων και από ένα ασταθές ρυθμιστικό περιβάλλον. Ο Boute (2012), επίσης, τονίζει το πόσο σημαντικό είναι ένα ασταθές ρυθμιστικό πλαίσιο για τις επενδύσεις, αφού εάν αποφασισθεί να γίνει μια επένδυση για την κατασκευή ενός εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τότε δεν υπάρχει δυνατότητα αυτό να μεταφερθεί σε κάποια άλλη περιοχή που υπάρχουν ευνοϊκότερες συνθήκες. Επίσης, μια τέτοια επένδυση είναι μεγάλης κεφαλαιακής έντασης και έχει μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, συνεπώς χώρες που εμφανίζουν αστάθεια στα ρυθμιστικά τους πλαίσια και μη προβλεψιμότητα στο πως αυτά θα διαμορφωθούν δυσκολεύονται να προσελκύσουν τέτοιου είδους επενδύσεις. Οι Malandrino, Sica, Testa, & Supino (2017) αναφέρουν ότι ένα αποδοτικό ρυθμιστικό πλαίσιο όπως επίσης και νέες καινοτομίες που αφορούν την τεχνολογία θα ωφελούσε την ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στην νότια Ιταλία.

3.3.4 Σχεδίαση τελικού μοντέλου γνωστικού χάρτη

Έχοντας αναλυθεί οι παραπάνω άξονες, οι φορείς κατέληξαν στα παρακάτω εμπόδια τα οποία εμφανίζονται κατά την εφαρμογή πολιτικών μετάβασης σε χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα στο Ελληνικό σύστημα:

Πίνακας 3.2 Πίνακας εμποδίων που καθόρισαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.

Πίνακας εμποδίων

B1.	Η συνεχιζόμενη οικονομική κρίση
B2.	Μικρή κοινωνική αποδοχή
B3.	Ασταθές ρυθμιστικό πλαίσιο
B4.	Υψηλά τεχνολογικά κόστη
B5.	Μικρή πολιτική βούληση και προτεραιότητα

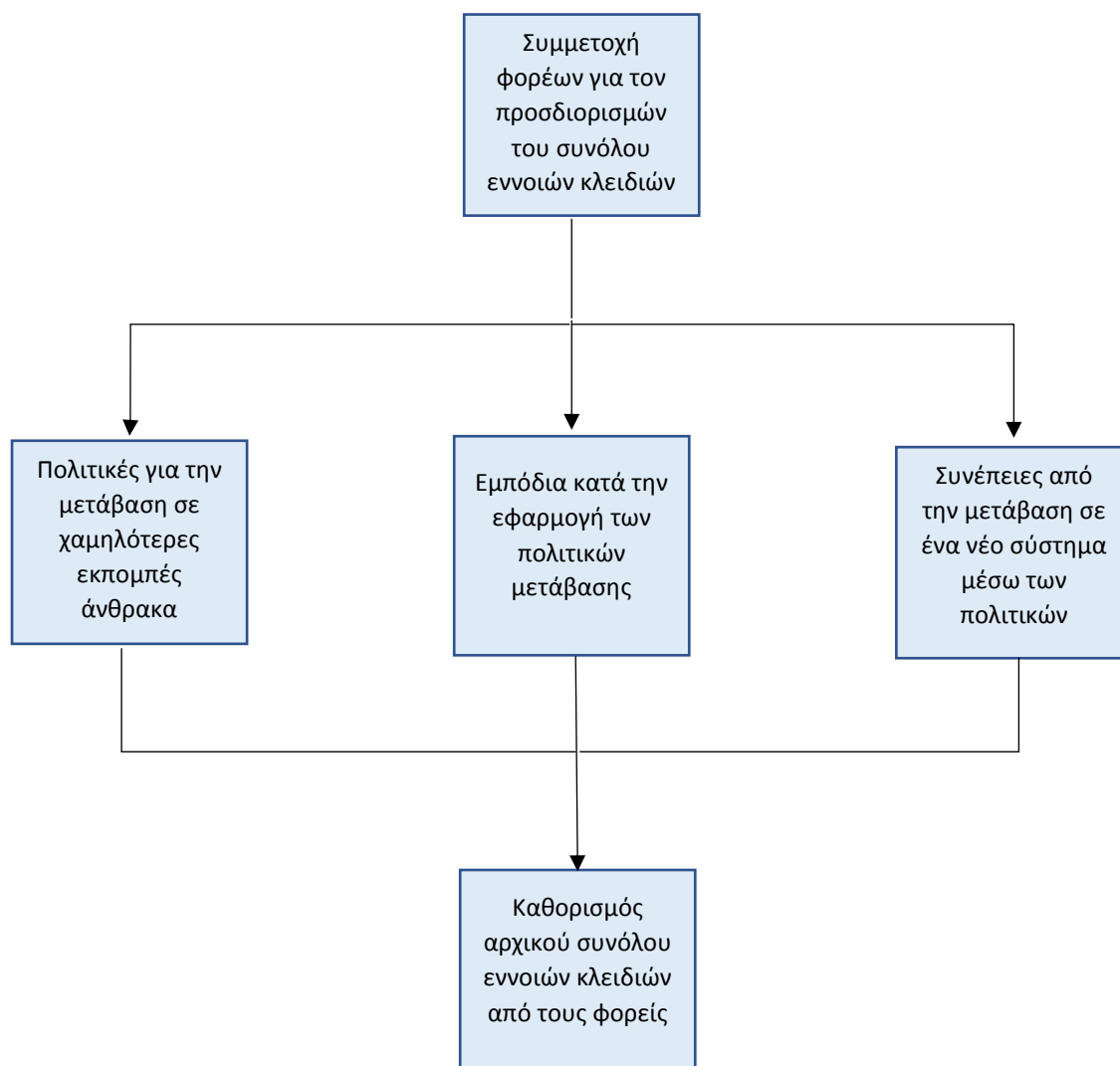
Τέλος, οι εμπλεκόμενοι φορείς καθόρισαν τα σημαντικότερα ρίσκα και αβεβαιότητες που μπορούν να εμφανιστούν ως αρνητικές επιπτώσεις από μια τέτοια μετάβαση του Ελληνικού συστήματος, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 3.3 Πίνακας επακόλουθων ρίσκων που καθόρισαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.

Πίνακας επακόλουθων ρίσκων

C1.	Κόστος ηλεκτρισμού για τους τελικούς χρήστες
C2.	Η οικονομική ανάπτυξη σε μακροχρόνιο ορίζοντα
C3.	Οι επενδύσεις
C4.	Η εργασία
C5.	Τα τιμολογιακά ελλείματα

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι έννοιες/κλειδιά που έχουν συγκεντρωθεί για την δημιουργία του ασαφούς γνωστικού χάρτη από τις γνώσεις και την εμπειρία των ειδικών σε θέματα που αφορούν την αναγνώριση των ρίσκων, που συνδέονται με την επιβολή πολιτικών που στοχεύουν στην εισαγωγή της ηλιακής ενέργειας στο Ελληνικό ενεργειακό σύστημα.



Εικόνα 3.1 Διαμόρφωση του συνόλου εννοιών κλειδιών για τον ΑΓΧ από τους φορείς.

Στην συνέχεια, έχοντας συγκεντρώσει το αρχικό σύνολο των βασικών εννοιών, οι ειδικοί καλούνται να προσδιορίσουν ποιες άλλες έννοιες είναι απαραίτητες και πρέπει να ενταχθούν στον χάρτη. Μέσα από αυτήν την διαδικασία συγκεντρώνεται μια ευρεία λίστα εννοιών. Όμως, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το σύνολο των εννοιών του ΑΓΧ δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις 30, αφού τότε ο χάρτης αρχίζει και γίνεται μη παραγωγικός για την εξαγωγή πληροφοριών (Özesmi & Özesmi, 2004), όπου είναι και το ζητούμενο στην συγκεκριμένη περίπτωση. Οπότε, λαμβάνοντας υπόψιν αυτόν τον περιορισμό, ακολουθείται μια διαδικασία κατά την οποία απαλείφονται κάποιες έννοιες οι οποίες δεν θεωρούνται κρίσιμες, όπως επίσης γίνεται και συγχώνευση ορισμένων συνόλων εννοιών χωρίς ωστόσο να

χαθεί η απαιτούμενη ακρίβεια. Ακόμα, οι εναπομείναντες έννοιες βαθμονομούνται βάση της συχνότητας που εμφανίζονται μεταξύ των ειδικών και αυτές που κατατάσσονται στο τέλος παραλείπονται. Προχωρώντας στην διαμόρφωση των αιτιακών σχέσεων μεταξύ των καθορισμένων κόμβων, οι ειδικοί καλούνται να σημειώσουν ποιες άλλες έννοιες η κάθε έννοια επηρεάζει, είτε θετικά είτε αρνητικά. Έτσι, ο κάθε φορέας σχηματίζει έναν πίνακα γειτνίασης και μέσω αυτών δημιουργείται ένας ενιαίος πίνακας γειτνίασης. Τέλος, γίνεται μια τελική συμπύκνωση ορισμένων υπογράφων και έτσι διαμορφώνεται το τελικό σύνολο κόμβων/εννοιών και ο τελικός πίνακας γειτνίασης του χάρτη. Παρακάτω, παρουσιάζεται το σύνολο των καθορισμένων εννοιών και του πίνακα γειτνίασης, όπως διαμορφώθηκε από τους εμπλεκόμενους φορείς.

Πίνακας 3.4 Σύνολο εννοιών του ΑΓΧ όπως προέκυψε από τους φορείς.

Πίνακας εννοιών/κόμβων

B1.	Η συνεχιζόμενη οικονομική κρίση
B2.	Μικρή κοινωνική αποδοχή
B3.	Ασταθές ρυθμιστικό πλαίσιο
B4.	Υψηλά τεχνολογικά κόστη
B5.	Μικρή πολιτική βούληση και προτεραιότητα
P1.	Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας
P2.	Ενισχυμένος σχεδιασμός για την αξιοποίηση της γης
P3.	Ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα των έξυπνων μετρητικών συστημάτων
P4.	Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και χρήση των μονάδων και συσκευών αποθήκευσης
S1.	Ικανότητα παρακολούθησης της ενεργειακής κατανάλωσης
S2.	Ο έλεγχος των λογαριασμών κοινής ωφελείας
S3.	Ανησυχίες για εισβολή στην ιδιωτικότητα
S4.	Ευελιξία της ζήτησης
S5.	Εμπιστοσύνη στα ινστιτούτα
S6.	Ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας ηλιακών έργων
S7.	Τεχνολογικές αγκιστρώσεις
S8.	Το μερίδιο του λιγνίτη στο ενεργειακό μείγμα
S9.	Το μερίδιο των RES στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
S10.	Ευστάθεια του δικτύου
S11.	Χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας
S12.	Ενεργειακή ασφάλεια
S13.	Δουλειές στην εξόρυξη άνθρακα
S14.	Μικρής κλίμακας αποθήκευση ενέργειας
S15.	Νέες, πιο «πράσινες» δουλειές για μηχανικούς και συμβούλους
S16.	Το φαινόμενο «όχι στην αυλή μου»
C1.	Κόστος ηλεκτρισμού για τους τελικούς χρήστες
C2.	Η οικονομική ανάπτυξη σε μακροχρόνιο ορίζοντα
C3.	Οι επενδύσεις
C4.	Η εργασία
C5.	Τα τιμολογιακά ελλείματα

Πίνακας 3.5 Πίνακας γεννιάσης.

	B					P				S									C												
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	
B1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
B3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
B4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
B5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
S1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
S3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
S6.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
S7.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
S8.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S10.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S11.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	
S12.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
S13.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
S14.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
S15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
S16.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
C4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
C5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι πομποί για τον χάρτη αποτελούν τόσο οι πολιτικές που εφαρμόζονται για επιφέρουν την επιθυμητή μετάβαση στο σύστημα της Ελλάδας, όσο και τα αναγνωρισμένα ρίσκα υλοποίησης (π.χ. P1. Οικονομικά κίνητρα για έργα μεγάλης κλίμακας, B1. Συνεχιζόμενη οικονομική κρίση).

3.4 Εισαγωγή βαρών στις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος

Έχοντας ολοκληρώσει την αναγνώριση των απαραίτητων εννοιών που αφορούν τον ΑΓΧ και έχοντας προσδιορίσει τις αιτιακές σχέσεις μεταξύ των εννοιών αυτών, οι φορείς καλούνται να προσδιορίσουν και τον βαθμό στον οποίο κάθε αιτιακή σχέση θα επηρεάσει την εκάστοτε έννοια/αποτέλεσμα με την οποία συνδέεται. Το εύρος στο οποίο θα κυμαίνονται τα βάρη που θα εισάγουμε είναι [-1, 1]. Η έννοια της ασάφειας στον χάρτη έρχεται με την χρησιμοποίηση γλωσσικών όρων από τους ειδικούς έτσι ώστε να προσδιορίσουν την βαρύτητα της κάθε σχέσης που συνδέει δύο έννοιες. Οι γλωσσικοί όροι που χρησιμοποίησαν οι ειδικοί για την διαδικασία αυτή, ξεκινώντας από τον πιο αρνητικό και φτάνοντας στον πιο θετικό είναι οι εξής:

Πίνακας 3.6 Γλωσσικοί όροι που χρησιμοποιούν οι ειδικοί.

Αρνητικά πολύ πολύ δυνατή

Αρνητικά πολύ δυνατή

Αρνητικά δυνατή

Αρνητικά μέτρια

Αρνητικά αδύναμη

Αρνητικά πολύ αδύναμη

Μηδενική

Θετικά πολύ αδύναμη

Θετικά αδύναμη

Θετικά μέτρια

Θετικά δυνατή

Θετικά πολύ δυνατή

Θετικά πολύ πολύ δυνατή

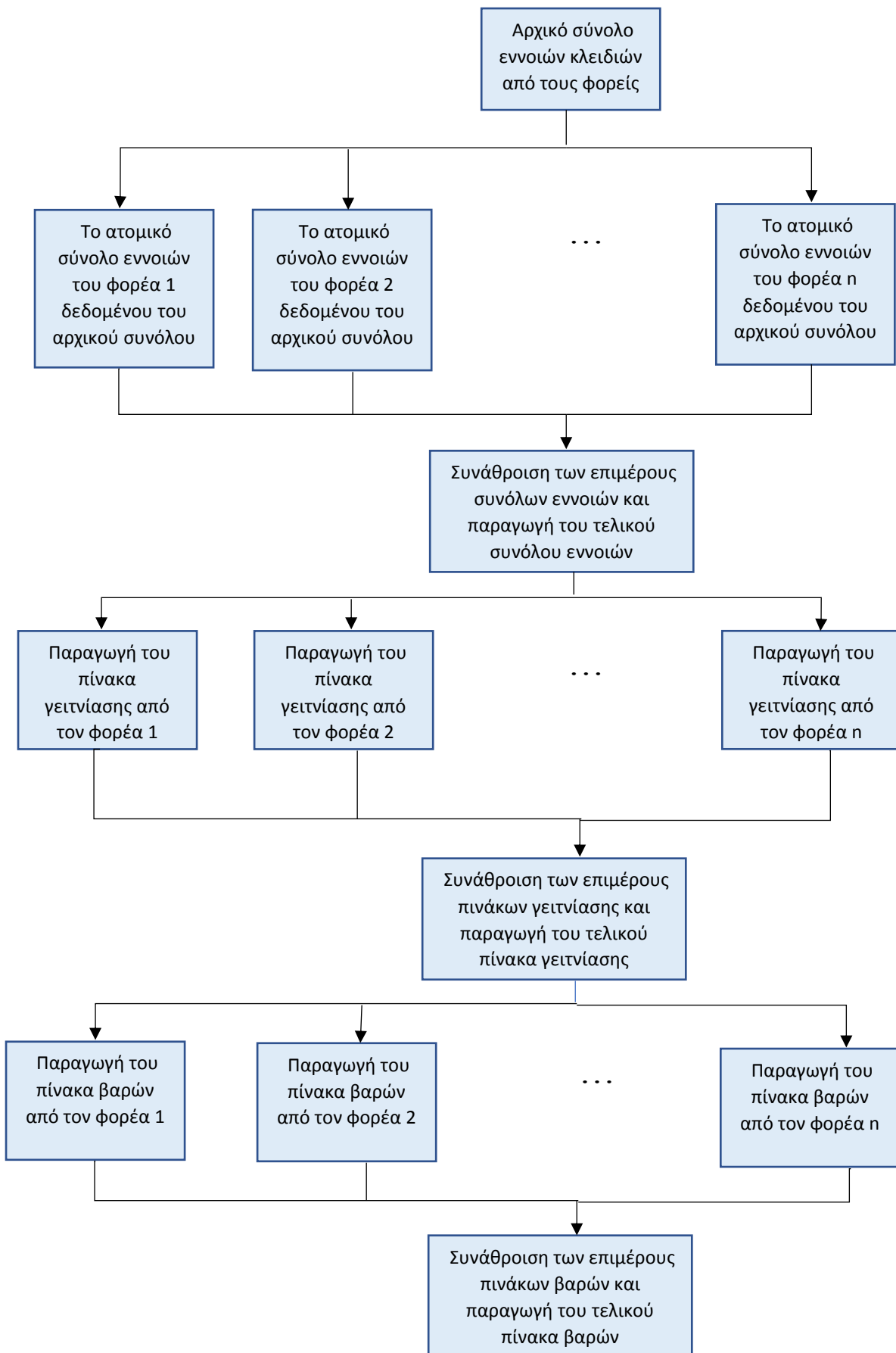
Έχοντας χρησιμοποιηθεί αυτό το σύνολο γλωσσικών όρων για την ανάθεση βαρών στον χάρτη από τους ειδικούς, στην συνέχεια γίνεται άμεση μετάφραση αυτών των όρων με τιμές μέσα στο

σύνολο $[-1, 1]$ σύμφωνα με ένα αντίστοιχο αριθμητικό σύνολο το οποίο αποτελείται από δεκατρείς τιμές. Παρακάτω φαίνεται αυτή η αντιστοιχία:

Πίνακας 3.7 Αντιστοιχία γλωσσικών όρων με αριθμητικές τιμές από το διάστημα $[-1, 1]$.

Αρνητικά πολύ πολύ δυνατή	-1
Αρνητικά πολύ δυνατή	-0,83
Αρνητικά δυνατή	-0,67
Αρνητικά μέτρια	-0,5
Αρνητικά αδύναμη	-0,33
Αρνητικά πολύ αδύναμη	-0,17
Μηδενική	0
Θετικά πολύ αδύναμη	0,17
Θετικά αδύναμη	0,33
Θετικά μέτρια	0,5
Θετικά δυνατή	0,67
Θετικά πολύ δυνατή	0,83
Θετικά πολύ πολύ δυνατή	1

Αφού συγκεντρώθηκαν όλοι οι παραχθέντες πίνακες βαρών από τον κάθε φορέα που συμμετείχε στην διαμόρφωση του ΑΓΧ διαμορφώθηκε ο τελικός πίνακας βαρών για τον ΑΓΧ υπολογίζοντας τον μέσο όρο για κάθε μια τιμή βάρους που αντιστοιχεί σε κάποια αιτιακή σχέση. Η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή του πίνακα γειτνίασης και του πίνακα βαρών παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 3.2 Διαδικασία παραγωγής πίνακα γειτνίασης και πίνακα βαρών από τους φορείς.

Επίσης, ο τελικός πίνακας βαρών για το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα είναι το εξής:

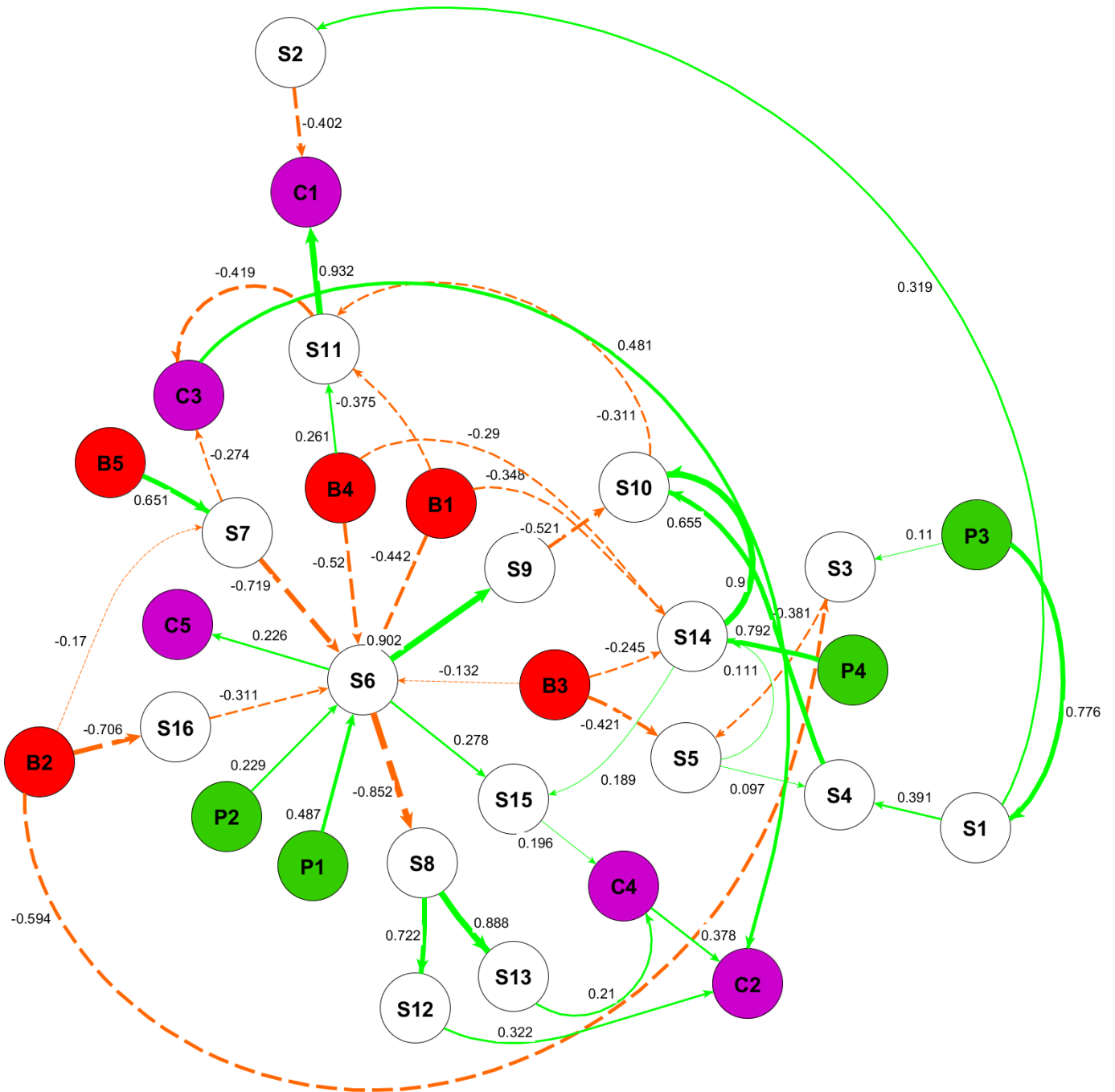
Πίνακας 3.8 Πίνακας βαρών.

	B1.	B2.	B3.	B4.	B5.	P1.	P2.	P3.	P4.	S1.	S2.	S3.	S4.	S5.	S6.
B1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,442
B2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,594	0	0	0
B3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,421	-0,132
B4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,52
B5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,487
P2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,229
P3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,776	0	0,11	0	0	0
P4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,319	0	0,391	0	0
S2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,381	0
S4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,097	0	0
S6.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S7.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,719
S8.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S9.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S10.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S11.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S12.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S13.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S14.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S16.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,311
C1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 3.9 Συνέχεια πίνακα βαρών.

	S7.	S8.	S9.	S10.	S11.	S12.	S13.	S14.	S15.	S16.	C1.	C2.	C3.	C4.	C5.
B1.	0	0	0	0	-0,375	0	0	-0,348	0	0	0	0	0	0	0
B2.	-0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,706	0	0	0	0	0
B3.	0	0	0	0	0	0	0	-0,245	0	0	0	0	0	0	0
B4.	0	0	0	0	0,261	0	0	-0,29	0	0	0	0	0	0	0
B5.	0,651	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4.	0	0	0	0	0	0	0	0,792	0	0	0	0	0	0	0
S1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,402	0	0	0	0
S3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S4.	0	0	0	0,655	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S5.	0	0	0	0	0	0	0	0,111	0	0	0	0	0	0	0
S6.	0	-0,852	0,902	0	0	0	0	0	0,278	0	0	0	0	0	0,226
S7.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,274	0	0
S8.	0	0	0	0	0	0,722	0,888	0	0	0	0	0	0	0	0
S9.	0	0	0	-0,521	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S10.	0	0	0	0	-0,311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S11.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,932	0	-0,419	0	0
S12.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,322	0	0	0
S13.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0
S14.	0	0	0	0,9	0	0	0	0	0,189	0	0	0	0	0	0
S15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,196	0
S16.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,481	0	0	0
C4.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,378	0	0	0
C5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Έχοντας ολοκληρωθεί ο καθορισμός των εννοιών/κόμβων, ο προσδιορισμός των αιτιακών τους σχέσεων και ο υπολογισμός των βαρών των σχέσεων αυτών, μπορεί να παρουσιαστεί το διάγραμμα του ΑΓΧ.



Εικόνα 3.3 Αναπαράσταση του ΑΓΧ που παρήγαγαν οι εμπλεκόμενοι φορείς.

Παρατηρώντας τον χάρτη που διαμορφώθηκε και σχεδιάστηκε από τις πληροφορίες που εκμαιούθηκαν από τους εμπλεκόμενους φορείς, κατά την διάρκεια της διεξαγωγής ενός εργαστηρίου, διαφαίνονται οι τρόποι με τους οποίους οι διάφορες πολιτικές θα επηρεάσουν το σύστημά αλλά και ποια εμπόδια θα εμφανιστούν κατά την εφαρμογή της κάθε πολιτικής. Έτσι, για παράδειγμα φαίνεται ότι μια πολιτική η οποία θα στοχεύει στο να δίνει οικονομικά κίνητρα για την δημιουργία έργων μεγάλης κλίμακας, όπως επίσης και η ενίσχυση του σχεδιασμού για την αξιοποίηση της διαθέσιμης γης, θα συνεισφέρουν στην ανάπτυξη έργων μεγάλης κλίμακας τα οποία θα αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια. Επιπροσθέτως, παρατηρείται ότι η πολιτική των οικονομικών κινήτρων, σε σύγκριση με την πολιτική για την καλύτερη αξιοποίηση της διαθέσιμης γης, θα έχει μεγαλύτερη επιρροή προς αυτήν την κατεύθυνση. Στην συνέχεια, μέσω του χάρτη, σημειώνεται ότι μια κατάσταση κατά την οποία θα υπάρχει ανάπτυξη έργων ηλιακής ενέργειας πρόκειται να επηρεαστεί από αρκετά ρίσκα, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο. Πιο συγκεκριμένα, η αστάθεια του κανονιστικού πλαισίου θα επηρεάσει άμεσα τα έργα αυτά. Ακόμα, η ύπαρξη μικρής κοινωνικής αποδοχής, θα τροφοδοτήσει φαινόμενα «όχι στην αυλή μου», τα οποία με τη σειρά τους θα αυξήσουν τον κίνδυνο της καθυστέρησης ή ακόμα και της ακύρωσης των έργων. Επίσης, οι φορείς υπογράμμισαν το γεγονός ότι στην περίπτωση που οι επενδύσεις σε έργα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας δεν αποτελούν μία από τις κύριες προτεραιότητες της κυβέρνησης, τότε θα έχουμε την ύπαρξη τεχνολογικών δεσμεύσεων και αγκιστρώσεων που θα επηρεάσουν την ανάπτυξη των ανανεώσιμων και την συνέχιση στην χρησιμοποίηση λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι αρνητικές επιδράσεις προς την ανάπτυξη έργων ανανεώσιμων μορφών ενέργειας μεγάλης κλίμακας θα έχει και η συνεχιζόμενη οικονομική κρίση στην Ελλάδα αλλά και τα υψηλά τεχνολογικά κόστη. Παρατηρώντας την πιο πάνω ανάλυση αποδεικνύεται η σπουδαιότητα των εμποδίων, τα οποία αναγνώρισαν και θεώρησαν σημαντικότερα οι φορείς, αφού κατά την εφαρμογή δύο από τις τέσσερις πολιτικές υπάρχει σημαντική επιρροή και από τα πέντε εμπόδια. Συνεχίζοντας, τώρα, προς την διερεύνηση των αρνητικών συνεπειών που θα επιφέρουν αυτές οι πολιτικές, οι ειδικοί βασισμένοι από προηγούμενες καταστάσεις και περιπτώσεις όπου είχαν επιχειρηθεί παρόμοια εγχειρήματα, κατέληξαν ότι μια ευρείας κλίμακας μετάβαση προς την ηλιακή ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε δημοσιονομικά προβλήματα και τιμολογιακά ελλείματα, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει ένας σωστός σχεδιασμός ενός οικονομικού μηχανισμού υποστήριξης. Ακόμα, η ανάπτυξη μεγάλων έργων ηλιακής ενέργειας θα αυξήσει το μερίδιο των ανανεώσιμων ενώ από την άλλη μεριά θα μειωθούν τα ορυκτά καύσιμα στο εγχώριο ενεργειακό μείγμα. Μια τέτοια μεταβολή θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ενεργειακής ασφάλειας αλλά και την μείωση της ευστάθειας του δικτύου, η οποία θα επιφέρει μεταβολές στις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας. Η τελευταία συνέπεια θα επηρεάσει άμεσα τα κόστη ηλεκτρικής ενέργειας για τους τελικούς χρήστες. Επίσης, μια αύξηση στις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με

την αύξηση των τεχνολογικών αγκιστρώσεων θα επηρεάσει αρνητικά τις επενδύσεις. Ένας, ακόμα, σημαντικός παράγοντας όσον αφορά την ανάπτυξη ηλιακών πάρκων είναι ότι θα υπάρξει αύξηση στις δουλειές που αφορούν τους μηχανικούς, τους κατασκευαστές και τους συμβούλους. Όμως, πρέπει να συνυπολογιστεί ότι η μείωση της χρήσης λιγνίτη θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση στις δουλειές που συνδέονται με την εξόρυξη άνθρακα και μάλιστα, όπως υποδεικνύουν οι ειδικοί, το μέγεθος αυτής της μείωσης θα είναι μεγαλύτερο από το μέγεθος των νέων δουλειών που θα προκύψουν. Άρα, θα προκύψει πιθανόν αύξηση της ανεργίας, η οποία σε συνδυασμό με την μείωση της ενεργειακής ασφάλειας που αναφέρθηκε νωρίτερα θα επηρεάσουν την οικονομική ανάπτυξη μακροπρόθεσμα.

Όσον αφορά κινήσεις και πολιτικές που στοχεύουν στην μικρό-παραγωγή και στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, οι εμπλεκόμενοι φορείς, αναγνώρισαν ότι η ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας έχει απτά οφέλη. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρουν ότι το επιθυμητό είναι η διανεμημένη και σε μικρή κλίμακα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να είναι εγκατεστημένη και να καταναλώνεται από γειτονικά ηλεκτρικά φορτία. Ο λόγος είναι ότι με αυτόν τον τρόπο οι απώλειες από την μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνονται και η καταπόνηση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ως ένα βαθμό ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αναμενόμενη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, οι ειδικοί αναφέρουν ότι οι επιδράσεις από την ιδιοκατανάλωση στην λειτουργία της Ελληνικής αγοράς ηλεκτρισμού δεν έχει πλήρως διασαφηνιστεί. Δηλαδή, παρόλο που με την εισαγωγή της ιδιοκατανάλωσης θα μειωθούν κάποιες από τις απαραίτητες επενδύσεις που αφορούν την υποδομή του δικτύου, η πολύ μεγάλη αύξησή της μπορεί να οδηγήσει σε αντίθετα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, για να μπορέσει να διατηρηθεί το σύστημα σταθερό και αξιόπιστο, θα χρειαστούν νέα επιχειρηματικά μοντέλα και τεχνικές ικανότητες. Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα οι καταναλωτές οι οποίοι δεν έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν στην ιδιοκατανάλωση, με το να μετατραπούν σε «prosumers», να πρέπει να πληρώσουν υψηλότερα κόστη για την ηλεκτρική ενέργεια. Οι ειδικοί τονίζουν, επίσης, ότι η ιδιοκατανάλωση μπορεί να αποτελέσει έναν πολύ σημαντικό οδηγό για την ευελιξία της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η άποψη αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι με την αύξηση του μεριδίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αποκεντροποιημένες μορφές, θα επιτρέψουν στους «prosumers» να προσφέρουν νέες υπηρεσίες στο ενεργειακό σύστημα, οι οποίες μέχρι πρότινος τις παρείχαν μόνο τα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα η ευελιξία του συστήματος να είναι περιορισμένη. Επιπροσθέτως, ο Ευρωπαϊκός Βιομηχανικός Συνεταιρισμός Φωτοβολταϊκών (European Photovoltaic Industry Association) έχει αναφέρει την ανάγκη για να διασφαλίσουμε την βέλτιστη χρήση της ιδιοκατανάλωσης μέσω μιας ευρέως-συστήματος προσέγγιση βελτιστοποίησης (European Photovoltaic Industry Association, 2012, 2013). Επίσης, υπάρχουν αρκετές επιστημονικές έρευνες, οι οποίες έχουν

ασχοληθεί με τέτοια ζητήματα στο παρελθόν και συγκεκριμένα, με το να προσπαθούν να εκτιμήσουν τα οικονομικά δεδομένα από την ιδιοκατανάλωση μέσω της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση φωτοβολταϊκών, είτε μόνο με φωτοβολταϊκά είτε με φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (Chatzisisideris, Laurent, Christoforidis, & Krebs, 2017a; Metz & Saraiva, 2015; Schill, Zerrahn, & Kunz, 2017). Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών, επίσης, κατέληξαν στο γεγονός ότι μια φιλική λειτουργία της ιδιοκατανάλωσης ως προς το σύστημα, η οποία θα στοχεύει όχι μόνο στην βέλτιστη ιδιοκατανάλωση ενέργειας μέσω της μείωσης στα κόστη για τους «prosumers», αλλά επίσης και την μείωση των απωλειών απόδοσης του συστήματος μέσω της φροντίδας για επιπρόσθετες υπηρεσίες στο ηλεκτρικό δίκτυο και δίκτυο διανομής, όπως είναι η εξομάλυνση του δικτύου κατανάλωσης, είναι απαραίτητες ώστε να βοηθήσουν στον περιορισμό της αύξησης του κόστους.

Συγκριμένα, εξετάζοντας τον παραγόμενο ΑΓΧ αναφορικά με πολιτικές που εστιάζουν στην ανάπτυξη της μικρό-παραγωγής και της αποθήκευσης ενέργειας, παρατηρείται ότι κυριαρχούν δύο πολιτικές: η ανάπτυξη ευρείας κλίμακας έξυπνων μετρητικών συσκευών και τα οικονομικά κίνητρα για τις συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, παρατηρείται ότι μια πολιτική που θα εισάγει την χρησιμοποίηση έξυπνων μετρητικών συσκευών θα έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη ικανότητα ως προς την παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Από την άλλη μεριά μια τέτοια κίνηση θα αυξήσει τις ανησυχίες ως προς την καταπάτηση της ιδιωτικότητας των καταναλωτών, όπως παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της Ολλανδίας (Nikas et al., 2018; Nikas, Ntanos, & Doukas, 2019). Αυτό με την σειρά του προκαλεί μείωση της εμπιστοσύνης της κοινωνίας ως προς τα ινστιτούτα. Από την άλλη μεριά, η ανάπτυξη των έξυπνων μετρητικών συσκευών αυξάνει την ευελιξία της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία θα βελτιώσει την ευστάθεια του δικτύου. Επίσης, η καλύτερη παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας θα βελτιώσει τον έλεγχο των λογαριασμών κοινής ωφελείας το οποίο θα μειώσει σε σημαντικό βαθμό τις δαπάνες ηλεκτρικής ενέργειας για τους τελικούς χρήστες. Η πολιτική για οικονομικά κίνητρα για τις συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξήσει σημαντικά την αποθήκευση ενέργειας σε μικρή κλίμακα όπως επίσης την επηρεάζουν, σε μικρότερο βαθμό και οι έξυπνες μετρητικές συσκευές. Σημαντικά εμπόδια κατά την εφαρμογή αυτών των πολιτικών παρατηρείται ότι είναι η ύπαρξη ασταθούς ρυθμιστικού πλαισίου, όπου επηρεάζει αρνητικά την εμπιστοσύνη στα ινστιτούτα αλλά και την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή κλίμακα, όπως επίσης και τα υψηλά τεχνολογικά κόστη μαζί με την συνεχιζόμενη οικονομική κρίση, τα οποία θα επηρεάσουν τις χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και την αποθήκευση της ενέργειας. Το τελευταίο, λόγω του ότι συνδέεται άμεσα με την ευστάθεια του δικτύου θα επιφέρει μια έμμεση, πρόσθετη αρνητική μεταβολή στις τιμές της ενέργειας, η οποία θα μεταβιβαστεί ως επιπρόσθετο κόστος

στους τελικούς χρήστες αλλά και στις επενδύσεις οι οποίες με την σειρά τους θα επηρεάσουν την οικονομική ανάπτυξη μακροπρόθεσμα.

3.5 Ποσοτικοποίηση των κόμβων κινδύνου

Έχοντας σχεδιαστεί και ενσωματωθεί οι πληροφορίες, από τους συμμετέχοντες φορείς, αναφορικά με τις πολιτικές και τα ρίσκα που αφορούν την επιτυχή μετάβαση του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος στην μείωση των εκπομπών άνθρακα, γίνεται μια εκτίμηση των πολιτικών, όταν εφαρμόζονται για διαφορετικά σύνολα τιμών των ρίσκων που εμφανίζονται κατά την μετάβαση. Πιο συγκεκριμένα, διαμορφώνονται πέντε διαφορετικά σενάρια, τα οποία έχουν να κάνουν με διαφορετικές προσεγγίσεις αναφορικά με μελλοντικές εξελίξεις διάφορων κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων, τα οποία περιγράφονται χρησιμοποιώντας την θεωρία των Shared Socioeconomic Pathways (SSP) (O'Neill et al., 2017). Ανάλογα με το επιλεγμένο μονοπάτι, οι ειδικοί επιλέγουν συγκεκριμένες τιμές για τα αναγνωρισμένα εμπόδια (B1- B5) και έτσι διαμορφώνεται το αντίστοιχο σενάριο. Στην συνέχεια, δίνεται μια λεπτομερέστερη ανάλυση των σεναρίων που χρησιμοποιήθηκαν.

3.5.1 Σενάριο 1: «Βιωσιμότητα»

Σύμφωνα με αυτό το σενάριο οι χώρες βαδίζουν προς ένα πιο βιώσιμο μονοπάτι κατά το οποίο οι κοινωνίες σε παγκόσμια κλίμακα σέβονται τα συμφωνηθέντα περιβαλλοντικά όρια. Τα επίπεδα της κοινωνικής συνοχής είναι αρκετά αυξημένα. Επίσης, η ικανότητα και η αποτελεσματικότητα των διάφορων ινστιτούτων και οργανισμών, τόσο σε τοπικό, εθνικό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο, ως προς την συνεργασία και τον συντονισμό για θέματα που αφορούν το επίπεδο ζωής των ανθρώπων αλλά και την προάσπιση θεμάτων αναφορικά με τις κλιματολογικές συνθήκες είναι μεγάλη. Υπάρχει αυξημένη κινητικότητα ως προς τις επενδύσεις που αφορούν τον τομέα της εκπαίδευσης αλλά και σε επενδύσεις σχετικά με την υγεία. Όσον αφορά την οικονομία, ο ρυθμός της οικονομικής ανάπτυξης είναι σχετικά γρήγορος. Ωστόσο, υπάρχει μια μικρή μετατόπιση προς τον ανθρώπινο παράγοντα και την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, ακόμα και αν αυτό έχει ως αποτέλεσμα έναν μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης. Επίσης, παρουσιάζεται μια εξομάλυνση ως προς τις κοινωνικές ανισότητες. Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται και υπάρχει αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των ενεργειακών πόρων. Η κοινωνική αποδοχή αναφορικά με την ανάπτυξη των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας αυξάνεται και οι κανόνες γύρω από το περιβάλλον των ανανεώσιμων γίνονται πιο συγκεκριμένοι παρουσιάζοντας ένα σταθερό κανονιστικό πλαίσιο. Αυτές οι

συνθήκες σε συνδυασμό με τις ραγδαίες τεχνολογικές αλλαγές βοηθούν έτσι ώστε να υπάρχει μείωση στην χρήση ορυκτών καυσίμων και να γίνει μια στροφή προς πιο φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας. Καθοριστικό ρόλο στην επιτάχυνση αυτών των εξελίξεων είναι ότι η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί κύρια προτεραιότητα της πολιτικής ατζέντας. Όλες αυτές οι συνθήκες παρουσιάζουν ένα περιβάλλον κατά το οποίο υπάρχουν μικρές προκλήσεις σχετικά με την μείωση των εκπομπών αλλά και ως προς την προσαρμογή σε αυτές τις αλλαγές από το κοινωνικό σύνολο.

3.5.2 Σενάριο 2: «Στα μέσα του δρόμου»

Κατά το σενάριο 2, περιγράφεται μια κατάσταση κατά την οποία ο κόσμος ακολουθεί ένα μονοπάτι το οποίο απεικονίζει τις κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές τάσεις να εξελίσσονται σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα. Σε αυτή την κατάσταση υπάρχουν ανισότητες μεταξύ των χωρών, όπου ορισμένες σημειώνουν πρόοδο ενώ άλλες όχι. Οι παγκόσμιοι οργανισμοί και τα εθνικά ινστιτούτα συνεργάζονται ως προς την επίτευξη στόχων βιώσιμης ανάπτυξης, όμως η πρόοδος που επιτυγχάνουν είναι σχετικά αργή. Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν ένα σχετικά γρήγορο ρυθμό, παρόλα αυτά δεν σημειώνονται ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, οι οποίες θα είχαν μια μεγάλη επιρροή στις κοινωνίες. Τα περιβαλλοντικά συστήματα δεν έχουν ιδιαίτερη αποδοχή, ωστόσο υπάρχει μια μικρή μείωση στην χρήση και στην εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και η ενεργειακή εξάρτηση έχει συνολικά μειωθεί σε έναν μικρό βαθμό. Οι νέες οικονομίες παρουσιάζουν αρχικά μια γρήγορη ανάπτυξη, όμως καθώς τα επίπεδα των εισοδημάτων ανεβαίνουν αυτός ο ρυθμός μειώνεται. Αυτά τα επίπεδα ανάπτυξης και ανισότητας, έχουν ως αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμένη κοινωνική συνοχή όπως επίσης και περιορισμένες κοινωνικές και περιβαλλοντικές αλλαγές προς την κατεύθυνση μιας βιώσιμης ανάπτυξης. Έτσι, σύμφωνα με αυτό το σενάριο οι αναπτυσσόμενες κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις δεν κινούνται ούτε προς τα κατώτερα ούτε προς τα ανώτερα όρια των πιθανών μεταβάσεων αλλά διατηρούν μια μέση κατεύθυνση. Οπότε, παρατηρούνται μέτριου βαθμού προκλήσεις για την μείωση των εκπομπών και την προσαρμογή στις αλλαγές σε αυτό το σενάριο.

3.5.3 Σενάριο 3: «Τοπική αντιπαλότητα»

Στο σενάριο 3 παρατηρείται ότι υπάρχει ένα αρκετά δύσκολο περιβάλλον με αρκετές προκλήσεις. Συγκεκριμένα, οι χώρες παρουσιάζουν ιδιαίτερες ανησυχίες ως προς την ανταγωνιστικότητα και την ασφάλεια. Έτσι, φαίνεται ότι υπάρχει μια εσωστρέφεια τόσο σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο. Αυτήν την κατάσταση την τροφοδοτεί περαιτέρω και η ισχνή

παρουσία από τους παγκόσμιους οργανισμούς και ινστιτούτα, τα οποία δυσκολεύονται στην μεταξύ τους συνεργασία και στον συντονισμό τους ως προς συγκεκριμένους στόχους που αφορούν περιβαλλοντικά και άλλα θέματα. Τέτοιες συμπεριφορές έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία αρκετών εμποδίων για το εμπόριο μεταξύ των χωρών και συγκεκριμένα στην αγορά ενέργειας. Τα επίπεδα εκπαίδευσης και υγείας έχουν πτωτική κατεύθυνση και μειώνονται ολοένα και περισσότερο οι επενδύσεις σε αυτούς τους τομείς. Το ίδιο συμβαίνει και όσον αφορά τον τεχνολογικό τομέα με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις. Οι κοινωνικές ανισότητες αυξάνονται και παρατηρούνται καταστάσεις εμφάνισης ακραίας φτώχειας και δυσκολίας από τις χώρες να διατηρήσουν ένα ικανοποιητικό επίπεδο βιωσιμότητας. Λόγω της χαμηλής συμμετοχής διεθνών οργανισμών για την ενίσχυση των περιβαλλοντικών ανησυχιών παρατηρείται μια περιβαλλοντική υποβάθμιση σε αρκετές περιοχές και την ύπαρξη χωρών με υψηλό βαθμό ενεργειακής έντασης και σημαντική εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Όλες αυτές οι συνθήκες διαμορφώνουν ένα κλίμα όπου υπάρχει μικρή πολιτική πρωτοβουλία προς την εφαρμογή βιώσιμης ανάπτυξης όπως επίσης και ασταθές κανονιστικό πλαίσιο αλλά και μικρή αποδοχή από την μεριά της κοινωνίας προς τέτοιου είδους κατευθύνσεις. Συνεπώς, σε αυτό το σενάριο παρουσιάζονται ιδιαίτερα υψηλές προκλήσεις τόσο προς την μείωση των εκπομπών όσο και προς την προσαρμογή.

3.5.4 *Σενάριο 4: «Ανισότητες»*

Στο σενάριο 4, διαμορφώνεται μια κατάσταση κατά την οποία υπάρχει υψηλός βαθμός ανισότητας και κατανομής του πλούτου τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο, με χώρες ιδιαίτερα αναπτυγμένες και χώρες που έχουν πολύ χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης, όσο και σε εθνικό επίπεδο, με μεγάλες διαφορές μεταξύ των διάφορων κοινωνικών τάξεων. Με την πάροδο του χρόνου, αυτές οι ανισότητες εντείνονται και παρατηρείται από την μια πλευρά η διαμόρφωση κοινωνιών που συνδέονται, σε ένα διεθνές επίπεδο, οι οποίες έχουν υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης και συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην διεθνή οικονομία και από την άλλη η διαμόρφωση κοινωνιών, οι οποίες έχουν χαμηλό επίπεδο εισοδήματος και μικρή πρόσβαση σε τεχνολογίες. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι συνθήκες για την συγκέντρωση της εξουσίας σε μια περιορισμένη ομάδα ανθρώπων, ακόμα και σε δημοκρατικές χώρες, ενώ τα πιο ευάλωτα κοινωνικά στρώματα δυσκολεύονται να βρούμε εκπροσώπηση στους διάφορους εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς. Η οικονομική ανάπτυξη είναι μέτρια σε χώρες όπως η Ελλάδα. Επίσης, η κοινωνική συνοχή είναι ιδιαίτερα χαμηλή και παρατηρούνται συχνές διαμάχες στο κοινωνικό σύνολο. Από την άλλη μεριά, οι τεχνολογικές εξελίξεις είναι αρκετά γρήγορες, ιδιαίτερα στις οικονομίες και τους τομείς με υψηλές τεχνολογίες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση στα κόστη σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην

μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα. Οι περιβαλλοντικές πολιτικές επικεντρώνονται κυρίως σε τοπικά ζητήματα γύρω από μέσου και υψηλού εισοδήματος περιοχές. Άρα, στο συγκεκριμένο σενάριο βλέπουμε ότι υπάρχουν ιδιαίτερα υψηλές προκλήσεις αναφορικά με την προσαρμογή των αλλαγών αλλά μικρές αναφορικά με την μείωση των εκπομπών.

3.5.5 Σενάριο 5: «Ανάπτυξη των ορυκτών καυσίμων»

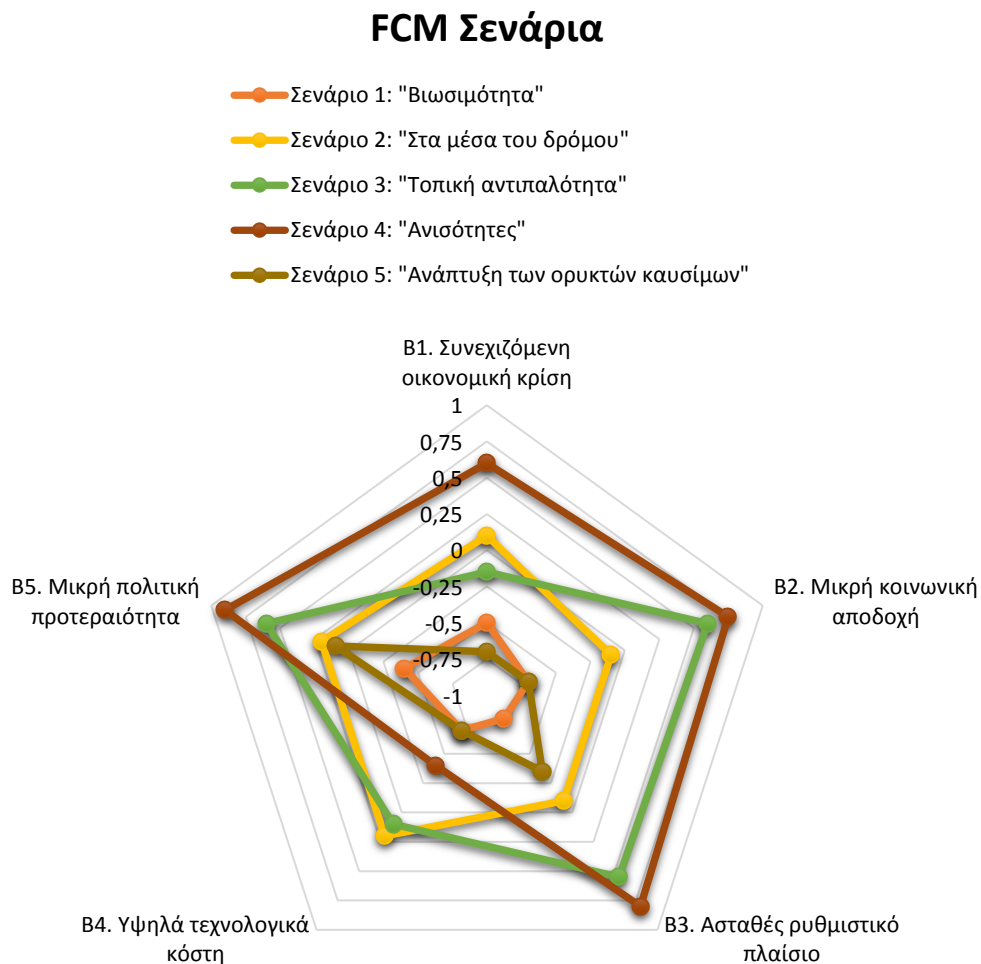
Στο σενάριο 5, έχουμε ένα περιβάλλον με ιδιαίτερα γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης της οικονομίας. Ακολουθώντας το πρότυπο των βιομηχανοποιημένων οικονομιών, υπάρχει μια ανάπτυξη προς τις ανταγωνιστικές αγορές, τις καινοτομίες και τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις, όπως επίσης και την ανάπτυξη του ανθρώπινου παράγοντα. Υπάρχει ολοένα και μεγαλύτερη ενσωμάτωση των διεθνών αγορών έτσι ώστε να διατηρείται ο ανταγωνισμός και να εξαλείφονται τα διάφορα εμπόδια προς αυτήν την κατεύθυνση. Επίσης, πραγματοποιούνται αρκετές επενδύσεις προς την βελτίωση του επιπέδου εκπαίδευσης, της υγείας και άλλων κοινωνικών παραγόντων. Από την άλλη μεριά, όλη αυτή η οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη συνδέεται με την χρησιμοποίηση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας όπως επίσης και την υιοθέτηση ενός τρόπου ζωής ιδιαίτερα απαιτητικού ως προς την χρήση της ενέργειας. Επίσης, διάφορα περιβαλλοντικά ζητήματα δεν υπολογίζονται και υποβαθμίζονται έτσι ώστε να διατηρηθεί η ανταγωνιστικότητα σε υψηλό επίπεδο. Επομένως, σε αυτό το σενάριο προκλήσεις που αφορούν την μείωση των εκπομπών άνθρακα είναι ιδιαίτερα υψηλές ενώ προκλήσεις σχετικά με την προσαρμογή στις αλλαγές είναι χαμηλές.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές που προσδιόρισαν οι φορείς για κάθε εμπόδιο για την αντίστοιχη περίπτωση σεναρίου.

Πίνακας 3.10 Τιμές για τα αναγνωρισμένα εμπόδια σε κάθε σενάριο.

	Σ1.	Σ2.	Σ3.	Σ4.	Σ5.
B1.	-0,5	0,1	-0,15	0,6	-0,7
B2.	-0,7	-0,1	0,6	0,75	-0,7
B3.	-0,8	-0,1	0,55	0,8	-0,35
B4.	-0,7	0,2	0,1	-0,4	-0,7
B5.	-0,4	0,2	0,6	0,9	0,1

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα διάγραμμα με τις τιμές των ρίσκων για κάθε σενάριο έτσι ώστε να υπάρξει μια πιο εποπτική ματιά αυτών των τιμών.



Εικόνα 3.4 Διάγραμμα με τις τιμές των εμποδίων για τα εκάστοτε σενάρια.

3.6 Επιλογή παραμέτρων διαμόρφωσης

Για να μπορούν να τρέξουν οι απαραίτητες προσομοιώσεις, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, χρησιμοποιείτε η μεθοδολογία που περιγράφετε στην εργασία των Nikas & Doukas (2016). Οπότε, η συνάρτηση ενεργοποίησης που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$C_j^{(t)} = f\left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n C_i^{(t-1)} w_{ij} + C_j^{(t-1)}\right)$$

Όπου, C_j^1 είναι η τιμή της έννοιας j κατά το τέλος της επανάληψης, C_j^{t-1} είναι η τιμή της έννοιας j κατά την αρχή της επανάληψης, C_i^{t-1} είναι η τιμή της έννοιας i κατά την αρχή της επανάληψης, w_{ij} είναι η τιμή του βάρους για την αιτιακή σχέση κατά την οποία γίνεται μετάβαση από την έννοια i στην έννοια j και f είναι η συνάρτηση κατωφλίου.

Για την συνάρτηση κατωφλίου, λόγω του ότι χρησιμοποιούνται τιμές που βρίσκονται στο διάστημα $[-1, 1]$, επιλέχθηκε η εξής συνάρτηση:

$$f(x) = \tanh x$$

3.7 Εκτέλεση της προσομοίωσης

Έχοντας προσδιοριστεί τα διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά σενάρια για την κάλυψη όλων των πιθανών καταστάσεων που μπορούν να προκύψουν για την περίπτωση της Ελλάδος, πραγματοποιείται η προσομοίωση του ΑΓΧ για την εφαρμογή της κάθε πολιτική για κάθε σενάριο ξεχωριστά όπως επίσης και για την περίπτωση της μη εφαρμογής κανενός σεναρίου. Κατά την ενεργοποίηση κάθε πολιτικής η τιμή που παίρνει είναι 1 ενώ για τις υπόλοιπες οι οποίες μένουν ανενεργές είναι 0. Έτσι, διαμορφώνονται συνολικά εικοσιπέντε προσομοιώσεις του ΑΓΧ, πέντε για κάθε σενάριο (τέσσερις για την κάθε πολιτική και μια για καμία πολιτική). Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

3.8 Σύγκριση αποτελεσμάτων

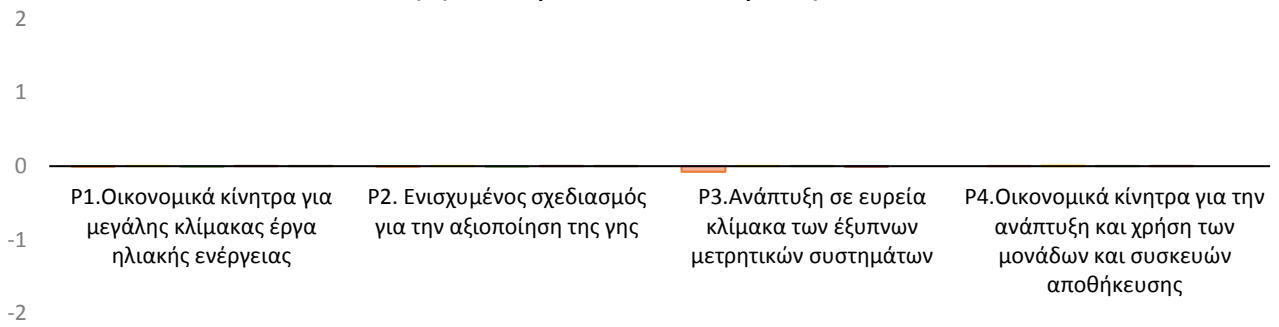
Χρήσιμα συμπεράσματα από αυτές τις προσομοιώσεις, λόγω του ότι ο ΑΓΧ είναι μια ποιοτική ανάλυση και τα αποτελέσματα αυτά καθαυτά δεν έχουν κάποια σημασία, δεν μπορούν να βρεθούν. Σημαντικά συμπεράσματα, όμως, αποκτώνται εάν συγκριθούν μεταξύ τους τα αποτελέσματα. Έτσι, παρατηρώντας και συγκρίνοντας τις διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων της κάθε πολιτικής με την περίπτωση της μη εφαρμογής κάποιας πολιτικής για το κάθε σενάριο ξεχωριστά, διαφαίνεται τι περιμένουν οι ειδικοί από την κάθε πολιτική και ποιες είναι οι πιθανές συνέπειες από την εφαρμογή τους για την επίτευξη της ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι επιπτώσεις που

προκύπτουν από την σύγκριση των αποτελεσμάτων του ΑΓΧ, για τις επιπτώσεις των τεσσάρων πολιτικών ως προς τις πέντε, αναγνωρισμένες από τους ειδικούς, αβεβαιότητες και ρίσκα που ακολουθούν μια τέτοια μετάβαση, τα οποία είναι:

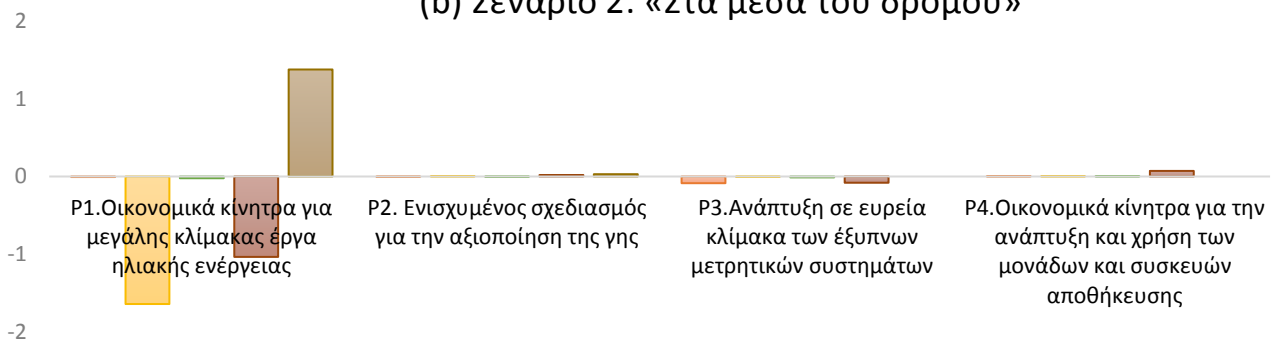
- C1. Τα κόστη ηλεκτρισμού για τους τελικούς χρήστες.
- C2. Η μακροχρόνια οικονομική ανάπτυξη.
- C3. Οι επενδύσεις.
- C4. Η εργασία.
- C5. Τα τιμολογιακά ελλείματα.

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που παίρνουμε όταν δεν έχουμε καμία πολιτική.

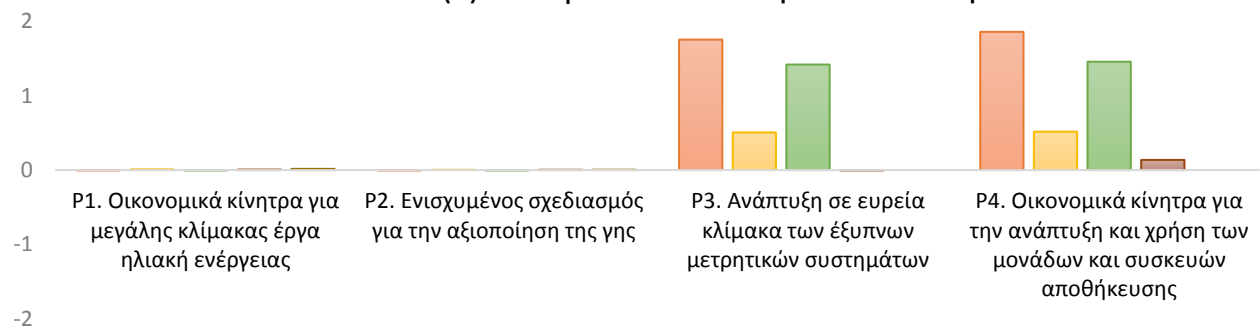
(a) Σενάριο 1: «Βιωσιμότητα»



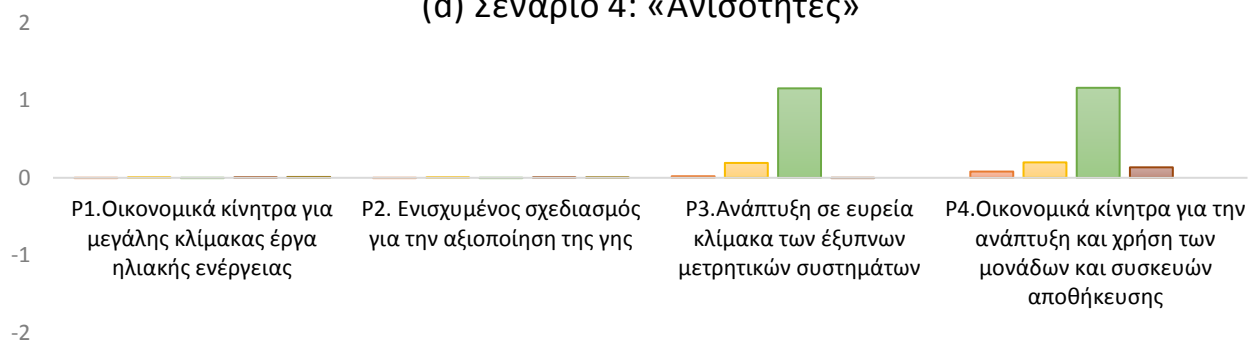
(b) Σενάριο 2: «Στα μέσα του δρόμου»



(c) Σενάριο 3: «Τοπική αντιπαλότητα»



(d) Σενάριο 4: «Ανισότητες»



(e) Σενάριο 5: «Ανάπτυξη των ορυκτών καυσίμων»



Εικόνα 3.5 Τα αποτελέσματα του ΑΓΧ για τις επιπτώσεις των πολιτικών P1-P4 στα ρίσκα C1-C5 σε σύγκριση με την μη εφαρμογή κάποιας πολιτικής.

Τα αποτελέσματα, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, αναδεικνύουν ότι οι εφαρμοσμένες πολιτικές για την περίπτωση όπου εφαρμόζεται το σενάριο 1 δεν έχουν σημαντική συνεισφορά ως προς την οικονομική ανάπτυξη, τις επενδύσεις, την εργασία και τα ηλεκτρικά κόστη ή τα νομισματικά προβλήματα. Το μόνο που παρατηρείται είναι μια σχετική μείωση, όσον αφορά τα κόστη ηλεκτρισμού για τους τελικούς χρήστες για την περίπτωση όπου εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα η ανάπτυξη των έξυπνων μετρητικών συστημάτων. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και όσον αφορά την περίπτωση του σεναρίου 5 «Ανάπτυξη των ορυκτών καυσίμων».

Από την άλλη μεριά, για το σενάριο 2 «Στα μέσα του δρόμου», κατά το οποίο υπάρχουν μέτριες προκλήσεις αναφορικά με την μείωση αλλά και την προσαρμογή και οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες εξελίσσονται σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα, αποδεικνύεται ότι υπάρχει σημαντική επίδραση συγκεκριμένων πολιτικών. Πιο αναλυτικά, στην περίπτωση όπου δίνονται οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας ενεργειακών έργων, παρατηρείται σημαντική μείωση στην οικονομική ανάπτυξη σε μακροχρόνιο ορίζοντα, όπως επίσης και στην εργασία. Επίσης, παρατηρείται αύξηση στα τιμολογιακά ελλείμματα, κυρίως λόγω λανθασμένων σχεδιασμών των οικονομικών μηχανισμών οι οποίοι δεν προβλέπουν ανάλογες επιστροφές σε σχέση με τα κόστη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει πολλά δημοσιοοικονομικά προβλήματα. Όλες αυτές οι εξελίξεις, οι οποίες προκλήθηκαν από την εφαρμογή αυτής της πολιτικής έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των κοινωνικοοικονομικών ανισοτήτων. Αυτό το

αποτέλεσμα αντανακλά παλαιότερους λανθασμένους χειρισμούς, οι οποίοι έχουν παρατηρηθεί και για την περίπτωση της Ελλάδας. Όσον αφορά τις υπόλοιπες πολιτικές τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επιδράσεις τους είναι σχετικά μηδαμινές.

Σχετικά με το σενάριο 3 «Τοπική αντιπαλότητα», το οποίο σχετίζεται με πολύ μικρή οικονομική ανάπτυξη και μειωμένες επενδύσεις σε τεχνολογικά θέματα, παρατηρείται ότι πολιτικές όπως η ευρεία ανάπτυξη έξυπνων μετρητικών συσκευών και οικονομικά κίνητρα για μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, έχουν θετικές επιδράσεις. Βέβαια, τέτοιου είδους πολιτικές έχουν ως συνέπεια και στις δύο περιπτώσεις την ύπαρξη μιας σημαντικής αύξησης στα κόστη ηλεκτρισμού για τους τελικούς καταναλωτές, το οποίο οφείλεται κυρίως στην ανάγκη για ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις ούτως ώστε να ενσωματωθούν αυτά τα συστήματα στο δίκτυο ομαλά αλλά και στα υψηλά κόστη σχετικά με την εγκατάστασή τους αλλά και την λειτουργία τους, παράγοντες οι οποίοι επιφέρουν την αύξηση της χονδρικής τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας και τελικά, την αύξηση στα κόστη των τελικών χρηστών. Ωστόσο, η θετική επίδραση που έχουν οι πολιτικές αυτές αναφορικά με τις επενδύσεις, την οικονομική ανάπτυξη αλλά και την εργασία αντισταθμίζουν τα αρνητικά αποτελέσματα.

Τέλος, στο σενάριο 4 «Ανισότητες», όπου κυριαρχούν οι κοινωνικές ανισότητες, παρατηρείται ότι και σε αυτή την περίπτωση θετικές επιδράσεις εμφανίζουν οι πολιτικές που προάγουν την ανάπτυξη των έξυπνων μετρητικών συσκευών αλλά και την οικονομική ενίσχυση για την αποθήκευση ενέργειας. Όπως και στα σενάρια 3 έτσι και εδώ φαίνεται ότι υπάρχει εισροή επενδύσεων οι οποίες οφείλονται και σε διεθνείς συνεργασίες, αύξηση της οικονομικής ανάπτυξης αλλά και δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Πρέπει να αναφερθεί ότι ενώ οι επιδράσεις αυτές δεν έχουν τον βαθμό που έχουν στο σενάριο 3, από την άλλη μεριά σε αυτή την περίπτωση δεν παρατηρείται αύξηση στα κόστη της ηλεκτρικής ενέργειας.

Από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων για όλα τα υποτιθέμενα σενάρια εξάγεται το συμπέρασμα ότι θετικές επιδράσεις στους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες έχουν μόνο οι πολιτικές οι οποίες είναι προσανατολισμένες προς την ανάπτυξη των «prosumers» και ιδίως στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν αυξημένες προκλήσεις σχετικά με την προσαρμογή, οι οποίες παρουσιάζονται στα σενάρια 3,4. Αντιθέτως, οι πολιτικές που προσανατολίζονται προς πιο συγκεντρωτικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αμελητέες επιδράσεις στους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες και επίσης, στην περίπτωση όπου έχουμε ένα περιβάλλον όπου ακολουθούνται παλαιότερα πρότυπα τα διάφορα οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη μεγάλων ηλιακών έργων μπορεί να προκαλέσουν πιθανώς αρνητικές συνέπειες ως προς την ανάπτυξη της χώρας, την εργασία αλλά και τον δημοσιονομικό προϋπολογισμό της κυβέρνησης.

Αν και τα αποτελέσματα αυτά δεν μπορούν να δώσουν συγκεκριμένες ποσοτικές απαντήσεις και έχουν ουσία μόνο όταν τα συγκρίνουμε, ωστόσο, αυτή η διαδικασία που ακολουθήθηκε με την συμβολή ειδικών πάνω στο θέμα ανέδειξε τα κυριότερα ρίσκα που μπορούν να εμφανιστούν κατά την εφαρμογή αλλά και τις κυριότερες συνέπειες που μπορεί να ακολουθήσουν από την ενεργειακή μετάβαση με την χρήση της ηλιακής ενέργειας για την περίπτωση της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, οι φορείς ανέδειξαν τις επιδράσεις που μπορεί να έχουν η αποθήκευση ενέργειας και η ευελιξία της ζήτησης ενέργειας στις χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας και αυτές με την σειρά τους στα κόστη των τελικών χρηστών, όπως επίσης και τις αρνητικές κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να επιφέρει η ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας ηλιακών έργων. Στη συνέχεια θα επιχειρηθεί η ποσοτικοποίηση και η εκτίμηση των εν λόγω ρίσκων κάνοντας χρήση του μοντέλου BSAM για την εκτίμηση των μικροοικονομικών αρνητικών συνεπειών και του MEMO για την εκτίμηση των αντίστοιχων μακρο-κοινωνικοοικονομικών αρνητικών συνεπειών.

4 *Διαμόρφωση σεναρίων για την ποσοτική ανάλυση των κινδύνων*

Στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα, που έδωσε η προηγούμενη ανάλυση, έτσι ώστε να αναγνωριστούν τα σημαντικότερα ρίσκα υλοποίησης όπως επίσης και να αναγνωριστούν και οι κυριότερες συνέπειες μιας ενεργειακής μετάβασης του Ελληνικού δικτύου σε χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα. Στην συνέχεια, αναπτύσσονται τα μοντέλα που είναι σε θέση να ποσοτικοποιήσουν τα ρίσκα αυτά. Η μεθοδολογία, για να μπορέσει να έρθει εις πέρας αυτό το εγχείρημα, περιλαμβάνει την χρησιμοποίηση των μοντέλων BSAM και MEMO, τα οποία έχουν αναφερθεί και αναλυθεί στο κεφάλαιο 2. Κατά την εφαρμογή αυτών των μοντέλων είναι απαραίτητη η διαμόρφωση των κατάλληλων σεναρίων, έτσι ώστε να μπορέσουν τα μοντέλα αυτά να παράγουν χρήσιμες εκτιμήσεις των ρίσκων. Επίσης, απαραίτητος είναι και ο προσδιορισμός των διαφόρων υποθέσεων και παραμέτρων των μοντέλων για να μπορέσουν να λειτουργήσουν σωστά.

4.1 Διαμόρφωση σεναρίων

Όπως τονίζεται και νωρίτερα στην εργασία, το μοντέλο BSAM πρόκειται για ένα ενεργειακό μοντέλο υψηλής ανάλυσης ικανό να προσομοιώσει τις λειτουργίες στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται για να ερευνηθούν οι επιδράσεις που θα έχει η ανάπτυξη της αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή κλίμακα (1-10 kWp), σχετικά με την διαμόρφωση των χονδρικών τιμών ηλεκτρισμού στην Ελλάδα. Στο σημείο αυτό πρέπει σημειωθεί ότι εκτός από μεγάλης και μικρής κλίμακας έργα, υπάρχει και η περίπτωση της ανάπτυξης ηλιακών πάρκων μεσαίου μεγέθους (10-1000 kWp). Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να είναι αρκετά ελκυστική για μικρές τοπικές εταιρίες και κοινότητες. Ωστόσο, στην ανάλυσή

που ακολουθείται διαφοροποιούνται τα μικρής κλίμακας έργα από όλα τα άλλα πιθανά έργα. Ο λόγος για αυτόν τον διαχωρισμό βασίζεται στο ότι οι ικανότητες από πλευράς της ζήτησης πρέπει να συντονίζονται με τις ανάγκες και τους περιορισμούς στην ευελιξία του δικτύου, αλλιώς τα οφέλη από μια τέτοια ενσωμάτωση για το δίκτυο θα είναι περιορισμένα. Για καταστεί δυνατή η εξέταση αυτής της ανάπτυξης διαμορφώθηκαν εννέα διαφορετικά σενάρια, σχετικά με την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών και του μεριδίου αγοράς από τις μικρής κλίμακας συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακάτω, παρουσιάζετε ο σχετικός πίνακας.

Πίνακας 4.1 Πίνακας των εννέα σεναρίων που αναπτύχθηκαν για την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών και του μεριδίου της αγοράς των μικρής κλίμακας συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, για το μοντέλο BSAM.

<i>Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών (MW)</i>	<i>Μερίδιο της αγοράς από την αποθήκευση ενέργειας</i>		
	<i>0%</i>	<i>5%</i>	<i>10%</i>
2611	Σ00	Σ01	Σ02
3900	Σ10	Σ11	Σ12
5900	Σ20	Σ21	Σ22

- Το σενάριο Σ00 αντιστοιχεί στις συνθήκες της αγοράς, δηλαδή ζήτηση και τιμές, για το έτος 2016 για το Ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (HELAPCO, 2018).
- Έτσι η συνολική ισχύς των φωτοβολταϊκών σε 2611 MW, αντιστοιχεί στα επίπεδα για το έτος 2016.
- Η συνολική ισχύς των 3900 MW αντιστοιχεί στον ενδεικτικό εθνικό στόχο για το έτος 2025.
- Η συνολική ισχύς των 5900 MW αντιστοιχεί στον ενδεικτικό εθνικό στόχο για το έτος 2035.
- Το μερίδιο για την αποθήκευση αντιστοιχεί στο ποσοστό των μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων οι οποίες συνοδεύονται από αποθήκευση ενέργειας σε σχέση με την συνολική μικρής κλίμακας εγκατεστημένη ισχύς.

- Η αναλογία μεγάλης με μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκά είναι 6 προς 1 (όπως στην περίπτωση για το έτος 2016).
- Ακολουθώντας μια παρόμοια διαδικασία όπως παρατηρήθηκε στο (Waffenschmidt, 2014), η αποθήκευση ενέργειας θεωρείται ότι εντάσσεται στο σύστημα για ενέργεια ίση με 3,5 kWh, δηλαδή για μερίδιο της αγοράς ίσο με 5% και για ενέργεια ίση με 7 kWh, δηλαδή για μερίδιο της αγοράς ίσο με 10%, για κάθε 10 kWp εκτιμημένης ισχύς των φωτοβολταϊκών.
- Η απόδοσή τους θεωρείται ίση με 92%.
- Όλες οι άλλες παράμετροι, όπως η συνολική ζήτηση ενέργειας, οι τιμές των ορυκτών καυσίμων, τα επίπεδα των δεξαμενών νερού κ.α. θεωρούνται σταθερά και ίσα με τις τιμές του έτους 2016.

Για κάθε σενάριο, χρησιμοποιείται μια επιπρόσθετη μονάδα, η οποία υπολογίζει σε επίπεδο καταναλωτή:

- Την ιδιοκατανάλωση (kWh).
- Την συνολική ενέργεια που τροφοδοτείται στο δίκτυο (kWh).
- Την ενέργεια που αγοράζεται από το δίκτυο (kWh).
- Και τον αριθμό των ισοδύναμων πλήρων κύκλων ανά έτος για τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας.

Αυτή η μονάδα προσομοιώνει την λειτουργία της αποθήκευσης έχοντας ως στόχο την μεγιστοποίηση της ιδιοκατανάλωσης και δίνει την δυνατότητα στην μετάφραση των σεναρίων για την ανάπτυξη της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σενάρια για τα επίπεδα της ιδιοκατανάλωσης τα οποία επηρεάζουν άμεσα την ζήτηση, η οποία εξυπηρετείται από την χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Για το μοντέλο που αφορά την αποστολή ηλεκτρικής ενέργειας από την μπαταρία, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται από τους Quoilin, Kanvadias, Mercier, Pappone, & Zucker (2016), σύμφωνα με τον οποίο η ισχύς της μπαταρίας αποστέλλεται με βέλτιστο τρόπο, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η ιδιοκατανάλωση. Έτσι, εάν η ενέργεια που παράγουν τα φωτοβολταϊκά είναι μεγαλύτερη από το φορτίο, τότε η μπαταρία φορτίζεται μέχρι πλήρως, στην αντίθετη περίπτωση η μπαταρία αποφορτίζεται μέχρι τέλους.

Αν και τα χρησιμοποιούμενα σενάρια περιλαμβάνουν συγκεκριμένες και ντετερμινιστικές παραμέτρους, ωστόσο η αβεβαιότητα για την συγκεκριμένη περίπτωση, προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο οι χονδρικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφώνονται. Όπως αναφέρεται νωρίτερα, στο μοντέλο BSAM, χρησιμοποιούνται πράκτορες που αντιπροσωπεύουν τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι χρησιμοποιώντας αλγόριθμους εκμάθησης διαμορφώνουν σταθερές στρατηγικές προσφορών λαμβάνοντας

υπόψιν τους την συμπεριφορά των ανταγωνιστών τους. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι το αποτέλεσμα των συμπεριφορών των παραγωγών λόγω των στρατηγικών που ακολουθούν, οι οποίες δεν είναι προαποφασισμένες αλλά μαθαίνονται από τους πράκτορες καθώς λειτουργούν μέσα στην αγορά. Οι μόνες απαιτήσεις για τις στρατηγικές είναι οι εξής:

- Οι τιμές δεν γίνονται υπερβολικά χαμηλές (εκτός εάν υπάρχει σημαντική ικανότητα παραγωγής) ή υψηλές (εκτός κατά την διάρκεια περιόδων έλλειψης έτσι ώστε να αποφευχθεί η χαμηλή απόδοση της αγοράς και η αύξηση στα μακροχρόνια κόστη), στο σημείο όπου μια ρυθμιστική παρέμβαση θα ήταν απαραίτητη.
- Οι στρατηγικές είναι σταθερές, υπονοώντας μια κατάσταση κατά την οποία πρέπει να επιτευχθεί κάποια ισορροπία.

Άρα, οι τιμές οι οποίες προκύπτουν αντιπροσωπεύουν πιθανά και όχι βέβαια αποτελέσματα.

Όσον αφορά το μοντέλο MEMO, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των μακροοικονομικών επιπτώσεων αλλά και τις επιπτώσεις που θα υποστεί η αγορά εργασίας. Θεωρείται ότι η ένταση με την οποία γίνεται η έρευνα για εύρεση εργασίας είναι αρκετά ελαστική. Δηλαδή, μικρές αλλαγές στους μισθούς οδηγούν σε μεγάλες αλλαγές στον αριθμό των εργαζόμενων που συμμετέχουν στην αγορά εργασίας. Αυτή η προσέγγιση ακολουθείται λόγω της υπόθεσης ότι η πρόσφατη οικονομική κρίση και οι συνεχιζόμενοι χαμηλοί μισθοί έχουν αποθαρρύνει αρκετούς εργαζόμενους στο να ψάχνουν για δουλειά. Έτσι, θεωρείται ότι μια αύξηση στη ζήτηση, λόγω μείωσης στα ενεργειακά κόστη, θα μπορέσει να φέρει πίσω αυτούς τους εργαζόμενους. Εάν αυτή η υπόθεση αποδειχθεί λανθασμένη, η θετική επίδραση λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στο ΑΕΠ και στα ποσοστά δραστηριότητας θα είναι χαμηλότερη από αυτή που προβλέφθηκε από το μοντέλο.

Για να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τα τεχνολογικά κόστη προσομοιώνονται τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 4.2 Σενάρια για την εκτίμηση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τα τεχνολογικά κόστη, για το μοντέλο MEMO.

Σενάρια για το μοντέλο MEMO

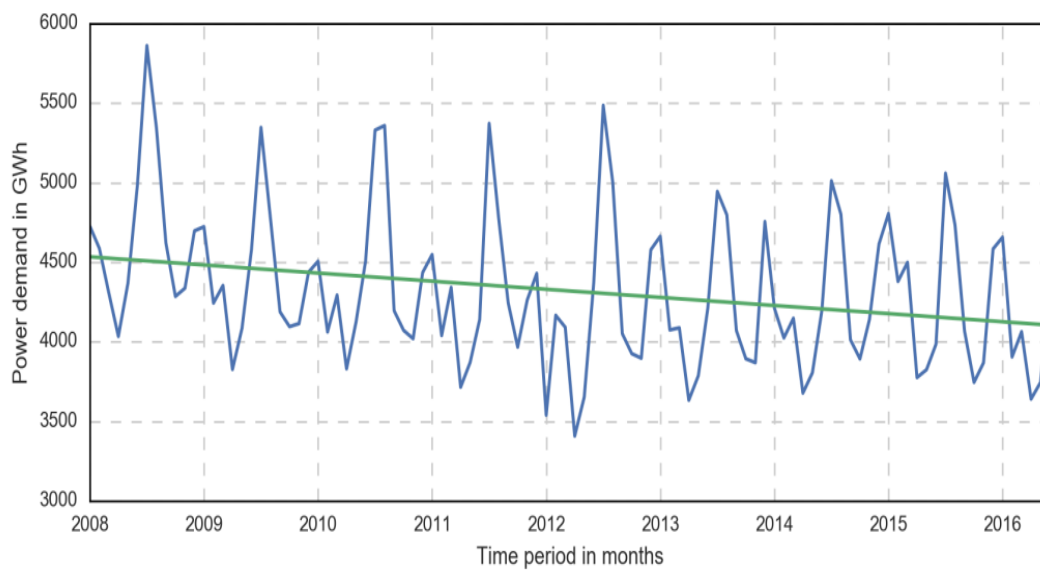
«Προσδοκώμενα τεχνολογικά κόστη»	Προσδιορίζεται ένα βασικό σενάριο για τα τεχνολογικά κόστη
«Χαμηλά τεχνολογικά κόστη»	Θεωρείται ότι τα τεχνολογικά κόστη σχετικά με τις ανανεώσιμες είναι 40% χαμηλότερα από τα αναμενόμενα
«Υψηλά τεχνολογικά κόστη»	Θεωρείται ότι τα τεχνολογικά κόστη σχετικά με τις ανανεώσιμες είναι 40% υψηλότερα από το αναμενόμενο

4.2 Μοντελοποίηση των υποθέσεων και των παραμέτρων.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι υποθέσεις και οι παράμετροι των σεναρίων που προσομοιώθηκαν από τα μοντέλα BSAM και MEMO.

4.2.1 Η προβλεπόμενη ανάπτυξη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρήχθησαν προεκτάσεις της συνολικής ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα, έτσι ώστε να δοθούν όσο το δυνατόν περισσότερο ρεαλιστικές αναπαραστάσεις των μελλοντικών συνθηκών της αγοράς. Λόγω της οικονομικής κρίσης, η συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται από το 2008 και ύστερα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η εξέλιξη της μηνιαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για την ηπειρωτική Ελλάδα από το 2008 μέχρι τα μέσα του 2016 (HTSO, 2018). Η πτωτική τάση αντιστοιχεί σε έναν ρυθμό μείωσης της τάξης του 1% ανά έτος.



Εικόνα 4.1 Η μηνιαία εξέλιξη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας της ηπειρωτικής Ελλάδας από το 2008 μέχρι τα μέσα του 2016. Η κάθετες διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στον μήνα Ιανουάριο του εκάστοτε χρόνου.

Για την προσομοίωση της ζήτησης χρησιμοποιείται μια γραμμική τάση η οποία ξεκινά από τα 49200 GWh το 2016, φτάνει τα 53000 GWh το 2020 και τα 58500 GWh το 2050.

4.2.2 Εγκατάσταση νέων ΑΠΕ

Οι υποθέσεις για την εγκατεστημένη ισχύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3. Συγκεκριμένα, για τα φωτοβολταϊκά η αναλογία μεγάλης προς μικρής κλίμακας εγκατεστημένης ισχύς είναι 6 προς 1.

Πίνακας 4.3 Οι υποθέσεις για την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών και των αιολικών πάρκων την περίοδο 2020-2050 για το μοντέλο MEMO.

<i>Έτος</i>	<i>Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών (MW)</i>	<i>Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων (MW)</i>
2016	2443	1987
2020	2900	2831
2025	3900	3675
2030	4900	4519
2035	5900	5363
2040	6900	6207
2045	7900	7051
2050	8900	7900

4.2.3 Κόστη των ΑΠΕ

Για την εγκατάσταση 1MW (μεγάλης κλίμακας ηλιακά έργα): Ο μέσος ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης θεωρείται ότι είναι 22% και η ετήσια μείωση της αποδοτικότητας είναι 0,5%. Ακόμα, τα λειτουργικά κόστη και τα κόστη συντήρησης θεωρούνται ότι είναι 1% του συνολικού κόστους επένδυσης ανά έτος και το κόστος επένδυσης είναι 1€/W.

Για τα μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκά συστήματα: Τα λειτουργικά κόστη και τα κόστη συντήρησης θεωρούνται ότι είναι ίσα με το 2% του συνολικού επενδυτικού κόστους ανά έτος. Ο μέσος ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης είναι 15%. Η ετήσια μείωση αποδοτικότητας θεωρείται ότι είναι 0,5%. Το κόστος επένδυσης είναι 1,3€/W.

Για τα αιολικά συστήματα: Το κεφαλαιακό κόστος για τα αιολικά συστήματα στην Ελλάδα είναι 1,2€/W. Ο μέσος ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης για τις χερσαίες αιολικές φάρμες είναι 25%. Τα λειτουργικά κόστη και τα κόστη συντήρησης μπορούν να γραφούν ως ποσοστά του αρχικού κεφαλαίου που επενδύεται όπως φαίνεται και στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.4 Τα λειτουργικά κόστη και τα κόστη συντήρησης ως ποσοστά του αρχικού κεφαλαίου που επενδύεται για τα αιολικά συστήματα στην Ελλάδα.

<i>Λειτουργικά κόστη και κόστη συντήρησης</i>	<i>Συντελεστής</i>
<i>Συντελεστής κόστους για την συντήρηση του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού</i>	2%
<i>Συντελεστής κόστους για την συντήρηση των δημόσιων έργων</i>	0,5%
<i>Συντελεστής κόστους για την ασφάλιση του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού</i>	0.6%
<i>Συντελεστής κόστους για την ασφάλιση των δημόσιων έργων</i>	0,6%

Επίσης, το ενεργειακό μείγμα που λαμβάνεται υπόψιν για τα σενάρια που προσομοιώνονται στο μοντέλο MEMO παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.5 Η δομή των τεχνολογιών παραγωγής (ενεργειακό μείγμα) για το βασικό σενάριο στο μοντέλο MEMO.

Παραγόμενο ενεργειακό μείγμα για την υπολειπόμενη ζήτηση (%)

<i>Έτος</i>	<i>Λιγνίτης</i>	<i>Φυσικό αέριο</i>	<i>Νερό</i>
2016	32	41	27
2020	25	45	30
2025	26	44	30
2030	25	42	33
2035	26	42	33
2040	28	37	35
2045	15	47	38
2050	9	53	38

5 *Αποτελέσματα ποσοτικής μοντελοποίησης*

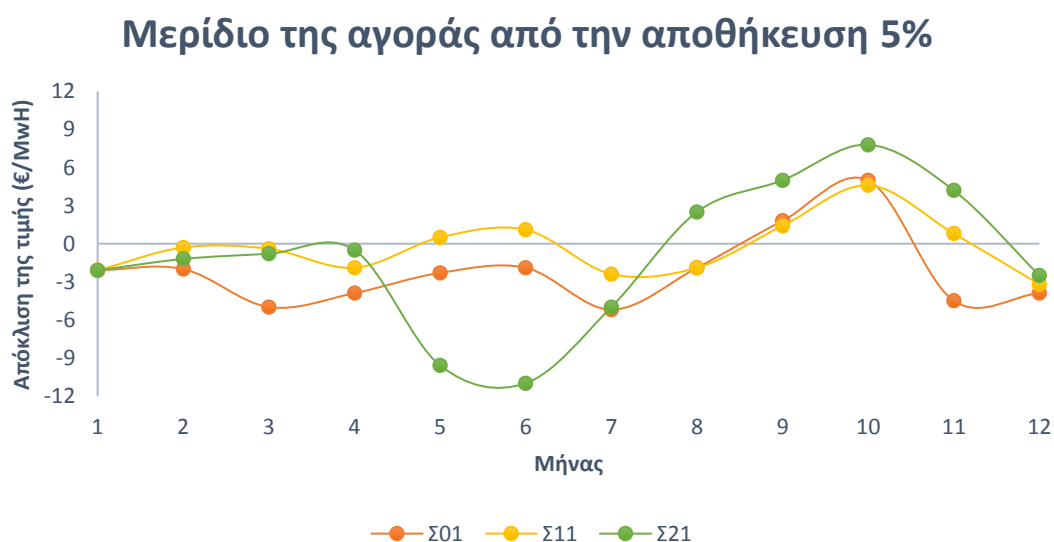
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τα μοντέλα BSAM και MEMO, για τα καθορισμένα σενάρια και τις υποθέσεις και τις παραμέτρους που ελήφθησαν υπόψιν και παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4. Συγκεκριμένα, οι οικονομικές συνέπειες, που συνδέονται με την εφαρμογή των μονοπατιών μετάβασης που βασίζονται στην ανάπτυξη των «prosumers», οι οποίες σύμφωνα με την γνώμη των ειδικών επηρεάζουν τις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, εκτιμώνται μέσω του μοντέλου BSAM. Από την άλλη μεριά, οι κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που έχουν να κάνουν με την συνολική ενεργειακή μετάβαση του Ελληνικού συστήματος μέσω της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, οι οποίες σύμφωνα με την εμπειρία των ειδικών επηρεάζουν τους τομείς της οικονομίας σε μακροχρόνιο ορίζοντα, τις επενδύσεις και την εργασία, εκτιμώνται βάση του μοντέλου MEMO.

Για το μοντέλο MEMO συγκεκριμένα, συγκρίνονται τα μακροοικονομικά αποτελέσματα βάσει δύο σεναρίων:

- Το σενάριο της ανάπτυξης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.
- Το σενάριο της συνέχισης των ίδιων συνθηκών αναφορικά με τις επενδύσεις, την χρήση των πηγών και την εργασία για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα, «Business as usual».

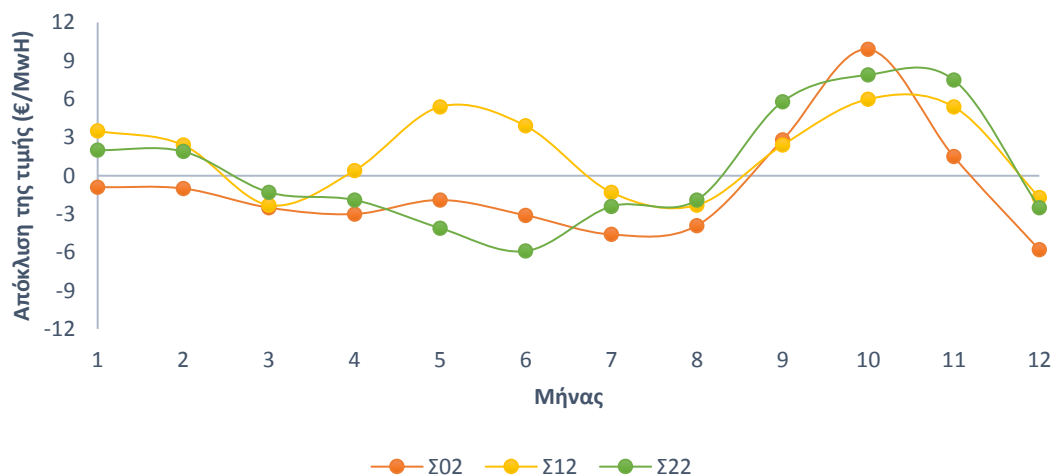
5.1 Οικονομικά ρίσκα

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων χονδρικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh) των σεναρίων τα οποία υποθέτουν αποθήκευση ενέργειας (Σ01, Σ11, Σ21, Σ02, Σ12, Σ22) από τις αντίστοιχες στα σεναρία τα οποία δεν συμπεριλαμβάνουν την αποθήκευση (Σ00, Σ10, Σ20), τις οποίες θεώρησε το μοντέλο BSAM. Συγκεκριμένα, στην εικόνα 5.1 παρουσιάζονται οι αποκλίσεις για την περίπτωση όπου η αποθήκευση ενέργειας έχει μερίδιο της αγοράς της τάξης του 5% σε σχέση με την μηδενική αποθήκευση (σενάριο αναφοράς), ενώ στην εικόνα 5.2 παρουσιάζονται οι αποκλίσεις για την περίπτωση όπου η αποθήκευση ενέργειας έχει μερίδιο της αγοράς της τάξης του 10% σε σχέση με την μηδενική αποθήκευση.



Εικόνα 5.1 Η εκτιμώμενη, από το μοντέλο BSAM, επίδραση της αποθήκευσης ενέργειας στις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας για 5% μερίδιο στην αγορά από την αποθήκευση (Σ01, Σ11, Σ21).

Μερίδιο της αγοράς από την αποθήκευση 10%



Εικόνα 5.2 Η εκτιμώμενη, από το μοντέλο BSAM, επίδραση της αποθήκευσης ενέργειας στις χονδρικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας για 10% μερίδιο στην αγορά από την αποθήκευση (Σ02, Σ12, Σ22).

Πρέπει να σημειωθεί ότι αρκετές έρευνες υποστηρίζουν ότι συστήματα που περιλαμβάνουν την ιδιοκατανάλωση γίνονται ολοένα και πιο ελκυστικά για τα νοικοκυριά, αφού προσανατολίζονται σε ενέργειες οι οποίες θα αυξήσουν την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και θα μειώσουν τους λογαριασμούς τους, συνεπώς στο μέλλον η ιδιοκατανάλωση με αποθήκευση ενέργειας θα αποτελεί σημαντικό κίνητρο. Συγκεκριμένα, οι Camilo, Castro, Almeida, & Pires (2017) παρουσίασαν μια οικονομική εκτίμηση λαμβάνοντας υπόψιν διαφορετικές λύσεις αναφορικά με την χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά, για την περίπτωση της Πορτογαλίας. Λαμβάνοντας πληροφορίες από τους κατασκευαστές στην Πορτογαλία, οι οποίες είναι παρόμοιες και για τις άλλες Ευρωπαϊκές χώρες όπως είναι η Ελλάδα, συγκέντρωσαν τα απαραίτητα δεδομένα που αφορούν επενδυτικά κόστη, τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης όπως επίσης και για το σύνολο των στοιχείων του συστήματος, τα οποία είναι:

- Η φωτοβολταϊκή μονάδα
- Ο αντιστροφέας
- Ο αμφίδρομος μετρητής
- Η μπαταρία

Τα αποκτόμενα έσοδα προκύπτουν από την μείωση στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος λόγω της ιδιοκατανάλωσης. Το τυχόν πλεόνασμα στην ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να εγχυθεί στο δίκτυο και αποζημιώνεται μέσω της χονδρικής αγοράς. Η οικονομική εκτίμηση έγινε χρησιμοποιώντας παραδοσιακούς οικονομικούς δείκτες και συγκεκριμένα:

- Την παρούσα καθαρή αξία (Net Present Value) ή (NPV):

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{RL_j}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j} + \frac{V_r}{(1+a)^n}$$

Όπου, n είναι η διάρκεια ζωής του έργου, a είναι ο βαθμός προεξόφλησης, V_r είναι η διασωθείσα ποσότητα στο τέλος της διάρκειας ζωής, I_j είναι η επένδυση για το έτος j και RL_j είναι τα καθαρά έσοδα το έτος j. Το έργο γίνεται αποδεκτό εάν η $NPV > 0$ και απορρίπτεται εάν η $NPV < 0$.

- Τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (Internal Rate of Return) ή (IRR), ο οποίος υπολογίζεται από:

$$\sum_{j=1}^n \frac{RL_j}{(1+IRR)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+IRR)^j} + \frac{V_r}{(1+IRR)^n} = 0$$

Εάν $IRR > a$ τότε το έργο είναι κερδοφόρο αλλιώς όχι.

- Τον δείκτη κερδοφορίας (Profitability Index) ή (PI):

$$PI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{RL_j}{(1+a)^j} + \frac{V_r}{(1+a)^n}}{\sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j}}$$

Εάν $PI > 1$ τότε το έργο γίνεται δεκτό

- Την προεξοφλημένη περίοδο αποπληρωμής (Discounted Payback Period) ή (DPP), η οποία υπολογίζεται από:

$$\sum_{j=1}^{DPP} \frac{RL_j}{(1+a)^j} + \frac{V_r}{(1+a)^n} = \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j}$$

Εάν $DPP < n$ τότε το έργο γίνεται αποδεκτό αφού τα έσοδα θα μπορέσουν να καλύψουν τα κόστη της επένδυσης μέσα στην διάρκεια ζωής του έργου.

Για τα πλαίσια της έρευνας διαμορφώθηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια για τα οποία έγινε οικονομική ανάλυση.

- Το βασικό σενάριο, όπου δεν θεωρείται ιδιοκατανάλωση και όση ενέργεια παράγεται από τα φωτοβολταϊκά εγχέεται στο δίκτυο. Αντίστοιχα, όση ενέργεια χρειάζεται για να εξυπηρετήσει το φορτίο παρέχεται από το δίκτυο.
- Το σενάριο της ιδιοκατανάλωσης με και χωρίς έγχυση της πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει ιδιοκατανάλωση και όσον αφορά την πλεονάζουσα παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θεωρούνται δύο περιπτώσεις, (i) στην πρώτη η πλεονάζουσα ενέργεια εγχέεται στο δίκτυο και (ii) στην δεύτερη η πλεονάζουσα ενέργεια δεν αξιοποιείται καθόλου. Ο λόγος της μη αξιοποίησης της πλεονάζουσας ενέργεια στην δεύτερη περίπτωση είναι εξαιτίας του ρυθμιστικού πλαισίου όπου τιμωρεί τυχόν εγχύσεις στο δίκτυο.
- Το σενάριο της ιδιοκατανάλωσης με αποθήκευση ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει ιδιοκατανάλωση και όταν υπάρχει παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε περίσσεια αυτή αποθηκεύεται σε μπαταρίες, όπου χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει αρκετή παραγόμενη ενέργεια (π.χ. το βράδυ όπου δεν παράγεται καθόλου ενέργεια). Σημειώνεται ότι και σε αυτό το σενάριο διακρίνονται δύο περιπτώσεις (i) η μια όπου όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη η επιπλέον παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στο δίκτυο και (ii) η άλλη όπου όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη η επιπλέον παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν αξιοποιείται καθόλου.
- Το σενάριο του ενεργειακού συμψηφισμού. Εδώ θεωρείται πάλι ιδιοκατανάλωση όμως η επιπλέον παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια εγχέεται στο δίκτυο, το οποίο λειτουργεί σαν μακροπρόθεσμη αποθήκευση και έτσι το ποσό που έχει χορηγηθεί μπορεί να ανακτηθεί για κατανάλωση κάποια άλλη στιγμή. Η διαδικασία αυτή ελέγχεται μέσω μετρητικών συσκευών όπου διαχειρίζονται την πλεονάζουσα ενέργεια.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ιδιοκατανάλωση μέσω κυρίως μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι οικονομικά βιώσιμη. Ενώ για περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει ιδιοκατανάλωση οι επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα δεν είναι συμφέρουσες. Επίσης, σημειώνεται ότι λόγω του ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι τιμές για την αποθήκευση είναι παρόμοια και για την υπόλοιπη Ευρώπη, τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να γενικευτούν και για άλλες περιπτώσεις χωρών όπως της Ελλάδας.

Ωστόσο, έρευνες υποδεικνύουν ότι οι αποδόσεις τέτοιου είδους επενδύσεων εσωκλείουν ένα ρίσκο λόγω του ότι συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τις λιανικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ένα μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας ως προς την διακύμανσή τους. Συγκεκριμένα, οι Nikolaidis, Milidonis, & Charalambous (2015) εστίασαν στην οικονομικά κριτήρια των επενδυτών ως προς την χρησιμοποίηση ηλιακής τεχνολογίας και ερεύνησαν την επίδραση της αβεβαιότητας στα μελλοντικά έσοδα από τους λογαριασμούς

ηλεκτρικού ρεύματος, λόγω της χρησιμοποίησης φωτοβολταϊκών συστημάτων με ενεργειακό συμψηφισμό. Η αβεβαιότητα βασίζεται στις αλλαγές ως προς την χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας στις τιμές των ορυκτών καυσίμων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μια top-down προσέγγιση για την διαμόρφωση των απαιτούμενων ταριφών για την ηλεκτρική ενέργεια, την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών για τα ορυκτά καύσιμα και τους μηχανισμούς αποζημίωσης ενεργειακού συμψηφισμού.

Αρχικά, προσδιορίζονται τα απαιτούμενα έσοδα που πρέπει να συγκεντρωθούν από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας ούτως ώστε να καλυφθούν τα συνολικά κόστη. Τα κόστη αυτά αποτελούνται από δύο κατηγορίες:

- Τα σταθερά κόστη
- Τα μεταβλητά κόστη

Τα σταθερά κόστη έχουν να κάνουν με τα σταθμισμένα ετήσια κεφαλαιακά κόστη για κάθε παραγωγική μονάδα, τα σταθερά κόστη λειτουργίας και συντήρησης για κάθε παραγωγική μονάδα, τα σταθμισμένα ετήσια κεφαλαιακά κόστη για τις εγκαταστάσεις μεταφοράς και διανομής κ.α.

Τα μεταβλητά κόστη έχουν να κάνουν με τα κόστη καυσίμων, τα κόστη που συνδέονται με τις εκπομπές CO₂ και τα μεταβλητά λειτουργικά κόστη και τα μεταβλητά κόστη συντήρησης.

Έχοντας προσδιοριστεί τα απαιτούμενα έσοδα σχεδιάστηκαν οι κατάλληλες ταρίφες μέσω των οποίων μπορούν να συγκεντρωθούν αυτά τα έσοδα από τις διάφορες κατηγορίες πελατών. Για τον σκοπό αυτό και βασιζόμενοι σε θεμελιώδεις αρχές οι οποίες μιμούνται τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται αυτές οι χρεώσεις στην πραγματικότητα, δημιουργήθηκαν τρεις διαφορετικές δομές χρέωσης των πελατών.

- Η ογκομετρική επίπεδη χρέωση, όπου ο ηλεκτρισμός χρεώνεται στην ίδια τιμή ανεξάρτητα από την χρονική στιγμή κατά την οποία ζητήθηκε. Η χρέωση περιλαμβάνει ένα σταθερό ποσό και μια χρέωση ανάλογη με την ενέργεια που καταναλώθηκε.
- Η ογκομετρική αύξουσα χρέωση με φραγμούς, όπου σε αυτή την δομή η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει διάφορα επίπεδα και καθώς η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται θέτονται υψηλότερες χρεώσεις. Και εδώ έχουμε διαχωρισμό σε σταθερή και μεταβαλλόμενη χρέωση.
- Η ογκομετρική φθίνουσα χρέωση με φραγμούς, όπου πρόκειται για αντίστοιχη δομή με την προηγούμενη με την διαφορά ότι στα υψηλότερα επίπεδα η χρέωση ανά kWh θα μειώνεται. Επίσης, όπως και στις άλλες δύο δομές υπάρχει πάγια και μεταβαλλόμενη χρέωση.

Για τον υπολογισμό των λογαριασμών που καλούνται να πληρώσουν οι αυτοπαραγωγοί προσδιορίζεται αρχικά η καθαρή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από την αφαίρεση από την κατανάλωση ενέργειας της ποσότητας ενέργειας που παράχθηκε, για το εκάστοτε μήνα. Στην συνέχεια αφαιρούνται ενεργειακές πιστώσεις από τον προηγούμενο μήνα αν υπάρχουν και προκύπτουν οι καθαρές μονάδες του πελάτη. Αν αυτές είναι αρνητικές τότε ο πελάτης καλείται να πληρώσει μόνο την πάγια χρέωση, σε διαφορετική περίπτωση καλείται να πληρώσει την πάγια χρέωση συν τις καθαρές μονάδες του πελάτη βάσει της δομής χρέωσης που ακολουθείται.

Για την πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών των καυσίμων, που σε αυτήν την περίπτωση πρόκειται για βαρύ μαζούτ και Ντίζελ, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του ακατέργαστου πετρελαίου Brent, οι οποίες οδηγούν όλες τις άλλες τιμές πετρελαίων και για την πρόβλεψή τους χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Regime switching between 2 Geometric Brownian Motion2 (RSGBM2). Οι τιμές των καυσίμων προκύπτουν από γραμμική παλινδρόμηση των τιμών Brent και των ιστορικών τιμών για το βαρύ μαζούτ και για το Ντίζελ.

Στην συνέχεια υπολογίζονται οι χρεώσεις αναφοράς για την ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνοντας ως δεδομένο τις τιμές για το έτος 2013 όπως, επίσης, υπολογίζονται και οι προσαρμοσμένες χρεώσεις για να λογαριάσουν τις αποκλίσεις των τιμών των καυσίμων.

Τέλος, με τον υπολογισμό του δείκτη Value of Bill Savings (VBS) γίνεται ο υπολογισμός των εσόδων στους λογαριασμούς λόγω του ενεργειακού συμψηφισμού ανά έτος.

Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η χρησιμοποιούμενη δομή για την χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί πιθανότατα να έχει σημαντικές επιδράσεις στην μείωση των λογαριασμών. Επίσης, πολύ σημαντική επίδραση στις λιανικές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν οι αλλαγές στις τιμές των καυσίμων. Έτσι ένα μείγμα καυσίμων με σταθερές σχετικά τιμές θα μειώσει το ρίσκο για την επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Από την άλλη μεριά, έρευνες δείχνουν ότι η υποστήριξη της ιδιοκατανάλωσης θα βοηθήσει τους αυτοπαραγωγούς, αφού θα μπορούν να αντισταθμίζουν την παραγόμενη ενέργεια με την κατανάλωση σε διαφορετικές στιγμές. Κάτι τέτοιο σημειώνεται και από τους Chatzisisideris, Laurent, Christoforidis, & Krebs (2017), όπου διερεύνησαν την ανταγωνιστικότητα, ως προς τα κόστη, των οργανικών φωτοβολταϊκών συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την ιδιοκατανάλωση για την περίπτωση της Ελλάδας και της Δανίας. Συγκεκριμένα, εκτίμησαν τόσο τα τρέχοντα όσο και τα πιθανά μελλοντικά κόστη με τα οποία θα επιβαρυνθούν νοικοκυριά λόγω των συστημάτων αυτών, για μια επενδυτική περίοδο της τάξης των είκοσι ετών και έχοντας ως δεδομένο τα ισχύοντα ρυθμιστικά πλαίσια που αφορούν την ιδιοκατανάλωση. Τα ευρήματα της έρευνας παρότι αφορούν την τεχνολογία των οργανικών

φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορούν να γενικευτούν σε όλες τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε δεν βασίστηκε σε παλαιότερες προσεγγίσεις αναφορικά με την στήριξη της ιδιοκατανάλωσης, οι οποίες χρησιμοποιούσαν την πολιτική των τροφοδοτούμενων ταριφών, αλλά έλαβε υπόψιν της τα ισχύοντα ρυθμιστικά πλαίσια όπου προσανατολίζονται στην μείωση των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, σε πολιτικές που έχουν να κάνουν με τον ενεργειακό συμψηφισμό, όπου η πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο και να πιστωθεί στον καταναλωτή κάποια άλλη χρονική στιγμή κατά την οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν επαρκεί για να καλύψει της ανάγκες του. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν λήφθηκαν υπόψιν αποζημιώσεις για την πλεονάζουσα ενέργεια καθώς κάτι τέτοιο δεν προβλέπεται στην περίπτωση της Ελλάδας.

Για την μοντελοποίηση των ενεργειακών ροών ενός μέσου καταναλωτή έγινε σύγκριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με την κατανάλωση και με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκε το συνολικό ποσό της ιδιοκατανάλωσης και οι αντίστοιχες εισαγωγές και εξαγωγές στο δίκτυο. Με την συγκέντρωση αυτών των δεδομένων υπολογίστηκε η ενεργειακή αυτάρκεια η οποία επιτυγχάνεται μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στην συνέχεια, συγκρίνοντας τους λογαριασμούς μεταξύ ενός νοικοκυριού με φωτοβολταϊκά με ένα που δεν έχει, έγινε ο υπολογισμός της εξοικονόμησης στους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς, όμως, να λαμβάνονται υπόψιν τα κόστη των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών συστημάτων διαμορφώθηκαν τρεις κατηγορίες (i) στην πρώτη κατηγορία η εγκατεστημένη ισχύς κυμαίνεται στα kW (ii) στην δεύτερη κατηγορία η εγκατεστημένη ισχύς είναι στα 100MW (iii) στην τρίτη κατηγορία στα 100GW και προσδιορίστηκαν τα αντίστοιχα συνολικά κόστη για όλη την διάρκεια ζωής τους. Για να μπορέσει να υπολογιστεί η τυχόν κερδοφορία από την επένδυση στα φωτοβολταϊκά υπολογίστηκε η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value) ή (NPV). Ο υπολογισμός της NPV έγινε από τον προσδιορισμό του αρχικού κεφαλαιακού κόστους και του κόστους εγκατάστασης και από τις ταμειακές εισφορές λόγω της εξοικονόμησης στους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την περίοδο ζωής των συστημάτων. Έτσι, εάν τα αποτελέσματα για την NPV είναι θετικά τότε η επένδυση είναι κερδοφόρα σε αντίθετη περίπτωση θα δημιουργηθούν ζημιές.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η ιδιοκατανάλωση επηρεάζεται από τρεις παράγοντες:

- Το ρυθμιστικό πλαίσιο αναφορικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα
- Τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας της εκάστοτε χώρας

➤ Το προφίλ των καταναλωτών σχετικά με την ηλεκτρική ενέργεια

Όσον αφορά την περίπτωση της Ελλάδας, διαπιστώθηκε ότι αυτοί οι παράγοντες επωφελούν την ανάπτυξη της ιδιοκατανάλωσης και ότι τέτοιου είδους επενδύσεις μπορούν να αποβούν κερδοφόρες στα νοικοκυριά καθώς προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση στους λογαριασμούς τους.

Ωστόσο, το μοντέλο BSAM δείχνει ότι το τελευταίο, μαζί με την περιορισμένη ευελιξία του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος, μπορεί να οδηγήσει τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας να ανεβάσουν τις τιμές, το οποίο θα οδηγήσει τελικά σε αύξηση των λιανικών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, η αύξηση της ιδιοκατανάλωσης θα αυξήσει μέσα σε ορισμένους μήνες του χρόνου, την τιμή που όλοι οι άλλοι πληρώνουν για την ηλεκτρική ενέργεια, έτσι ώστε οι παραγωγοί να αντισταθμίσουν τις απώλειές τους. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν και με την βιβλιογραφία.

Για παράδειγμα, οι Eid, Reneses Guillén, Frías Marín, & Hakvoort (2014) εξέτασαν τις συνέπειες, λόγω της εισαγωγής φωτοβολταϊκών συστημάτων με ενεργειακό συμψηφισμό, στην ανάκτηση των εξόδων του δικτύου, στις διασταυρούμενες επιδοτήσεις και στους πολιτικούς στόχους. Συγκεκριμένα, διερεύνησαν την περίπτωση της Ισπανίας για την εισαγωγή ενεργειακού συμψηφισμού μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών μονάδων από χρήστες χαμηλής τάσης, όπου επηρεάζουν κυρίως τον λειτουργό διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να γενικευτούν και για άλλες Ευρωπαϊκές χώρες.

Τα κόστη που καλείται να αναπληρώσει ο λειτουργός του συστήματος διανομής αναλύονται σε κόστη που αφορούν την λειτουργία και κεφαλαιακά κόστη. Τα πρώτα αποτελούνται από κόστη λειτουργίας και συντήρησης του δικτύου και κόστη που συνδέονται με εμπορικές υπηρεσίες. Η δεύτερη συνιστώσα αποτελείται από κόστη που αφορούν επενδύσεις που γίνονται στο δίκτυο διανομής και σε κόστη που σχετίζονται με την χρησιμοποίηση της ισχύς.

Ο ενεργειακός συμψηφισμός θεωρείται μια μέθοδος μέσω της οποίας οι αυτοπαραγωγοί μπορούν να λάβουν αποζημιώσεις για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέσω της μείωσης των λογαριασμών τους. Για να μπορέσει να γίνει αυτό απαιτείται ένας αμφίδρομος μετρητής, ο οποίος θα παρακολουθεί τόσο την κατανάλωση όσο και την παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή μονάδα. Για την περίπτωση όπου δεν υπάρχει φωτοβολταϊκή μονάδα ο εγκατεστημένος μετρητής έχει μια κατεύθυνση και μετράει μόνο την κατανάλωση. Αυτή η περίπτωση είναι και η συνηθέστερη καθώς τα περισσότερα νοικοκυριά δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, πολύ σημαντικός παράγοντας για την περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού είναι και πιο χρονικό πλαίσιο θέτεται για την πίστωση της επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας που παράχθηκε. Για την εξέταση της επιρροής του χρονικού πλαισίου εξετάστηκαν

διαφορετικά σενάρια που υπέθεταν ωριαία, ημερήσια, μηνιαία, εποχιακά, εξαμηνιαία και ετήσια χρονικά πλαίσια.

Για τον σχεδιασμό των διαφόρων ταριφών λήφθηκαν υπόψιν κάποιες βασικές αρχές οι οποίες πρέπει να ακολουθούνται κατά την σχεδίαση. Έτσι, οι ταρίφες πρέπει να καλύπτουν την επάρκεια των εσόδων, να είναι αποδοτικές, να είναι δίκαιες, να είναι διαφανείς, να υπάρχει απλότητα στην σχεδίασή τους και να εξασφαλίζουν την σταθερότητα. Οι ταρίφες που βασίζονται σε αυτές τις αρχές στοχεύουν στο να παρέχουν αποτελεσματικά σήματα στους χρήστες έτσι ώστε να γίνετε βέλτιστη χρήση του δικτύου. Ωστόσο, μια τέτοια προσέγγιση στην σχεδίαση των ταριφών είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία. Για την συγκεκριμένη περίπτωση ακολουθήθηκαν τρεις διαφορετικές μέθοδοι σχεδίασης των ταριφών:

- Τιμολόγηση βάση της μεταφερόμενης ενέργειας (σε €/kWh). Σε αντίθεση με τα κόστη για την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας, τα κόστη για την μεταφορά σχετίζονται περισσότερο με την εγκατεστημένη ισχύ γι' αυτό και αυτός ο τρόπος χρέωση δεν είναι και ο πιο αντιπροσωπευτικός αναφορικά με την χρήση του δικτύου. Ωστόσο, παρέχουν σήματα για την συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα.
- Τιμολόγηση βάση της μέγιστης παρατηρούμενης ισχύς (σε €/kW). Εδώ εφαρμόζεται μια πιο αντιπροσωπευτική αντιστοίχιση των εξόδων του δικτύου με τους εκάστοτε χρήστες.
- Τιμολόγηση βάση σταθερών χρεώσεων (σε €/έτος ή €/μήνα). Αυτός ο τρόπος τιμολόγησης είναι ίδιος για όλους τους χρήστες που ανήκουν στην ίδια κατηγορία και δεν σχετίζεται με την κατανάλωση, την παραγωγή ή την χρησιμοποιούμενη ισχύ. Παρόλο που η μέθοδος αυτή είναι απλή και ξεκάθαρη, ωστόσο δεν παρέχει κανένα σήμα στους χρήστες ως προς την μείωση της κατανάλωσης ή την χρησιμοποιούμενη ισχύ ούτε επίσης, αντανακλά την αιτιότητα ως προς τα κόστη.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι ο ενεργειακός συμψηφισμός με αυξανόμενα χρονικά πλαίσια πίστωσης σε συνδυασμό με μια τιμολόγηση βασισμένη στην ενέργεια θα μειώσει τα έσοδα των λειτουργών του δικτύου. Επίσης, οι λογαριασμοί των χρηστών που έχουν εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα θα παρουσιάσουν σημαντική μείωση, την οποία θα χρεωθούν οι άλλοι χρήστες του δικτύου, αφού για να αυξήσουν τα έσοδά τους οι λειτουργοί θα αυξήσουν τις χρεώσεις, αυξάνοντας έτσι τα έξοδα των χρηστών που δεν παράγουν ενέργεια.

Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Azarova, Engel, Ferner, Kollmann, & Reichl, (2018) όπου εκτίμησαν την επίδραση από διαφορετικά σχεδιασμένες ταρίφες οι οποίες αντανακλούν διαφορετικές συμπεριφορές κατανάλωσης, χρησιμοποιώντας δεδομένα από 765 νοικοκυριά στην Αυστρία. Η έρευνα δείχνει ότι η επιρροή διαφορετικών χρεώσεων εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από διάφορους παράγοντες όπως είναι το εισόδημα των νοικοκυριών και

από τον αριθμό των μελών τους. Συνεπώς, η τροποποίηση των ταριφών έτσι ώστε να αντιστοιχούν στα κόστη του δικτύου, για μια κατάσταση όπου υπάρχει διείσδυση της ιδιοκατανάλωσης, επιφέρει μια μετατόπιση των οικονομικών βαρών σε αυτούς που είναι λιγότερο ικανοί να προσαρμόσουν την συμπεριφορά τους και να επενδύσουν σε νέες συσκευές οι οποίες μπορούν να ανταποκριθούν πιο αποδοτικά στα νέα σήματα των χρεώσεων.

Οι ταρίφες για την ηλεκτρική ενέργεια αποτελούνται και εδώ από τρεις κύριες χρεώσεις δικτύου:

- Ενεργειακές χρεώσεις, όπου βασίζεται στην ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται (€/kWh).
- Σταθερές χρεώσεις (€/έτος).
- Χρεώσεις μέγιστης ισχύς, όπου βασίζεται στην μέγιστη μετρούμενη ισχύς που χρησιμοποιήθηκε σε κάποια χρονική περίοδο (€/kW).

Βάση αυτών των κύριων τρόπων χρέωσης διαμορφώθηκαν έντεκα διαφορετικές ταρίφες χρησιμοποιώντας διαφορετικά βάρη για κάθε περίπτωση. Ύστερα, χρησιμοποιήσαν δεδομένα βασισμένα σε 35040 παρατηρήσεις οι οποίες γινόντουσαν ανά διάστημα δεκαπέντε λεπτών, τα οποία συγκέντρωσαν κατά τον χρονικό ορίζοντα από τον Απρίλιο του 2010 μέχρι τον Μάρτιο του 2011 και ανέλυσαν την επίδραση των ταριφών στον προϋπολογισμό των νοικοκυριών δεδομένου του περιορισμού των εξόδων του δικτύου.

Η έρευνα έδειξε ότι παράγοντες όπως είναι το μέγεθος της κατοικίας, ο αριθμός των ανθρώπων που ζουν σε κάθε νοικοκυριό κ.α., όταν εφαρμόζονται καθαρά ογκομετρικές μετρήσεις ενέργειας, σχετίζονται θετικά με υψηλότερες χρεώσεις σε σχέση με το σενάριο αναφοράς που αντιστοιχεί στις χρεώσεις που εφαρμόστηκαν στην Αυστρία για το έτος 2016. Αντιθέτως, οι χρεώσεις για το δίκτυο μειώθηκαν, για τα ίδια νοικοκυριά, όταν εφαρμόστηκαν χρεώσεις που βασίζονταν στην μέγιστη ισχύ. Ακόμα, εξετάζοντας τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των νοικοκυριών, παρατηρείται ότι ταρίφες μέγιστου φορτίου επιβαρύνουν οικογένειες με παιδιά, καθώς εμφανίζουν υψηλότερα φορτία, ενώ ευνοούν νοικοκυριά με μεγαλύτερα εισοδήματα, αφού μπορούν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με φτωχότερες οικογένειες.

Συνεπώς, επισημαίνεται ένα επακόλουθο ρίσκο το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά την διαμόρφωση οποιασδήποτε πολιτικής στοχεύει στην υποστήριξη της ιδιοκατανάλωσης στην Ελλάδα. Έτσι, δεδομένου ότι στην περίπτωση μας ο στόχος μας ήταν μόνο η αύξηση της ιδιοκατανάλωσης, καταλήξαμε ότι μια τέτοια πολιτική δεν αποτελεί τον βέλτιστο τρόπο, όταν στοχεύουμε στην μείωση της τιμής που πληρώνουν οι καταναλωτές που δεν αποτελούν «prosumers». Οπότε, για να ξεπεραστεί αυτή η κατάσταση οι πολιτικές που διαμορφώνονται πρέπει να υποστηρίξουν την ιδιοκατανάλωση λαμβάνοντας υπόψιν την γενικότερη κατάσταση

του συστήματος. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει με την στόχευση στην έξυπνη ιδιοκατανάλωση, δηλαδή ιδιοκατανάλωση που ενεργοποιείται από τις ανάγκες του ενεργειακού συστήματος και βάση των τιμών. Μέτρα πολιτικής για την υποστήριξη της ιδιοκατανάλωσης πρέπει να στοχεύουν στην αύξηση του κέρδους και να είναι οικονομικά ελκυστικά για τους καταναλωτές. Βιώσιμες πρακτικές για μια τέτοια προσέγγιση προέρχονται από την παραμετροποίηση της άμεσης υποστήριξης των επενδύσεων στα φωτοβολταϊκά, την αποθήκευση ενέργειας και την ιδιοκατανάλωση. Επίσης, από τις τιμές, τους φόρους και τις εισφορές της ηλεκτρικής ενέργειας που εισέρχεται στο δίκτυο και τα τέλη δικτύου.

Ωστόσο, υπάρχει η ανάγκη να ενισχυθούν αυτά τα μέτρα με τις απαραίτητες υποδομές και κανονισμούς για να κατευθύνεται η διανεμημένη ενέργεια σύμφωνα με τις ανάγκες του ενεργειακού συστήματος.

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας, είναι ότι λόγω της αναμενόμενης σημαντικής τεχνολογικής εξέλιξης και προόδου στον τομέα της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας τα επόμενα χρόνια, οι πολιτικές που περιλαμβάνουν την ιδιοκατανάλωση και την αποθήκευση πρέπει να συνεκτιμώνται με αντίστοιχες μειώσεις στα τεχνολογικά κόστη για την αποθήκευση.

Κάτι τέτοιο αναφέρεται και από τους Camilo et al., (2017) σημειώνοντας ότι αν και σύμφωνα με τις ισχύουσες συνθήκες, αναφορικά με τις τιμές των μπαταριών, επενδύσεις που αφορούν την ιδιοκατανάλωση με αποθήκευση ενέργειας δεν είναι βιώσιμες, παρόλα αυτά, λόγω του ότι οι τιμές τους αναμένονται να μειωθούν τα επόμενα έτη και παρατηρώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας που δείχνουν ότι για μικρές μειώσεις στις τιμές των μπαταριών οι επενδύσεις θα αποβούν κερδοφόρες, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι πολιτικές που βασίζονται στην ιδιοκατανάλωση με αποθήκευση ενέργειας πρόκειται να υιοθετηθούν στο μέλλον καθώς παρέχουν την δυνατότητα για ακόμα περισσότερο αξιοποίηση της ιδιοκατανάλωσης.

Επίσης, οι Diouf & Pode (2015) ανέφεραν ότι δεδομένου ότι αναμένεται ανάπτυξη και διείσδυση των μπαταριών σε διάφορους τομείς και κυρίως στον τομέα της της αυτοκινητοβιομηχανίας, με την ανάπτυξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, τα κόστη των μπαταριών αναμένεται να μειωθούν. Επίσης, ως καταλληλότερη τεχνολογία εμφανίζεται η lithium ion (Li-ion) λόγω του ότι υπερέχει σε κρίσιμα τεχνικά χαρακτηριστικά παρότι το αρχικό κόστος είναι μεγαλύτερο σε σχέση με άλλες τεχνολογίες (π.χ. μόλυβδου-οξέος). Έτσι, η εισαγωγή Li-ion μπαταριών σε συστήματα ανανεώσιμων μορφών ενέργειας θα βελτιώσει την αποδοτικότητά τους, την διάρκεια ζωής τους και την αξιοπιστία τους.

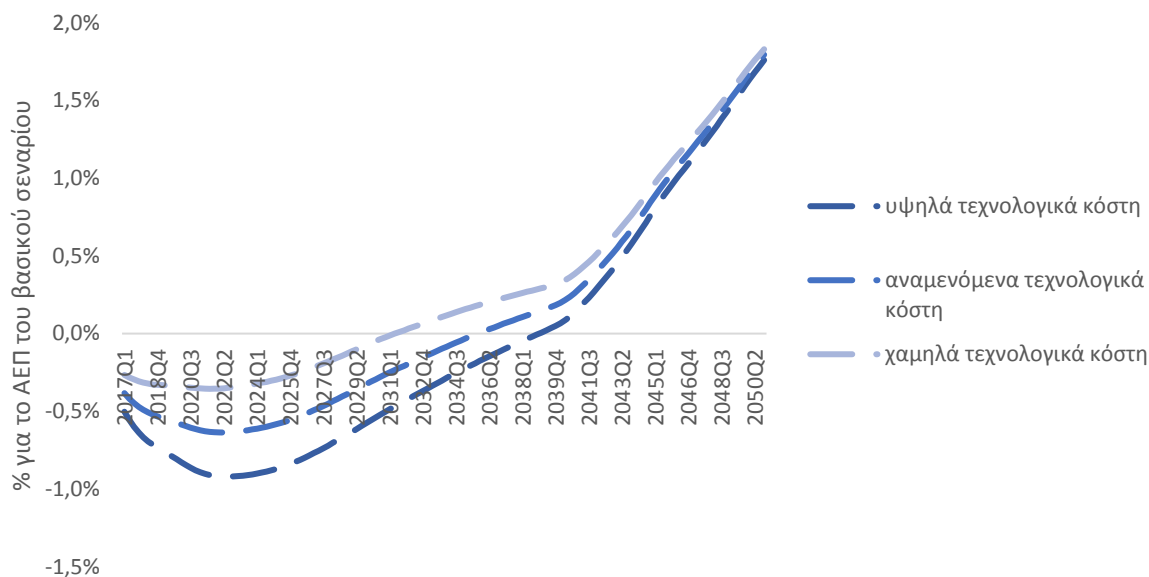
Οπότε, εξαιτίας των υψηλών πυκνοτήτων σε ενέργεια και ισχύ των Li-ion μπαταριών, θεωρούνται κατάλληλες για την εφαρμογή τους στην αποθήκευση ενέργειας στο ενεργειακό

σύστημα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές μικρών δικτύων ή ως υποστήριξη του δικτύου σε ώρες υψηλής κατανάλωσης. Για την τελευταία περίπτωση η χρησιμοποίησή τους εξαρτάται από τους κανονισμούς ως προς την συχνότητα και την ανάγκη για ανταπόκριση στην εξυπηρέτηση του φορτίου σε μικρούς χρόνους, κάτι που θα οδηγήσει σε καλύτερη αξιοπιστία και σταθερότητα του δικτύου όπως επίσης και σε χαμηλότερα κόστη. Γενικά, η χρησιμοποίηση επαναφορτιζόμενων μπαταριών στην αποθήκευση ενέργειας επιτρέπει καλύτερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο και καλύτερη εξυπηρέτηση του μέγιστου φορτίου. Για παράδειγμα, αναφέρεται η περίπτωση ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας των 5MW που εγκαταστάθηκε στο Όρεγκον στις ΗΠΑ, το οποίο βασίζεται σε μπαταρίες Li-ion και επιτρέπει σε ένα μικρό-δίκτυο να διατηρεί την παροχή ενέργειας ακόμα και κατά την διάρκεια μπλακάουτ. Επίσης, με την βοήθεια ενός συστήματος ελέγχου συναλλαγών δίνεται η δυνατότητα στους παραγωγούς και τους καταναλωτές να ανταποκρίνονται σε σήματα που αντιπροσωπεύουν μελλοντικά κόστη. Έτσι, μέσω τέτοιων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας δίνεται η δυνατότητα στην σχεδίαση και εγκατάσταση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Συνεπώς, πρέπει να συνεκτιμάται το γεγονός ότι η ιδιοκατανάλωση θα ισορροπήσει την συχνότητα και το μέγεθος της μέγιστης παραγωγής ενέργειας που καταπονούν το δίκτυο διανομής.

Λόγω των παραπάνω συμπερασμάτων συμπεραίνεται, ότι είναι σημαντικό η διαμόρφωση πολιτικών να στοχεύσει σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ρυθμιστικά πλαίσια τα οποία θα λαμβάνουν υπόψιν κατάλληλες τεχνολογικές επιδοτήσεις και επιπρόσθετα εφόδια στους λειτουργούς, που θα επιτρέπουν δίκαιη κατανομή των ωφελειών μεταξύ όλων των συμμετεχόντων.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που πήραμε από το μοντέλο MEMO, παρατηρήθηκε ότι για όλα τα σενάρια η επιρροή των ανανεώσιμων στην ανάπτυξη της Ελληνικής οικονομίας γίνεται θετική μέχρι το έτος 2040. Το πιο πάνω παρουσιάζεται στην εικόνα 5.3.

Επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ΑΕΠ



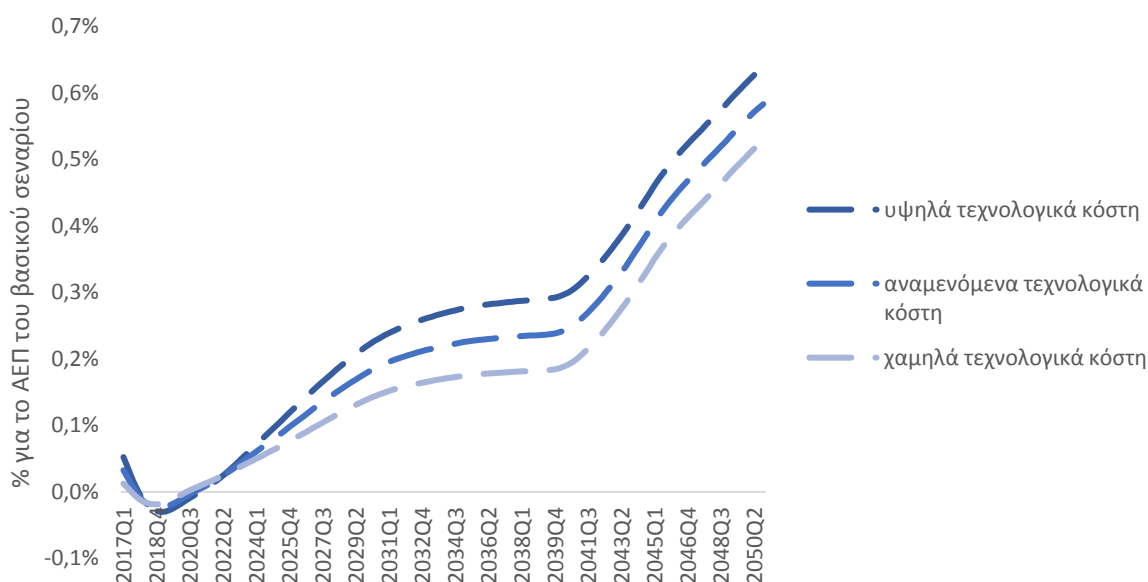
Εικόνα 5.3 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ΑΕΠ.

Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι η χρησιμοποίηση του μοντέλου MEMO έγινε με την βοήθεια της μεθοδολογίας των ΑΓΧ, έτσι ώστε να εκμαιευθεί από τους εμπειρογνώμονες η γνώση σχετικά με την αναγνώριση κρίσιμων ρίσκων, τα οποία εάν είχαν αποκλειστεί και δεν είχαν ληφθεί υπόψη στο μοντέλο MEMO θα προκύπταν διαφορετικά αποτελέσματα, τα οποία δεν θα ανταποκρίνονταν πλήρως στην πραγματικότητα. Η σημασία αυτής της μεθοδολογικής προσέγγισης για την εκτίμηση πολιτικών που αφορούν την κλιματική αλλαγή συναντάται και στην βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, οι Antosiewicz, Nikas, Szpor, Witajewski-Baltvilks, & Doukas (2019) σε μια εργασία που αφορούσε τον ενεργειακό τομέα της Πολωνίας, εκτίμησαν τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες λόγω ενός μονοπατιού μετάβασης που βασίζεται στην εκμετάλλευση του άνθρακα, έχοντας ως αντικειμενικό στόχο την μείωση στα κόστη του ενεργειακού συστήματος κάτω από οικονομικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς, χωρίς ωστόσο να περιορίζεται σχετικά με τις συνολικές εκπομπές CO₂ και ενός μονοπατιού που προσανατολίζεται στην χρησιμοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας, έχοντας τον ίδιο αντικειμενικό στόχο με προηγουμένως και τους ίδιους περιορισμούς συν τον περιορισμό για τις επιτρεπόμενες εκπομπές CO₂. Η μεθοδολογία στην οποία βασίστηκαν έκανε χρήση ενός bottom-up ενεργειακού μοντέλου, έτσι ώστε να αναγνωρισθεί το βέλτιστο ενεργειακό μείγμα για τα δύο μονοπάτια. Εν συνεχεία, μέσω του μοντέλου MEMO εκτιμήθηκαν οι κοινωνικοοικονομικές τους επιπτώσεις. Έχοντας ολοκληρώσει αυτή την ανάλυση, βασίστηκαν

στην μεθοδολογία των ΑΓΧ για να μπορέσουν να συγκεντρώσουν τις απόψεις των εμπειρογνομόνων αναφορικά με τα δύο αυτά μονοπάτια και επίσης, να αναγνωριστούν πιθανά ρίσκα τα οποία δεν είχαν συμπεριληφθεί στην προηγούμενη ανάλυση. Τέλος, βασιζόμενοι στα ευρήματα του ΑΓΧ επαναλήφθηκε η ανάλυση των μοντέλων και εκτιμήθηκαν οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψιν ένα μέρος αυτών των ρίσκων.

Τα αποτελέσματα της αρχικής ανάλυσης έδειξαν ότι η χρησιμοποίηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας θα αυξήσουν τις επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα και θα μειώσουν τις επενδύσεις στους άλλους τομείς της οικονομίας. Ακόμα, θα υπάρξει μια μικρή μείωση στο ΑΕΠ και στην κατανάλωση σε σχέση με το σενάριο που βασίζεται στην χρησιμοποίηση του άνθρακα. Τέλος, ο μικρός ρυθμός ανάπτυξης του ΑΕΠ θα αυξηθεί σε μικρό βαθμό και τα ποσοστά της ανεργίας. Από την άλλη μεριά, τα αποτελέσματα από τον ΑΓΧ έδειξαν ότι υπάρχουν σημαντικές αβεβαιότητες μέσω των οποίων το σενάριο των ανανεώσιμων εμφανίζει να έχει θετικότερες επιδράσεις ως προς την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της χώρας. Όμως, από την στιγμή που τα οικονομικά μοντέλα δεν λαμβάνουν υπόψιν αυτές τις παραμέτρους, τα αποτελέσματά τους μπορεί να εμφανίσουν προκατάληψη και η συμπερίληψή τους μπορεί, τελικώς, να αναστρέψει τα αποτελέσματα ως προς της κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη της χώρας. Τέλος, η επανάληψη της ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψιν κάποιες από τις αναγνωρισμένες αβεβαιότητες έδειξε ότι όντως αυτές επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μοντέλων.

Επίδραση της ανάπτυξης των RES στις επενδύσεις



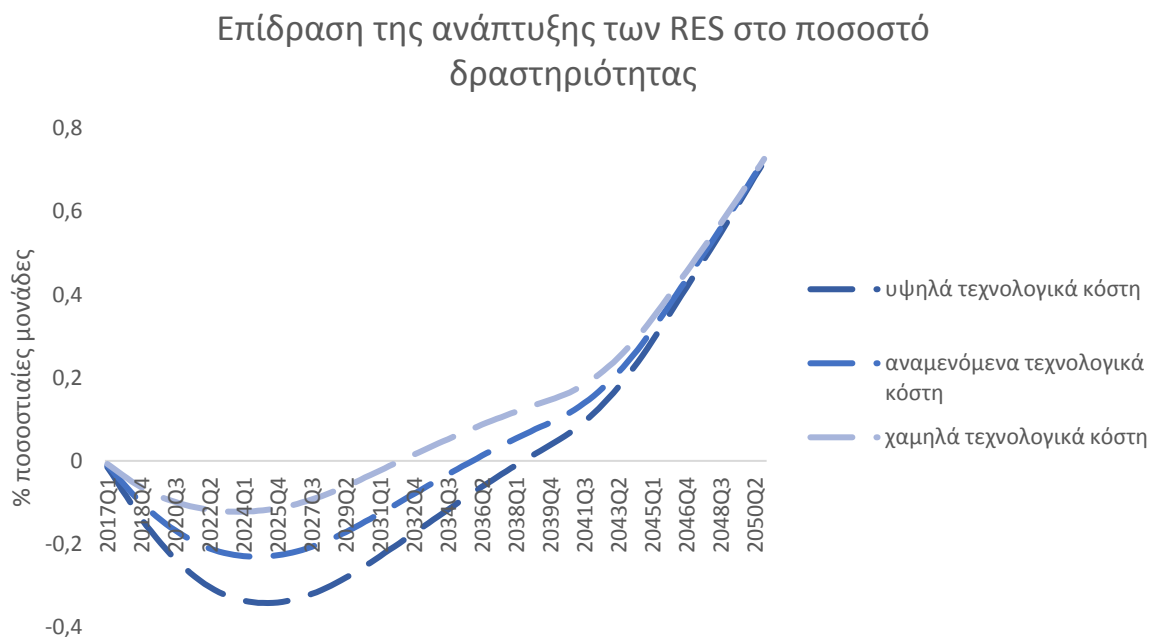
Εικόνα 5.4 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στις επενδύσεις.

Επίσης, από τα αποτελέσματα του MEMO (εικόνα 5.3) παρατηρείται ότι το 2050, η Ελληνική οικονομία, θα είναι 1,8% μεγαλύτερη στο σενάριο των ανανεώσιμων σε σχέση με το βασικό σενάριο. Η περίπτωση της προσομοίωσης στην οποία έχουν ληφθεί υπόψιν τα αναμενόμενα τεχνολογικά κόστη, οι απώλειες στο ΑΕΠ δεν ξεπερνούν το 0,6%, ενώ στην χειρότερη περίπτωση που θεωρούνται υψηλά τεχνολογικά κόστη φτάνει το 1%. Σε όλες τις περιπτώσεις, όμως, τα συνολικά αποτελέσματα από την εφαρμογή των ανανεώσιμων είναι θετικά. Αυτό είναι ένα κρίσιμο συμπέρασμα αφού δείχνει ότι μια ενεργειακή μετάβαση στο Ελληνικό σύστημα βασισμένη στην ηλιακή ενέργεια μπορεί να βοηθήσει στην επιτάχυνση της οικονομικής ανάκαμψης της χώρας.

Τέλος, αναφορικά με τις επενδύσεις τα αποτελέσματα του μοντέλου MEMO (εικόνα 5.4) δείχνουν ότι αναπτύσσονται βοηθούμενες από την εργασία και το κεφάλαιο. Επιπροσθέτως, το εργατικό δυναμικό και άλλοι παράγοντες που αποδεσμεύονται από τον ορυκτό τομέα επαναχρησιμοποιούνται σε άλλους τομείς της οικονομίας. Αυτές οι επιδράσεις έχουν θετική συμβολή στην ανάκαμψη της Ελληνικής οικονομίας.

5.2 Κοινωνικά ρίσκα

Όσον αφορά τις κοινωνικές επιπτώσεις, τα αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO υποδεικνύουν ότι υψηλότερα επίπεδα μισθών και μεγαλύτερες πιθανότητες εύρεσης εργασίας ενθαρρύνουν αυτούς που δεν ψάχνουν ενεργά για δουλειά, έτσι ώστε να αρχίσουν να ψάχνουν και τελικά να μπουν και αυτοί στην αγορά εργασίας. Επομένως, ο βαθμός δραστηριότητας, δηλαδή το κομμάτι του πληθυσμού που συμμετέχει στην αγορά εργασίας με το να έχει δουλειά ή να ψάχνει ενεργά να βρει, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 5.5, αυξάνεται.

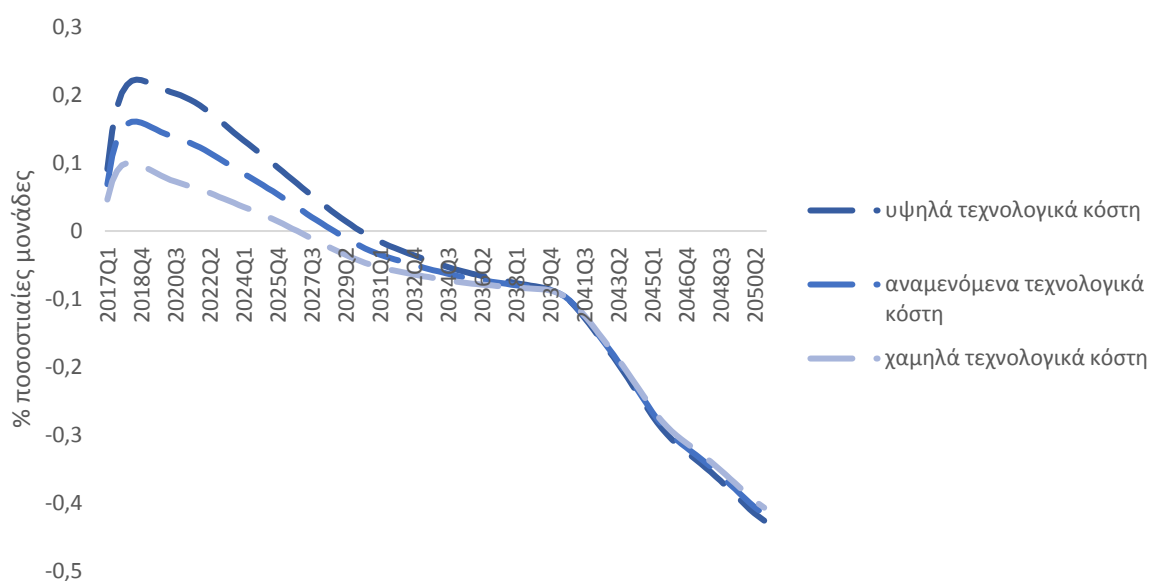


Εικόνα 5.5 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ποσοστό δραστηριότητας.

Αυτή η αυξημένη διαθεσιμότητα εργατικού δυναμικού θα λειτουργήσει ως επιπρόσθετη βοήθεια για την ανάπτυξη της οικονομίας.

Ακόμα, η αύξηση στην ζήτηση των αγαθών σημαίνει αύξηση των πραγματικών εσόδων των επιχειρήσεων, αύξηση των πραγματικών μισθών, αύξηση στον αριθμό των κενών θέσεων εργασίας και μεγαλύτερες ευκαιρίες στην εύρεση εργασίας από τους ανέργους, μειώνοντας έτσι το ποσοστό ανεργίας όπως βλέπουμε στο παρακάτω διάγραμμα.

Επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ποσοστό ανεργίας



Εικόνα 5.6 Αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO σχετικά με την επίδραση της ανάπτυξης των RES στο ποσοστό ανεργίας.

Τα αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO, αναφορικά με τα οφέλη στην εργασία λόγω της εισαγωγής των ΑΠΕ, επαληθεύονται και από την βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, οι Tourkolias & Mirasgedis (2011) εκτίμησαν τα οφέλη στην εργασία, που σχετίζονται με την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον Ελληνικό ενεργειακό τομέα. Η μεθοδολογία τους βασίστηκε σε γνωστές τεχνικές, κάνοντας, ωστόσο, τις απαραίτητες τροποποιήσεις έτσι ώστε να ληφθούν υπόψιν οι συγκεκριμένες συνθήκες που αφορούν την αγορά των ΑΠΕ. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιήθηκαν πίνακες εισόδου-εξόδου έτσι ώστε να υπολογιστούν οι άμεσες, έμμεσες και επαγόμενες επιδράσεις στην εργασία, οι οποίες σχετίζονται με τις υπό εξέταση τεχνολογίες. Στην συνέχεια, μέσω μιας προσέγγισης που βασίζεται στο «κόστος ευκαιρίας της εργασίας» εκφράστηκαν αυτές οι επιδράσεις σε χρηματικούς όρους, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση σε μια κοινή βάση. Σημειώνεται ότι στην παραπάνω διαδικασία λήφθηκαν υπόψιν τόσο οι περίοδοι κατασκευής όσο και οι περίοδοι λειτουργίας των αντίστοιχων έργων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων (αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, νερό, γεωθερμική ενέργεια και βιομάζα) έχει ουσιαστικά οφέλη στην εργασία, τα οποία έχουν το ίδιο μέγεθος ή και σε αρκετές περιπτώσεις ακόμα μεγαλύτερο σε σχέση με τα αντίστοιχα που προέρχονται από την λειτουργία των συμβατικών μονάδων (λιγνίτης, φυσικό αέριο). Επίσης, σύμφωνα με το βασικό σενάριο τα πιο σημαντικά οφέλη προέρχονται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες και τις μονάδες που χρησιμοποιούν βιομάζα. Ωστόσο, για να εξεταστεί

η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκαν αρκετές αναλύσεις ευαισθησίας, οι οποίες έδειξαν ότι για να μεγιστοποιηθούν οι θετικές κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις πρέπει το μεγαλύτερο μέρος των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων να γίνετε εγχώρια. Επίσης, τα οφέλη επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την οικονομική κατάσταση της χώρας (π.χ. τα ποσοστά ανεργίας κτλ.).

Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι η ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας και της ιδιοκατανάλωσης θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της κατανάλωσης στο κάρβουνο και αύξηση της ζήτησης των επενδυτικών αγαθών. Ακόμα, επειδή δεν γίνεται όλος ο αριθμός των ανέργων που δημιουργούνται στον ορυκτό τομέα να μπορέσουν να βρουν εργασία απευθείας και επειδή η καμπύλη προσφοράς αγαθών που απαιτείται για τις επενδύσεις είναι σχετικά ανελαστική βραχυπρόθεσμα, οι επενδύσεις στις ανανεώσιμες θα οδηγήσουν στην αύξηση των επενδυτικών αγαθών και συνεπώς θα μειώσουν την συσσώρευση κεφαλαίων στους άλλους οικονομικούς τομείς. Κάτι τέτοιο θα έχει ως συνέπεια την πρόσκαιρη μείωση στην παραγωγικότητα της εργασίας και του ΑΕΠ. Το μέγεθος και η διάρκεια της μείωσης της εργασίας και του ΑΕΠ εξαρτάται από το μέγεθος των επενδύσεων που απαιτούνται για τις εγκαταστάσεις των ανανεώσιμων, οι οποίες προσδιορίζονται από τα σχετικά τεχνολογικά κόστη.

6 *Συμπεράσματα & Προοπτικές*

6.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση των κινδύνων που παρουσιάζονται κατά την υλοποίηση πολιτικών μετάβασης αλλά και των αρνητικών συνεπειών που παρουσιάζονται εξαιτίας αυτών, η οποία θα βασίζεται στην ευρεία ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών μαζί με την ανάπτυξη της ιδιοκατανάλωσης υποστηριζόμενη από την μικρής κλίμακας αποθήκευση ενέργειας και την ευελιξία της ζήτησης. Μια τέτοια έρευνα έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς ρίχνει φως στα εμπόδια που θέτουν σε κίνδυνο την επιτυχή μετάβαση του Ελληνικού συστήματος σε μια νέα κατάσταση με χαμηλότερους ρύπους άνθρακα βασισμένη στην ηλιακή ενέργεια.

Για να μπορέσει να δοθεί μια πιο πλήρη και ολοκληρωμένη εικόνα των ρίσκων αυτών η έρευνά ακολούθησε μια διεπιστημονική προσέγγιση. Έτσι αρχικά, για να βρεθούν και να αναγνωριστούν τα κυριότερα ρίσκα συνεργάστηκαν δεκατέσσερις εμπειρογνώμονες από διαφορετικές ομάδες και ινστιτούτα. Το μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε για να εκμαιευτεί η γνώση των ειδικών βασίστηκε στην χρήση των ασαφών γνωστικών χαρτών (ΑΓΧ). Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας έδειξαν ότι τα κυριότερα εμπόδια για μια τέτοια μετάβαση έχουν να κάνουν με τις επιπτώσεις μιας συνεχιζόμενης οικονομικής κρίσης, την μικρή κοινωνική αποδοχή σε πρωτοβουλίες που αφορούν τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, το ασαφές ρυθμιστικό πλαίσιο, τα υψηλά τεχνολογικά κόστη και την μη ύπαρξη πολιτικής διάθεσης προς μια τέτοια κατεύθυνση το οποίο θα αυξήσει τις τεχνολογικές αγκιστρώσεις. Ακόμα, οι αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν βάσει των ειδικών έχουν να κάνουν με τις υψηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για τους τελικούς χρήστες, τον αργό ρυθμό της οικονομικής ανάπτυξης, τις μειώσεις στις επενδύσεις, την ανεργία και τα πιθανά δημοσιονομικά προβλήματα. Στην συνέχεια της έρευνάς, μεταφράστηκαν τα εμπόδια σε υποθέσεις σεναρίων και σε παραμέτρους, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι από ένα μοντέλο εκτίμησης

επιχειρηματικής στρατηγικής (BSAM) και ένα δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας (DSGE) και συγκεκριμένα το μοντέλο MEMO, μέσω των οποίων εκτιμήθηκαν οι κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις της υπό μελέτης μετάβασης.

Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα από το μοντέλο BSAM έδειξαν ότι η εστίαση μόνο στην βελτιστοποίηση της ιδιοκατανάλωσης δεν είναι πάντα προς όφελος του τελικού καταναλωτή. Αυτό συμβαίνει λόγω της περιορισμένης ευελιξίας του ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας, το οποίο δίνει την δυνατότητα στους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας να καταθέσουν υψηλότερες τιμές έτσι ώστε να αντισταθμίσουν τα έσοδα τα οποία χάνουν λόγω της ιδιοκατανάλωσης. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει ένα επακόλουθο ρίσκο το οποίο επηρεάζει τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας που πληρώνουν όλοι οι καταναλωτές και πρέπει να ενσωματώνεται σε κάθε πολιτική που στοχεύει στην υποστήριξη της ιδιοκατανάλωσης. Από την άλλη μεριά, η ιδιοκατανάλωση σε συνδυασμό με την αποθήκευση ενέργειας στην Ελλάδα πρέπει να εξετάζεται παράλληλα με την αναμενόμενη μείωση στα τεχνολογικά κόστη για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της τεχνολογικής προόδου. Συνεπώς, η επιτυχής διαμόρφωση πολιτικής πρέπει να επικεντρωθεί σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα τα οποία θα μπορούν να μετατρέπουν σε χρήμα την ιδιοκατανάλωση λόγω των φωτοβολταϊκών μαζί με την αποθήκευση και ρυθμιστικά πλαίσια τα οποία θα διασφαλίζουν δίκαιες συνθήκες τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παραγωγούς.

Όσον αφορά το μοντέλο MEMO, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ευρεία εφαρμογή και ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών θα έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη της Ελληνικής οικονομίας, στις επενδύσεις και στην εργασία, ανεξαρτήτως του σεναρίου που υποθέτουμε αναφορικά με το ύψος που θα έχουν τα τεχνολογικά κόστη. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι το μοντέλο υποδεικνύει μια αρχική μείωση στο ΑΕΠ και στην παραγωγικότητα της εργασίας, το μέγεθος και η διάρκεια της οποίας εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος των επενδύσεων που απαιτούνται για την εγκατάσταση των ΑΠΕ, κάτι το οποίο σημειώνεται και από τους ειδικούς. Τέλος, και τα δύο μοντέλα υποδεικνύουν ότι αυτή η ενεργειακή μετάβαση πρέπει να προχωρήσει σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως είναι η ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων και στην αύξηση της κερδοφορίας των καταναλωτών, παρουσιάζοντάς τους ένα ελκυστικό οικονομικό περιβάλλον.

6.2 Προοπτικές

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προσπάθεια ως προς την αναγνώριση των σημαντικότερων ρίσκων που εμφανίζονται κατά αλλά και ως αποτέλεσμα μιας ενεργειακής μετάβασης σε μια κατάσταση με λιγότερες εκπομπές άνθρακα για την περίπτωση της Ελλάδας, ακολουθώντας μια διεπιστημονική προσέγγιση τόσο ως προς τους εμπλεκόμενους φορείς όσο και στην ποικιλία των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν (ΑΓΧ, BSAM, MEMO). Ωστόσο, λόγω του ότι τα αποτελέσματά βασίζονται σε συγκεκριμένες υποθέσεις αλλά και κάποιους περιορισμούς δημιουργείται το περιθώριο και οι προοπτικές για την περαιτέρω διερεύνηση του εν λόγω θέματος.

Συγκεκριμένα, η λύση του προβλήματος της δέσμευσης μονάδων παραγωγής αποτελεί περιορισμό για τα μοντέλα που προσομοιώνουν την χονδρική αγορά ηλεκτρισμού. Το μοντέλο BSAM χρησιμοποιεί έναν ευρετικό αλγόριθμο βασισμένο σε μια ενισχυμένη λίστα προτεραιότητας των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εναλλακτικές προσεγγίσεις, όπως υβριδικό ολοκληρωμένοι αλγόριθμοι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν ορισμένες αβεβαιότητες του BSAM κάνοντας το πιο εύρωστο όσον αφορά στην ικανότητά του να συλλάβει καλύτερα το τεχνικό κομμάτι του ενεργειακού συστήματος.

Αναφορικά με το μοντέλο MEMO, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν λαμβάνει υπόψιν την ακαμψία που παρουσιάζουν τα επίπεδα μισθών σε τομεακό επίπεδο, αφού στο μοντέλο οι μισθοί μπορούν να προσαρμόζονται ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Έτσι, μια μείωση στην ζήτηση για εργατικό δυναμικό στον λιγνιτικό τομέα, λόγω της εισαγωγής των ανανεώσιμων, θα έχει μεγάλη μείωση στους μισθούς επηρεάζοντας σημαντικά τις δυναμικές στην ανεργία. Επίσης, δεν λαμβάνει υπόψιν πιθανά εμπόδια στην εισαγωγή στην αγορά των ΑΠΕ, από τις εγχώριες εταιρίες ή την επίδραση των δομικών αλλαγών προς την κατεύθυνση των προσπαθειών για έρευνα και ανάπτυξη και την επιρροή τους στην ανάπτυξη της οικονομίας. Τέλος, αντίθετα με το μοντέλο BSAM, το MEMO δεν λαμβάνει υπόψιν τους περιορισμούς του δικτύου που σχετίζονται με το εθνικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται. Όμως, είναι σημαντικό για κάθε σχέδιο μετάβασης του Ελληνικού δικτύου να συνεκτιμάται μαζί με την ικανότητα της τρέχουσας δομής να υποστηρίξει τα επίπεδα εισαγωγής φωτοβολταϊκών που θεωρούνται από τα μοντέλα, όπως επίσης και με την ικανότητα να επιτευχθούν τα θεωρούμενα μερίδια των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα, χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο σύστημα τα νησιά του Αιγαίου και μαζί με τις εξαγωγές του ηπειρωτικού διασυνδεδεμένου δικτύου, τα οποία αποτελούν επιπρόσθετα εμπόδια και κόστη.

Περιορισμοί και προοπτικές για περαιτέρω έρευνα εμφανίζονται και στην περίπτωση των ασαφών γνωστικών χαρτών, αφού παρόλο που προσφέρουν σημαντική βοήθεια στην

αναγνώριση των ρίσκων που εμφανίζονται, η ποιοτική ή ήμι-ποσοτική φύση τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά την εκτίμηση των αποτελεσμάτων. Επίσης, στην παρούσα έρευνα δεν λάβαμε υπόψιν την έννοια του χρόνου, κάτι το οποίο μπορεί να συμπεριληφθεί σε μελλοντικές εργασίες. Τρόποι για να συμπεριληφθεί ο χρόνος αναφέρονται στην βιβλιογραφία (Nikas et al., 2018; Nikas, Ntanos, et al., 2019).

Τέλος, όπως η βιβλιογραφία υποστηρίζει τα χαρακτηριστικά της χονδρικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζουν την αξία των PV συστημάτων και ως συνέπεια τις λιανικές τιμές στην προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας και ως εκ τούτου στην αξία των συστημάτων υποστήριξης (Nikolaidis et al., 2015). Έχοντας αυτό ως δεδομένο μπορούν μελλοντικές έρευνες να συνδέσουν το BSAM με άλλα μοντέλα που προσομοιώνουν τις δυναμικές από την εισαγωγή μικρής κλίμακας PV από τους καταναλωτές και ερευνούν πως το μείγμα ορυκτών καυσίμων και οι στρατηγικές τιμολόγησης των λογαριασμών κοινής ωφέλειας επηρεάζουν τις χρεώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας και την εξοικονόμηση των λογαριασμών των μικρής κλίμακας επενδύσεων στα φωτοβολταϊκά. Ακόμα, μπορεί να συνδεθεί και με μοντέλα που εκτιμούν τις ικανότητες και τους περιορισμούς στην ευελιξία της ζήτησης, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η αναμενόμενη επιρροή της στην Ελληνική αγορά ενέργειας. Αυτό θα βοηθήσει έτσι ώστε να διακριθούν οι ισορροπίες μεταξύ μιας μετάβασης που βασίζεται σε μεγάλης κλίμακας ΑΠΕ και σε μια μικρής κλίμακας αποκεντροποιημένη παραγωγή μέσω της συμμετοχής καταναλωτών οι οποίοι παράγουν και αποθηκεύουν ενέργεια τοπικά.

7 Βιβλιογραφία

- Adelman, I., & Robinson, S. (1978). *Income Distribution in Developing Countries: A Case Study of Korea*. London, UK: Oxford University Press.
- Amorim, F., Pina, A., Gerbelová, H., Pereira da Silva, P., Vasconcelos, J., & Martins, V. (2014). Electricity decarbonisation pathways for 2050 in Portugal: A TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) based approach in closed versus open systems modelling. *Energy*, *69*, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.052>
- Antosiewicz, M. (2018). *TRANSrisk mitigation toolbox instruction manual*. Warsaw, Poland.
- Antosiewicz, M., & Kowal, P. (2016). *Memo III—a large scale multi-sector DSGE model*. Warsaw, Poland.
- Antosiewicz, M., Nikas, A., Szpor, A., Witajewski-Baltvilks, J., & Doukas, H. (2019). Pathways for the transition of the Polish power sector and associated risks. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (September 2018), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.008>
- Arrow, K. J., & Debreu, G. (1954). Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, *22*(3), 265–290.
- Axelrod, R. (1976). *Structure of Decision: the Cognitive Maps of Political Elites*. (R. Axelrod, Ed.). Princeton University Press.
- Azarova, V., Engel, D., Ferner, C., Kollmann, A., & Reichl, J. (2018). Exploring the impact of network tariffs on household electricity expenditures using load profiles and socio-economic characteristics. *Nature Energy*, *3*(4), 317–325. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0105-4>
- Bergman, L. (1985). Extensions and Applications of the MSG-Model: A Brief Survey. In F. R. FØRSUND, M. HOEL, & S. LONGVA (Eds.), *Production, Multi-Sectoral Growth and Planning* (pp. 127–161). Amsterdam: North-Holland Publishing Co.
- Bergman, L. (1990). The development of computable general equilibrium modeling. In L. Bergman, D. W. Jorgeson, & E. Zalai (Eds.), *General Equilibrium Modeling and Economic Policy Analysis* (pp. 3–30). Oxford: Basil Blackwell.
- Biloslavo, R., & Dolinšek, S. (2010). Scenario Planning for Climate Strategies Development by Integrating Group Delphi, AHP and Dynamic Fuzzy Cognitive Maps. *Foresight*, *12*(2), 38–48.
- Bistline, J. E., Hodson, E., Rossmann, C. G., Creason, J., Murray, B., & Barron, A. R. (2018). Electric sector policy, technological change, and U.S. emissions reductions goals: Results from the EMF 32 model intercomparison project. *Energy Economics*, *73*, 307–325.

<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.04.012>

- Boute, A. (2012). The quest for regulatory stability in the eu energy market: An analysis through the prism of legal certainty. *European Law Review*, 37(6), 675–692.
- Brooke, A., Kendrick, D., Meeraus, A., & Raman, R. (1988). *GAMS. A User's Guide*. Redwood City, CA: Scientific Press.
- Brown, M. A., & Li, Y. (2019). Carbon pricing and energy efficiency: pathways to deep decarbonization of the US electric sector. *Energy Efficiency*, 12(2), 463–481. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9686-9>
- Brown, S. R. (1980). *Political Subjectivity: Applications of Q Methodology in Political Science*. New Haven, Connecticut: Yale University Press.
- Brugger, H. I., & Henry, A. D. (2019). Equity of Incentives: Agent-Based Explorations of How Social Networks Influence the Efficacy of Programs to Promote Solar Adoption. *Complexity*, 2019, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2019/4349823>
- Burniaux, J.-M., Nicoletti, G., & Oliveira-Martins. (1992). GREEN: A global model for quantifying the cost of policies to curb CO2 emissions. *OECD Economic Studies*, 19, 49–92.
- Camilo, F. M., Castro, R., Almeida, M. E., & Pires, V. F. (2017). Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal. *Solar Energy*, 150, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.062>
- Campiglio, E., Godin, A., Kemp-Benedict, E., & Matikainen, S. (2017). The Tightening Links Between Financial Systems and the Low-Carbon Transition. In *Economic Policies since the Global Financial Crisis* (pp. 313–356). Cham: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60459-6>
- Chappin, E. J. L., & Afman, M. R. (2013). An agent-based model of transitions in consumer lighting: Policy impacts from the E.U. phase-out of incandescents. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 7, 16–36. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2012.11.005>
- Chatzisideris, M. D., Laurent, A., Christoforidis, G. C., & Krebs, F. C. (2017a). Cost-competitiveness of organic photovoltaics for electricity self-consumption at residential buildings: A comparative study of Denmark and Greece under real market conditions. *Applied Energy*, 208(September), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.003>
- Chatzisideris, M. D., Laurent, A., Christoforidis, G. C., & Krebs, F. C. (2017b). Cost-competitiveness of organic photovoltaics for electricity self-consumption at residential buildings: A comparative study of Denmark and Greece under real market conditions. *Applied Energy*, 208(October), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.003>
- Choi, S. J., Choi, D. G., Friley, P., Kim, H., & Park, S. Y. (2017). Quantitative analysis on the energy and environmental impact of the Korean national energy r & d roadmap a using bottom-up energy system model. *Sustainability*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040538>
- Daim, T. U., Li, X., Kim, J., & Simms, S. (2012). Evaluation of energy storage technologies for integration with renewable electricity: Quantifying expert opinions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 3, 29–49. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2012.04.003>
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, 9(3), 458–467.
- De Franciscis, D. (2014). JFCM: A Java library for fuzzy cognitive maps. In E I Papageorgiou (Ed.), *Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering* (54th ed., pp. 199–220). Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39739-4>
- Dervis, K., Melo, J., & Robinson, S. (1982). *General Equilibrium Models for Development Policy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Diouf, B., & Pode, R. (2015). Potential of lithium-ion batteries in renewable energy. *Renewable Energy*, 76, 375–380. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.058>

- Dixon, P. B., & Butlin, M. W. (1977). Notes on the Evans Model of Protection". *The Economic Record*, 53(3), 337–349.
- Dixon, P. B., Parmenter, B. R., Powell, A. A., & Wilcoxon, P. J. (1992). *Notes and Problems in Applied General Equilibrium Economics*. (C. J. Bliss & M. D. Intriligator, Eds.) (1st ed.). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From integrated to integrative: Delivering on the paris agreement. *Sustainability*, 10(7), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su10072299>
- Eden, C., & Ackermann, F. (1998). *Strategy Making: The Journey of Strategic Management*. London, UK: Sage.
- Eden, C., Ackermann, F., & Cropper, S. (1992). The analysis of cause maps. *Journal of Management Studies*, 29(3), 309–324.
- Eid, C., Reneses Guillén, J., Frías Marín, P., & Hakvoort, R. (2014). The economic effect of electricity net-metering with solar PV: Consequences for network cost recovery, cross subsidies and policy objectives. *Energy Policy*, 75, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.011>
- European Photovoltaic Industry Association, . (2012). *Connecting the Sun: Solar photovoltaics on the road to large-scale grid integration*.
- European Photovoltaic Industry Association, . (2013). Self Consumption of PV Electricity. *Renewable Energy House*, 17.
- Evans, D. H. (1972). *A General Equilibrium Analysis of Protection: The Effects of Protection in Australia*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Fernandes, B. S. (2019). *What are the main barriers that are preventing Ireland from achieving the EU Renewable Energy Directive targets , considering its renewable resources ?* Dublin Business School.
- Ferris, M. C., & Munson, T. S. (2000). *GAMS/PATH User Guide Version 4.3*. Washington, DC: GAMS Development Corporation.
- Frantzeskaki, N., & Rok, A. (2018). Co-producing urban sustainability transitions knowledge with community, policy and science. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 29(August), 47–51. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.08.001>
- Garcia, E., & Martinez-iglesias, M. (2017). Towards the Post-Carbon Society: Searching for Signs of the Transition and Identifying Obstacles. In *Transitioning to a Post-Carbon Society* (pp. 57–86). London, UK: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/978-1-349-94889-5>
- Geels, F. W., Berkhout, F., & Van Vuuren, D. P. (2016). Bridging analytical approaches for low-carbon transitions. *Nature Climate Change*, 6(6), 576–583. <https://doi.org/10.1038/nclimate2980>
- Geisendorf, S., & Klippert, C. (2017). The Effect of Green Investments in an Agent-Based Climate-Economic Model. *Environmental Modeling and Assessment*, 22(4), 323–343. <https://doi.org/10.1007/s10666-017-9549-3>
- Goreux, L. M. (1977). *Interdependence in Planning: Multilevel Programming Studies of the Ivory Cost*. Baltimore, London: The Johns Hopkins University Press.
- Gray, S. A., Gray, S., Cox, L. J., & Henly-shepard, S. (2013). Mental Modeler : A Fuzzy-Logic Cognitive Mapping Modeling Tool for Adaptive Environmental Management. In *Proceedings of the 46th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (pp. 965–973). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2013.399>
- Groumpos, P. P. (2010). Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and Their Application to Complex Systems. In M. Glykas (Ed.), *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 1–22). Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03220-2>
- Hanary, F., Norman, R., & Cartwright, D. (1965). *Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*. New York: Wiley.

- Handayani, K., Krozer, Y., & Filatova, T. (2019). From fossil fuels to renewables: An analysis of long-term scenarios considering technological learning. *Energy Policy*, 127(January 2018), 134–146. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.045>
- Hazilla, M., & Kopp, R. J. (1990). Social cost of environmental quality regulations: A general equilibrium analysis. *Journal of Political Economy*, 98(4), 853–873.
- HELAPCO. (2018). *Statistics for the Photovoltaics Market for 2017. Hellenic Association of Photovoltaic Companies (in Greek)*. Retrieved from http://helapco.gr/wpcontent/uploads/pv-stats_greece_2017_11July2018.pdf.
- Hirschl, B. (2018). The Urban Energy Transition: Pathways to Climate Neutrality in Our Cities. *Urban Energy Transition*, 245–254. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102074-6.00027-9>
- Holmes, I., & Mohanty, R. (2012). Macroeconomic Benefits of Energy Efficiency: The case for public action (p. 36). London, UK: Third Generation Environmentalism Ltd (E3G). Retrieved from www.e3g.org
- HTSO. (2018). System Load (SCADA). Hellenic Transmission System Operator. Retrieved from <http://www.desmie.gr/en/operations-data/system-operation/real-time-data/reports/system-load-scada/>
- Huang, W., Chen, W., & Anandarajah, G. (2017). The role of technology diffusion in a decarbonizing world to limit global warming to well below 2 °C: An assessment with application of Global TIMES model. *Applied Energy*, 208(March), 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.040>
- Hudson, E. A., & Jorgeson, D. W. (1975). U . S . energy policy and economic growth. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 5(2), 461–514.
- Johansen, L. (1960). *A multi-sectoral study of economic growth*. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.
- Johnson, N., Krey, V., Mccollum, D. L., Rao, S., Riahi, K., & Rogelj, J. (2015). Technological Forecasting & Social Change Stranded on a low-carbon planet : Implications of climate policy for the phase-out of coal-based power plants. *Technological Forecasting & Social Change*, 90, 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.02.028>
- Jorgenson, D. W. (1998). *Growth: Econometric General Equilibrium Modeling* (1st ed.). Cambridge: MIT Press.
- Jose, A., & Contreras, J. (2010). The FCM Designer Tool. In M. Glykas (Ed.), *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 71–87). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Karneyeva, Y., & Wüstenhagen, R. (2017). Solar feed-in tariffs in a post-grid parity world: The role of risk, investor diversity and business models. *Energy Policy*, 106(September 2016), 445–456. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.005>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps, 24(1), 65–75.
- Kraan, O., Kramer, G. J., & Nikolic, I. (2018). Investment in the future electricity system - An agent-based modelling approach. *Energy*, 151, 569–580. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.092>
- Kydland, F. E., & Prescott, E. C. (1982). Time to Build and Aggregate Fluctuations. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 50(6), 1345–1370.
- Lawrenz, L., Xiong, B., Lorenz, L., Krumm, A., Hosenfeld, H., Burandt, T., ... von Hirschhausen, C. (2018). Exploring Energy Pathways for the Low-Carbon Transformation in India—A Model-Based Analysis. *Energies*, 11(11), 3001. <https://doi.org/10.3390/en11113001>
- León, M., Nápoles, G., Rodríguez, C., García, M. M., Bello, R., & Vanhoof, K. (2011). A Fuzzy Cognitive Maps Modeling , Learning and Simulation Framework for Studying Complex System. In F. J. (Eds. . Ferrández, J.M., Álvarez, J.R., de la Paz, F., Toledo (Ed.), *New Challenges on Bioinspired Applications* (pp. 243–256). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Leontief, W. W. (1936). Quantitative input and output relations in the economic system of the United

- States. *The Review of Economic Statistics*, 18(3), 105–125.
- Li, F. G. N., & Strachan, N. (2017). Modelling energy transitions for climate targets under landscape and actor inertia. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 24, 106–129. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2016.08.002>
- Löffler, K., Hainsch, K., Burandt, T., Oei, P. Y., Kemfert, C., & Von Hirschhausen, C. (2017). Designing a model for the global energy system-GENeSYS-MOD: An application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS). *Energies*, 10(10), 1468. <https://doi.org/10.3390/en10101468>
- Lopolito, A., Nardone, G., Prospero, M., Sisto, R., & Stasi, A. (2011). Modeling the bio-refinery industry in rural areas : A participatory approach for policy options comparison. *Ecological Economics*, 72, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.09.010>
- Lucas, R. (1976). Econometric policy evaluation: a critique. In *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* (Vol. 1, pp. 19–46). New York: North-Holland Publishing Co.
- Malandrino, O., Sica, D., Testa, M., & Supino, S. (2017). Policies and measures for sustainable management of solar panel end-of-life in Italy. *Sustainability*, 9(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su9040481>
- Metz, D., & Saraiva, J. T. (2015). Evaluation of the impact of storage systems on grid electricity demand in the German context. In *International Conference on the European Energy Market, EEM* (Vol. 2015-Augus, pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EEM.2015.7216604>
- Mohr, S. T. (1997). Software design for a fuzzy cognitive map modeling tool. *Tensselaer Polytechnic Institute*.
- Nápoles, G., Bello, R., & Vanhoof, K. (2014). How to improve the convergence on sigmoid Fuzzy Cognitive Maps? *Intelligent Data Analysis*, 18(6s), S77–S88. <https://doi.org/10.3233/IDA-140710>
- Nápoles, G., Grau, I., Bello, R., & Grau, R. (2014). Two-steps learning of Fuzzy Cognitive Maps for prediction and knowledge discovering on the HIV-1 drug resistance. *Expert Systems with Applications*, 41(3), 821–830.
- Nápoles, G., Grau, I., Espinosa, M. L., & Vanhoof, K. (2017). Fuzzy Cognitive Maps Tool for Scenario Analysis and Pattern Classification. In IEEE (Ed.), *Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence* (pp. 644–651). <https://doi.org/10.1109/ICTAI.2017.00103>
- Nápoles, G., Papageorgiou, E., Bello, R., & Vanhoof, K. (2016). On the convergence of sigmoid Fuzzy Cognitive Maps. *Information Sciences*, 349, 154–171. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.02.040>
- Nikas, A., & Doukas, H. (2016). Developing Robust Climate Policies : A Fuzzy Cognitive Map Approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics* (241st ed., pp. 239–263). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33121-8>
- Nikas, A., Doukas, H., van der Gaast, W., & Szendrei, K. (2018). Expert views on low-carbon transition strategies for the Dutch solar sector: A delay-based fuzzy cognitive mapping approach. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 715–720. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.208>
- Nikas, A., Gkonis, N., Forouli, A., Siskos, E., Arsenopoulos, A., Papapostolou, A., ... Doukas, H. (2019). From near-term actions to long-term pathways–risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework. In *Narratives of Low-Carbon Transitions: Understanding Risks and Uncertainties* (pp. 180–197). Routledge Abingdon. <https://doi.org/10.4324/9780429458781>
- Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. *Applied Soft Computing Journal*, 76(2019), 140–155. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.12.015>
- Nikolaïdis, A. I., Milidonis, A., & Charalambous, C. A. (2015). Impact of fuel-dependent electricity retail charges on the value of net-metered PV applications in vertically integrated systems. *Energy Policy*, 79, 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.01.010>
- Norwood, Z., Goop, J., & Odenberger, M. (2017). The future of the European electricity grid is bright:

- Cost minimizing optimization shows solar with storage as dominant technologies to meet European emissions targets to 2050. *Energies*, 10(12), 2080. <https://doi.org/10.3390/en10122080>
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., ... Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- Olazabal, M. (2015). *Sustainable urban development under climate change and resource scarcity*. University of Cambridge.
- Ozesmi, U. (1999). *Ecosystems in the mind: Fuzzy cognitive maps of the Kizilirmak Delta Wetlands in Turkey*. University of Minnesota.
- Özesmi, U., & Özesmi, S. L. (2004). Ecological models based on people's knowledge : a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling*, 176(1–2), 43–64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.10.027>
- Papadelis, S., Flamos, A., & Androulaki, S. (2012). Setting the framework for a Business Strategy Assessment Model. *International Journal of Energy Sector Management*, 6(4), 488–517. <https://doi.org/10.1108/17506221211281993>
- Papageorgiou, Elpiniki I, & Kontogianni, A. (2012). Using Fuzzy Cognitive Mapping in Environmental Decision Making and Management: A Methodological Primer and an Application. In *International Perspectives on Global Environmental Change* (pp. 427–450). Rijeka: INTECH.
- Papageorgiou, Elpiniki I, Markinos, A. T., & Gemtos, T. A. (2010). Soft Computing Technique of Fuzzy Cognitive Maps to connect yield defining parameters with yield in Cotton Crop Production in Central Greece as a basis for a decision support system for precision agriculture application. In M. Glykas (Ed.), *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 325–362). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Papaioannou, M., Neocleous, C., Papageorgiou, C., & Schizas, C. (2013). A Fuzzy Cognitive Map Model of the Repercussions of Greek PSI on Cypriot Economy. In *2013 IEEE 14th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)* (pp. 255–260). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CINTI.2013.6705202>
- Quoilin, S., Kavvadias, K., Mercier, A., Pappone, I., & Zucker, A. (2016). Quantifying self-consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment. *Applied Energy*, 182, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.077>
- Redondo, P. D., & Van Vliet, O. (2015). Modelling the Energy Future of Switzerland after the Phase out of Nuclear Power Plants. *Energy Procedia*, 76, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.843>
- Roberts, F. S. (1976). The Questionnaire Method. In R. Axelrod (Ed.), *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites* (pp. 333–342). Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Sachs, J., Meng, Y., Giarola, S., & Hawkes, A. (2019). An agent-based model for energy investment decisions in the residential sector. *Energy*, 172, 752–768. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.161>
- Scanu, E. (2015). Climate governance in the post-industrial city: the urban side of ecological modernisation. *Environmental Sociology*, 1(2), 102–115. <https://doi.org/10.1080/23251042.2015.1008384>
- Scarf, H. (1967). On the Computation of Equilibrium Prices. In *Ten economic studies in the tradition of Irving Fisher*. New York: Wiley.
- Schill, W.-P., Zerrahn, A., & Kunz, F. (2017). *Prosumage of solar electricity: pros, cons, and the system perspective*.
- Schlegelmilch, K., Eichel, H., & Pegels, A. (2014). Pricing environmental resources and pollutants and the competitiveness of national industries. *Green Industrial Policy: Concept, Policies, Country Experiences*, 30(3), 469–491. <https://doi.org/10.1093/oxrep/gru025>

- Schneider, M., Shnaider, E., Kandel, A., & Chew, G. (1998). Automatic construction of FCMs. *Fuzzy Sets and Systems*, 93(2), 161–172.
- Selosse, S., Garabedian, S., Ricci, O., & Maïzi, N. (2018). The renewable energy revolution of reunion island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(March), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.013>
- Shi, J., Chen, W., & Yin, X. (2016). Modelling building's decarbonization with application of China TIMES model. *Applied Energy*, 162, 1303–1312. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.06.056>
- Shoven, J. B., & Whalley, J. (1984). Applied general equilibrium models of taxation and trade: An introduction and survey. *Journal of Economic Literature*, 22(3), 1007–1051.
- Stavrakakis, Y., & Katsambekis, G. (2018). The populism/anti-populism frontier and its mediation in crisis-ridden Greece: from discursive divide to emerging cleavage? *European Political Science*, 1–16. <https://doi.org/10.1057/s41304-017-0138-3>
- Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 34(1), 155–162.
- Thomas, S. (1980). *Analytic Hierarchy Process - Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill International Book Co.
- Tourkolias, C., & Mirasgedis, S. (2011). Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2876–2886. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.027>
- Tulloch, D. J., & Caldecott, B. (2016). Current and Future Challenges Facing the European Union's Energy System. *Ssrn*, 44. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2785513>
- Valasai, G. Das, Mirjat, N. H., Uqaili, M. A., Memon, H. U. R., Samoo, S. R., & Harijan, K. (2017). Decarbonization of Electricity Sector of Pakistan—An Application of Times Energy Model. *Journal of Clean Energy Technologies*, 5(6), 507–511. <https://doi.org/10.18178/jocet.2017.5.6.425>
- van der Zwaan, B., Kober, T., Longa, F. D., van der Laan, A., & Jan Kramer, G. (2018). An integrated assessment of pathways for low-carbon development in Africa. *Energy Policy*, 117(March), 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.017>
- Waffenschmidt, E. (2014). Dimensioning of decentralized photovoltaic storages with limited feed-in power and their impact on the distribution grid. *Energy Procedia*, 46, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.161>
- Walras, L. (1874). *Elements D'economie Politique Pure*. (L. Corbaz., Ed.). Lausanne.
- Whalley, J., & Srinivasan, T. N. (1986). *General Equilibrium Trade Policy Modeling*. (J. Whalley & T. N. Srinivasan, Eds.). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Witajewski-Baltvilks, J., Antosiewicz, M., Ceglarsz, A., Doukas, H., Nikas, A., Sawulski, J., ... Witajewski-baltvilks, J. (2018). *Risks associated with the decarbonisation of the Polish power sector*.
- Wrightson, M. T. (1976). The documentary coding method. In R. Axelrod (Ed.), *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites* (pp. 291–332). Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Παράρτημα: Πίνακες προσομοίωσης του ασαφούς γνωστικού χάρτη

Σενάριο 1 «Βιωσιμότητα»

Ενεργοποίηση πολιτικής P1.Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας.

Πίνακας Π. 1 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής P1.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,5	Σταθερά	-0,5	234
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,8	Σταθερά	-0,8	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
P1.	1	Σταθερά	1	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365	
S4.	0	Μεταβλητή	0,592696	
S5.	0	Μεταβλητή	0,918721	
S6.	0	Μεταβλητή	0,995525	
S7.	0	Μεταβλητή	-0,83926	
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94622	
S9.	0	Μεταβλητή	0,951716	
S10.	0	Μεταβλητή	0,928889	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,79159	
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92252	
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94529	
S14.	0	Μεταβλητή	0,921072	
S15.	0	Μεταβλητή	0,865994	

S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,931447
C2.	0	Μεταβλητή	-0,41196
C3.	0	Μεταβλητή	0,89748
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42499
C5.	0	Μεταβλητή	0,751574

Ενεργοποίηση πολιτικής P2. Ενισχυμένος σχεδιασμός για την αξιοποίηση της γης.

Πίνακας Π. 2 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής P2.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,5	Σταθερά	-0,5	233
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,8	Σταθερά	-0,8	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	1	Σταθερά	1	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365	
S4.	0	Μεταβλητή	0,592696	
S5.	0	Μεταβλητή	0,918721	
S6.	0	Μεταβλητή	0,992469	
S7.	0	Μεταβλητή	-0,83926	
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94592	
S9.	0	Μεταβλητή	0,951428	
S10.	0	Μεταβλητή	0,928912	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,79159	
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92248	
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94525	
S14.	0	Μεταβλητή	0,921072	

S15.	0	Μεταβλητή	0,86571
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,931448
C2.	0	Μεταβλητή	-0,4123
C3.	0	Μεταβλητή	0,897481
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42521
C5.	0	Μεταβλητή	0,751041

Ενεργοποίηση πολιτικής P3. Ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα των έξυπνων μετρητικών συστημάτων.

Πίνακας Π. 3 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής P3.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,5	Σταθερά	-0,5	235
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,8	Σταθερά	-0,8	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	1	Σταθερά	1	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0,937017	
S2.	0	Μεταβλητή	0,800166	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,80399	
S4.	0	Μεταβλητή	0,867419	
S5.	0	Μεταβλητή	0,915138	
S6.	0	Μεταβλητή	0,988014	
S7.	0	Μεταβλητή	-0,83926	
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94547	
S9.	0	Μεταβλητή	0,951005	
S10.	0	Μεταβλητή	0,952091	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,79583	
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92243	

S13.	0	Μεταβλητή	-0,94521
S14.	0	Μεταβλητή	0,921001
S15.	0	Μεταβλητή	0,865291
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,855217
C2.	0	Μεταβλητή	-0,41181
C3.	0	Μεταβλητή	0,897908
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42553
C5.	0	Μεταβλητή	0,750261

Ενεργοποίηση πολιτικής P4.Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και χρήση των μονάδων και συσκευών αποθήκευσης.

Πίνακας Π. 4 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και πολιτικής P4.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,5	Σταθερά	-0,5	246
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,8	Σταθερά	-0,8	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	1	Σταθερά	1	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365	
S4.	0	Μεταβλητή	0,592696	
S5.	0	Μεταβλητή	0,918721	
S6.	0	Μεταβλητή	0,988014	
S7.	0	Μεταβλητή	-0,83926	
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94547	
S9.	0	Μεταβλητή	0,951005	
S10.	0	Μεταβλητή	0,9375	

S11.	0	Μεταβλητή	-0,79318
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92243
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94521
S14.	0	Μεταβλητή	0,985283
S15.	0	Μεταβλητή	0,869293
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,931672
C2.	0	Μεταβλητή	-0,4057
C3.	0	Μεταβλητή	0,897641
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42195
C5.	0	Μεταβλητή	0,750261

Μη ενεργοποίηση καμίας πολιτικής, «Business as usual».

Πίνακας Π. 5 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ1. και μη πολιτικής.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,5	Σταθερά	-0,5	234
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,8	Σταθερά	-0,8	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365	
S4.	0	Μεταβλητή	0,592696	
S5.	0	Μεταβλητή	0,918721	
S6.	0	Μεταβλητή	0,988014	
S7.	0	Μεταβλητή	-0,83926	
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94547	
S9.	0	Μεταβλητή	0,951005	

S10.	0	Μεταβλητή	0,928947
S11.	0	Μεταβλητή	-0,7916
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92243
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94521
S14.	0	Μεταβλητή	0,921072
S15.	0	Μεταβλητή	0,865296
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,931448
C2.	0	Μεταβλητή	-0,41281
C3.	0	Μεταβλητή	0,897481
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42553
C5.	0	Μεταβλητή	0,750261

Σενάριο 2: «Στα μέσα του δρόμου»

Ενεργοποίηση πολιτικής P1.Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας.

Πίνακας Π. 6 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής P1.

	Αρχικές τιμές		Τελικές τιμές	Επαναλήψεις
B1.	0,1	Σταθερά	0,1	283
B2.	0,1	Σταθερά	0,1	
B3.	-0,1	Σταθερά	-0,1	
B4.	0,2	Σταθερά	0,2	
B5.	0,2	Σταθερά	0,2	
P1.	1	Σταθερά	1	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,52808	
S4.	0	Μεταβλητή	0,563	

S5.	0	Μεταβλητή	0,765099
S6.	0	Μεταβλητή	0,553051
S7.	0	Μεταβλητή	0,632691
S8.	0	Μεταβλητή	-0,87258
S9.	0	Μεταβλητή	0,880894
S10.	0	Μεταβλητή	0,757066
S11.	0	Μεταβλητή	-0,74827
S12.	0	Μεταβλητή	-0,91255
S13.	0	Μεταβλητή	-0,93686
S14.	0	Μεταβλητή	0,358244
S15.	0	Μεταβλητή	0,74883
S16.	1	Μεταβλητή	-0,55505
C1.	0	Μεταβλητή	0,924965
C2.	0	Μεταβλητή	-0,69403
C3.	0	Μεταβλητή	0,669294
C4.	0	Μεταβλητή	-0,50198
C5.	0	Μεταβλητή	0,649577

Ενεργοποίηση πολιτικής P2. Ενισχυμένος σχεδιασμός για την αξιοποίηση της γης.

Πίνακας Π. 7 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής P2.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,1	Σταθερά	0,1	283
B2.	0,1	Σταθερά	0,1	
B3.	-0,1	Σταθερά	-0,1	
B4.	0,2	Σταθερά	0,2	
B5.	0,2	Σταθερά	0,2	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	1	Σταθερά	1	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,52808	

S4.	0	Μεταβλητή	0,563
S5.	0	Μεταβλητή	0,765099
S6.	0	Μεταβλητή	-0,72059
S7.	0	Μεταβλητή	0,632691
S8.	0	Μεταβλητή	0,909254
S9.	0	Μεταβλητή	-0,91646
S10.	0	Μεταβλητή	0,97277
S11.	0	Μεταβλητή	-0,79381
S12.	0	Μεταβλητή	0,917686
S13.	0	Μεταβλητή	0,94122
S14.	0	Μεταβλητή	0,358244
S15.	0	Μεταβλητή	-0,65974
S16.	1	Μεταβλητή	-0,55505
C1.	0	Μεταβλητή	0,931761
C2.	0	Μεταβλητή	0,944771
C3.	0	Μεταβλητή	0,691415
C4.	0	Μεταβλητή	0,549919
C5.	0	Μεταβλητή	-0,69531

Ενεργοποίηση πολιτικής P3. Ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα των έξυπνων μετρητικών συστημάτων.

Πίνακας Π. 8 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής P3.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,1	Σταθερά	0,1	165
B2.	0,1	Σταθερά	0,1	
B3.	-0,1	Σταθερά	-0,1	
B4.	0,2	Σταθερά	0,2	
B5.	0,2	Σταθερά	0,2	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	1	Σταθερά	1	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0,937017	

S2.	0	Μεταβλητή	0,800166
S3.	0	Μεταβλητή	0,503842
S4.	0	Μεταβλητή	0,800963
S5.	0	Μεταβλητή	-0,68087
S6.	0	Μεταβλητή	-0,8542
S7.	0	Μεταβλητή	0,632691
S8.	0	Μεταβλητή	0,929904
S9.	0	Μεταβλητή	-0,93625
S10.	0	Μεταβλητή	0,849937
S11.	0	Μεταβλητή	-0,76952
S12.	0	Μεταβλητή	0,920428
S13.	0	Μεταβλητή	0,943531
S14.	0	Μεταβλητή	-0,67381
S15.	0	Μεταβλητή	-0,83298
S16.	1	Μεταβλητή	-0,55505
C1.	0	Μεταβλητή	0,845847
C2.	0	Μεταβλητή	0,939437
C3.	0	Μεταβλητή	0,679951
C4.	0	Μεταβλητή	0,450695
C5.	0	Μεταβλητή	-0,72495

Ενεργοποίηση πολιτικής P4.Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και χρήση των μονάδων και συσκευών αποθήκευσης.

Πίνακας Π. 9 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και πολιτικής P4.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,1	Σταθερά	0,1	124
B2.	0,1	Σταθερά	0,1	
B3.	-0,1	Σταθερά	-0,1	
B4.	0,2	Σταθερά	0,2	
B5.	0,2	Σταθερά	0,2	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	

P4.	1	Σταθερά	1
S1.	0	Μεταβλητή	0
S2.	0	Μεταβλητή	0
S3.	0	Μεταβλητή	-0,52808
S4.	0	Μεταβλητή	0,563
S5.	0	Μεταβλητή	0,765099
S6.	0	Μεταβλητή	-0,8542
S7.	0	Μεταβλητή	0,632691
S8.	0	Μεταβλητή	0,929904
S9.	0	Μεταβλητή	-0,93625
S10.	0	Μεταβλητή	0,990912
S11.	0	Μεταβλητή	-0,79708
S12.	0	Μεταβλητή	0,920428
S13.	0	Μεταβλητή	0,943531
S14.	0	Μεταβλητή	0,941376
S15.	0	Μεταβλητή	-0,52846
S16.	1	Μεταβλητή	-0,55505
C1.	0	Μεταβλητή	0,932223
C2.	0	Μεταβλητή	0,947291
C3.	0	Μεταβλητή	0,692907
C4.	0	Μεταβλητή	0,6025
C5.	0	Μεταβλητή	-0,72495

Μη ενεργοποίηση καμίας πολιτικής, «Business as usual».

Πίνακας Π. 10 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ2. και μη πολιτικής.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,1	Σταθερά	0,1	284
B2.	0,1	Σταθερά	0,1	
B3.	-0,1	Σταθερά	-0,1	
B4.	0,2	Σταθερά	0,2	
B5.	0,2	Σταθερά	0,2	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	

P3.	0	Σταθερά	0
P4.	0	Σταθερά	0
S1.	0	Μεταβλητή	0
S2.	0	Μεταβλητή	0
S3.	0	Μεταβλητή	-0,52808
S4.	0	Μεταβλητή	0,563
S5.	0	Μεταβλητή	0,765099
S6.	0	Μεταβλητή	-0,8542
S7.	0	Μεταβλητή	0,632691
S8.	0	Μεταβλητή	0,929904
S9.	0	Μεταβλητή	-0,93625
S10.	0	Μεταβλητή	0,973348
S11.	0	Μεταβλητή	-0,79391
S12.	0	Μεταβλητή	0,920428
S13.	0	Μεταβλητή	0,943531
S14.	0	Μεταβλητή	0,358244
S15.	0	Μεταβλητή	-0,70254
S16.	1	Μεταβλητή	-0,55505
C1.	0	Μεταβλητή	0,931776
C2.	0	Μεταβλητή	0,944003
C3.	0	Μεταβλητή	0,691464
C4.	0	Μεταβλητή	0,530762
C5.	0	Μεταβλητή	-0,72495

Σενάριο 3: «Τοπική αντιπαλότητα»

Ενεργοποίηση πολιτικής P1.Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας.

Πίνακας Π. 11 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής P1.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,15	Σταθερά	-0,15	217
B2.	-0,6	Σταθερά	-0,6	

B3.	0,55	Σταθερά	0,55
B4.	0,1	Σταθερά	0,1
B5.	0,6	Σταθερά	0,6
P1.	1	Σταθερά	1
P2.	0	Σταθερά	0
P3.	0	Σταθερά	0
P4.	0	Σταθερά	0
S1.	0	Μεταβλητή	0
S2.	0	Μεταβλητή	0
S3.	0	Μεταβλητή	0,829213
S4.	0	Μεταβλητή	-0,58822
S5.	0	Μεταβλητή	-0,89399
S6.	0	Μεταβλητή	-0,87211
S7.	0	Μεταβλητή	0,879073
S8.	0	Μεταβλητή	0,932248
S9.	0	Μεταβλητή	-0,93848
S10.	0	Μεταβλητή	-0,8977
S11.	0	Μεταβλητή	0,831526
S12.	0	Μεταβλητή	0,920732
S13.	0	Μεταβλητή	0,943787
S14.	0	Μεταβλητή	-0,74025
S15.	0	Μεταβλητή	-0,84049
S16.	1	Μεταβλητή	0,856516
C1.	0	Μεταβλητή	-0,93688
C2.	0	Μεταβλητή	0,43011
C3.	0	Μεταβλητή	-0,90391
C4.	0	Μεταβλητή	0,445043
C5.	0	Μεταβλητή	-0,72857

Ενεργοποίηση πολιτικής P2. Ενισχυμένος σχεδιασμός για την αξιοποίηση της γης.

Πίνακας Π. 12 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής P2.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,15	Σταθερά	-0,15	219

B2.	-0,6	Σταθερά	-0,6
B3.	0,55	Σταθερά	0,55
B4.	0,1	Σταθερά	0,1
B5.	0,6	Σταθερά	0,6
P1.	0	Σταθερά	0
P2.	1	Σταθερά	1
P3.	0	Σταθερά	0
P4.	0	Σταθερά	0
S1.	0	Μεταβλητή	0
S2.	0	Μεταβλητή	0
S3.	0	Μεταβλητή	0,829213
S4.	0	Μεταβλητή	-0,58822
S5.	0	Μεταβλητή	-0,89399
S6.	0	Μεταβλητή	-0,9299
S7.	0	Μεταβλητή	0,879073
S8.	0	Μεταβλητή	0,939234
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94511
S10.	0	Μεταβλητή	-0,89687
S11.	0	Μεταβλητή	0,83141
S12.	0	Μεταβλητή	0,921632
S13.	0	Μεταβλητή	0,944542
S14.	0	Μεταβλητή	-0,74025
S15.	0	Μεταβλητή	-0,84699
S16.	1	Μεταβλητή	0,856516
C1.	0	Μεταβλητή	-0,93686
C2.	0	Μεταβλητή	0,423677
C3.	0	Μεταβλητή	-0,9039
C4.	0	Μεταβλητή	0,440469
C5.	0	Μεταβλητή	-0,73973

Ενεργοποίηση πολιτικής P3.Ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα των έξυπνων μετρητικών συστημάτων.

Πίνακας Π. 13 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής Ρ3.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,15	Σταθερά	-0,15	174
B2.	-0,6	Σταθερά	-0,6	
B3.	0,55	Σταθερά	0,55	
B4.	0,1	Σταθερά	0,1	
B5.	0,6	Σταθερά	0,6	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	1	Σταθερά	1	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0,937017	
S2.	0	Μεταβλητή	0,800166	
S3.	0	Μεταβλητή	0,871061	
S4.	0	Μεταβλητή	0,788696	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,89791	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,95743	
S7.	0	Μεταβλητή	0,879073	
S8.	0	Μεταβλητή	0,942281	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94799	
S10.	0	Μεταβλητή	0,823432	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,70658	
S12.	0	Μεταβλητή	0,922021	
S13.	0	Μεταβλητή	0,944868	
S14.	0	Μεταβλητή	-0,74061	
S15.	0	Μεταβλητή	-0,85	
S16.	1	Μεταβλητή	0,856516	
C1.	0	Μεταβλητή	0,820022	
C2.	0	Μεταβλητή	0,927253	
C3.	0	Μεταβλητή	0,516871	
C4.	0	Μεταβλητή	0,438294	
C5.	0	Μεταβλητή	-0,7448	

Ενεργοποίηση πολιτικής P4. Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και χρήση των μονάδων και συσκευών αποθήκευσης.

Πίνακας Π. 14 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και πολιτικής P4.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,15	Σταθερά	-0,15	117
B2.	-0,6	Σταθερά	-0,6	
B3.	0,55	Σταθερά	0,55	
B4.	0,1	Σταθερά	0,1	
B5.	0,6	Σταθερά	0,6	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	1	Σταθερά	1	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	0,829213	
S4.	0	Μεταβλητή	-0,58822	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,89399	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,95743	
S7.	0	Μεταβλητή	0,879073	
S8.	0	Μεταβλητή	0,942281	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94799	
S10.	0	Μεταβλητή	0,954	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,74316	
S12.	0	Μεταβλητή	0,922021	
S13.	0	Μεταβλητή	0,944868	
S14.	0	Μεταβλητή	0,902085	
S15.	0	Μεταβλητή	-0,60444	
S16.	1	Μεταβλητή	0,856516	
C1.	0	Μεταβλητή	0,924156	
C2.	0	Μεταβλητή	0,937724	
C3.	0	Μεταβλητή	0,554867	
C4.	0	Μεταβλητή	0,574984	

C5.	0	Μεταβλητή	-0,7448
------------	---	-----------	---------

Μη ενεργοποίηση καμίας πολιτικής, «Business as usual».

Πίνακας Π. 15 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ3. και μη πολιτικής.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,15	Σταθερά	-0,15	222
B2.	-0,6	Σταθερά	-0,6	
B3.	0,55	Σταθερά	0,55	
B4.	0,1	Σταθερά	0,1	
B5.	0,6	Σταθερά	0,6	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	0,829213	
S4.	0	Μεταβλητή	-0,58822	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,89399	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,95743	
S7.	0	Μεταβλητή	0,879073	
S8.	0	Μεταβλητή	0,942281	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94799	
S10.	0	Μεταβλητή	-0,8965	
S11.	0	Μεταβλητή	0,831359	
S12.	0	Μεταβλητή	0,922021	
S13.	0	Μεταβλητή	0,944868	
S14.	0	Μεταβλητή	-0,74025	
S15.	0	Μεταβλητή	-0,84997	
S16.	1	Μεταβλητή	0,856516	
C1.	0	Μεταβλητή	-0,93685	
C2.	0	Μεταβλητή	0,42051	
C3.	0	Μεταβλητή	-0,90389	

C4.	0	Μεταβλητή	0,438316
C5.	0	Μεταβλητή	-0,7448

Σενάριο 4: «Ανισότητες»

Ενεργοποίηση πολιτικής P1.Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας.

Πίνακας Π. 16 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P1.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,6	Σταθερά	0,6	184
B2.	-0,75	Σταθερά	-0,75	
B3.	0,8	Σταθερά	0,8	
B4.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
B5.	0,9	Σταθερά	0,9	
P1.	1	Σταθερά	1	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	0,864199	
S4.	0	Μεταβλητή	-0,59283	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,91946	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,91038	
S7.	0	Μεταβλητή	0,927614	
S8.	0	Μεταβλητή	0,936967	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94296	
S10.	0	Μεταβλητή	-0,91771	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,48334	
S12.	0	Μεταβλητή	0,921341	
S13.	0	Μεταβλητή	0,944299	
S14.	0	Μεταβλητή	-0,84398	

S15.	0	Μεταβλητή	-0,85245
S16.	1	Μεταβλητή	0,889361
C1.	0	Μεταβλητή	0,865872
C2.	0	Μεταβλητή	0,745756
C3.	0	Μεταβλητή	-0,5069
C4.	0	Μεταβλητή	0,43575
C5.	0	Μεταβλητή	-0,73604

Ενεργοποίηση πολιτικής P2. Ενισχυμένος σχεδιασμός για την αξιοποίηση της γης.

Πίνακας Π. 17 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P2.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,6	Σταθερά	0,6	182
B2.	-0,75	Σταθερά	-0,75	
B3.	0,8	Σταθερά	0,8	
B4.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
B5.	0,9	Σταθερά	0,9	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	1	Σταθερά	1	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	0,864199	
S4.	0	Μεταβλητή	-0,59283	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,91946	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,94952	
S7.	0	Μεταβλητή	0,927614	
S8.	0	Μεταβλητή	0,941422	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94718	
S10.	0	Μεταβλητή	-0,91729	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,48376	
S12.	0	Μεταβλητή	0,921912	
S13.	0	Μεταβλητή	0,944777	

S14.	0	Μεταβλητή	-0,84398
S15.	0	Μεταβλητή	-0,85647
S16.	1	Μεταβλητή	0,889361
C1.	0	Μεταβλητή	0,866003
C2.	0	Μεταβλητή	0,745205
C3.	0	Μεταβλητή	-0,50638
C4.	0	Μεταβλητή	0,432791
C5.	0	Μεταβλητή	-0,74336

Ενεργοποίηση πολιτικής P3.Ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα των έξυπνων μετρητικών συστημάτων.

Πίνακας Π. 18 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P3.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,6	Σταθερά	0,6	181
B2.	-0,75	Σταθερά	-0,75	
B3.	0,8	Σταθερά	0,8	
B4.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
B5.	0,9	Σταθερά	0,9	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	1	Σταθερά	1	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0,937017	
S2.	0	Μεταβλητή	0,800166	
S3.	0	Μεταβλητή	0,895986	
S4.	0	Μεταβλητή	0,787291	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,92164	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,96898	
S7.	0	Μεταβλητή	0,927614	
S8.	0	Μεταβλητή	0,943508	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94915	
S10.	0	Μεταβλητή	0,770131	
S11.	0	Μεταβλητή	-0,89922	

S12.	0	Μεταβλητή	0,922177
S13.	0	Μεταβλητή	0,944999
S14.	0	Μεταβλητή	-0,84407
S15.	0	Μεταβλητή	-0,85843
S16.	1	Μεταβλητή	0,889361
C1.	0	Μεταβλητή	0,885835
C2.	0	Μεταβλητή	0,936296
C3.	0	Μεταβλητή	0,646284
C4.	0	Μεταβλητή	0,431324
C5.	0	Μεταβλητή	-0,74689

Ενεργοποίηση πολιτικής P4.Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και χρήση των μονάδων και συσκευών αποθήκευσης.

Πίνακας Π. 19 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και πολιτικής P4.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,6	Σταθερά	0,6	95
B2.	-0,75	Σταθερά	-0,75	
B3.	0,8	Σταθερά	0,8	
B4.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
B5.	0,9	Σταθερά	0,9	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	1	Σταθερά	1	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	0,864199	
S4.	0	Μεταβλητή	-0,59283	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,91946	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,96898	
S7.	0	Μεταβλητή	0,927614	
S8.	0	Μεταβλητή	0,943508	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94915	
S10.	0	Μεταβλητή	0,94865	

S11.	0	Μεταβλητή	-0,91142
S12.	0	Μεταβλητή	0,922177
S13.	0	Μεταβλητή	0,944999
S14.	0	Μεταβλητή	0,848059
S15.	0	Μεταβλητή	-0,62644
S16.	1	Μεταβλητή	0,889361
C1.	0	Μεταβλητή	0,946371
C2.	0	Μεταβλητή	0,943457
C3.	0	Μεταβλητή	0,653279
C4.	0	Μεταβλητή	0,566107
C5.	0	Μεταβλητή	-0,74689

Μη ενεργοποίηση καμίας πολιτικής, «Business as usual».

Πίνακας Π. 20 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ4. και μη πολιτικής.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	0,6	Σταθερά	0,6	183
B2.	-0,75	Σταθερά	-0,75	
B3.	0,8	Σταθερά	0,8	
B4.	-0,4	Σταθερά	-0,4	
B5.	0,9	Σταθερά	0,9	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	0,864199	
S4.	0	Μεταβλητή	-0,59283	
S5.	0	Μεταβλητή	-0,91946	
S6.	0	Μεταβλητή	-0,96898	
S7.	0	Μεταβλητή	0,927614	
S8.	0	Μεταβλητή	0,943508	
S9.	0	Μεταβλητή	-0,94915	
S10.	0	Μεταβλητή	-0,9171	

S11.	0	Μεταβλητή	-0,48396
S12.	0	Μεταβλητή	0,922177
S13.	0	Μεταβλητή	0,944999
S14.	0	Μεταβλητή	-0,84398
S15.	0	Μεταβλητή	-0,85842
S16.	1	Μεταβλητή	0,889361
C1.	0	Μεταβλητή	0,866064
C2.	0	Μεταβλητή	0,744924
C3.	0	Μεταβλητή	-0,50615
C4.	0	Μεταβλητή	0,43133
C5.	0	Μεταβλητή	-0,74689

Σενάριο 5: «Ανάπτυξη των ορυκτών καυσίμων»

Ενεργοποίηση πολιτικής P1.Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας.

Πίνακας Π. 21 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P1.

	Αρχικές τιμές		Τελικές τιμές	Επαναλήψεις
B1.	-0,7	Σταθερά	-0,7	195
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,35	Σταθερά	-0,35	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	0,1	Σταθερά	0,1	
P1.	1	Σταθερά	1	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365	
S4.	0	Μεταβλητή	0,584329	
S5.	0	Μεταβλητή	0,873011	
S6.	0	Μεταβλητή	0,993229	
S7.	0	Μεταβλητή	-0,5133	

S8.	0	Μεταβλητή	-0,946
S9.	0	Μεταβλητή	0,9515
S10.	0	Μεταβλητή	0,926759
S11.	0	Μεταβλητή	-0,73829
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92249
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94526
S14.	0	Μεταβλητή	0,912397
S15.	0	Μεταβλητή	0,865232
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,923376
C2.	0	Μεταβλητή	-0,47507
C3.	0	Μεταβλητή	0,86571
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42564
C5.	0	Μεταβλητή	0,751174

Ενεργοποίηση πολιτικής P2. Ενισχυμένος σχεδιασμός για την αξιοποίηση της γης.

Πίνακας Π. 22 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P2.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,7	Σταθερά	-0,7	196
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,35	Σταθερά	-0,35	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	0,1	Σταθερά	0,1	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	1	Σταθερά	1	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365	
S4.	0	Μεταβλητή	0,584329	
S5.	0	Μεταβλητή	0,873011	
S6.	0	Μεταβλητή	0,988577	

S7.	0	Μεταβλητή	-0,5133
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94553
S9.	0	Μεταβλητή	0,951059
S10.	0	Μεταβλητή	0,926797
S11.	0	Μεταβλητή	-0,7383
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92243
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94521
S14.	0	Μεταβλητή	0,912397
S15.	0	Μεταβλητή	0,864797
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,923378
C2.	0	Μεταβλητή	-0,47544
C3.	0	Μεταβλητή	0,865712
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42598
C5.	0	Μεταβλητή	0,75036

Ενεργοποίηση πολιτικής P3. Ανάπτυξη σε ευρεία κλίμακα των έξυπνων μετρητικών συστημάτων.

Πίνακας Π. 23 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P3.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,7	Σταθερά	-0,7	194
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,35	Σταθερά	-0,35	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	0,1	Σταθερά	0,1	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	1	Σταθερά	1	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0,937017	
S2.	0	Μεταβλητή	0,800166	
S3.	0	Μεταβλητή	-0,80399	
S4.	0	Μεταβλητή	0,86587	

S5.	0	Μεταβλητή	0,866934
S6.	0	Μεταβλητή	0,981756
S7.	0	Μεταβλητή	-0,5133
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94483
S9.	0	Μεταβλητή	0,950405
S10.	0	Μεταβλητή	0,951198
S11.	0	Μεταβλητή	-0,74452
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92235
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94514
S14.	0	Μεταβλητή	0,912262
S15.	0	Μεταβλητή	0,864147
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,836209
C2.	0	Μεταβλητή	-0,47457
C3.	0	Μεταβλητή	0,866579
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42648
C5.	0	Μεταβλητή	0,749159

Ενεργοποίηση πολιτικής P4.Οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη και χρήση των μονάδων και συσκευών αποθήκευσης.

Πίνακας Π. 24 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και πολιτικής P4.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,7	Σταθερά	-0,7	202
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,35	Σταθερά	-0,35	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	0,1	Σταθερά	0,1	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	1	Σταθερά	1	
S1.	0	Μεταβλητή	0	
S2.	0	Μεταβλητή	0	

S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365
S4.	0	Μεταβλητή	0,584329
S5.	0	Μεταβλητή	0,873011
S6.	0	Μεταβλητή	0,981756
S7.	0	Μεταβλητή	-0,5133
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94483
S9.	0	Μεταβλητή	0,950405
S10.	0	Μεταβλητή	0,936602
S11.	0	Μεταβλητή	-0,74083
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92235
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94514
S14.	0	Μεταβλητή	0,983839
S15.	0	Μεταβλητή	0,86864
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,923783
C2.	0	Μεταβλητή	-0,47015
C3.	0	Μεταβλητή	0,866065
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42247
C5.	0	Μεταβλητή	0,749159

Μη ενεργοποίηση καμίας πολιτικής, «Business as usual».

Πίνακας Π. 25 Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σενάριο Σ5. και μη πολιτικής.

	<i>Αρχικές τιμές</i>		<i>Τελικές τιμές</i>	<i>Επαναλήψεις</i>
B1.	-0,7	Σταθερά	-0,7	195
B2.	0,7	Σταθερά	0,7	
B3.	-0,35	Σταθερά	-0,35	
B4.	-0,7	Σταθερά	-0,7	
B5.	0,1	Σταθερά	0,1	
P1.	0	Σταθερά	0	
P2.	0	Σταθερά	0	
P3.	0	Σταθερά	0	
P4.	0	Σταθερά	0	
S1.	0	Μεταβλητή	0	

S2.	0	Μεταβλητή	0
S3.	0	Μεταβλητή	-0,85365
S4.	0	Μεταβλητή	0,584329
S5.	0	Μεταβλητή	0,873011
S6.	0	Μεταβλητή	0,981756
S7.	0	Μεταβλητή	-0,5133
S8.	0	Μεταβλητή	-0,94483
S9.	0	Μεταβλητή	0,950405
S10.	0	Μεταβλητή	0,926853
S11.	0	Μεταβλητή	-0,73832
S12.	0	Μεταβλητή	-0,92235
S13.	0	Μεταβλητή	-0,94514
S14.	0	Μεταβλητή	0,912397
S15.	0	Μεταβλητή	0,864156
S16.	1	Μεταβλητή	-0,87954
C1.	0	Μεταβλητή	0,92338
C2.	0	Μεταβλητή	-0,47598
C3.	0	Μεταβλητή	0,865714
C4.	0	Μεταβλητή	-0,42647
C5.	0	Μεταβλητή	0,749159