

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΕΘΝΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ,
ΔΙΚΑΙΟ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

**ΘΕΩΡΙΑ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ: ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ
ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ
ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ**

Σκοτεινός Ηρακλής

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ενέργεια: Στρατηγική, Δίκαιο και Οικονομία

Πειραιάς, Νοέμβριος 2016

UNIVERSITY OF PIRAEUS
DEPARTMENT OF INTERNATIONAL AND EUROPEAN
STUDIES



MASTER PROGRAM IN ENERGY: STRATEGY, LAW
AND ECONOMICS

GAME THEORY AND ENVIRONMENTAL
POLICIES: THEORY AND APPLICATION ON
GREENHOUSE GAS EMISSIONS REDUCTION
POLICIES

Skoteinos Iraklis

Master Thesis submitted to the Department of International and European Studies of the University of Piraeus in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Energy: Strategy, Law and Economics

Piraeus, November 2016

Ο υπογράφων Σκοτεινός Ηρακλής βεβαιώνω ότι το έργο που εκπονήθηκε και παρουσιάζεται στην υποβαλλόμενη διπλωματική εργασία είναι αποκλειστικά δικό μου. Όποιες πληροφορίες και υλικό που περιέχονται και έχουν αντληθεί από άλλες πηγές, έχουν καταλλήλως αναφερθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία. Επιπλέον, τελώ εν γνώσει ότι σε περίπτωση διαπίστωσης ότι δεν συντρέχουν όσα βεβαιώνονται από μέρους μου, μου αφαιρείται ανά πάσα στιγμή αμέσως ο τίτλος.

Σκοτεινός Ηρακλής

*Time is running out for us
But you just move the hands upon the clock
You throw coins in the wishing well
For us
You just move your hands upon the wall*

*It comes to you begging you to stop
Wake up
But you just move your hands upon the clock
Throw coins in the wishing well
For us
You make believe that you are still in charge*

Thom Yorke, The Clock, 2009

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ιωάννη Παραβάντη για την πολύτιμη υποστήριξη και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, καθώς και τα μέλη της τριμελούς επιτροπής Αναπληρωτή Καθηγητή Πέτρο Λιάκουρα και Επίκουρο Καθηγητή Αθανάσιο Δαγούμα.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τη συμφοιτήτρια και συνάδελφό μου Ασημίνα Βλάχου και την αδερφή μου Δήμητρα Σκοτεινού για τη σημαντική τους συνεισφορά στη διαμόρφωση του τελικού κειμένου με τις παρεμβάσεις και τα εποικοδομητικά τους σχόλια.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος στην Ενέργεια για το σύνολο των γνώσεων που αποκόμισα στη διάρκεια των σπουδών μου.

Θεωρία Παιγνίων και περιβαλλοντικές πολιτικές: Τυπολογία και Εφαρμογή σε Πολιτικές Μείωσης Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου

Περίληψη

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα αντιμετωπίζονται με κατάλληλες περιβαλλοντικές πολιτικές που διαμορφώνονται σε παγκόσμιες συνδιασκέψεις. Η Θεωρία Παιγνίων παρέχει κατάλληλα εργαλεία για την ανάλυση καταστάσεων αλληλεπίδρασης, στις οποίες υπάρχει τόσο το στοιχείο της συνεργασίας όσο και το στοιχείο του ανταγωνισμού μεταξύ των παικτών, όπως συμβαίνει στο πεδίο των διεθνών περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων. Η παρούσα έρευνα εστιάζει στην αναγνώριση των παιγνιοθεωρητικών μοντέλων που βρίσκουν εφαρμογή στην περιγραφή περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων με στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων συνεργασίας μεταξύ των κρατών για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Εκτός από τα γνωστά παίγνια του διλήμματος των φυλακισμένων και το παίγνιο συντονισμού, αναλύονται συνολικά 25 παίγνια που μπορούν να περιγράψουν περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις. Η ανάλυση των παιγνίων βασίζεται στην εξέταση του πίνακα απολαβών των παικτών σύμφωνα με τις θεωρήσεις τους για το μέγεθος του περιβαλλοντικού προβλήματος, το κόστος αντιμετώπισής του και τα πιθανά οφέλη από τη μη τήρηση της συμφωνίας. Η λύση των παίγνιων προσδιορίζεται σύμφωνα με τα σημεία ισορροπίας Nash και maxi-min, τις κυρίαρχες στρατηγικές των παικτών και το χρονικό ορίζοντα εξέτασης του προβλήματος. Στην περίπτωση μη συνεργατικών λύσεων, προτείνονται τρόποι για την αύξηση της συνεργασίας και την επίτευξη υλοποιήσιμης συνεργατικής λύσης.

Λέξεις κλειδιά: Θεωρία Παιγνίων, περιβαλλοντικές πολιτικές, περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις, δίλημμα των φυλακισμένων, παίγνιο συντονισμού, μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, παιγνιοθεωρητικά περιβαλλοντικά μοντέλα

Game Theory and Environmental Policies: Theory and Application on Greenhouse Gas Emissions Reduction Policies

Abstract

Environmental problems are addressed by suitable environmental policies implemented in global environmental conferences. Game Theory provides a variety of tools that enable the interactions analysis in which the element of cooperation and the element of competition are both present, similarly to international environmental negotiations. This master thesis focuses on the identification of game-theoretic models that can best describe environmental negotiations in order to investigate the possibility of states cooperation regarding greenhouse gas emissions reduction. Besides the well-known prisoner's dilemma and coordination game, a total of 25 Games that can describe environmental negotiations are presented. Present analysis focuses on the payoff matrix which describes a given environmental negotiation game according to the players' view towards the degree of an environmental issue, their perception of mitigation cost and their estimation of possible benefits that might occur by breaching the agreement. The examined games solution is analyzed according to the Nash equilibrium, the maxi-min criterion and the players' dominant strategies under different time frame considerations for the game. In cases of non-cooperative solutions, ways that enhance the level of cooperation and increase the possibility of implementing a sustainable cooperative agreement are suggested.

Keywords: Game Theory, environmental policies, environmental negotiations, prisoner's dilemma, coordination game, greenhouse gas emissions reduction, game-theoretic environmental models

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	i
Abstract	ii
Περιεχόμενα	iii
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Κατάλογος Σχημάτων	viii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Δομή εργασίας	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Επισκόπηση βιβλιογραφίας	5
2.1 Εισαγωγή	5
2.2 Παιγνιοθεωρητικά μοντέλα	7
2.2.1 Πεδία εφαρμογής Θεωρίας Παιγνίων	7
2.2.2 Τρόποι αναπαράστασης παιγνίων	8
2.2.3 Παίγνια δύο παικτών μηδενικού αθροίσματος.....	9
2.2.3.1 Επίλυση με αμιγή στρατηγική maxi-min και mini-max.....	10
2.2.3.2 Επίλυση με μικτή στρατηγική maxi-min και mini-max.....	11
2.2.4 Παίγνια δύο παικτών μη μηδενικού αθροίσματος	12
2.2.4.1 Δίλημμα φυλακισμένων	14
2.2.4.2 Κυριαρχία	17
2.2.5 Ισοροπία Nash.....	17

2.3 Θεωρία παιγνίων και περιβαλλοντικές πολιτικές	21
2.3.1 Παγκόσμιες περιβαλλοντικές πολιτικές.....	23
2.3.2 Περιβαλλοντικές πολιτικές μείωσης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.....	25
2.3.3 Εφαρμογή Θεωρίας Παιγνίων σε περιβαλλοντικές πολιτικές	29
2.4 Ανασκόπηση	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μεθοδολογία	35
3.1 Εισαγωγή	35
3.2 Ερευνητικά ερωτήματα.....	35
3.3 Μέθοδοι ανάλυσης.....	36
3.4 Προσδοκώμενα αποτελέσματα	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτελέσματα	41
4.1 Εισαγωγή	41
4.2 Παιγνιακά πρότυπα περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων	41
4.2.1 Γενική μορφή περιβαλλοντικών παιγνίων	42
4.2.2 Μη-συγκρουσιακά παίγνια.....	45
4.2.3 Δίλημμα φυλακισμένων και παραπλήσια παίγνια	47
4.2.4 Παίγνιο συντονισμού	50
4.2.5 Παίγνιο της κότας και παραπλήσια παίγνια.....	52
4.2.6 Δυστυχή παίγνια.....	54
4.2.7 Παίγνια χωρίς καθαρή στρατηγική ισορροπίας Nash	56
4.3 Εφαρμογή διλήμματος φυλακισμένων σε πολιτικές μείωσης θερμοκηπιακών εκπομπών	57
4.3.1 Βραχυχρόνιο και μακροχρόνιο περιβαλλοντικό δίλημμα φυλακισμένων	59
4.3.2 Διερεύνηση επίλυσης περιβαλλοντικού διλήμματος φυλακισμένων.....	64
4.4 Συζήτηση	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα	80
5.1 Ανασκόπηση και συμπεράσματα.....	80
5.2 Αδυναμίες παρούσας έρευνας.....	83
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.....	84
Βιβλιογραφικές αναφορές	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Στοιχεία Θεωρίας Παιγνίων.....	92
A.1 Εισαγωγή.....	92
A.1.1 Ιστορική αναδρομή.....	94
A.2.2 Πεδία εφαρμογής Θεωρίας Παιγνίων.....	95
A.2 Βασικές έννοιες Θεωρίας Παιγνίων.....	97
A.3 Κατηγορίες παιγνίων.....	100
A.4 Τρόποι αναπαράστασης παιγνίων	102
A.5 Παίγνια δύο παικτών μηδενικού αθροίσματος	104
A.5.1 Επίλυση με Αμιγή Στρατηγική maxi-min και mini-max	106
A.5.2 Επίλυση με Μικτή Στρατηγική maxi-min και mini-max	109
A.6 Παίγνια δύο παικτών μη μηδενικού αθροίσματος	113
A.6.1 Δίλημμα φυλακισμένων	115
A.6.2 Κυριαρχία Στρατηγικών	118
A.7 Ισορροπία Nash.....	120
A.7.1 Ορισμός.....	120
A.7.2 Ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών	123
A.7.3 Κυριαρχία στην Ισορροπία Nash	126
Σύντομο βιογραφικό σημείωμα.....	129

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Το δίλημμα των φυλακισμένων	15
Πίνακας 2: Γενική μορφή περιβαλλοντικού παίγνιου διαπραγματεύσεων δύο παικτών με δύο διαθέσιμες στρατηγικές (Ρύπανση, Περιορισμός).....	43
Πίνακας 3: Παίγνιο “Αρμονία”	45
Πίνακας 4: Τα οκτώ μη-συγκρουσιακά περιβαλλοντικά παίγνια	46
Πίνακας 5: Το Δίλημμα των φυλακισμένων για την κλιματική πολιτική.....	48
Πίνακας 6: Περιβαλλοντικά παίγνια παραπλήσια με το δίλημμα των φυλακισμένων ..	49
Πίνακας 7: Παίγνιο συντονισμού	51
Πίνακας 8: Παίγνιο της κότας	53
Πίνακας 9: Μη συμμετρικά παίγνια παραπλήσια με το παίγνιο της κότας.....	54
Πίνακας 10: Δυστυχή παίγνια	55
Πίνακας 11: Περιβαλλοντικά παίγνια χωρίς καθαρή στρατηγική ισορροπίας Nash	56
Πίνακας 12: Το δίλημμα των φυλακισμένων με χρηματικές απολαβές.....	60
Πίνακας 13: Το μακροπρόθεσμο δίλημμα των φυλακισμένων για το περιβάλλον.....	61
Πίνακας 14: Το βραχυχρόνιο δίλημμα των φυλακισμένων για το περιβάλλον	63
Πίνακας 15: Το μεσοπρόθεσμο δίλημμα των φυλακισμένων για το περιβάλλον.....	67
Πίνακας 16: Αναπροσαρμογή του μεσοπρόθεσμου διλήμματος των φυλακισμένων για το περιβάλλον σε παίγνιο συντονισμού και απαιτούμενες συνθήκες	68
Πίνακας 17: Αναπροσαρμογή του μεσοπρόθεσμου διλήμματος των φυλακισμένων για το περιβάλλον σε παίγνιο της κότας και απαιτούμενες συνθήκες	70
Πίνακας 18: Παράδειγμα αναπαράστασης παιγνίου δύο παικτών με μορφή μήτρας..	103
Πίνακας 19: Δομή πίνακα πληρωμών σε παίγνιο μηδενικού αθροίσματος δύο παικτών	105
Πίνακας 20: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-}\min$ (1).....	107
Πίνακας 21: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-}\min$ (2).....	108
Πίνακας 22: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-}\min$ (3).....	108

Πίνακας 23: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-min}$ (4).....	109
Πίνακας 24: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-min}$ (1).....	110
Πίνακας 25: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-min}$ (2).....	111
Πίνακας 26: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-min}$ (3).....	111
Πίνακας 27: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max\text{-min}$ (4).....	112
Πίνακας 28: Το Δίλημμα των φυλακισμένων	116

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Μηνιαία παγκόσμια συγκέντρωση CO ₂ 2012 - 2016 (ESLR, 2016).....	25
Σχήμα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία τεχνολογίας 1990-2040 (IEA, 2016) 50	
Σχήμα 3: Σχέδιο διατήρησης εκπομπών CO ₂ σε επίπεδο 7 GtC/y (Pascala, 2004)	63
Σχήμα 4: Παράδειγμα αναπαράστασης παιγνίου με μορφή δένδρου (Ross, 2016)	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική έρευνα διενεργήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος του Τμήματος Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών “Ενέργεια Στρατηγική, Δίκαιο και Οικονομία” και έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση εφαρμογών της Θεωρίας Παιγνίων σε ζητήματα που αφορούν την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Ειδικότερα, εξετάζει τη χρησιμότητά της ως εργαλείο ανάλυσης και αποτίμησης περιβαλλοντικών πολιτικών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ως περιβαλλοντικά προβλήματα χαρακτηρίζονται οι διαταραχές στη γήινη βίοςφαιρα και στο φυσικό περιβάλλον οι οποίες αποδίδονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα (UN, 2016). Τα περιβαλλοντικά προβλήματα, λόγω της φύσης τους, απαιτούν συνεργασία μεταξύ δύο ή περισσότερων κρατών (Susskind, 1994). Οι περιφερειακοί και παγκόσμιοι ρύποι δεν γνωρίζουν τοπικά όρια και εθνικά σύνορα και για τον λόγο αυτό, οι πολιτικές προκλήσεις που συνδέονται με την εφαρμογή μίας συνολικής δέσμης μέτρων αποτελεσματικού κόστους για τον έλεγχο της ρύπανσης είναι πολύ μεγάλες. Επιπρόσθετα, η επιστημονική αβεβαιότητα περιορίζει την αντίληψη για τα περισσότερα από τα περιβαλλοντικά προβλήματα και περιπλέκει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για την εφαρμογή μέτρων με τη μορφή περιβαλλοντικών πολιτικών (Baron, 1998). Διαφορετικοί φορείς έχουν διαφορετική οπτική για τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών προβλημάτων, επομένως έχουν μικρότερη ή μεγαλύτερη προθυμία να προβούν σε συνεργασίες που θα οδηγήσουν σε περιορισμό των επιπτώσεων της φθοράς του φυσικού περιβάλλοντος. Το κόστος της απραξίας είναι μεγάλο συγκρινόμενο με το κόστος της ενδεχόμενης μελλοντικής δράσης σε καθεστώς έκτακτης ανάγκης και δεν πρέπει να αγνοείται, καθώς οι σημερινές δράσεις επιτρέπουν τη διαμόρφωση στρατηγικών που θα έχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τις διαθέσιμες, όσο περιορισμένες και αν είναι, πληροφορίες, (Tietenberg, 1996).

Τα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα αναλύονται και αντιμετωπίζονται μέσω διεθνών περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων, στις οποίες οι συμμετέχοντες αντιπρόσωποι κρατών και αρμόδιοι φορείς συνδιαλέγονται με σκοπό τη λήψη αποφάσεων και τη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών (Barrett, 2003). Εξαιτίας της μεταβλητότητας του ανθρώπινου παράγοντα και των διαφορετικών οπτικών ως προς το μέγεθος ή τη σοβαρότητα των προβλημάτων ελλοχεύει ο κίνδυνος ανεπαρκών, εσφαλμένων ή αναποτελεσματικών αποφάσεων με ενδεχόμενο υψηλό κόστος για την παγκόσμια κοινότητα. Επιτυχές παράδειγμα αντιμετώπισης ενός παγκόσμιου περιβαλλοντικού προβλήματος μέσω διεθνών διαπραγματεύσεων αποτελεί η αντιμετώπιση του φαινομένου της τρύπας του όζοντος, με τις συνεχείς προσπάθειες της διεθνούς κοινότητας της δεκαετία του 1980 και την επιτυχή συμφωνία της Διάσκεψης από την οποία προέκυψε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το 1987 (UNEP, 2016). Λιγότερο επιτυχημένο παράδειγμα προσπάθειας αποτελεί η θέσπιση του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997 για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, το οποίο τελικά δεν υπογράφηκε και δεν εφαρμόστηκε από όλες τις συμμετέχουσες χώρες (UNFCCC, 2014).

Δεδομένης της σοβαρότητας των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων στην παρούσα διπλωματική έρευνα διερευνώνται επιστημονικές μέθοδοι που συμβάλουν στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών που αποσκοπούν στην εξάλειψη ή τον μετριασμό των επιπτώσεών τους. Στο παρελθόν για την ανάλυση και σχεδιασμό περιβαλλοντικών πολιτικών έχουν χρησιμοποιηθεί μοντέλα προερχόμενα από τη διοικητική θεωρία, όπως το θεσμικό, το συστημικό, το πρότυπο διεργασιών ομάδας και το πρότυπο καθαρών ωφελειών (Fiorino, 1995). Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί μία μαθηματική προσέγγιση η οποία παρέχει εργαλεία για την ανάλυση καταστάσεων αλληλεπίδρασης στις οποίες υπάρχει τόσο το στοιχείο της συνεργασίας όσο και το στοιχείο του ανταγωνισμού και της διαμάχης. Τα δύο αυτά στοιχεία αυτά είναι έντονα κατά τη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών, από το στάδιο της διαπραγμάτευσης στο στάδιο της συμφωνίας και της τήρησής της, έως το στάδιο της ανάλυσης και αποτίμησης των ίδιων των πολιτικών. Ενώ συχνά αναφέρεται η Θεωρία Παιγνίων ως χρήσιμο εργαλείο για τις διεθνείς πολιτικές, δεν διερευνάται συχνά περαιτέρω η χρήση συγκεκριμένων παιγνιακών προτύπων για τη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών.

1.2 Δομή εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση εφαρμογών της Θεωρίας Παιγνίων σε ζητήματα που αφορούν το περιβάλλον και ειδικότερα τη χρησιμότητά της ως εργαλείο ανάλυσης και χάραξης περιβαλλοντικών πολιτικών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η δομή που ακολουθείται είναι η ακόλουθη.

Στο Κεφάλαιο 2 επιχειρείται μία συνοπτική επισκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά τη Θεωρία Παιγνίων, το περιβαλλοντικό ζήτημα και τις περιβαλλοντικές πολιτικές. Αρχικά γίνεται αναφορά στη Θεωρία Παιγνίων και παρουσιάζονται τα κυριότερα πεδία εφαρμογής της. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος αναπαράστασης των παιγνίων, οι κατηγορίες των παιγνίων μηδενικού αθροίσματος και των παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος και παρουσιάζεται η έννοια της κυριαρχίας και της ισορροπίας Nash ως προσδιοριστικοί παράγοντες για την επίλυση παιγνιακών μοντέλων. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύεται το σύγχρονο περιβαλλοντικό ζήτημα του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής καθώς και οι προσπάθειες αντιμετώπισης του μέσω της διαμόρφωσης περιβαλλοντικών πολιτικών σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Τέλος, πραγματοποιείται η συσχέτιση της Θεωρίας Παιγνίων ως εργαλείο ανάλυσης και χάραξης περιβαλλοντικών πολιτικών.

Στο Κεφάλαιο 3, αναλύεται η μεθοδολογία μέσω της οποίας θα πραγματοποιηθεί η εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην ανάλυση περιβαλλοντικών πολιτικών που αφορούν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, θέτονται οι βασικές ερευνητικές υποθέσεις και τα κυριότερα ερευνητικά ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η παρούσα έρευνα, ενώ αναφέρονται τα προσδοκώμενα αποτελέσματα.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Αρχικά αναλύονται τα παιγνιακά πρότυπα τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στην περιβαλλοντική διπλωματία κατά τις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις προκειμένου να καταστρωθούν οι βέλτιστες περιβαλλοντικές πολιτικές. Στα πλαίσια αυτά αναγνωρίζονται 25 παιγνιακά πρότυπα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων εξετάζονται εκτενώς. Ακολούθως, παρουσιάζονται μία ειδική εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων που αφορά την ανάλυση των πολιτικών μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η ανάλυση βασίζεται στη διερεύνηση του παιγνιακού πρότυπου του διλήμματος των φυλακισμένων και στις πιθανές λύσεις του, ανάλογα με την οπτική των συμμετεχόντων παικτών για το

περιβαλλοντικό πρόβλημα, το κόστος αντιμετώπισής του και τον χρονικό ορίζοντα στο οποίο εξετάζεται. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθεται η συζήτηση των αποτελεσμάτων της έρευνας.

Στο Κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται μία σύντομη καταληκτική ανασκόπηση των ερευνητικών αποτελεσμάτων και ευρημάτων. Τέλος, παρουσιάζονται οι αδυναμίες και οι περιορισμοί της παρούσας έρευνας καθώς οι μελλοντικές προοπτικές επέκτασής της.

Τέλος, αναλυτικότερη παρουσίαση των βασικών στοιχείων της Θεωρίας Παιγνίων παρατίθεται στο Παράρτημα Α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Επισκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 Εισαγωγή

Ο Αμερικανός φιλόσοφος και οικολόγος Garrett Hardin στο κλασικό άρθρο “The tragedy of the commons” αναφέρεται σε μία σειρά προβλημάτων της ανθρωπότητας τα οποία δεν μπορούν να διευθετηθούν με κλασικές, τεχνοκρατικές προσεγγίσεις (Hardin, 1968). Η θεώρηση του Hardin βασίζεται στο ότι η κοινωνία έχει υιοθετήσει τη θεωρία του Adam Smith (The Wealth of Nations, 1776), σύμφωνα με την οποία ο άνθρωπος επιθυμεί το προσωπικό του όφελος, κατευθυνόμενος από ένα “αόρατο χέρι”, προάγοντας παράλληλα, με αυτόν τον τρόπο, το κοινό καλό. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, προκύπτει ότι κάθε προσωπική απόφαση αποτελεί και την καλύτερη απόφαση για ολόκληρη την κοινωνία. Παρόλα αυτά, κατά την εφαρμογή της θεώρησης αυτής στα προβλήματα του υπερπληθυσμού και της ρύπανσης του περιβάλλοντος, διαπιστώνεται ότι δεν προκύπτουν αποτελέσματα που προάγουν το κοινό καλό, αλλά αντίθετα αυξάνεται ο κίνδυνος για τον πλανήτη και την ανθρωπότητα. Ο Hardin ονομάζει αυτό το φαινόμενο “Τραγωδία των Κοινών”.

Ένα παράδειγμα που επιβεβαιώνει την “τραγωδία των κοινών” στην περίπτωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης είναι το ακόλουθο. Έστω ένας ιδιοκτήτης ενός εργοστασίου το οποίο παράγει μία συγκεκριμένη ποσότητα ρύπων κατά τη λειτουργία του. Το κόστος της έκλυσης ρύπων του εργοστασίου είναι σαφώς μικρότερο από το κόστος μετριασμού των ρύπων πριν αυτοί απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με την κλασική προσέγγιση μεγιστοποίησης του όφελους, μία ορθολογική οντότητα, εν προκειμένω ο ιδιοκτήτης του εργοστασίου, θα επέλεγε ελεύθερα την επιλογή της έκλυσης ρύπων χωρίς προσπάθεια μετριασμού τους επειδή αυτή είναι η οικονομικότερη λύση. Η λύση αυτή σύμφωνα με τη θεώρηση του Adam Smith θα προσφέρει και το μεγαλύτερο όφελος και για το κοινωνικό σύνολο. Στην ίδια επιλογή, με την ίδια λογική διαδικασία θα κατέληγαν και άλλοι ιδιοκτήτες αντίστοιχων εργοστασίων, με αποτέλεσμα σωρευτική ρύπανση και σημαντική επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος. Ακόμα και στην περίπτωση όπου όλοι οι ιδιοκτήτες εργοστασίων γνωρίζουν ότι υπάρχει επιστημονικά τεκμηριωμένος κίνδυνος για το φυσικό περιβάλλον και η ενδεχόμενη κατάληξη σωρευμένης ρύπανσης

θα έχει αρνητικά αποτελέσματα για το κοινωνικό σύνολο, άρα και για τους ίδιους, η φύση του ανθρώπου μπορεί να οδηγήσει σε απόρριψη του μηνύματος λήψης μέτρων περιορισμού της ρύπανσης. Σύμφωνα με τη θεωρία της “διπλής δέσμευσης” (double bind) κάθε άνθρωπος λαμβάνει παράλληλα με το αρχικό ζητούμενο μήνυμα ένα ακούσιο μήνυμα που λέει ότι “αν κάνεις αυτό που σου ζητάμε, μυστικά θα θεωρείσαι ένας αφελής που παραμερίζει τον εαυτό του ενώ οι υπόλοιποι εκμεταλλεύονται τα κοινά” (Bateson, 1972). Το παραπάνω παράδειγμα καταδεικνύει ότι ούτε η απαγόρευση, ούτε η πίστη στην ατομική πρωτοβουλία, αλλά ούτε και οι κλήσεις για εγκράτεια είναι επαρκείς για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Η αντιμετώπιση ενός περιβαλλοντικού προβλήματος πραγματοποιείται σε τρία βήματα. Αρχικά είναι απαραίτητο να αναγνωριστεί το πρόβλημα, να πιστοποιηθεί επιστημονικά η ύπαρξή του, να αναλυθούν οι επιπτώσεις του και όλες οι παράμετροι επίλυσης του προβλήματος να γίνουν κατανοητές στους αρμόδιους φορείς. Στη συνέχεια, προκειμένου να εξαλειφθούν ή να μετριαστούν οι επιπτώσεις του προβλήματος, είναι απαραίτητο να θεσπιστούν κατάλληλες νομοθεσίες, πολιτικές, οι οποίες θα πρέπει να είναι ουσιαστικές, αποσκοπώντας στην αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος, αλλά και εφικτές, δηλαδή θα πρέπει να μπορούν να τηρηθούν σε βάθος χρόνου από τα εμπλεκόμενα μέρη χωρίς να δημιουργούν διακρίσεις μεταξύ τους. Τέλος, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν συνολικά οι πολιτικές αυτές, να παρακολουθείται στενά η τήρησή τους και να αναπροσαρμόζονται όταν κρίνεται απαραίτητο, αξιοποιώντας κάθε καινούρια διαθέσιμη πληροφορία.

Στα πλαίσια διερεύνησης και εφαρμογής διαφόρων επιστημονικών εργαλείων για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων μέσω περιβαλλοντικών πολιτικών, η παρούσα έρευνα εστιάζει στην εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων, κατά το στάδιο της δημιουργίας των περιβαλλοντικών πολιτικών, σε επίπεδο διαπραγματεύσεων και κατά το στάδιο της αξιολόγησής τους, διερευνώντας την πιθανότητα αποτελεσματικής εφαρμογής τους. Προκειμένου να παρουσιαστεί η εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην ανάλυση και αποτίμηση περιβαλλοντικών πολιτικών με έμφαση στις περιβαλλοντικές πολιτικές μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, κρίνεται απαραίτητο αρχικά να αναλυθούν οι βασικές έννοιες καθώς και οι βασικές μεθοδολογίες της Θεωρίας Παιγνίων, στις οποίες θα βασιστεί η ανάλυση που επιχειρείται στην παρούσα έρευνα.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στη Θεωρία Παιγνίων και παρουσιάζονται τα κυριότερα πεδία εφαρμογής της. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος αναπαράστασης των παιγνίων, οι κατηγορίες των παιγνίων μηδενικού αθροίσματος και των παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος και παρουσιάζεται η έννοια της κυριαρχίας και της ισορροπίας Nash ως προσδιοριστικοί παράγοντες για την επίλυση παιγνιακών μοντέλων. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύεται το σύγχρονο περιβαλλοντικό ζήτημα του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής καθώς και οι προσπάθειες αντιμετώπισής του μέσω της διαμόρφωσης περιβαλλοντικών πολιτικών σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Τέλος, πραγματοποιείται η συσχέτιση της Θεωρίας Παιγνίων ως εργαλείο ανάλυσης και χάραξης περιβαλλοντικών πολιτικών.

2.2 Παιγνιοθεωρητικά μοντέλα

Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί τη μελέτη των ανθρώπινων συγκρούσεων και της ανθρώπινης συνεργασίας σε συνθήκες ανταγωνισμού και έχει ως σκοπό την εξέταση της συμπεριφοράς των ορθολογικά σκεπτόμενων ανθρώπων όταν συνεργάζονται ή όταν οι ενέργειες τους επιδρούν στις ενέργειες και στις αποφάσεις των άλλων (Aumann, 2008). Η Θεωρία Παιγνίων βασίζεται σε τρεις έννοιες: α) ατομικισμός, β) ορθολογικότητα και γ) αλληλεξάρτηση (Romp, 1997). Ο έννοια του ατομικισμού υποδηλώνει την πρόθεση κάθε παίκτη να εξυπηρετήσει τα ατομικά συμφέροντά του και να μην έρθει σε συνεργασία με τους υπόλοιπους παίκτες, παρά μόνο εάν αυτή η επιλογή είναι σύμφωνη με το προσωπικό του συμφέρον. Η ορθολογικότητα αναφέρεται στην παραδοχή ότι οι παίκτες είναι θεμελιωδώς ορθολογικοί και είναι ικανοί να προσδιορίσουν τα πιθανά αποτέλεσμα των πράξεων τους καθώς και να τα ταξινομήσουν σε σειρά προτίμησης. Η αλληλεπίδραση, τέλος, αναφέρεται σε καταστάσεις όπου οι πιθανές δράσεις των παικτών είναι αμοιβαία εξαρτημένες, σε καταστάσεις δηλαδή όπου το όφελος του κάθε παίκτη εξαρτάται έστω και μερικώς από τις κινήσεις των άλλων παικτών.

2.2.1 Πεδία εφαρμογής Θεωρίας Παιγνίων

Η Θεωρία Παιγνίων εξετάζει προβλήματα αποφάσεων στα οποία δύο ή περισσότεροι λήπτες αποφάσεων έχουν να επιλέξουν ανάμεσα σε εναλλακτικές στρατηγικές προκειμένου να μεγιστοποιήσουν το όφελός τους, έχοντας ορθολογική συμπεριφορά (Paravantis, 2016). Επομένως, η Θεωρία Παιγνίων καλύπτει ένα πολύ ευρύ φάσμα

εφαρμογών, το οποίο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρία γενικά πεδία: α) την καθημερινότητα, β) τις επιχειρήσεις και την οικονομία, και γ) την πολιτική σκηνή και τις διεθνείς σχέσεις (Dixit, 2008). Οι καθημερινές ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις μπορούν να αναλυθούν με τη βοήθεια της Θεωρίας Παιγνίων, με πρότυπο τέσσερα βασικά Παίγνια: Coordination Game, Chicken Game, Battle of the Sexes Game και Prisoner's Dilemma (Stevens, 2008· Miller, 2003). Στο πεδίο της οικονομίας και των επιχειρήσεων, η Θεωρία Παιγνίων χρησιμοποιείται ευρύτατα. από την ανάλυση αγορών (Brandenburger, 1996) έως την εξέταση στρατηγικών επαγγελματικής ανέλιξης (Dixit, 2008· Fisher, 1999). Τέλος, στο πιο πρόσφατο από τα τρία πεδία, βρίσκει εφαρμογή στην πολιτική και τη διεθνή διπλωματία (Schelling, 1980· McCain, 2004· Paravantis, 2016).

2.2.2 Τρόποι αναπαράστασης παιγνίων

Ένα παίγνιο, προκειμένου να καταστρωθεί και στη συνέχεια να επιλυθεί, πρέπει να αναπαρασταθεί πρώτα σε πλήρη, ευκρινή και κατανοητή μορφή, διευκολύνοντας τη διαδικασία ανάλυσης. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι αναπαράστασης των παιγνίων: α) η αναπαράσταση με μορφή μήτρας και β) η αναπαράσταση με μορφή δέντρου (Rasmusen, 2001).

Μορφή μήτρας (στρατηγική μορφή)

Η μορφή μήτρας, γνωστή και ως κανονική μορφή ή στρατηγική μορφή, είναι η πιο συνηθισμένη μορφή αναπαράστασης ενός παιγνίου. Στη Θεωρία Παιγνίων, ως στρατηγικές, αναφέρονται οι κανόνες, οι οποίοι ορίζουν ποια από τις δυνατές επιλογές που έχει στη διάθεσή του ο κάθε παίκτης πρέπει να ακολουθήσει μέχρι το τέλος του παιχνιδιού. Ζητούμενο της αναπαράστασης είναι επομένως οι στρατηγικές του κάθε παίκτη και τα αποτελέσματα, δηλαδή οι απολαβές, που προκύπτουν από κάθε συνδυασμό στρατηγικών. Στην απλή περίπτωση παιγνίου δύο παικτών, η υλοποίηση αυτή μπορεί να γίνει με τη μορφή πίνακα, όπου σε κάθε γραμμή του υπάρχει η στρατηγική του παίκτη 1 και σε κάθε στήλη του η στρατηγική του παίκτη 2. Στην περίπτωση που υπάρχουν N παίκτες, η αναπαράσταση του παιγνίου γίνεται είτε με πίνακα μεγαλύτερων διαστάσεων είτε με N πίνακες διαστάσεων $2 \cdot 2$. Η κανονικής μορφής αναπαράσταση ενός παιγνίου προσδιορίζει τους παίκτες του παιγνίου, τις στρατηγικές που διαθέτει ο κάθε παίκτης και την απολαβή που λαμβάνει κάθε παίκτης για κάθε συνδυασμό στρατηγικών που μπορούν να επιλέξουν οι παίκτες. Στα παίγνια στρατηγικής μορφής οι στρατηγικές των παικτών

ασκούνται ταυτόχρονα από όλους τους παίκτες ή θεωρείται ότι επιλέγονται σε νεκρό χρόνο πριν την έναρξη διεξαγωγής του παίγνιου. Επομένως η μορφή αυτή αναπαράστασης είναι στατική και οι στρατηγικές των παικτών δεν επηρεάζονται από τις κινήσεις των άλλων παικτών (Ross, 2016).

Μορφή δέντρου (αναλυτική μορφή)

Η αναλυτική μορφή, γνωστή και ως εκτεταμένη μορφή ή μορφή δένδρου, είναι η μορφή αναπαράστασης ενός παιγνίου στην οποία εμφανίζονται όλες οι λεπτομέρειες της αλληλεπίδρασης των παικτών, δηλαδή όλοι οι παίκτες που συμμετέχουν στο παίγνιο (ένας από τους παίκτες μπορεί να είναι και η τύχη ή η φύση), όλες οι κινήσεις των παικτών (οι επιλογές κάθε παίκτη κάθε φορά που καλείται να λάβει αποφάσεις), η σειρά με την οποία μπορεί να λάβει τις αποφάσεις του κάθε παίκτης, η πληροφόρηση που έχει κάθε παίκτης όταν λαμβάνει μία απόφαση, καθώς και οι απολαβές κάθε “παρτίδας”.

Ως παρτίδα νοείται το σύνολο που αποτελείται από τις πιθανές κινήσεις των παικτών σε ακολουθία, από την αρχή του παιγνίου μέχρι το σημείο, στο οποίο τερματίζεται το παιχνίδι και ο κάθε παίκτης παίρνει την αντίστοιχη απολαβή. Στα παίγνια εκτεταμένης μορφής, οι στρατηγικές των παικτών διαμορφώνονται δυναμικά κατά τη διεξαγωγή του παίγνιου, σύμφωνα με τις κινήσεις των άλλων παικτών. Η αναλυτική μορφή είναι χρήσιμη για την αναπαράσταση παιγνίων στα οποία οι παίκτες έχουν πληροφόρηση σχετικά με τις αποφάσεις των αντιπάλων τους. Σε αντίθεση με την κανονική μορφή όπου οι διαθέσιμες επιλογές είναι και οι στρατηγικές των παικτών, στην εκτεταμένη μορφή οι στρατηγικές είναι περισσότερο σύνθετες και συχνά πολύπλοκες (Ross, 2016).

2.2.3 Παίγνια δύο παικτών μηδενικού αθροίσματος

Το πιο απλό παίγνιο που απαντάται στη Θεωρία Παιγνίων είναι το παίγνιο μηδενικού αθροίσματος (zero sum game) με δύο παίκτες. Στο παίγνιο αυτό όταν ο ένας παίκτης κερδίζει, τότε ο άλλος παίκτης χάνει, και η ωφέλεια του ενός παίκτη ισούται με την ζημία του άλλου παίκτη (Stevens, 2008). Σε αυτή την κατηγορία παιγνίων το άθροισμα αποτελεσμάτων είναι ίσο με το μηδέν και κατά την αναπαράστασή τους σε στρατηγική μορφή δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται δύο αριθμοί, για τον προσδιορισμό των απολαβών των παικτών γιατί ουσιαστικά ό,τι κερδίζει ο ένας παίκτης το χάνει ο άλλος.

Ο κάθε παίκτης, κατά την επίλυση του παιγνίου, μπορεί να ακολουθήσει αμιγή ή μικτή στρατηγική.

Τα παίγνια μηδενικού αθροίσματος αποτελούν υποκατηγορία της γενικής κατηγορίας παιγνίων δύο παικτών σταθερού αθροίσματος, στα οποία το άθροισμα των ανταμοιβών των παικτών είναι μια σταθερά c (θετική ή αρνητική). Όταν η τιμή της σταθεράς c είναι θετικός αριθμός, τότε οι παίκτες μοιράζονται κάποια ανταμοιβή, ενώ όταν είναι αρνητικός αριθμός οι παίκτες μοιράζονται κάποιο κόστος. Τα παίγνια μηδενικού αθροίσματος είναι η ειδική περίπτωση των παιγνίων σταθερού αθροίσματος όπου ισχύει $c = 0$.

Απαραίτητο εργαλείο για την επίλυση παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος αποτελεί ο πίνακας απολαβών (γνωστός και ως πίνακας αποτελεσμάτων ή πίνακας πληρωμών), στον οποίο αναπαρίστανται οι ακριβείς απολαβές, οι οποίες προκύπτουν από κάθε δυνατό συνδυασμό στρατηγικών των δύο παικτών. Προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη στρατηγική που πρέπει να επιλέξει ο κάθε παίκτης σε ένα παίγνιο μηδενικού αθροίσματος γίνεται χρήση της μεθόδου των κριτηρίων *maxi-min* ή *mini-max*, απαλείφοντας διαδοχικά τις υποδεέστερες στρατηγικές από τον πίνακα απολαβών (Stevens, 2008· Leyton-Brown, 2008).

2.2.3.1 Επίλυση με αμιγή στρατηγική *maxi-min* και *mini-max*

Σε ένα παίγνιο δύο παικτών (παίκτης A, παίκτης B), αντικειμενικός σκοπός του παίκτη A είναι η επίτευξη του μέγιστου κέρδους. Για αυτό το λόγο ο παίκτης A θα ακολουθεί πάντα στρατηγική *maxi-min*, δηλαδή θα επιλέγει το μέγιστο (*maximum*) των ελαχίστων (*minimum*) στοιχείων των σειρών από τον πίνακα απολαβών. Αντίστοιχα, αντικειμενικός σκοπός του παίκτη B είναι η ελάχιστη ζημία. Έτσι, ο παίκτης B θα ακολουθεί στρατηγική *mini-max*, δηλαδή θα επιλέγει πάντα το ελάχιστο (*minimum*) των μεγίστων (*maximum*) στοιχείων των στηλών του πίνακα απολαβών. Εάν σε ένα παίγνιο το στοιχείο του πίνακα απολαβών της στρατηγικής *maxi-min* είναι το ίδιο με το στοιχείο της στρατηγικής *mini-max*, το στοιχείο αυτό ονομάζεται σημείο ισορροπίας ή σαγματικό στοιχείο (*saddle point*) και δίνει την τιμή λύσης του παιγνίου, που συμβολίζεται με V , δηλαδή:

$$V = \max_i \min_j = \min_j \max_i, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Το σημείο ισορροπίας σε ένα παίγνιο, εφόσον υπάρχει, είναι πάντα το μικρότερο στοιχείο της σειράς και το μεγαλύτερο στοιχείο της στήλης στην οποία ανήκει. Σημείο ισορροπίας υπάρχει όταν κανένας από τους παίκτες δεν επιθυμεί να αλλάξει τη στρατηγική του, ακόμα και όταν γνωρίζει τη στρατηγική του αντιπάλου του. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις παιγνίων δύο παικτών μηδενικού αθροίσματος όπου το στοιχείο $\max_i \min_j = a_{ij}$ δεν είναι ίδιο με το στοιχείο $\max_j \min_i = a_{ij}$. Τότε δεν υπάρχει σημείο ισορροπίας, δηλαδή δεν επιτυγχάνεται σταθερή λύση με τη χρήση αμιγών στρατηγικών και θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μικτές στρατηγικές οι οποίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Μία στρατηγική είναι υποδεέστερη μίας άλλης, η οποία ονομάζεται υπερέχουσα ή κυρίαρχη, όταν η κυρίαρχη στρατηγική είναι τουλάχιστον τόσο “καλή” όσο και η υποδεέστερη, έχει δηλαδή μεγαλύτερη ή ίση τιμή της συνάρτησης απολαβής συγκριτικά με τις εναλλακτικές στρατηγικές.

2.2.3.2 Επίλυση με μικτή στρατηγική $\max\text{-min}$ και $\min\text{-max}$

Σε ορισμένα παίγνια δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί σημείο ισορροπίας μέσω της χρήσης αμιγών στρατηγικών. Σε αυτά τα παίγνια μπορεί να βρεθεί σταθερή λύση, δηλαδή σημείο ισορροπίας, μόνο εάν οι παίκτες ακολουθήσουν μικτές στρατηγικές, δηλαδή αν επιλέξουν τις εναλλακτικές στρατηγικές τους με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας (Leyton-Brown, 2008). Κάθε παίκτης ακολουθεί τις στρατηγικές του με βάση κάποια κατανομή πιθανοτήτων κατά τρόπο ώστε να μεγιστοποιεί το ελάχιστο προσδοκώμενο κέρδος του (ή να ελαχιστοποιεί τη μέγιστη προσδοκώμενη ζημιά του), ανεξάρτητα από τις επιλογές του αντιπάλου του. Η κατανομή πιθανοτήτων με βάση την οποία επιλέγει τις στρατηγικές του, ονομάζεται μικτή ή τυχαία $\max\text{-min}$ ($\min\text{-max}$) στρατηγική.

Οι εναλλακτικοί τρόποι με τους οποίους κάθε παίκτης παίζει το παίγνιο συμβολίζονται με διανύσματα πιθανοτήτων (x_1, x_2, \dots, x_m) , (y_1, y_2, \dots, y_n) και είναι οι μικτές στρατηγικές, όπου x_i είναι η πιθανότητα ο παίκτης A να εφαρμόσει τη στρατηγική A_i και y_j είναι η πιθανότητα ο παίκτης B να εφαρμόσει τη στρατηγική B_j . Για τις πιθανότητες x_i και y_j ισχύει:

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1, \sum_{j=1}^n y_j = 1 \quad (2)$$

Όταν εφαρμόζονται οι μικτές στρατηγικές, σύμφωνα με το κριτήριο $\min\text{-max}$, για κάθε παίκτη υπάρχει πάντα μία άριστη μικτή στρατηγική, που οδηγεί σε μια σταθερή λύση

(σαγματικό σημείο), από το οποίο κανείς δεν θέλει να μετακινηθεί, δηλαδή κανένας παίκτης δεν μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω τη θέση του κατά την απόκλιση από αυτή τη λύση. Στην περίπτωση αυτή συμβολίζουμε με $V(A)$ το προσδοκώμενο κέρδος του παίκτη A , $V(B)$ την προσδοκώμενη ζημιά του παίκτη B , οπότε το σημείο ισορροπίας V προσδιορίζεται ως:

$$V(A) = V(B) = V \quad (3)$$

όπου το σημείο ισορροπίας V για τις άριστες μικτές στρατηγικές ονομάζεται αναμενόμενη τιμή του παιγνίου και ισχύει η εξής σχέση:

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i y_j \quad (4)$$

Χαρακτηριστικό παράδειγμα παίγνιου με μικτή στρατηγική αποτελεί το παίγνιο κορώνα γράμματα στο οποίο η λύση είναι η μικτή στρατηγική $1/2$, κατά την οποία ο κάθε παίκτης με 50% πιθανότητα διαλέγει κάθε φορά κορώνα ή γράμματα. Κανείς από τους δύο παίκτες δε μπορεί να θεωρηθεί ότι κάνει μία καλή ή κακή κίνηση όταν το παίγνιο παίζεται μία μόνο φορά. Όταν όμως το παίγνιο επαναληφθεί αρκετές φορές, οι παίκτες μπορούν να χαράξουν κάποια στρατηγική που θα τους εξασφαλίσει συγκριτικό πλεονέκτημα (Stevens, 2008).

2.2.4 Παίγνια δύο παικτών μη μηδενικού αθροίσματος

Τα παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος (non-zero sum games), ανεξαρτήτως πολυπλοκότητας, σε αντίθεση με τα παίγνια μηδενικού και σταθερού αθροίσματος, σπάνια έχουν κοινά αποδεκτή λύση (Leyton-Brown, 2008). Αυτό συμβαίνει επειδή αφενός δεν υπάρχει κάποια στρατηγική που να υπερέχει ξεκάθαρα έναντι των υπολοίπων, ώστε να μπορεί να χαρακτηριστεί βέλτιστη, αφετέρου επειδή τα οφέλη των παικτών συχνά δεν είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθούν και να προσδιοριστούν με ακρίβεια. Γενικά, σε ένα παίγνιο δύο παικτών υπάρχουν τόσο ανταγωνιστικά στοιχεία όσο και στοιχεία συνεργασίας των δύο πλευρών, καθώς τα συμφέροντα των παικτών μπορεί να είναι άλλοτε αντικρουόμενα και άλλοτε κοινά.

Τα παίγνια στα οποία υπάρχουν κοινά συμφέροντα, χαρακτηρίζονται ως παίγνια πλήρους συνεργασίας ή συνεργατικά παίγνια (cooperative games) (Perlo-Freeman, 2006). Στα παίγνια αυτού του είδους οι δύο παίκτες έχουν μόνο κοινά συμφέροντα. Τέτοια περίπτωση είναι για παράδειγμα ο κυβερνήτης ενός αεροπλάνου και ο συντονιστής του

πύργου ελέγχου, οι οποίοι ουσιαστικά “παίζουν” ένα παίγνιο πλήρους συνεργασίας με ένα κοινό στόχο, την ασφαλή προσγείωση του αεροπλάνου. Η επίλυση αυτών των παιγνίων είναι σχετικά εύκολη και απαιτεί τον αποδοτικό συνδυασμό των κινήσεων των δύο παικτών. Υπάρχουν ωστόσο και καταστάσεις, στις οποίες οι δύο παίκτες έχουν κοινά συμφέροντα, παρότι αυτά δεν είναι ορατά εκ πρώτης όψεως. Για παράδειγμα, για δύο κράτη που βρίσκονται σε εμπόλεμη κατάσταση, κοινό συμφέρον μπορεί να αποτελεί η κατάπαυση του πυρός ανεξαρτήτως της μεταξύ τους διαμάχης.

Τα παίγνια που συνδυάζουν ανταγωνιστικά στοιχεία και στοιχεία συνεργασίας είναι κατά κανόνα πιο πολύπλοκα, αλλά και πιο ενδιαφέροντα καθώς συναντώνται πολύ πιο συχνά στην καθημερινή ζωή (Perlo-Freeman, 2006). Τέτοια περίπτωση αποτελούν ένας πωλητής αυτοκινήτων που διαπραγματεύεται με έναν πελάτη, όπου και οι δύο επιθυμούν την ολοκλήρωση της αγοραπωλησίας, ανταγωνίζονται παρόλα αυτά όσον αφορά το αντίτιμο. Άλλη παρόμοια περίπτωση μπορεί να αποτελεί η συγχώνευση δύο τραπεζών όπου και οι δύο τράπεζες έχουν συμφέρον από τη συγχώνευση αλλά διαπραγματεύονται όσον αφορά τους όρους της. Σε όλες τις περιπτώσεις παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος, τα κίνητρα των δύο παικτών είναι πολύπλευρα και για αυτόν τον λόγο παρουσιάζουν μεγάλη συσχέτιση με την πραγματικότητα και βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές τόσο σε εκφάνσεις της καθημερινότητας όσο και σε πληθώρα επιστημονικών πεδίων.

Η λήψη αποφάσεων στα παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος γίνεται με τον κανόνα της ορθολογικότητας, σύμφωνα με τον οποίο κάθε παίκτης αποσκοπεί στο μέγιστο δυνατό όφελος, δηλαδή τα οφέλη των παικτών είναι ανεξάρτητα και έτσι οι δύο παίκτες λαμβάνουν τις αποφάσεις τους βάσει του ατομικού τους οφέλους. Επομένως, ο κάθε παίκτης αποφασίζει για τη στρατηγική που θα ακολουθήσει, αδιαφορώντας για το όφελος ή τη ζημία του αντιπάλου του. Στόχος και των δύο παικτών είναι η μεγιστοποίηση του ατομικού τους οφέλους, συνεπώς και οι δύο θα ακολουθήσουν *maxi-min* στρατηγικές. Το ζεύγος τιμών που θα προκύψει από τις *maxi-min* στρατηγικές των δύο παικτών, ονομάζεται αμιγές ζεύγος τιμών του παιγνίου.

Στα παίγνια δύο παικτών μη μηδενικού αθροίσματος ο παίκτης Α έχει στρατηγικές που προέρχονται από το σύνολο $M = \{1, \dots, m\}$ και ο παίκτης Β έχει στρατηγικές από το σύνολο $N = \{1, \dots, n\}$ ή $N = \{m + 1, \dots, m + n\}$, ούτως ώστε να μη χρειάζεται να

προσδιορίζεται σε ποιον παίκτη ανήκει η κάθε στρατηγική. Μία μικτή στρατηγική αναπαρίσταται με ένα διάνυσμα στήλης m στοιχείων για τον παίκτη A και n στοιχείων για τον παίκτη B.

Τα κέρδη του κάθε παίκτη αναπαρίστανται σε δύο πίνακες A και B μεγέθους $m \times n$ όπου οι γραμμές αντιστοιχούν στις καθарές στρατηγικές του παίκτη A και οι στήλες αντιστοιχούν στις καθарές στρατηγικές του παίκτη B. Για τον παίκτη A το στοιχείο $A(i,j)$ αντιπροσωπεύει το κέρδος του A αν παίξει τη στρατηγική $i \in M$ και ο παίκτης B παίξει τη στρατηγική $j \in N$. Αντίστοιχα το κέρδος του παίκτη B για αυτή τη στρατηγική αντιστοιχεί στο στοιχείο $B(i,j)$. Ένα τέτοιο παίγνιο μπορεί απλά να προσδιοριστεί ως (A, B) .

Έστω X το σύνολο όλων των δυνατών κατανομών πιθανότητας των στρατηγικών του παίκτη A και Y το σύνολο των κατανομών πιθανότητας για τον παίκτη B. Με $x \in X$ συμβολίζεται μια μικτή στρατηγική του παίκτη A και με $y \in Y$ μια μικτή στρατηγική του παίκτη B. Έτσι ότι το x είναι ένα διάνυσμα m θέσεων $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ και το y ένα διάνυσμα n θέσεων $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. Για τις πιθανότητες x_i και y_j ισχύει:

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1 \text{ και } \sum_{j=1}^n y_j = 1 \quad (5)$$

Όπως και στην περίπτωση των παιγνίων μηδενικού αθροίσματος, έτσι και στην περίπτωση παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος με μικτή στρατηγική, το αναμενόμενο κέρδος του κάθε παίκτη εξαρτάται τόσο από τον τρόπο κατανομής των πιθανοτήτων πάνω στις δικές του στρατηγικές, όσο και από την επιλογή της κατανομής των πιθανοτήτων του αντιπάλου. Για την κατανόηση της κλασικής μορφής ενός παιγνίου μη μηδενικού αθροίσματος παρουσιάζεται ως παράδειγμα το δημοφιλές παίγνιο “δίλημμα των φυλακισμένων” (Prisoner’s Dilemma).

2.2.4.1 Δίλημμα φυλακισμένων

Το δίλημμα των φυλακισμένων είναι το πιο ευρέως γνωστό παίγνιο της Θεωρίας Παιγνίων. Δημιουργοί του υπήρξαν οι Merrill Flood και Melvin Dresher το 1950, όταν και εργάζονταν για τη RAND, μία επιστημονική, μη κερδοσκοπική οργάνωση που αρχικά προσέφερε τις υπηρεσίες της στις ένοπλες δυνάμεις των Η.Π.Α. Στη συνέχεια ο Albert W. Tucker μορφοποίησε το πρόβλημα χρησιμοποιώντας πίνακες απολαβών και του έδωσε την τελική μορφή το 1992, αποδίδοντάς του παράλληλα και την ονομασία

“Prisoner’s Dilemma” (PD, 2013). Το δίλημμα των φυλακισμένων αποτελεί ειδική περίπτωση της ευρύτερης κατηγορίας παιγνίων που αναπαριστούν κοινωνικά διλήμματα (social dilemmas) στα οποία η συνεργατική λύση δεν μπορεί να επιλεγεί παρότι είναι η καλύτερη για το κοινωνικό σύνολο.

Το παίγνιο περιγράφεται ως εξής: “Δύο ύποπτοι συλλαμβάνονται και κατηγορούνται για ένα έγκλημα. Η αστυνομία δεν διαθέτει επαρκή στοιχεία για να τους καταδικάσει, εκτός και αν τουλάχιστον ένας από τους δύο ομολογήσει. Η αστυνομία κρατά τους υπόπτους σε ξεχωριστά κελιά και τους εξηγεί τις επιπτώσεις που θα έχουν οι πιθανές πράξεις τους. Αν κανείς τους δεν ομολογήσει, τότε και οι δύο θα καταδικαστούν για ένα πταίσμα και θα τους απαγγελθεί ένας μήνας φυλάκιση. Αν ομολογήσουν και οι δύο, τότε και οι δύο θα καταδικαστούν σε έξι μήνες φυλάκιση. Τέλος αν ομολογήσει ο ένας αλλά ο άλλος όχι, τότε αυτός που ομολόγησε θα απελευθερωθεί αμέσως, όμως ο άλλος θα καταδικαστεί σε εννέα μήνες φυλάκιση”.

Η μοντελοποίηση του προβλήματος ως στρατηγικό παίγνιο έχει τα ακόλουθα στοιχεία: οι παίκτες A και B είναι οι δύο ύποπτοι, οι ενέργειες κάθε παίκτη είναι το σύνολο των ενεργειών {Ομολογεί, Δεν Ομολογεί}, οι προτιμήσεις για τον κάθε ύποπτο είναι αυτές που διαμορφώνονται στον επόμενο πίνακα απολαβών, όπου οι δύο γραμμές αντιστοιχούν στις δύο δυνατές ενέργειες του παίκτη A, οι δύο στήλες αντιστοιχούν στις δύο δυνατές ενέργειες του παίκτη B και οι αριθμοί στα κελιά είναι οι απολαβές των παικτών, οι οποίοι εκφράζουν τους μήνες φυλάκισης.

Πίνακας 1: Το δίλημμα των φυλακισμένων

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β	
		Στρατηγικές	Δεν Ομολογεί
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Δεν Ομολογεί	(-1, -1)	(-9, 0)
	Ομολογεί	(0, -9)	(-6, -6)

Για την επίλυση του προβλήματος λαμβάνεται υπόψη ότι ένας ορθολογικός παίκτης δεν θα επιλέξει ποτέ να παίξει μια αυστηρά κυριαρχούμενη στρατηγική. Αν ο ένας ύποπτος πρόκειται να επιλέξει την επιλογή “Ομολογεί”, τότε ο άλλος ύποπτος θα προτιμούσε να επιλέξει την επιλογή “Ομολογεί”, ώστε να βρεθεί στη φυλακή για έξι μήνες αντί για εννέα

μήνες στην περίπτωση που επιλέξει την επιλογή “Δεν Ομολογεί”. Αντίστοιχα, αν ένας ύποπτος πρόκειται να επιλέξει την επιλογή “Δεν Ομολογεί”, τότε ο άλλος θα προτιμούσε να επιλέξει την επιλογή “Ομολογεί”, και έτσι να απελευθερωθεί αμέσως αντί να επιλέξει την επιλογή “Δεν Ομολογεί”, και να βρεθεί στη φυλακή για ένα μήνα. Έτσι για τον κρατούμενο i η επιλογή “Δεν Ομολογεί” κυριαρχείται από την επιλογή “Ομολογεί”. Αυτό συμβαίνει γιατί για κάθε στρατηγική που θα μπορούσε να επιλέξει ο κρατούμενος j , το όφελος του κρατούμενου i από την επιλογή “Δεν Ομολογεί” είναι μικρότερο του οφέλους του υπόπτου i από την επιλογή “Ομολογεί”. Επομένως ένας ορθολογικός παίκτης θα επιλέξει την ενέργεια “Ομολογεί” και το (Ομολογεί, Ομολογεί) θα είναι το αποτέλεσμα στο οποίο θα καταλήξουν οι δύο ορθολογικοί παίκτες, παρόλο που το αποτέλεσμα (Ομολογεί, Ομολογεί) καταλήγει και για τους δύο παίκτες σε χαμηλότερα οφέλη από το αποτέλεσμα (Δεν Ομολογεί, Δεν Ομολογεί).

Η βασική θεώρηση του προβλήματος παρουσιάζει τη διαμάχη ανάμεσα στην ατομική και την συλλογική ορθολογικότητα (PD, 1997). Μία ομάδα, τα μέλη της οποίας επιδιώκουν ορθολογικά το ατομικό τους συμφέρον, μπορεί να καταλήξει σε χειρότερα αποτελέσματα από τις επιλογές της συγκριτικά με μία ομάδα τα μέλη της οποίας δεν επιδιώκουν το ατομικό τους συμφέρον. Γενικότερα, εάν οι απολαβές της ομάδας λαμβάνουν υπόψη το κοινό συμφέρον αντί για το ατομικό συμφέρον των μελών, τότε τα μέλη της ομάδας ενδέχεται να πετύχουν αποτελεσματικότερα τους στόχους τους στην περίπτωση που δεν ακολουθήσουν τους ατομικούς τους στόχους με ορθολογικό τρόπο. Επομένως το δίλημμα των φυλακισμένων τόσο στην απλή μορφή του όσο και στις εκδοχές του με πολλούς παίκτες εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου είναι δύσκολο να συνεργαστούν για το κοινό καλό ορθολογικοί ατομικιστές παίκτες.

Η σύγχρονη βιβλιογραφία εστιάζει σε μεγάλο βαθμό στην αναγνώριση των συνθηκών υπό τις οποίες οι παίκτες θα επέλεγαν τη συνεργατική λύση (Δεν Ομολογεί, Δεν Ομολογεί) (Perlo-Freeman, 2006). Μία ελαφρώς διαφοροποιημένη ερμηνεία του παίγνιου δίνει τη δυνατότητα της εξέτασης των επιλογών ανάμεσα στην εγωιστική συμπεριφορά και τον κοινωνικό αλτρουισμό, καθώς η επιλογή του δρώντα παίκτη “Δεν Ομολογεί” ωφελεί πάντοτε τον άλλο παίκτη, ανεξάρτητα από τις επιλογές του άλλου παίκτη, ενώ η επιλογή “Ομολογεί” από τον δρώντα παίκτη ωφελεί πάντοτε τον εαυτό του, ανεξάρτητα από τις επιλογές του άλλου παίκτη. Η επιλογή του να ωφελεί κανείς τον εαυτό του δεν είναι πάντοτε σωστή και η επιλογή του να ωφελεί κανείς πάντοτε τους

άλλους εις βάρος του ατομικού του συμφέροντος, δεν είναι πάντοτε ηθικά απαραίτητη, αλλά στο Δίλημμα των φυλακισμένων το καλύτερο αποτέλεσμα και για τους δύο παίκτες είναι αυτό που προκύπτει από την ταυτόχρονα αλτρουιστική συμπεριφορά και όχι από την ατομικιστική συμπεριφορά. Η παρατήρηση αυτή έχει οδηγήσει πολλούς σύγχρονους στοχαστές και φιλοσόφους στην ανάλυση της φύσης της ηθικής και της ανθρώπινης επιλογής (Gauthier, 1986).

2.2.4.2 Κυριαρχία

Κατά την ανωτέρω ανάλυση του διλήμματος των φυλακισμένων έγινε αναφορά στον όρο κυριαρχία. Η έννοια της κυριαρχίας σε μία στρατηγική s είναι ένας πολύ βασικός όρος στη Θεωρία Παιγνίων καθώς υποδεικνύει τη λύση ενός παίγνιου, καθώς και τη δυναμική με την οποία επικρατεί η λύση αυτή (Leyton-Brown, 2008). Μια στρατηγική s_i^* είναι κυρίαρχη στρατηγική, εάν για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών των άλλων παικτών η στρατηγική αυτή έχει τη μεγαλύτερη απολαβή σε σχέση με τις εναλλακτικές στρατηγικές του παίκτη i . Στην περίπτωση αυτή, όλες οι εναλλακτικές στρατηγικές του παίκτη i ορίζονται ως κυριαρχούμενες.

Εάν σε ένα παίγνιο υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική για κάποιον παίκτη, τότε επιλέγεται η στρατηγική αυτή. Εάν όμως δεν υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική τότε, εάν υπάρχουν κυριαρχούμενες στρατηγικές, αυτές αγνοούνται, η επιλογή της λύσης γίνεται μεταξύ των μη κυριαρχούμενων στρατηγικών και θα υπάρχει πάντοτε τουλάχιστον μία μη κυριαρχούμενη στρατηγική.

2.2.5 Ισορροπία Nash

Σε ένα παίγνιο, η καλύτερη ενέργεια για κάποιο δεδομένο παίκτη εξαρτάται γενικά από τις ενέργειες των άλλων παικτών, δηλαδή κάθε παίκτης θα πρέπει να σχηματίσει μια πεποίθηση σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών (Rasmusen, 2001). Η προς μελέτη θεωρητική λύση ενός παίγνιου αποτελείται από δύο βασικά συστατικά. Πρώτον, κάθε παίκτης επιλέγει την ενέργειά του σύμφωνα με το μοντέλο της ορθολογικής επιλογής, με δεδομένες τις πεποιθήσεις του σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών. Δεύτερον, η πεποίθηση του κάθε παίκτη σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών είναι σωστή. Αυτά τα δύο στοιχεία δημιουργούν τον ορισμό της ισορροπίας Nash.

Η ισορροπία Nash (Nash equilibrium) είναι ένα προφίλ ενεργειών a^* , το οποίο έχει την ιδιότητα ότι κανένας παίκτης i δεν μπορεί να έχει καλύτερο αποτέλεσμα επιλέγοντας μια ενέργεια διαφορετική από την a^* και με δεδομένο ότι κάθε άλλος παίκτης j εμμένει στην ενέργεια a_j^* . Στην ειδική περίπτωση όπου οι παίκτες σε οποιαδήποτε μεμονωμένη παρτίδα του παιγνίου κληρώνονται με τυχαίο τρόπο από μια συλλογή πληθυσμών, η ισορροπία Nash αντιστοιχεί σε μια σταθερή κατάσταση. Αν όποτε παίζεται το παίγνιο, το προφίλ ενεργειών είναι η ίδια ισορροπία Nash a^* , τότε κανένας παίκτης δεν έχει λόγο να επιλέξει ενέργεια που να είναι διαφορετική από τη συνιστώσα στο a^* . Δηλαδή η ισορροπία Nash ενσωματώνει μια σταθερή “κοινωνική νόρμα”, όπου αν όλοι οι άλλοι παίκτες είναι προσκολλημένοι σε αυτή, τότε κανένας μεμονωμένος παίκτης δεν επιθυμεί να παρεκκλίνει από αυτή (McCain, 2004).

Το δεύτερο στοιχείο της θεωρίας της ισορροπίας Nash, σύμφωνα με το οποίο οι πεποιθήσεις των παικτών σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών είναι σωστές, υπονοεί ειδικότερα ότι οι πεποιθήσεις των δύο παικτών σχετικά με την ενέργεια ενός τρίτου παίκτη είναι ίδιες. Για αυτόν τον λόγο η συγκεκριμένη συνθήκη αναφέρεται μερικές φορές ως απαίτηση να είναι “συντονισμένες οι προβλέψεις” των παικτών.

Μία σημαντική παρατήρηση είναι ότι μία ισορροπία Nash δεν αποφέρει απαραίτητα τα μεγαλύτερα οφέλη σε όλους τους παίκτες που συμμετέχουν. Σε πολλές περιπτώσεις, όλοι οι παίκτες μπορούν να αυξήσουν τα κέρδη τους αν καταφέρουν να συμφωνήσουν σε ένα σύνολο στρατηγικών, διαφορετικών από την ισορροπία Nash. Συχνά η ισορροπία Nash συγχέεται με τη βέλτιστη κατά Παρέτο λύση (Pareto-Superior). Στην οικονομική θεωρία μία κατάσταση β θεωρείται ότι υπερέχει κατά Παρέτο έναντι μίας κατάστασης δ , μόνο εάν από την κατάσταση δ υπάρχει ένας τρόπος μετάβασης στην κατάσταση β κατά τρόπο ώστε τουλάχιστον ένας παίκτης να λαμβάνει μεγαλύτερες απολαβές στην κατάσταση β έναντι της δ , χωρίς να ζημιώνεται κανένας άλλος παίκτης (Ross, 2016). Για να γίνει κατανοητή η διαφορά, στο δίλημμα των φυλακισμένων που εξετάστηκε στην ενότητα 2.2.4.1, η κατάσταση (*Δεν Ομολογεί, Δεν Ομολογεί*) είναι βέλτιστη κατά Παρέτο, αλλά ισορροπία Nash του παίγνιου αποτελεί η κατάσταση (*Ομολογεί, Ομολογεί*).

Η ισορροπία Nash, όπως αναλύθηκε για ένα στρατηγικό παίγνιο, είναι ένα προφίλ ενεργειών στο οποίο η ενέργεια του κάθε παίκτη είναι βέλτιστη με δεδομένες τις ενέργειες των άλλων παικτών. Σε μια σταθερή κατάσταση, η συμπεριφορά του κάθε

παίκτη είναι η ίδια όποτε παίζει το παίγνιο και κανένας παίκτης δεν επιθυμεί να αλλάξει τη συμπεριφορά του γνωρίζοντας, βάσει της εμπειρίας του, τη συμπεριφορά των άλλων παικτών. Η ισορροπία είναι δηλαδή είτε η κατάσταση “best response”, είτε η κατάσταση “no incentive to deviate”. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις οδηγούν στο ίδιο αποτέλεσμα, αλλά η εφαρμογή της κάθε προσέγγισης διαφέρει ανάλογα με το πρόβλημα (Leyton-Brown, 2008).

Πιο γενικές θεωρήσεις σχετικά με τη σταθερή κατάσταση επιτρέπουν να ποικίλλουν οι επιλογές των παικτών, εφόσον παραμένει σταθερό το μοτίβο των επιλογών. Για παράδειγμα, τα διάφορα μέλη ενός δεδομένου πληθυσμού μπορεί να επιλέγουν διαφορετικές ενέργειες, με τον κάθε παίκτη να επιλέγει την ίδια ενέργεια κάθε φορά που παίζει το παίγνιο. Εναλλακτικά μπορεί το κάθε άτομο κάθε φορά που παίζει το παίγνιο, να επιλέγει την ενέργειά του με πιθανοτικό τρόπο σύμφωνα με την ίδια αμετάβλητη πιθανοτική κατανομή. Αυτές οι δύο πιο γενικές θεωρήσεις της σταθερής κατάστασης είναι ισοδύναμες. Δηλαδή η σταθερή κατάσταση του πρώτου τύπου στην οποία το κλάσμα p του πληθυσμού, που αντιπροσωπεύει τον παίκτη i , επιλέγει την ενέργεια a , και αντιστοιχεί σε μια σταθερή κατάσταση του δεύτερου τύπου στην οποία το κάθε μέλος του πληθυσμού που αντιπροσωπεύει τον παίκτη i επιλέγει την ενέργεια a με πιθανότητα p . Και στις δύο περιπτώσεις, σε κάθε παρτίδα του παιγνίου η πιθανότητα να επιλέξει το άτομο που έχει το ρόλο του παίκτη i την ενέργεια a είναι ίση με p . Και οι δύο αυτές θεωρήσεις της σταθερής κατάστασης μοντελοποιούνται από μία ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών, που αποτελεί γενίκευση της έννοιας της ισορροπίας Nash (von Neumann, 1944).

Η πρώτη συστηματική μελέτη των προτιμήσεων, που αφορούν πιθανοτικές κατανομές και αναπαριστάνονται από την αναμενόμενη τιμή της συνάρτησης απολαβής για αιτιοκρατικά αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκε από τους von Neumann και Morgenstern (1944) και έδωσαν τον τίτλο τους στις προτιμήσεις αυτές που ονομάζονται προτιμήσεις vNM. Μια συνάρτηση απολαβής ως προς τα αιτιοκρατικά αποτελέσματα, της οποίας οι αναμενόμενες τιμές αναπαριστάνουν τέτοιες προτιμήσεις, αποκαλείται συνάρτηση απολαβής Bernoulli, προς τιμήν του Daniel Bernoulli ο οποίος ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε μια αντίστοιχη συνάρτηση για την αναπαράσταση προτιμήσεων.

Για να μελετηθούν οι στοχαστικές σταθερές καταστάσεις, επεκτείνεται η έννοια του στρατηγικού παίγνιου, παρέχοντας σε κάθε παίκτη προτιμήσεις vNM, σχετικά με πιθανοτικές κατανομές (γνωστές και ως λοταρίες), ως προς το σύνολο των προφίλ ενεργειών και με αυτόν τον τρόπο ορίζεται το στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM. Ένα στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM αποτελείται από ένα σύνολο n παικτών, ένα σύνολο ενεργειών για κάθε παίκτη i και προτιμήσεις σχετικά με τις πιθανοτικές κατανομές ως προς τα προφίλ ενεργειών, οι οποίες μπορούν να αναπαρασταθούν από την αναμενόμενη τιμή μιας συνάρτησης απολαβής Bernoulli ως προς τα προφίλ ενεργειών κάθε παίκτη i .

Ένα στρατηγικό παίγνιο δύο παικτών με προτιμήσεις vNM, όπου κάθε παίκτης διαθέτει πεπερασμένο πλήθος ενεργειών, μπορεί να παρουσιαστεί με έναν πίνακα ίδιας μορφής με τον πίνακα της κανονικής μορφής του στρατηγικού παίγνιου. Οι αριθμοί όμως που θα υπάρχουν στα κελιά του πίνακα είναι οι τιμές της συνάρτησης απολαβής που αναπαριστούν τις προτιμήσεις των παικτών ως προς τα αιτιοκρατικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα είναι οι τιμές των συναρτήσεων απολαβής (Bernoulli) των οποίων οι αναμενόμενες τιμές αναπαριστούν τις προτιμήσεις των παικτών ως προς τις πιθανοτικές κατανομές.

Στη γενίκευση της έννοιας της ισορροπίας Nash που μοντελοποιεί μια στοχαστική σταθερή κατάσταση για ένα στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM, κάθε παίκτης επιτρέπεται να επιλέγει μια κατανομή πιθανοτήτων ως προς το σύνολο ενεργειών του και όχι μία μοναδική αιτιοκρατική ενέργεια. Αυτή η κατανομή πιθανοτήτων αναφέρεται με τον όρο μικτή στρατηγική (mixed strategy).

Έστω ότι ο παίκτης i έχει K αμιγείς στρατηγικές $A_i = \{a_{i1}, \dots, a_{iK}\}$. Μια μικτή στρατηγική για τον παίκτη i θα είναι μια κατανομή πιθανότητας (p_{i1}, \dots, p_{iK}) , όπου p_{iK} είναι η πιθανότητα ο παίκτης i να επιλέξει τη στρατηγική a_{iK} , για $k = 1, \dots, K$ και ισχύει ότι $p_{i1} + \dots + p_{iK} = 1$.

Υποθέτουμε κανονικής μορφής παίγνιο $G = \{A_1, \dots, A_n, u_1, \dots, u_n\}$ στο οποίο έστω ότι $A_i = \{a_{i1}, \dots, a_{iK}\}$. Η μικτή στρατηγική για τον παίκτη i είναι μια κατανομή πιθανότητας (p_{i1}, \dots, p_{iK}) , για την οποία ισχύει ότι $0 < p_{iK} < 1$ για $k = 1, \dots, K$, καθώς και $p_{i1} + \dots + p_{iK} = 1$.

Μια μικτή στρατηγική μπορεί να αντιστοιχίζει πιθανότητα 1 σε κάποια μεμονωμένη ενέργεια. Δηλαδή με το να επιτρέπεται στον παίκτη να επιλέξει κατανομές πιθανοτήτων, δεν του απαγορεύεται να επιλέξει αιτιοκρατικές ενέργειες. Αυτή η μικτή στρατηγική αναφέρεται ως καθαρή στρατηγική (pure strategy). Το να επιλέξει ο παίκτης i την καθαρή στρατηγική που αντιστοιχίζει πιθανότητα 1 στην ενέργεια a_i είναι ισοδύναμο με το να επιλέξει απλώς την ενέργεια a_i και αυτή η στρατηγική συμβολίζεται απλώς a_i .

Η ισορροπία των παιγνίων που χρησιμοποιούν μικτές στρατηγικές ονομάζεται ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών και αποτελεί ουσιαστικά ένα προφίλ μικτών στρατηγικών a^* , το οποίο έχει την ιδιότητα ότι κανένας παίκτης i δεν διαθέτει κάποια μικτή στρατηγική a_i τέτοια ώστε να προτιμά την πιθανοτική κατανομή (λοταρία) ως προς τα αποτελέσματα που παράγεται από το προφίλ στρατηγικών (a_i, a_{-i}^*) από την πιθανοτική κατανομή ως προς τα αποτελέσματα που παράγονται από το προφίλ στρατηγικών a^* .

Το προφίλ μικτών στρατηγικών a^* σε ένα στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM αποτελεί ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών αν, για κάθε παίκτη i και κάθε μικτή στρατηγική a_i του παίκτη i , η αναμενόμενη απολαβή του παίκτη i με το προφίλ a^* είναι τουλάχιστον εξίσου μεγάλη με την αναμενόμενη απολαβή του παίκτη i για το προφίλ (a_i, a_{-i}^*) , σύμφωνα με μια συνάρτηση απολαβής της οποίας οι αναμενόμενες τιμές αναπαριστούν τις προτιμήσεις του παίκτη i ως προς τις πιθανοτικές κατανομές. Ισοδύναμα για κάθε παίκτη i ,

$$u(a^*) \geq u_i(a_i, a_{-i}^*), \text{ για κάθε μικτή στρατηγική } a_i \text{ του παίκτη } i, (6)$$

όπου $u_i(a)$ είναι η αναμενόμενη απολαβή του παίκτη i για το προφίλ μικτών στρατηγικών a^* .

2.3 Θεωρία παιγνίων και περιβαλλοντικές πολιτικές

Ως περιβαλλοντικά προβλήματα (γνωστά και ως οικολογικά προβλήματα) χαρακτηρίζονται οι διαταραχές στη γήινη βιόσφαιρα και στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες αποδίδονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα (UN, 2016). Στα περιβαλλοντικά προβλήματα συγκαταλέγονται η περιβαλλοντική ρύπανση, η κλιματική αλλαγή, η τρύπα του όζοντος, η αποδάσωση, η ερημοποίηση, η εξαφάνιση βιολογικών ειδών, η όξινη βροχή, η εξάντληση των φυσικών πόρων, ο υπερπληθυσμός και τα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα. Τα πρώτα οικολογικά προβλήματα εκτιμάται ότι εμφανίστηκαν

κατά τη βιομηχανική επανάσταση τον 18^ο αιώνα, αλλά βαρύτητα στην αντιμετώπισή τους δόθηκε πολλά χρόνια αργότερα, κατά τη δεκαετία του 1960, γεγονός που οφείλεται στην ανάδυση της επιστήμης της Περιβαλλοντολογίας και του οικολογικού κοινωνικού κινήματος.

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα από τη φύση τους συνήθως δεν γνωρίζουν τοπικά ή εθνικά όρια, είναι δηλαδή “διασυνοριακά” (transboundary) και σε αρκετές περιπτώσεις “παγκόσμια” (global) και για αυτό το λόγο οι προκλήσεις για τον εντοπισμό και την αντιμετώπισή τους από τους εμπλεκόμενους φορείς είναι πολύ μεγάλες (Tietenberg, 1996). Η επιστημονική αβεβαιότητα συχνά περιορίζει την αντίληψη των φορέων για πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα και περιπλέκει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τον εντοπισμό και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης τους (Baron, 1998). Διαφορετικοί φορείς έχουν διαφορετική οπτική για τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών προβλημάτων, πολύ συχνά αντικρουόμενα συμφέροντα και επομένως έχουν μικρότερη ή μεγαλύτερη προθυμία να προβούν σε συνεργασίες που θα οδηγήσουν σε περιορισμό των επιπτώσεων της υποβίβασης του φυσικού περιβάλλοντος.

Ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζονται θεσμικά τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι οι περιβαλλοντικές πολιτικές. Ως περιβαλλοντικές πολιτικές αναφέρονται οι νόμοι, οι ρυθμιστικές διατάξεις καθώς και άλλοι μηχανισμοί πολιτικών που αφορούν περιβαλλοντικά προβλήματα σχετικά με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτων, τη διαχείριση στερών αποβλήτων, τη διαχείριση των οικοσυστημάτων, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, την προστασία των φυσικών πόρων και της πανίδας, αλλά και με την ενέργεια. Οι περιβαλλοντικές πολιτικές έχουν σκοπό την καθοδήγηση και τον έλεγχο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων προκειμένου να προληφθούν ή να μετριαστούν οι επιβλαβείς επιδράσεις των δραστηριοτήτων αυτών στο βιοφυσικό περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους, εξασφαλίζοντας ότι οι αλλαγές στο περιβάλλον δεν έχουν επιβλαβείς επιδράσεις στους ανθρώπους σήμερα αλλά και στο μέλλον (McCormick, 2001).

Οι περιβαλλοντικές πολιτικές προσδιορίζονται από δύο βασικά στοιχεία, το περιβάλλον και την πολιτική. Ο όρος περιβάλλον αναφέρεται κατά κανόνα στα φυσικά οικοσυστήματα, δηλαδή στο φυσικό περιβάλλον, αλλά μπορεί να λαμβάνει επίσης και κοινωνικές διαστάσεις, όπως η “Ποιότητα Ζωής” (Quality of Life). η ανθρώπινη υγεία, καθώς και οικονομικές διαστάσεις όπως η διαχείριση των φυσικών πόρων και η

βιοποικιλότητα (Pezzey, 1992). Ο όρος πολιτική μπορεί να οριστεί ως η πορεία δράσης ή η αρχή που υιοθετείται ή προτείνεται από μία κυβερνητική αρχή, μία εταιρία ή ένα μεμονωμένο άτομο για την αντιμετώπιση ενός ορισμένου προβλήματος με ένα συγκεκριμένο στόχο. Οι περιβαλλοντικές πολιτικές εστιάζουν στα προβλήματα που προκύπτουν από την επίδραση του ανθρώπου στο περιβάλλον προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις σε αυτό, αλλά και στον άνθρωπο.

2.3.1 Παγκόσμιες περιβαλλοντικές πολιτικές

Τον Ιούνιο του 1992, στο Ρίο ντε Τζανέιρο, συναντήθηκαν 178 αντιπροσωπείες χωρών για να επιχειρήσουν τον σχεδιασμό μίας πορείας διατηρήσιμης (ή αειφόρου) ανάπτυξης για τη μελλοντική παγκόσμια οικονομία. Η συνδιάσκεψη αυτή των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (United Nations Conference on Environment and Development), γνωστή και ως συνθήκη του Ρίο, προσπάθησε να θέσει τα θεμέλια για τη λύση παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων, με επίκεντρό της τη διατηρήσιμη ανάπτυξη (sustainable development).

Ως διατηρήσιμη ή αειφόρος ανάπτυξη χαρακτηρίζεται η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες της σημερινής γενιάς χωρίς να υπονομεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες (Pezzey, 1992). Η διάσκεψη αυτή κατέδειξε την καθοριστική σημασία των περιβαλλοντικών προβλημάτων για τη διεθνή κοινότητα και τη διάθεση των κρατών για παγκόσμια εναρμονισμένη δράση. Πριν από τη συνδιάσκεψη του Ρίο είχαν προηγηθεί και άλλες παγκόσμιες συνδιασκέψεις, όπως η Συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Ανθρώπινο Περιβάλλον το 1972 (UN Conference on the Human Environment), η οποία οδήγησε στη δημιουργία του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Environment Programme, UNEP). Η συνδιάσκεψη του Ρίο ήταν παρόλα αυτά η μαζικότερη και αποδείχτηκε καθοριστικής σημασίας, καθώς σε αυτήν υιοθετήθηκαν τρεις βασικές συμφωνίες, η Διακήρυξη του Ρίο, η Ατζέντα 21 και η Δήλωση των Δασικών Αρχών (UN, 2016).

Έκτοτε, έχουν πραγματοποιηθεί δεκάδες ακόμα διεθνείς συνδιασκέψεις για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, οι οποίες άλλοτε ήταν επιτυχείς όπως η Διάσκεψη του 1980 από την οποία προέκυψε το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987) για την αντιμετώπιση της τρύπας του Όζοντος και άλλοτε λιγότερο επιτυχημένες όπως για

παράδειγμα η θέσπιση του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1997) για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, το οποίο τελικά δεν υπογράφηκε και δεν εφαρμόστηκε από όλες τις συμμετέχουσες χώρες. Η πιο πρόσφατη παγκόσμια περιβαλλοντική διάσκεψη ήταν η Συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή στο Παρίσι το 2015 (United Nations Climate Change Conference, COP 21), στην οποία τέθηκαν αρκετά αισιόδοξοι στόχοι για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας της γης κάτω από 2 °C σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα. Η συνθήκη υπογράφηκε από 197 χώρες και αναμένεται η επικύρωσή της από τις χώρες των οποίων οι εκπομπές είναι ίσες με το 55% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (UNFCCC, 2016).

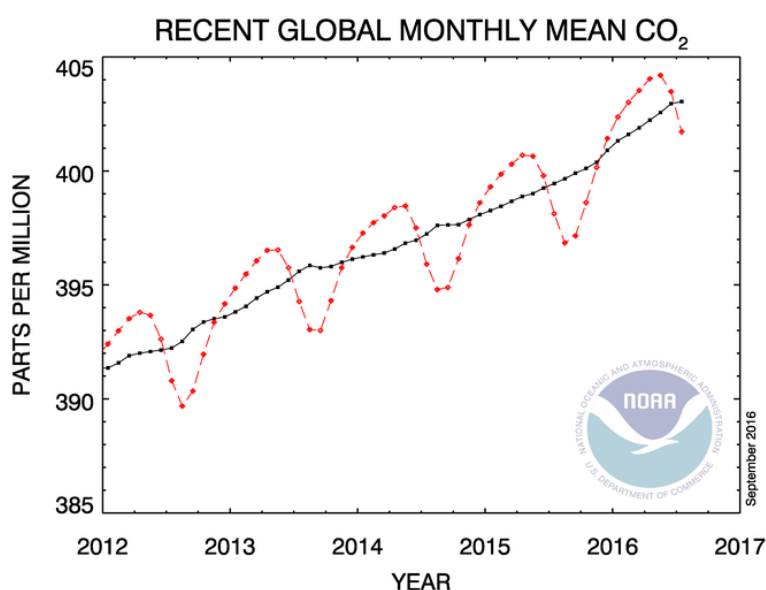
Σε περιφερειακό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναγνωρίσει τη σημασία των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων από το 2001, όπου και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε και πρότεινε στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή τη στρατηγική της ΕΕ για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η στρατηγική αυτή βασίζεται σε τρεις κύριους άξονες: τη συντονισμένη ανάπτυξη όλων των κοινών πολιτικών, μία δέσμη στόχων προτεραιότητας για τον περιορισμό της αλλαγής του κλίματος και την αύξηση της χρήσης καθαρών πηγών ενέργειας και μέτρα εφαρμογής και παρακολούθησης της στρατηγικής σε κάθε εαρινή Σύνοδο του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου (EC, 2015). Η περιβαλλοντική πολιτική αποτελεί πλέον συντρέχουσα αρμοδιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης και επιδιώκει την ενσωμάτωση διεθνών περιβαλλοντικών ρυθμίσεων στο ενωσιακό δίκαιο, με ενίοτε υιοθεσία συμπληρωματικής νομοθεσίας για την υλοποίηση διατάξεων διεθνών συμφωνιών.

Οι διακρατικές συνδιασκέψεις για το περιβάλλον κατά κανόνα καταλήγουν σε συμφωνίες, τις οποίες τα συμμετέχοντα κράτη καλούν να εφαρμόσουν με τη δημιουργία και ενσωμάτωση περιβαλλοντικών πολιτικών στο δίκαιό τους. Ο τρόπος εφαρμογής των πολιτικών αυτών, σε κρατικό επίπεδο, δεν είναι δεσμευτικός και υπάρχουν διάφορα εργαλεία άσκησης περιβαλλοντικών πολιτικών μέσω της κρατικής νομοθεσίας. Ενδεικτικά αναφέρονται τα οικονομικά κίνητρα, τα εργαλεία εντός του μηχανισμού της αγοράς, όπως για παράδειγμα η ειδική φορολογία ή οι φοροαπαλλαγές, τα εμπορεύσιμα δικαιώματα χρήσης ενός πόρου, οι χρηματικές επιχορηγήσεις και τα τέλη χρήσης ή εκπομπών. Τα εργαλεία αυτά έχουν ως σκοπό την προτροπή για συμμόρφωση των αρμόδιων φορέων, επιχειρήσεων ή ιδιωτών με τις περιβαλλοντικές πολιτικές για την επίτευξη ενός οριοθετημένου στόχου. Εκτός από τις νομοθετικές λύσεις, υπάρχουν και

περιβαλλοντικές πολιτικές που εφαρμόζονται με διμερείς συμφωνίες ανάμεσα στα κράτη και τις επιχειρήσεις, ή ακόμα και περιβαλλοντικές πολιτικές που εφαρμόζονται με ιδιωτικές πρωτοβουλίες, χωρίς να υπάρχει παρέμβαση του κράτους. Ένας πλήρης κατάλογος των εργαλείων άσκησης περιβαλλοντικών πολιτικών που εφαρμόζονται σε διάφορες χώρες καθώς και ενδεικτικές εκτιμήσεις για τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του ΟΟΣΑ (OECD, 2016).

2.3.2 Περιβαλλοντικές πολιτικές μείωσης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Μία ομάδα παγκόσμιων ρύπων, τα αέρια του θερμοκηπίου απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία από την επιφάνεια και την ατμόσφαιρα της Γης, παγιδεύοντας θερμότητα η οποία σε αντίθετη περίπτωση θα διέφευγε στο διάστημα (Tietenberg, 1996). Το μίγμα και η κατανομή αυτών των αερίων μέσα στην ατμόσφαιρα είναι υπεύθυνα σε μεγάλο βαθμό για τη διαμόρφωση του φιλόξενου κλίματος της Γης. Η μεταβολή του μείγματος αυτών των αερίων μπορεί να αλλάξει το κλίμα στον πλανήτη. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το αέριο του θερμοκηπίου που απαντάται σε αφθονία, καθώς και αυτό που έχει μελετηθεί περισσότερο από όλα τα αέρια του θερμοκηπίου. Το τρέχον ενδιαφέρον για τις επιπτώσεις της συγκεκριμένης κατηγορίας ρύπων στο κλίμα πηγάζει από το γεγονός ότι οι εκπομπές αυτών των αερίων αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα (ESLR, 2016).



Σχήμα 1: Μηνιαία παγκόσμια συγκέντρωση CO₂ 2012 - 2016 (ESLR, 2016)

Ως κλιματική αλλαγή (climate change), ή παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, (global warming) αναφέρεται η παρατηρούμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης τον τελευταίο αιώνα. Πολλοί επιστημονικοί φορείς συναινούν ότι το κλιματικό σύστημα της γης θερμαίνεται με την πάροδο του χρόνου (Hartmann, 2013). Η επιστημονική κοινότητα θεωρεί ότι πάνω από το 95% της αύξησης της θερμοκρασίας της γης οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες και κυρίως στην αύξηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου όπως το CO₂ (IPCC, 2015), το οποίο αποτελεί το κύριο προϊόν της καύσης ορυκτών καυσίμων. Επομένως το πρόβλημα της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας της γης είναι πρωτίστως ενεργειακό πρόβλημα καθώς τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν την κυριότερη πρωτογενή πηγή ενέργειας σήμερα (IEA, 2016). Οι προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων δείχνουν ότι κατά τον 21^ο αιώνα η παγκόσμια θερμοκρασία εδάφους αναμένεται να αυξηθεί από 0,3 έως 1,7 °C σύμφωνα με το σενάριο χαμηλών εκπομπών και από 2,6 έως 4,8 °C, σύμφωνα με το σενάριο υψηλών εκπομπών (Stocker, 2015). Τα ευρήματα αυτά αναγνωρίζονται από την επιστημονική κοινότητα και την πλειονότητα των κρατών, παρόλα αυτά υπάρχει και ένα μη αμελητέο τμήμα της επιστημονικής κοινότητας που αντιμετωπίζει την κλιματική αλλαγή με σκεπτικισμό (Tranter, 2015).

Οι πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής διαφέρουν ανά επιστημονική προσέγγιση αλλά οι περισσότερες εκτιμήσεις προβλέπουν την αύξηση της θερμοκρασίας της γης, την άνοδο της στάθμης των θαλασσών και των ωκεανών λόγω της μείωσης του όγκου των Αρκτικών πάγων, την αύξηση των ερήμων, τη συχνή εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων και την ενδεχόμενη εξαφάνιση ορισμένων ζωικών ειδών. Επίσης οι αλλαγές αυτές εκτιμάται ότι θα φέρουν αρνητικές επιπτώσεις και για τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα στην ασφάλεια διατροφικού εφοδιασμού λόγω της αλλοίωσης των καλλιεργήσιμων εδαφών και την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Επειδή το κλιματικό σύστημα παρουσιάζει αυξημένη αδράνεια και το CO₂ θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα για μεγάλο διάστημα, πολλές από τις επιπτώσεις αυτές δε θα συνεχίσουν να υπάρχουν για λίγα χρόνια, αλλά ενδέχεται να διατηρηθούν για εκατοντάδες αιώνες.

Η κύρια μέθοδος αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής είναι ο μετριασμός των επιπτώσεων της (mitigation), μέσω της μείωσης των εκπομπών διοξειδίων. Η μείωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με εναλλακτικές παράλληλες δράσεις όπως η ενεργειακή εξοικονόμηση με αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, η χρήση ενεργειακών τεχνολογιών

χαμηλών εκπομπών CO₂ όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια και οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture and Storage, CCS) καθώς και η αύξηση των φυσικών συλλεκτών CO₂, μέσω της αναδάσωσης και της αποτροπής αποψίλωσης των δασών. Μία άλλη εναλλακτική δράση έναντι της κλιματικής αλλαγής είναι η κλιματική προσαρμογή (adaptation) μέσω της οποίας εξετάζεται η διαμόρφωση πολιτικών για τη συντονισμένη προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής με την αποδοχή τους, παρόλο που εκτιμάται ότι μακροπρόθεσμα η κλιματική αλλαγή θα υπερβεί τη φυσική ικανότητα προσαρμογής των οικοσυστημάτων και του ανθρώπου (IPCC, 2014). Τέλος σε πειραματικό στάδιο βρίσκεται η κλιματική μηχανική (climate engineering), η οποία αποσκοπεί στην εσκεμμένη μεταβολή του κλίματος μέσω δράσεων, όπως η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας και η τεχνητή αφαίρεση μέρους του CO₂ από την ατμόσφαιρα

Η Συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή στο Παρίσι κατέδειξε ότι τα περισσότερα κράτη έχουν ως απώτερο σκοπό την αποτροπή της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής καθώς συμφωνήθηκε μείωση στις παγκόσμιες εκπομπές CO₂ και μετριασμός των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής με μείωση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από 2.0 °C συγκριτικά με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα θερμοκρασίας ως βασική δέσμευση και με αισιόδοξο στόχο τη μείωση της αύξησης της θερμοκρασίας κατά 1.5 °C (UNFCCC, 2016). Η συμφωνία αυτή όπως, κατά κανόνα και όλες οι διεθνείς συμφωνίες για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, έθεσε στόχους χωρίς να προτείνει σαφείς δράσεις, αφήνοντας σε κάθε χώρα το περιθώριο της επιλογής της κατάλληλης περιβαλλοντικής πολιτικής για τον μετριασμό των εκπομπών CO₂.

Οι περιβαλλοντικές πολιτικές που εφαρμόζονται για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εστιάζουν κατά κανόνα σε οικονομικούς παράγοντες και αποσκοπούν στην εσωτερική του εξωτερικού οικονομικού κόστους της περιβαλλοντικής ρύπανσης, προσδοκώντας και επιδιώκοντας την κινητοποίηση για δράση επιχειρήσεων και ιδιωτών, μέσω μηχανισμών της αγοράς, με την παροχή οικονομικών κινήτρων και αντικινήτρων (Tietenberg, 1996). Οι πολιτικές αυτές βασίζονται στη θεώρηση ότι η προσέγγιση μίας περιβαλλοντικής πολιτικής μέσα από το μοντέλο της αγοράς (market-based), θέτοντας ένα κόστος στην εκπομπή CO₂, είναι πιθανό να είναι πιο αποτελεσματική, δηλαδή να επιτυγχάνει ένα δεδομένο στόχο εκπομπών με χαμηλότερο

κόστος, από μία παραδοσιακή πολιτική κρατικής ρύθμισης “διοίκησης και ελέγχου” (command-and-control) (CBPP, 2015).

Εστιάζοντας σε συγκεκριμένες επιλογές περιβαλλοντικών πολιτικών, όσον αφορά την αύξηση της ενεργειακής εξοικονόμησης και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, τα κράτη δίνουν οικονομικά κίνητρα με τη μορφή επιδοτήσεων για την αντικατάσταση παλαιότερων ενεργοβόρων τεχνολογιών με νεότερες τεχνολογίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρονται τα προγράμματα οικονομικής στήριξης για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κτιρίων. Όσον αφορά τη χρήση ενεργειακών τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών CO₂, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα κράτη δίνουν κίνητρα στους επενδυτές για επενδύσεις σε ειδικές κατηγορίες τεχνολογιών όπως τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα, οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί συνεχούς ροής, διασφαλίζοντας σταθερές υψηλές τιμές πώλησης (feed-in tariffs) ή προνομιακές αποζημιώσεις (market premium) για την ενέργεια που παράγεται από αυτές τις μονάδες και προσφέρεται στις ενεργειακές αγορές (IEA, 2011). Τέλος, στην κατηγορία των οικονομικών επιδοτήσεων, ως μέσο άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής, συμπεριλαμβάνονται και οι φοροαπαλλαγές που παρέχουν τα κράτη σε εταιρίες ή ιδιώτες εφόσον κάνουν χρήση συγκεκριμένων τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών CO₂ ή εφόσον επιτυγχάνουν ορισμένους στόχους ενεργειακής εξοικονόμησης.

Εκτός από τις πολιτικές που ως στόχο έχουν την επιδότηση συγκεκριμένων ενεργειών και επενδύσεων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου υπάρχουν και οι περιβαλλοντικές που εστιάζουν στην απόδοση συγκεκριμένου κόστους στις επιχειρήσεις και τους ιδιώτες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα την έκλυση CO₂ (Asafu-Adjaye, 2013). Η πιο συνήθης περιβαλλοντική πολιτική που βασίζεται σε αυτή την προσέγγιση είναι η φορολόγηση των ορυκτών καυσίμων. Η φορολόγηση αυτή μπορεί να υλοποιείται, είτε ex-ante με τη μορφή φόρων κατανάλωσης που αυξάνουν την τιμή των ορυκτών καυσίμων, είτε ex-post με την υποχρέωση υποβολής φόρου για την ποσότητα χρήσης ενός καυσίμου ή το ύψος των εκπομπών CO₂ από μία οικονομική δραστηριότητα. Ο στόχος αυτής της πολιτικής είναι η αποτροπή και ο περιορισμός χρήσης ρυπογόνων καυσίμων έναντι εναλλακτικών επιλογών μέσω της αύξησης του κόστους προμήθειας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Ελλάδα υπάρχει ο Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης που επιβαρύνει το Φυσικό Αέριο και τα Πετρελαιοειδή, καθώς και το

Ειδικό Τέλος Λιγνίτη, το οποίο επιβαρύνει τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο τον λιγνίτη για όλη την ενέργεια που παράγουν.

Κλείνοντας την παρουσίαση των περιβαλλοντικών πολιτικών που έχουν εφαρμογή στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, πρέπει να αναφερθεί το Σύστημα Εμπορίας Ρύπων (Emissions Trading System ή Emissions Trading Scheme, ETS). Το σύστημα αυτό βασίζεται στη λογική των “ανώτατων ορίων και εμπορίας” (cap and trade). Ως ανώτατο όριο (cap) ορίζεται ο συνολικός όγκος εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συνήθως CO₂, NO_x και SO_x που μπορεί να εκπεμφθεί από το σύνολο των εγκαταστάσεων ενός συστήματος. Το ανώτατο αυτό όριο μειώνεται με την πάροδο του χρόνου προκειμένου οι συνολικές εκπομπές να ελαττώνονται. Εντός αυτού του ορίου, οι εγκαταστάσεις, που κατά τον κύκλο εργασιών τους εκλύουν αέρια του θερμοκηπίου λαμβάνουν ή είναι υποχρεωμένες να αγοράσουν εμπορεύσιμα δικαιώματα εκπομπών (emissions allowances), καθώς και διεθνείς πιστώσεις (international credits) που διατίθενται από έργα και προγράμματα μείωσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε όλον τον πλανήτη. Κάθε χρόνο, κάθε εταιρία πρέπει να αποδώσει επαρκείς άδειες εκπομπών ώστε να καλύψει όλες τις εκπομπές που προέκυψαν από τις δραστηριότητές της, σε διαφορετική περίπτωση είναι αναγκασμένη να πληρώσει υψηλά πρόστιμα. Επίσης εάν μία εταιρία μειώσει το σύνολο των εκπομπών της σε ένα χρόνο, μπορεί πουλήσει τις πλεονάζουσες άδειες σε άλλες εταιρίες που τις χρειάζεται. Η δυνατότητα εμπορίας παρέχει ευελιξία και διασφαλίζει ότι οι εκπομπές θα περιοριστούν σε όποιες δραστηριότητες κοστίζει το λιγότερο να περιοριστούν, προωθώντας παράλληλα τις επενδύσεις σε τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών CO₂. Από το 2005, εφαρμόζεται η Τρίτη φάση του Συστήματος Εμπορίας Ρύπων EU-ETS σε 31 χώρες της Ευρώπης, το οποίο καλύπτει περίπου το 45% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EC, 2016).

2.3.3 Εφαρμογή Θεωρίας Παιγνίων σε περιβαλλοντικές πολιτικές

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα θεωρητικά μοντέλα της Θεωρίας Παιγνίων μπορούν να αποτελέσουν ισχυρά εργαλεία για τη μοντελοποίηση των στρατηγικών αλληλεπίδρασης που διέπουν τις διεθνείς διαπραγματεύσεις για περιβαλλοντικά ζητήματα (Bréchet, 2016· Bond, 2016· Masoudia, 2014· DeCanio, 2011· Forgo, 2005). Σύμφωνα με τις παιγνιοθεωρητικές αυτές προσεγγίσεις, τον ρόλο του κάθε παίκτη έχουν τα κράτη, τα

οποία δρουν ορθολογικά και διαμορφώνουν τις στρατηγικές μεγιστοποίησης του συμφέροντός τους κατά τις διεθνείς διαπραγματεύσεις. Η Θεωρία Παιγνίων έχει εφαρμοστεί στο παρελθόν αποτελεσματικά τόσο στις διεθνείς σχέσεις και τη διπλωματία (Stein, 1990), όσο και στις διαπραγματεύσεις που σχετίζονται με την παγκόσμια περιβαλλοντική προστασία (Barret, 2003).

Το μεγάλο πλεονέκτημα της Θεωρίας Παιγνίων κατά την εφαρμογή της στις διεθνείς διαπραγματεύσεις είναι ότι ανταποκρίνεται με επιτυχία τόσο στη ρεαλιστική όσο και στη φιλελεύθερη προσέγγιση των διεθνών σχέσεων (Stein, 1990· DeCanio, 2011). Ο ατομικισμός ενός παίκτη, ως βασική προϋπόθεση της Θεωρίας Παιγνίων, είναι σύμφωνος με την έννοια του κράτους ως αυτόνομη μονάδα, σύμφωνα με τη ρεαλιστική και τη νέο-ρεαλιστική προσέγγιση (Stein, 1990). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, τα κράτη αποτελούν τους κεντρικούς παίκτες στην παγκόσμια πολιτική, το διεθνές πολιτικό σύστημα είναι αναρχικό από τη φύση του, οι παίκτες είναι ορθολογικοί και δρουν με γνώμονα τη μεγιστοποίηση του ατομικού τους συμφέροντος και τέλος τα κράτη επιζητούν ισχύ (απόλυτη ή σχετική) προκειμένου να εξασφαλίσουν τουλάχιστον την αυτοσυντήρησή τους (Waltz, 1979). Οι επιδιώξεις αυτές των κρατών καταλήγουν σε ισορροπίες ισχύος, οι οποίες καθορίζουν τις διεθνείς σχέσεις. Επομένως είναι προφανές πως βασικές έννοιες της Θεωρίας Παιγνίων όπως ο ατομικισμός, η μεγιστοποίηση του ατομικού συμφέροντος, η έννοια της κυριαρχίας και η έννοια της ισορροπίας ως λύση στις διεθνείς διαπραγματεύσεις είναι απολύτως ακόλουθες με τη ρεαλιστική προσέγγιση των διεθνών σχέσεων.

Αντίστοιχα η επιδίωξη της μεγιστοποίησης του ατομικού συμφέροντος ενός παίκτη που οδηγεί στην τάξη και την ευημερία του συνόλου, είναι σύμφωνη με τη φιλελεύθερη προσέγγιση των διεθνών σχέσεων (Stein, 1990). Σύμφωνα με τη φιλελεύθερη προσέγγιση, η παγκοσμιοποίηση επιφέρει αύξηση της αλληλεξάρτησης των κρατών και οι διεθνείς οργανισμοί μαζί με τις κυβερνήσεις των κρατών ως βασικοί παίκτες στη διεθνή σκηνή, κατά την αλληλεπίδρασή τους, επιδιώκουν συνεργασίες, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη που προέρχονται από την οικονομική και πολιτιστική παγκοσμιοποίηση (Shiraev, 2014). Αντίστοιχα κατά τη νέο-φιλελεύθερη προσέγγιση των διεθνών σχέσεων τα κράτη είναι μονάδες με ισχυρή συνοχή, επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι δρουν ως αυτόνομοι παίκτες και κατέχουν πολλούς τρόπους αλληλεπίδρασης μεταξύ τους, καθώς και μέσω των διεθνών οργανισμών (Keohane,

1989), με αποτέλεσμα ανάλογα με τα εκάστοτε συμφέροντά τους να προκύψουν συνεργασίες ή διαμάχες. Οι βασικές έννοιες της αλληλεξάρτησης, της μεγιστοποίησης του ατομικού συμφέροντος, του ατομικισμού αλλά και της συνεργασίας ανάλογα με τα συμφέροντα των παικτών στις διεθνείς σχέσεις είναι ακόλουθη με την προσέγγιση της Θεωρίας Παιγνίων.

Ανεξαρτήτως προσέγγισης των διεθνών σχέσεων, κατά την εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στις διεθνείς σχέσεις, τα κράτη μπορούν να θεωρηθούν οι βασικοί παίκτες που λαμβάνουν μέρος σε ένα παίγνιο διαπραγμάτευσης. Οι κυβερνήσεις των κρατών γνωρίζουν τα πιθανά αποτελέσματα των πράξεων τους και είναι σε θέση να ταξινομήσουν τις πιθανές απολαβές κατά σειρά προτίμησής τους. Οι απολαβές αυτές μπορεί να είναι είτε διατακτικές, δηλαδή απλή κατάταξη κατά σειρά προτίμησης των πιθανών απολαβών, είτε απόλυτες, κατόπιν σύγκρισης των πιθανών απολαβών σε απόλυτη κλίμακα, με παράδειγμα τις χρηματικές μονάδες. Οι κινήσεις των παικτών μπορεί να είναι διαδοχικές ή ταυτόχρονες, ενώ τα επίπεδα συνεργασίας και πληροφόρησης των παικτών μπορούν να διαφέρουν κατά περίπτωση. Κάθε διαπραγμάτευση καταλήγει σε μία λύση, σε μία ισορροπία, οπότε και οι συμμετέχοντες παίκτες λαμβάνουν την αντίστοιχη απολαβή σύμφωνα με την επικρατούσα στρατηγική.

Οι περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις, ως υποκατηγορία των διεθνών διαπραγματεύσεων μπορούν να αναλυθούν με τη βοήθεια της Θεωρίας Παιγνίων και κάθε περιβαλλοντική διαπραγμάτευση να αναπαρασταθεί με τη μορφή ενός παίγνιου n παικτών. Η διαπραγμάτευση αυτή μπορεί να είναι διμερής μεταξύ δύο γειτονικών κρατών, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος ρύπανσης των υδάτων ενός ποταμού που διασχίζει δύο κράτη, πολυμερής ανάμεσα σε κράτη μίας γεωγραφικής περιοχής, για παράδειγμα η κοστολόγηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του συστήματος EU-ETS, ή παγκόσμια, όπως για παράδειγμα οι διαπραγματεύσεις για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να διαμορφωθούν παίγνια κατάλληλων διαστάσεων για την ανάλυση και αξιολόγηση των αναδυόμενων περιβαλλοντικών πολιτικών. Παρόλα αυτά, ο μεγάλος αριθμός των παικτών και η πολυπλοκότητα υπολογισμού των απολαβών καθιστά το εγχείρημα αυτό εκθετικά δυσκολότερο καθώς αυξάνεται ο αριθμός των παικτών και η πολυπλοκότητα του προβλήματος.

Για την αποφυγή σύνθετων προβλημάτων, τα οποία είτε είναι αδύνατο να μοντελοποιηθούν ή ενδεχομένως δεν συγκλίνουν σε κάποια λύση, απαιτούνται κάποιες απλοποιήσεις. Καταρχάς για την ανάλυση περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων χρησιμοποιούνται κατά κανόνα στρατηγικά παίγνια (DeCanio, 2011), παίγνια δηλαδή στα οποία οι παίκτες λαμβάνουν μία απόφαση πριν την έναρξη διεξαγωγής του παίγνιου και δεν έχουν πληροφόρηση για τις αποφάσεις των άλλων παικτών. Για την ανάλυση αυτών των στρατηγικών παιγνίων χρησιμοποιείται η κατάταξη των απολαβών σε απλή σειρά προτίμησης και όχι η χρήση απόλυτης κλίμακας απολαβών (Stanton, 2010). Το βασικό πλεονέκτημα της θεώρησης αυτής είναι ότι παρέχει ένα γρήγορο και κατανοητό τρόπο αξιολόγησης των απολαβών. Επίσης με αυτή την προσέγγιση παρακάμπτονται ενδεχόμενα προβλήματα σύγκρισης που σχετίζονται με τα επιμέρους χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων παικτών, όπως για παράδειγμα οι διαφορές στο ΑΕΠ των χωρών (Stanton, 2010). Τέλος, για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας από την αύξηση του αριθμού των παικτών, για την ανάλυση των περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων, συνήθως προτιμώνται τα στρατηγικά παίγνια δύο παικτών (DeCanio, 2011). Οι παραπάνω παραδοχές είναι συνεπείς με τη βιβλιογραφία, καθώς “το πνεύμα των περισσότερων καταστάσεων στις διεθνείς σχέσεις μπορεί να αποτυπωθεί στα πλαίσια ενός απλού παίγνιου 2·2” (Barret, 2003) και θα εφαρμοστούν κατά την ανάλυση των περιβαλλοντικών παιγνίων που σχετίζονται με τις πολιτικές μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες θα εξεταστούν στη συνέχεια αυτής της έρευνας.

2.4 Ανασκόπηση

Η διεθνής κοινότητα έχει ανάγκη την κλιματική αλλαγή σε βασικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που χρήζει αντιμετώπισης σήμερα, προκειμένου να αποφευχθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις της στο μέλλον με ενδεχόμενο πολλαπλάσιο κόστος (IPCC, 2015· Tietenberg, 1996). Οι παγκόσμιες συνδιασκέψεις μεταξύ των κρατών για το περιβάλλον και την ορθολογικότερη διαχείρισή του, καθώς και οι περιβαλλοντικές πολιτικές μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που υιοθετούνται θεσμικά σε κρατικό επίπεδο από τα συμμετέχοντα κράτη αποδεικνύουν ότι υπάρχουν πρωτοβουλίες για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Οι περιβαλλοντικές πολιτικές που σχεδιάζονται και εφαρμόζονται από τα κράτη εστιάζουν αφενός σε οικονομικά κίνητρα με τη μορφή επιδοτήσεων και φοροαπαλλαγών

για την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών και αφετέρου σε οικονομικές επιβαρύνσεις κατά τη χρήση ρυπογόνων τεχνολογιών. Κοινός στόχος των δύο προσεγγίσεων είναι ο άμεσος ή έμμεσος περιορισμός της έκλυσης αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οφείλονται σε ανθρωπογενείς παράγοντες, με σκοπό την επίτευξη ενός στόχου μείωσης εκπομπών. Οι προσεγγίσεις που ακολουθούνται από τα κράτη βασίζονται στην καθοδήγηση και τον έλεγχο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων προκειμένου να προληφθούν ή να μετριαστούν οι επιβλαβείς επιδράσεις των δραστηριοτήτων αυτών στο βιοφυσικό περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους, εξασφαλίζοντας ότι οι αλλαγές στο περιβάλλον δεν έχουν επιβλαβείς επιδράσεις στην ανθρωπότητα σήμερα αλλά και στο μέλλον.

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των περιβαλλοντικών πολιτικών είναι ότι τα αποτελέσματά τους δεν είναι πάντοτε προφανή και οι εμπλεκόμενοι φορείς συχνά έχουν διαφορετικές αντιλήψεις σχετικά με την έκταση και τον τρόπο αντιμετώπισής τους. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα παρόλα αυτά δεν γνωρίζουν φυσικά σύνορα και απαιτείται συνεργασία, η οποία συχνά μπορεί να αντιβαίνει τη μεγιστοποίηση των βραχυπρόθεσμων συμφερόντων των εμπλεκόμενων φορέων. Η φύση επομένως των προβλημάτων αυτών είναι ταυτόχρονα συγκρουσιακή αλλά και συνεργατική, με αποτέλεσμα ακόμα και στις περιπτώσεις όπου υπάρχει ένα ελάχιστο επίπεδο συναίνεσης, όσον αφορά τα μέτρα αντιμετώπισής τους, η ανθρώπινη φύση ενδέχεται να προτρέπει μεμονωμένα τους εμπλεκόμενους φορείς για τη μη υιοθέτηση των μέτρων αυτών. Δεδομένης της σοβαρότητας των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων και της δυσκολίας διαμόρφωσης και εφαρμογής κατάλληλων περιβαλλοντικών πολιτικών που αποσκοπούν στην εξάλειψη ή τον μετριασμό των επιπτώσεών τους είναι απαραίτητο να διερευνηθούν όλες οι επιστημονικές μέθοδοι που συμβάλουν στην κατεύθυνση αυτή.

Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί μία μαθηματική προσέγγιση η οποία παρέχει εργαλεία για την ανάλυση καταστάσεων αλληλεπίδρασης στις οποίες υπάρχει τόσο το στοιχείο της συνεργασίας όσο και το στοιχείο του ανταγωνισμού και της διαμάχης. Τα δύο αυτά στοιχεία αυτά είναι έντονα στις περιβαλλοντικές πολιτικές, όπως έχει αποδειχτεί και στη βιβλιογραφία (Karp, 2015· Perlo-Freeman, 2006· Myerson, 1997). Επομένως η Θεωρία Παιγνίων καθίσταται σημαντικό εργαλείο ανάλυσης και αποτίμησης των πολιτικών αυτών. Οι καταστάσεις, στις οποίες τα συμφέροντα των εμπλεκόμενων φορέων είναι πλήρως αντικρουόμενα και το όφελος του ενός αποτελεί ζημία για τον άλλο μπορούν να

αναλυθούν με τη χρήση παιγνίων μηδενικού αθροίσματος, ενώ οι καταστάσεις, στις οποίες οι εμπλεκόμενοι φορείς έχουν τόσο κοινά όσο και ανταγωνιστικά συμφέροντα, μπορούν να αναλυθούν με τη χρήση παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος. Η διαμόρφωση της βέλτιστης στρατηγικής των εμπλεκόμενων φορέων ανάλογα με τα συμφέροντά τους και το σημείο ισορροπίας ενός παίγνιου μπορεί να αναλυθεί με βάση το κριτήριο *maximin* σύμφωνα με το οποίο οι παίκτες ενός παίγνιου τείνουν να αποκλείουν επιλογές που οδηγούν σε μεγάλη έκθεση σε κίνδυνο. Η στρατηγική των φορέων μπορεί επίσης, να διαμορφώνεται με βάση την ισορροπία Nash, η οποία αποτελεί μία κατάσταση από την οποία οι παίκτες δεν είναι διατεθειμένοι να παρεκκλίνουν. Η έννοια της ισορροπίας Nash είναι πολύ σημαντική κατά την ανάλυση περιβαλλοντικών πολιτικών καθώς περιγράφει μία κατάσταση η οποία παρόλο που δεν είναι αναγκαστικά η βέλτιστη δυνατή για όλους τους παίκτες, είναι αρκετά ικανοποιητική σε σχέση με οποιεσδήποτε πιθανές επιλογές των άλλων παικτών (Ross, 2016).

Η Θεωρία Παιγνίων προσφέρει το πλεονέκτημα ότι οι προσδιοριζόμενες στρατηγικές των φορέων κατά την ανάλυση περιβαλλοντικών πολιτικών μπορεί να είναι αμιγείς, δηλαδή να οδηγούν σε μία ξεκάθαρη βέλτιστη λύση για όλους τους παίκτες, ή μικτές, εάν εμπεριέχεται το στοιχείο της πιθανότητας. όπου και οι λύσεις ενός περιβαλλοντικού παίγνιου μπορούν να αξιολογηθούν και οι πιθανές απολαβές μπορούν να αναλυθούν πιθανοτικά. Τέλος, τα κριτήρια κυριαρχίας της Θεωρίας Παιγνίων προσδιορίζουν το πόσο σταθερή είναι η λύση ενός παίγνιου, υποδεικνύοντας πόσο πιθανό είναι οι εμπλεκόμενοι φορείς που σχετίζονται με μία περιβαλλοντική πολιτική να επιδιώξουν την τήρηση της ή όχι. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλυθεί η μεθοδολογία προσέγγισης της Θεωρίας Παιγνίων κατά την εφαρμογή της στην ανάλυση και αποτίμηση περιβαλλοντικών πολιτικών που σχετίζονται με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μεθοδολογία

3.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι ο συσχετισμός της Θεωρίας Παιγνίων και της διαμόρφωσης περιβαλλοντικών πολιτικών με βάση την υπάρχουσα ερευνητική βιβλιογραφία. Η ανάλυση των περιβαλλοντικών πολιτικών θα εστιαστεί στο επίπεδο των διεθνών περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων και στις παραμέτρους που επηρεάζουν την επίτευξη υλοποιήσιμης συνεργατικής λύσης.

3.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Κατωτέρω, παρατίθενται τα ερευνητικά ερωτήματα που απαντώνται μέσα από την έρευνα που παρουσιάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Η επιλογή των ερευνητικών ερωτημάτων έγινε με βάση αφενός το βιβλιογραφικό ενδιαφέρον, αφετέρου τη θεωρητική τους σημασία στο ευρύτερο γνωστικό αντικείμενο που θεραπεύεται από την παρούσα έρευνα.

Η πρώτη ομάδα ερευνητικών ερωτημάτων εξετάζει την εφαρμογή εναλλακτικών παιγνιακών μοντέλων για την ανάλυση διεθνών περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων.

- E1. Ποια είναι τα παιγνιοθεωρητικά μοντέλα που είναι κατάλληλα για τη διερεύνηση των διεθνών πολιτικών διαπραγματεύσεων για τη χάραξη περιβαλλοντικών πολιτικών;
- E2. Ποιοι είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του εκάστοτε μοντέλου; Πώς οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τη λύση του περιβαλλοντικού παίγνιου;
- E3. Ποιες είναι οι απαραίτητες ενέργειες για την πιθανή βελτίωση των αποτελεσμάτων, όσον αφορά τον στόχο της επίτευξης υλοποιήσιμης συμφωνίας κατά τις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις;

Η δεύτερη ομάδα ερωτημάτων αφορά την εφαρμογή του διλήμματος του φυλακισμένου για την αποτίμηση περιβαλλοντικών πολιτικών μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

- E4. Ποια είναι η επίδραση της διαφορετικής εκτίμησης των βραχυχρόνιων και των μακροπρόθεσμων απολαβών κάθε παίκτη στην τελική κατάληξη του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων;
- E5. Πόσο πιθανό είναι να εφαρμοστούν πολιτικές που βασίζονται στην επιβολή παγκόσμιων περιβαλλοντικών κυρώσεων οδηγώντας σε μείωση των εκπομπών CO₂;
- E6. Υπάρχει τρόπος να επιτευχθεί ισορροπία στο περιβαλλοντικό δίλημμα των φυλακισμένων που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση για το κοινωνικό σύνολο; Εάν ναι, ποιες είναι οι προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν;

3.3 Μέθοδοι ανάλυσης

Στις επόμενες παραγράφους εξηγούνται τα βήματα ανάλυσης για κάθε ερευνητικό ερώτημα.

Για την απάντηση του ερωτήματος E1 σχετικά με τα κατάλληλα παιγνιοθεωρητικά μοντέλα για την ανάλυση των διεθνών πολιτικών διαπραγματεύσεων και τη χάραξη περιβαλλοντικών πολιτικών, θα διερευνηθούν τα παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος δύο παικτών, στα οποία τόσο το στοιχείο της συνεργασίας όσο και του ανταγωνισμού είναι έντονο (Forgo, 2005· DeCanio, 213), με βασική παραδοχή τον προσδιορισμό του κράτους ως παίκτη (Bond, 2016· DeCanio, 2011· Brécheta, 2016· Masoudia, 2014· Forgo, 2005). Στη συνέχεια με βάση την ανάλυση του πίνακα απολαβών των παικτών θα καθοριστεί το σύνολο των παιγνίων που μπορούν να χαρακτηριστούν ως περιβαλλοντικά (DeCanio, 2011). Τα βασικά παίγνια που εξετάζονται στη βιβλιογραφία είναι τα Coordination Game και Prisoner's Dilemma και λιγότερο συχνά το Chicken Game (Babiker, 2001· Forgo, 2005· Karp, 2013· Bond, 2016). Εκτός από αυτά τα τρία αυτά παίγνια θα επιχειρηθεί διερεύνηση όλων των πιθανών στρατηγικών παιγνίων 2·2 που απαντώνται στον Νέο Περιοδικό Πίνακα" παίγνιων που παρουσιάζεται στη συνέχεια στην ενότητα 4.2.1 (New Periodic Table, NTP) (Robinson, 2005) και ενδέχεται να βρίσκουν εφαρμογή στις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις.

Για την απάντηση του ερωτήματος E2 σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή κάθε μοντέλου, θα αναλυθεί ο πίνακας απολαβών των παικτών για κάθε στρατηγική και θα προσδιοριστούν τα σημεία ισορροπίας Nash και maxi-min με βάση

τις θεωρήσεις των παικτών για το μέγεθος του περιβαλλοντικού προβλήματος, τις απολαβές των άλλων παικτών και τη διάθεση έκθεσης στον κίνδυνο κάθε παίκτη.

Για την απάντηση του ερωτήματος E3 σχετικά με τις απαραίτητες ενέργειες για την επίτευξη υλοποιήσιμης συμφωνίας κατά τις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις θα διερευνηθούν τα σημεία ισορροπίας Nash και $\max\text{-min}$ των εξεταζόμενων παίγνιων, καθώς και η ύπαρξη ή όχι κυρίαρχων στρατηγικών για κάθε παίκτη. Οι προτάσεις για την πιθανή βελτίωση των αποτελεσμάτων των διαπραγματεύσεων θα βασιστούν στην εξέταση του πίνακα απολαβών των παικτών και στη διερεύνηση των δυνατοτήτων μετάβασης από το σημείο ισορροπίας Nash στη στρατηγική Pareto Superior με χρήση απολαβών εκτός της δομής του παίγνιου (Ross, 2016· DeCanio, 2011).

Για την απάντηση στο ερώτημα E4 της επίδρασης της διαφορετικής εκτίμησης των βραχυχρόνιων και των μακροπρόθεσμων απολαβών κάθε παίκτη στην τελική κατάληξη του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων θα εξεταστεί ο πίνακας απολαβών των παικτών σε κάθε περίπτωση ανάλογα με τις θεωρήσεις τους. Οι απολαβές των παικτών θα βασιστούν σε αριθμητικά δεδομένα μελέτης που έχει πραγματοποιηθεί για την αποτίμηση του κόστους επενδύσεων που απαιτούνται για τη διατήρηση των ρυθμών εκπομπών σωματιδίων άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε σταθερά επίπεδα για πενήντα χρόνια (Pascala, 2004) καθώς και στις εκτιμήσεις των παικτών για τα βραχυχρόνια και μακροπρόθεσμα οφέλη ή κόστη που προκύπτουν από την υιοθέτηση της εκάστοτε στρατηγικής.

Για την απάντηση του ερωτήματος E5 σχετικά με τις περιβαλλοντικές πολιτικές που βασίζονται στην επιβολή παγκόσμιων περιβαλλοντικών κυρώσεων, θα εξετασθεί η επιβάρυνση των ρυπαντών με ένα επιπρόσθετο κόστος το οποίο αντανάκλα τη ζημία που προκαλούν στο φυσικό περιβάλλον και σκοπό έχει τον περιορισμό της ρύπανσης και τη στροφή σε επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, θα μελετηθεί ένα θεωρητικό μοντέλο ορίων εκπομπών ανά χώρα, στο οποίο θα υπάρχουν οικονομικές κυρώσεις στην περίπτωση που υπερβαίνεται, ενώ τα έσοδα θα προκύπτουν από την εφαρμογή του θα διατίθενται για την προώθηση πράσινων τεχνολογιών. Οι πιθανές στρατηγικές των παικτών θα αναλυθούν με βάση το παιγνιακό πρότυπο του διλήμματος των φυλακισμένων (Clemons, 2007). Η αποτίμηση της επιτυχίας αυτού του περιβαλλοντικού τέλους θα βασιστεί στην ανάλυση της λύσης του παίγνιου με βάση τις

θεωρήσεις των παικτών σε σχέση με τα πιθανά οφέλη ή κόστη που προκύπτουν από την τήρηση ή όχι των ορίων εκπομπών.

Τέλος, για την απάντηση στο ερώτημα Ε6 σχετικά με τη διερεύνηση ισορροπίας στο περιβαλλοντικό δίλημμα των φυλακισμένων, η οποία να αποτελεί τη λύση που είναι βέλτιστη για το κοινωνικό σύνολο, θα εξεταστούν οι λύσεις του παιγνιακού μοντέλου που προκύπτουν τόσο κατά τις βραχυχρόνιες όσο και τις μακροπρόθεσμες θεωρήσεις για τις απολαβές των παικτών. Επιπρόσθετα θα εξεταστεί μία μεσοπρόθεσμη προσέγγιση του προβλήματος βασιζόμενη στις επενδύσεις που απαιτούνται για τη σταθεροποίηση του ρυθμού εκπομπών CO₂ (Pascala, 2004) και θα εξεταστούν οι θεωρήσεις των παικτών υπό τις οποίες η δομή του πίνακα απολαβών του παίγνιου μπορεί να μετατρέψει το δίλημμα των φυλακισμένων σε παίγνιο συντονισμού ή παίγνιο της κότας.

3.4 Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων των παιγνιακών μοντέλων που εξετάζονται με την ανωτέρω μεθοδολογική προσέγγιση αναμένεται να δώσει ορισμένα σαφή αποτελέσματα και ικανοποιητικές απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα που έχουν τεθεί. Ακολουθώντας παρατίθενται τα γενικά προσδοκώμενα αποτελέσματα που εκτιμάται ότι θα προκύψουν από την ανάλυση που πραγματοποιείται στην παρούσα έρευνα.

Όσον αφορά τη διερεύνηση παιγνιακών προτύπων περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων (E1), αναμένεται να αναλυθούν τα τρία βασικά παίγνια α) παίγνιο συντονισμού, β) δίλημμα των φυλακισμένων και γ) παίγνιο της κότας. Ειδικότερα, η βιβλιογραφία έχει πολλές αναφορές στο Δίλημμα των φυλακισμένων ως μέθοδο ανάλυσης των διαπραγματεύσεων που πραγματοποιούνται σε παγκόσμιο επίπεδο για χάραξη κοινής πολιτικής και την αντιμετώπιση του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής (Bond, 2016· Clemons, 2007· Finus, 2002). Εκτός από αυτά τα βασικά παίγνια θα προσδιοριστούν και θα κατηγοριοποιηθούν όλα τα πιθανά παίγνια τα οποία μπορούν να περιγράψουν τις αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των συμμετεχόντων κρατών στις διεθνείς περιβαλλοντικές συνδιασκέψεις, καθώς εκτιμάται ότι τα περιβαλλοντικά παίγνια έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά όσον αφορά τον πίνακα απολαβών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του εκάστοτε μοντέλου (E2), θα προκύψουν από την ανάλυση του πίνακα απολαβών των παικτών. Ενδέχεται να φανεί ότι οι

παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή του εκάστοτε μοντέλου εξαρτώνται από τη θεώρηση των παικτών για το μέγεθος του περιβαλλοντικού προβλήματος και τη μεταβολή της σχετικής ισχύος τους έναντι του άλλου παίκτη κατά την άσκηση κάθε πιθανής στρατηγικής. Επομένως η υιοθέτηση κάθε πιθανού μοντέλου θα εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις εκτιμήσεις για τις συμπεριφορικές θεωρήσεις των παικτών και την οπτική τους σε σχέση με το περιβαλλοντικό πρόβλημα, καθώς έχει αποδειχτεί ότι συχνά τα μεγαλύτερα εμπόδια στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών εμφανίζονται κατά το στάδιο των διαπραγματεύσεων μεταξύ φορέων όπως κυβερνήσεις κρατών, εταιρίες, εμπορικοί φορείς και τοπικοί πληθυσμοί (Clemons, 2007).

Ο προσδιορισμός των απαραίτητων ενεργειών για την επίτευξη υλοποιήσιμης συμφωνίας κατά τις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις (E3) θα εξαρτηθεί από τα σημεία ισορροπίας Nash και τις κυρίαρχες στρατηγικές που υπάρχουν σε κάθε εξεταζόμενο παίγνιο. Τα παίγνια στα οποία το σημείο ισορροπίας Nash συμπίπτει με το Pareto Optimal αναμένεται ότι θα έχουν αυξημένες πιθανότητες επιτυχίας συγκριτικά με παίγνια στα οποία η ισορροπία Nash ή η κυρίαρχη στρατηγική ενός τουλάχιστον παίκτη προσδιορίζεται στην άσκηση της στρατηγικής μη περιορισμού της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Στις περιπτώσεις αυτές ενδέχεται να προταθούν απολαβές ή κυρώσεις εκτός της δομής του παίγνιου προκειμένου να αυξηθεί η πιθανότητα συνεργασίας. Επίσης αναμένεται η προηγούμενη εμπειρία των παικτών σε αντίστοιχα παίγνια και η πιθανότητα συνομιλιών πριν τη διεξαγωγή του παίγνιου να βοηθήσουν στην επίτευξη εφαρμόσιμης συμφωνίας που θα έχει θετικά αποτελέσματα για την αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού προβλήματος.

Όσον αφορά την επίδραση της διαφορετικής εκτίμησης των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων απολαβών των συμμετεχόντων παικτών στη διαμόρφωση των στρατηγικών τους και στη λύση του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων (E4), αναμένεται ότι οι παίκτες σε βραχυχρόνιο ορίζοντα θα αδυνατούν να δουν τα πιθανά μακροπρόθεσμα οφέλη των επενδύσεων σε πράσινες τεχνολογίες με αποτέλεσμα να εστιάζουν στα βραχυπρόθεσμα κόστη και να αποτυγχάνουν στην επίτευξη υλοποιήσιμης συμφωνίας περιορισμού των εκπομπών CO₂. Επομένως η μυωπική αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού προβλήματος ενδέχεται να εγκλωβίζει αέναα τους παίκτες σε ένα δίλημμα των φυλακισμένων.

Όσον αφορά την επιβολή περιβαλλοντικών κυρώσεων, ως εργαλείο άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής (E5), αναμένεται να φανεί ότι παρόλο που η πολιτική αυτή ενδέχεται να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται σε επίπεδο κράτους, κρίνεται λιγότερο πιθανό να λειτουργήσει ικανοποιητικά σε διακρατικό επίπεδο, γιατί ακόμα και με την επιβολή ενός παγκόσμιου περιβαλλοντικού τέλους, υπάρχει ισχυρό κίνητρο για απόκλιση και μη τήρηση των ορίων εκπομπών.

Τέλος, όσον αφορά την επίτευξη ισορροπίας στο περιβαλλοντικό δίλημμα των φυλακισμένων, η οποία να αποτελεί τη βέλτιστη λύση για το κοινωνικό σύνολο (E6), αναμένεται ότι αυτή θα είναι δύσκολα επιτεύξιμη όσο τα κράτη εστιάζουν στα βραχυπρόθεσμα κόστη των δράσεων περιορισμού της ρύπανσης αγνοώντας τα μακροπρόθεσμα πιθανά οφέλη της προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος. Η πιθανή λύση του προβλήματος ενδέχεται να μπορεί να βασιστεί σε μία μεσοπρόθεσμη προσέγγιση του προβλήματος, όπου τα πιθανά οφέλη είναι ορατά και συγκρίσιμα με το κόστος των απαιτούμενων επενδύσεων σε τεχνολογίες μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτελέσματα

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Στην ενότητα 4.2 αναλύονται τα παιγνιακά πρότυπα τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στην περιβαλλοντική διπλωματία κατά το στάδιο των περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων, προκειμένου να επέλθει συμφωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων κρατών και να καταστρωθούν οι βέλτιστες περιβαλλοντικές πολιτικές. Στα πλαίσια αυτά αναγνωρίζονται 25 στρατηγικά παίγνια 2·2, τα οποία παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα ανάλογα με τη φύση τους και τις πιθανές λύσεις τους, ενώ επιχειρείται ανάλυση των σημαντικότερων εξ αυτών.

Ακολούθως, στην ενότητα 4.3 αναλύεται το δίλημμα των φυλακισμένων κατά την εφαρμογή του στη διερεύνηση δυνατότητας επίτευξης και τήρησης συμφωνίας για την αποτροπή της κλιματικής αλλαγής. Η ανάλυση βασίζεται στη διερεύνηση των πολλαπλών λύσεων που προκύπτουν κατά την επίλυση του παίγνιου ανάλογα με τις εκτιμήσεις των παικτών για τον χρονικό ορίζοντα και την έκταση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Τέλος, στην ενότητα 4.4 γίνεται συζήτηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα.

4.2 Παιγνιακά πρότυπα περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων

Η διερεύνηση των παιγνιακών προτύπων περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων βασίζεται στην παραδοχή ότι τον ρόλο των παικτών που λαμβάνουν μέρος στις συνδιασκέψεις περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων έχουν τα κράτη και το παίγνιο που καλείται να επιλυθεί είναι η πορεία των διαπραγματεύσεων προς επίτευξη συμφωνίας, με σκοπό τη διαμόρφωση κοινής πολιτικής για την αντιμετώπιση ενός περιβαλλοντικού ζητήματος (Bond, 2016· DeCanio, 2011· Bréchet, 2016· Masoudia, 2014· Forgo, 2005). Επομένως κάθε κράτος θεωρείται ότι κατά τις διαπραγματεύσεις αυτές διαθέτει ένα σύνολο επιλογών A , γνωρίζει τις απολαβές από κάθε επιλογή και μπορεί να κατατάξει τις απολαβές αυτές μέσω μίας συνάρτησης απολαβών u σε αύξουσα σειρά. Η στρατηγική

των κρατών διαμορφώνεται με το κριτήριο της ορθολογικότητας, βασίζεται δηλαδή στη μεγιστοποίηση των συμφερόντων του κάθε κράτους, των μέγιστων απολαβών δηλαδή που μπορεί να κερδίσει με τη λήξη των διαπραγματεύσεων. Θεωρείται ότι οι αποφάσεις για την υιοθέτηση των στρατηγικών λαμβάνονται από τις αναλύσεις που πραγματοποιούνται πριν τη διεξαγωγή των συνδιασκέψεων, επομένως η μορφή των εξεταζόμενων παίγνιων θα είναι στρατηγική.

Ως λύση των εξεταζόμενων παιγνίων θεωρείται το αποτέλεσμα που προκύπτει από την άσκηση των στρατηγικών όλων των παικτών και αποτελεί το αποτέλεσμα της περιβαλλοντικής διαπραγμάτευσης. Η επίλυση των εξεταζόμενων παιγνίων θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση των κριτηρίων *maxi-min* και της Ισορροπίας Nash, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια επιλυσιμότητας κυριαρχίας (Παράρτημα Α), με απαλοιφές των αυστηρά κυριαρχούμενων στρατηγικών. Η προσέγγιση αυτή δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης του κάθε παίγνιου ανάλογα με τις αντίστοιχες υποθέσεις. Ένας συντηρητικός παίκτης ενδέχεται να επιλέξει τη στρατηγική του με βάση τη μικρότερη έκθεση στον κίνδυνο ανεξάρτητα από τις επιλογές των άλλων παικτών, σε αυτή την περίπτωση θα επιλέξει στρατηγικές *maxi-min*. Αντίθετα, ένας λιγότερο συντηρητικός παίκτης, ή ένας παίκτης, ο οποίος έχει συμμετάσχει πολλές φορές σε αντίστοιχο παίγνιο μπορεί να κάνει υποθέσεις για τη συμπεριφορά των άλλων παικτών και λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια ορθολογικότητας να ακολουθήσει στρατηγικές Ισορροπίας Nash.

Για την αποφυγή σύνθετων παιγνίων τα οποία είτε είναι αδύνατο να μοντελοποιηθούν ή δεν συγκλίνουν σε κάποια λύση, επιλέχθηκε τα στρατηγικά παίγνια περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων που αναλύονται να βασίζονται στην αλληλεπίδραση δύο παικτών. Η παραδοχή αυτή είναι συνεπής με τη βιβλιογραφία, καθώς “το πνεύμα των περισσότερων καταστάσεων στις διεθνείς σχέσεις μπορεί να αποτυπωθεί στα πλαίσια ενός απλού παιγνίου 2·2” (Barret, 2003). Ένα παίγνιο 2·2 μπορεί να αποτυπώσει με ακρίβεια τις πιθανές αλληλεπιδράσεις δύο κρατών κατά τη διάρκεια των περιβαλλοντικών συνδιασκέψεων και να θέσει τις βάσεις για την ανάλυση των παραγόντων που κρίνουν την έκβαση κάθε παίγνιου.

4.2.1 Γενική μορφή περιβαλλοντικών παιγνίων

Έστω η απλούστερη μορφή ενός περιβαλλοντικού παιγνίου διαπραγματεύσεων δύο παικτών όπου ο παίκτης *A* και ο παίκτης *B* έχει δύο στρατηγικές ο κάθε ένας, να συνεχίσει

να ρυπαίνει ή να επιλέξει να λάβει μέτρα για τον περιορισμό της ρύπανσης, οι απολαβές των οποίων προκύπτουν από τις συναρτήσεις απολαβών a_1 και a_2 αντίστοιχα. Για διευκόλυνση, η στρατηγική της μη λήψης μέτρων για τον περιορισμό της ρύπανσης θα συμβολίζεται ως P , ενώ η στρατηγική της λήψης μέτρων περιορισμού της θα συμβολίζεται ως Π . Ακολούθως παρουσιάζεται η γενική μορφή ενός περιβαλλοντικού παίγνιου διαπραγματεύσεων δύο παικτών με αυτές τις δύο διαθέσιμες στρατηγικές.

Πίνακας 2: Γενική μορφή περιβαλλοντικού παίγνιου διαπραγματεύσεων δύο παικτών με δύο διαθέσιμες στρατηγικές (Ρύπανση, Περιορισμός)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β	
		Στρατηγικές	
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Π	(a, u)	(b, v)
	P	(c, w)	(d, x)

Θεωρείται ότι οι απολαβές των παικτών που προκύπτουν από τις συναρτήσεις απολαβών $a_1 = \{a, b, c, d\}$ και $a_2 = \{u, v, w, x\}$ είναι διατακτικές και μπορούν να πάρουν αριθμητικές τιμές $\{4, 3, 2, 1\}$, όπου στην αριθμητική τιμή 4 αντιστοιχεί το καλύτερο αποτέλεσμα, δηλαδή η μεγαλύτερη απολαβή, στην αριθμητική τιμή 3 αντιστοιχεί το δεύτερο καλύτερο αποτέλεσμα, στην αριθμητική τιμή 2 το τρίτο καλύτερο αποτέλεσμα και στην αριθμητική τιμή 1 το χειρότερο αποτέλεσμα για κάθε παίκτη.

Το αποτέλεσμα, δηλαδή η λύση κάθε παίγνιου, εξαρτάται από του συνδυασμούς των πιθανών απολαβών όπως αυτές προκύπτουν από τους συνδυασμούς των ασκούμενων στρατηγικών των παικτών. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν 144 κατηγορίες διατακτικών παίγνιων 2·2 οποίες είναι γνωστές από τη δεκαετία του 1960, αλλά σχετικά πρόσφατα πραγματοποιήθηκε η ταξινόμησή τους σε ένα “Νέο Περιοδικό Πίνακα” (New Periodic Table, NTP) κατά ένα ενιαίο τοπολογικό τρόπο που βασίζεται στη μορφή των δομών απολαβών τους (Robinson, 2005). Στο κεφάλαιο αυτό, από το σύνολο των 144 αυτών παιγνίων θα αναλυθούν μόνο τα παίγνια τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις και θα παρουσιαστούν οι καταστάσεις που προσδιορίζουν τους συνδυασμούς των πιθανών απολαβών των παικτών που τα ταξινομούν στην κάθε εξεταζόμενη κατηγορία.

Προκειμένου να περιοριστεί ο αριθμός των εξεταζόμενων παιγνίων, που βρίσκουν εφαρμογή στις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις τα παίγνια που εξετάζονται απαιτείται να ικανοποιούν δύο βασικές συνθήκες (DeCanio, 2011). Η πρώτη συνθήκη είναι ότι η επιλογή της στρατηγικής (II, II) , δηλαδή η επιλογή και των δύο παικτών να περιορίσουν τη ρύπανση δίνει μεγαλύτερες απολαβές από την επιλογή της στρατηγικής (P, P) . Η δεύτερη συνθήκη είναι ότι η επιλογή στρατηγικής M από οποιονδήποτε παίκτη, δηλαδή η επιλογή να μην περιοριστεί η ρύπανση, προκαλεί ζημία στον άλλο παίκτη, αποτελεί μία αρνητική εξωτερικότητα. Η πρώτη συνθήκη βασίζεται στην υπόθεση ότι δεν υπάρχει οικονομικό ή γεωπολιτικό πλεονέκτημα για κανένα από τα δύο μέρη από την επιλογή του αμοιβαίου μη περιορισμού της ρύπανσης σε σχέση με τον αμοιβαίο περιορισμό της. Η βασική παραδοχή και για τους δύο παίκτες είναι επομένως ότι το περιβαλλοντικό πρόβλημα είναι πραγματικό και η επίλυσή του έχει μεγαλύτερο όφελος και για τους δύο παίκτες σε σχέση με την επιλογή της αποχής από οποιαδήποτε δραστηριότητα μετριασμού του. Η δεύτερη συνθήκη βασίζεται στη θεώρηση ότι η ρύπανση που προκαλείται από τον ένα παίκτη έχει αρνητική επίπτωση στον άλλο παίκτη. Συνδυαστικά οι απαιτήσεις αυτές αντικατοπτρίζουν την αποδεκτή θεώρηση ότι όλες οι χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν δεσμευτεί σε ένα ελάχιστο πλαίσιο δράσεων όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και το ερώτημα που διερευνάται στις μελλοντικές περιβαλλοντικές πολιτικές είναι ποιο είναι το επιτρεπτό μελλοντικό όριο ρύπανσης, που να μην εμποδίζει τη διατηρησιμότητα ή αειφορία (sustainability), με την έννοια της μη μειούμενης ευημερίας, την έννοια της μη μειούμενης αξίας του φυσικού κεφαλαίου ή την έννοια της μη μείωσης της ροής των υπηρεσιών που απολαμβάνει η ανθρωπότητα από επιλεγμένους φυσικούς πόρους (Tietenberg, 1996).

Αντιστοιχίζοντας τις συνθήκες που περιεγράφηκαν στη μήτρα απολαβών του Πίνακα 2 για την πρώτη συνθήκη θα πρέπει να ισχύει $a > d$ και $u > x$. Η δεύτερη συνθήκη προϋποθέτει ότι $a > b, c > d, u > w$ και $v > x$. Εξετάζοντας τα παίγνια 2·2 που ικανοποιούν αυτές τις συνθήκες, ο αριθμός των παιγνίων που σχετίζονται με το περιβάλλον και βρίσκει δυναμικά εφαρμογή στις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις περιορίζεται σε 25 (DeCanio, 2011). Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν οι κατηγορίες αυτών των παιγνίων, ανάλογα με τις απολαβές τους και τη μορφή της σύγκρουσης που προκύπτει κατά τη διαδικασία επίλυσής τους σύμφωνα με τη διαμορφούμενη στρατηγική των δύο παικτών

4.2.2 Μη-συγκρουσιακά παίγνια

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα δεν αποτελούν αναγκαστικά αντικείμενο σύγκρουσης διεθνών συμφερόντων. Υπάρχει ένας αριθμός παιγνίων που ικανοποιούν τις παραδοχές της κατηγοριοποίησής τους ως περιβαλλοντικά παίγνια και στα οποία η εύρεση συνεργατική λύσης μεταξύ των παικτών είναι σχετικά εύκολη και οι παίκτες δεν είναι αναγκαίο να βρίσκονται σε σύγκρουση συμφερόντων. Τα μη-συγκρουσιακά παίγνια αυτής της μορφής έχουν το χαρακτηριστικό ότι για τη στρατηγική $(Π, Π)$ έχουν απολαβή $(4, 4)$. Ακολούθως στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται το παίγνιο “Αρμονία” (Harmony).

Πίνακας 3: Παίγνιο “Αρμονία”

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	Π	P
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Π		$(4, 4)^{*+}$	$(3, 2)$
	P		$(2, 3)$	$(1, 1)$

* Ισορροπία Nash, + maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Στο παίγνιο αυτό οι ορθολογικοί παίκτες θα εμείνουν στη στρατηγική $(Π, Π)$ ανεξάρτητα με το αν ακολουθούν στρατηγικές maxi-min ή ισορροπίας Nash. Σύμφωνα με το κριτήριο της ισορροπίας Nash, η επιλογή του περιορισμού της ρύπανσης είναι κυρίαρχη στρατηγική και για τους δύο παίκτες καθώς κανένας από τους δύο παίκτες δεν μπορεί να βελτιώσει τις απολαβές του επιλέγοντας άλλη στρατηγική εφόσον ο άλλος παίκτης δεν αποκλίνει από το σημείο ισορροπίας. Δηλαδή ο παίκτης A , όντας ορθολογικός παίκτης, όταν επιλέγει τη στρατηγική $Π$ έχει μεγαλύτερη απολαβή από το να επέλεγε τη στρατηγική M ανεξάρτητα με τη στρατηγική που επιλέγει ο παίκτης B . Αντίστοιχα ο παίκτης B , όντας επίσης ορθολογικός παίκτης και γνωρίζοντας ότι ο Παίκτης A είναι επίσης ορθολογικός, έχει μεγαλύτερη απολαβή επιλέγοντας τη στρατηγική $Π$ ανεξάρτητα με την επιλογή του παίκτη B .

Εάν οι παίκτες επιλέγουν με βάση τη στρατηγική maxi-min, τότε ο παίκτης A δεν θα επιλέξει ποτέ τη στρατηγική M καθώς έχει τις μικρότερες πιθανές απολαβές και αντίστοιχα ο παίκτης B δεν θα επιλέξει ποτέ τη στρατηγική M για τον ίδιο λόγο. Επομένως, η στρατηγική maxi-min διασφαλίζει ότι κάθε παίκτης θα επιλέξει την επιλογή

που του επιφέρει τη μεγαλύτερη απολαβή, ανεξάρτητα από την επιλογή στρατηγικής του άλλου παίκτη. Σε αυτή την περίπτωση δεν χρειάζεται να γίνουν παραδοχές για την ορθολογικότητα, τη στρατηγική συμπεριφορά ή τα κίνητρα του άλλου παίκτη. Δηλαδή η στρατηγική *maxi-min* είναι μία ατομική στρατηγική παίκτη και πρακτικά οι επιφυλακτικοί παίκτες είναι πιθανό να την ακολουθούν σχεδόν πάντα, επιδιώκοντας την ελαχιστοποίηση της ενδεχόμενης ζημίας τους.

Στα πρότυπα του παίγνιου Αρμονία που παρουσιάστηκε υπάρχει ένα σύνολο οκτώ μη-συγκρουσιακών παιγνίων, με αντίστοιχη δομή απολαβών, τα οποία παρουσιάζονται ακολούθως.

Πίνακας 4: Τα οκτώ μη-συγκρουσιακά περιβαλλοντικά παίγνια

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) ^{*+}	(3, 2)
	P	(2, 3)	(1, 1)

ΚΣ Α: Π. ΚΣ Β: Π

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) ^{*+}	(2, 3)
	P	(3, 2)	(1, 1)

ΚΣ Α: Π. ΚΣ Β: Π

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) ^{*+}	(2, 2)
	P	(3, 3)	(1, 1)

ΚΣ Α: Π. ΚΣ Β: Π

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) ^{*+}	(3, 3)
	P	(2, 2)	(1, 1)

ΚΣ Α: Π. ΚΣ Β: Π

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) [*]	(1, 2)
	P	(3, 3) ⁺	(2, 1)

ΚΣ Β: Π

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) [*]	(3, 3) ⁺
	P	(2, 1)	(1, 2)

ΚΣ Α: Π

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) [*]	(1, 3)
	P	(3, 2) ⁺	(2, 1)

ΚΣ Β: Π

		B	
		Στρατηγικές	P
A	Π	(4, 4) [*]	(2, 3) ⁺
	P	(3, 1)	(1, 2)

ΚΣ Α: Π

* Ισορροπία Nash, ⁺ Maxi-min Σημείο Ισορροπίας, ΚΣ Α, Β: Κυρίαρχη Στρατηγική Παίκτη Α ή Β

Όλα αυτά τα μη-συγκρουσιακά παίγνια έχουν κοινό γνώρισμα ότι η ισορροπία Nash είναι η στρατηγική (II, II) , η επιλογή δηλαδή του αμοιβαίου περιορισμού της ρύπανσης. Η στρατηγική (II, II) είναι επίσης το σημείο ισορροπίας $\max\text{-}\min$ και η κυρίαρχη στρατηγική και για τους δύο παίκτες για τα τέσσερα πρώτα παίγνια. Παρόλα αυτά για τα τέσσερα επόμενα παίγνια, μόνο ένας από τους παίκτες έχει κυρίαρχη στρατηγική, επομένως η στρατηγική $\max\text{-}\min$ δεν είναι η βέλτιστη στρατηγική, καθώς και οι δύο παίκτες θα έχουν το βέλτιστο αποτέλεσμα μόνο αν επιλέξουν τη στρατηγική (II, II) . Επομένως, ακόμα και στην περίπτωση των μη-συγκρουσιακών παιγνίων φαίνεται ότι χρειάζεται διεθνής συνεργασία προκειμένου να γίνει κατανοητό σε όλους τους παίκτες ότι η στρατηγική (II, II) είναι η βέλτιστη κατά Παρέτο (Pareto-Superior) έναντι οποιασδήποτε άλλης στρατηγικής και να καλλιεργηθεί εμπιστοσύνη μεταξύ των επιφυλακτικών παικτών, οι οποίοι θα είχαν την τάση να επιλέξουν μία στρατηγική ενδεχόμενης ελαχιστοποίησης της ζημίας τους (Forgo, 2005).

4.2.3 Δίλημμα φυλακισμένων και παραπλήσια παίγνια

Το δίλημμα των φυλακισμένων αποτελεί το πιο βασικό παίγνιο της κατηγορίας των παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος και η βασική του κατάστρωση παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.2.4.1. Στην ακόλουθη ανάλυση το παιγνιακό αυτό μοντέλο αναπροσαρμόζεται ώστε να βρίσκει εφαρμογή στις διεθνείς περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις. Έστω ότι το παίγνιο διεξάγεται μεταξύ δύο Μεγάλων Δυνάμεων και ότι η μεγαλύτερη προτεραιότητα της κάθε Δύναμης είναι η διατήρηση της σχετικής ισχύος σε οικονομικό ή στρατιωτικό επίπεδο έναντι της άλλης (Grieco, 1988). Στην περίπτωση αυτή και οι δύο παίκτες επωφελούνται κατά το μέγιστο, όταν και οι δύο επιλέξουν τη στρατηγική του περιορισμού της ρύπανσης (II, II) . Παρόλα αυτά, το χειρότερο δυνατό αποτέλεσμα για τον κάθε παίκτη είναι η επιλογή του περιορισμού της ρύπανσης όταν ο άλλος παίκτης επιλέγει να ρυπαίνει (II, P) , (P, II) , καθώς η επιλογή του περιορισμού των εκπομπών ρύπων έχει μεγάλο οικονομικό κόστος και για τους δύο παίκτες, τουλάχιστον σε βραχυχρόνιο ορίζοντα (Clemons, 2007). Οι στρατηγικές των δύο παικτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Η μοναδική ισορροπία Nash του παιγνίου είναι η επιλογή (P, P) με απολαβή $(2, 2)$. Εάν ο Παίκτης A αποφασίσει να αποκλίνει, επιλέγοντας την επιλογή του περιορισμού της ρύπανσης και ο Παίκτης B διατηρήσει την επιλογή της ρύπανσης, τότε η απολαβή του

θα είναι 1, λιγότερο δηλαδή από την απολαβή που προκύπτει από την επιλογή (P, P) που είναι 2. Αντίστοιχα, εάν ο Παίκτης Β αποκλίνει από την επιλογή (P, P) και επιλέξει τον περιορισμό της ρύπανσης ενώ ο Παίκτης Α διατηρήσει την επιλογή της ρύπανσης τότε η απολαβή του θα μειωθεί από 2 σε 1.

Οι δύο παίκτες (κράτη) δηλαδή ενώ θα μπορούσαν με κάποιο τρόπο να διαπραγματευτούν μία επιβαλλόμενη διεθνή συμφωνία για περιορισμό της ρύπανσης, αυτό θα ήταν αρκετά δύσκολο γιατί και οι δύο έχουν κίνητρο να μην τηρήσουν τη δέσμευση, καθώς και οι δύο χώρες έχουν ως βασική προτεραιότητα την επικράτηση στον γεωπολιτικό ανταγωνισμό. Το σημείο ισορροπίας Nash (P, P) είναι αυτό-επιβαλλόμενο (self-enforcing) για κάθε παίκτη, επειδή κανένα από τα δύο κράτη δεν έχει το κίνητρο να αποκλίνει από αυτό.

Πίνακας 5: Το Δίλημμα των φυλακισμένων για την κλιματική πολιτική

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β	
		Στρατηγικές	Π
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Π	(3, 3)	(1, 4)
	P	(4, 1)	(2, 2) ^{*+}

* Ισορροπία Nash, + maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Η επιλογή της στρατηγικής $(Π, Π)$ είναι βέλτιστη κατά Παρέτο, έναντι της στρατηγικής (P, P) γιατί σε αυτήν η θέση του κάθε παίκτη δεν μπορεί να βελτιωθεί χωρίς να ζημιωθεί ο άλλος παίκτης και παράλληλα οι δύο παίκτες λαμβάνουν μεγαλύτερες απολαβές $(3, 3)$ έναντι των απολαβών του σημείου ισορροπίας Nash $(2, 2)$. Επομένως, εάν με κάποιο τρόπο οι δύο παίκτες επέλεξαν τη στρατηγική $(Π, Π)$ προκειμένου να παραμείνουν σε αυτήν, να τηρήσουν δηλαδή την περιβαλλοντική συμφωνία της αμοιβαίας μείωσης των ρύπων, θα έπρεπε να εξεταστούν οι απολαβές των στρατηγικών $(Π, P)$ και $(P, Π)$. Στον Πίνακα 5 οι απολαβές δίνονται σε διατακτική μορφή οπότε δεν είναι προφανές εάν το όφελος για παράδειγμα του Παίκτη Α να κινηθεί από τη στρατηγική $Π$ στη στρατηγική P προέρχεται από την απώλεια απολαβής του Παίκτη Β. Η αποτίμηση αυτή θα ήταν εφικτή εφόσον οι απολαβές δίνονταν σε απόλυτη και όχι σε διατακτική μορφή, οπότε και θα ήταν ευκολότερο να αποτιμηθεί η σχετική αύξηση της ωφέλειας του κάθε παίκτη,

δηλαδή η αύξηση της σχετικής ισχύος του κάθε παίκτη για την απόκλιση του από τη στρατηγική (II, II).

Μία εναλλακτική προσέγγιση για την τήρηση της στρατηγικής (II, II) είναι η δημιουργία κινήτρων με τη μορφή ανταμοιβών και κυρώσεων της μορφής “οφθαλμόν αντί οφθαλμού” (tit-for-tat) εκτός της δομής του παιγνίου (DeCanio, 2013). Οι κυρώσεις αυτές μπορεί να είναι για παράδειγμα, η άρνηση πρόσβασης σε νέες πράσινες τεχνολογίες και οι ανταμοιβές μπορεί να είναι συντονισμός δράσης σε άλλους τομείς. Εάν το παίγνιο επαναλαμβανόταν πολλές φορές, τότε οι παίκτες ενδέχεται να εκπαιδεύονταν στη λογική της συνεργασίας και να κατέληγαν στη βέλτιστη κατά Παρέτο στρατηγική (II, II).

Εκτός από το Δίλημμα των φυλακισμένων, στον Πίνακα NPT (Robinson, 2005) υπάρχουν δύο ακόμα παίγνια με παραπλήσια μορφή απολαβών, τα οποία παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα. Όπως και στο Δίλημμα των φυλακισμένων, η επιλογή (II, II) είναι βέλτιστη κατά Παρέτο έναντι της ισορροπίας Nash και του σημείου ισορροπίας maxi-min, ενώ παράλληλα η επιλογή του μη περιορισμού της ρύπανσης είναι κυρίαρχη στρατηγική για έναν από τους δύο παίκτες, με αποτέλεσμα αυτός ο παίκτης να έχει ισχυρό κίνητρο για απόκλιση από τη στρατηγική (II, II). Αντίστοιχα με το Δίλημμα των φυλακισμένων, η χειρότερη δυνατή επιλογή και για τους δύο παίκτες είναι ο περιορισμός της ρύπανσης ενώ ο άλλος παίκτης επιλέγει τη συνέχισή της, συνθήκη που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις έντονου γεωπολιτικού ανταγωνισμού.

Πίνακας 6: Περιβαλλοντικά παίγνια παραπλήσια με το δίλημμα των φυλακισμένων

		B	
		Π	P
A	Στρατηγικές		
	Π	(3, 4)	(1, 3)
	P	(4, 1)	(2, 2) ^{*+}

ΚΣ A: P

		B	
		Π	P
A	Στρατηγικές		
	Π	(4, 3)	(1, 4)
	P	(3, 1)	(2, 2) ^{*+}

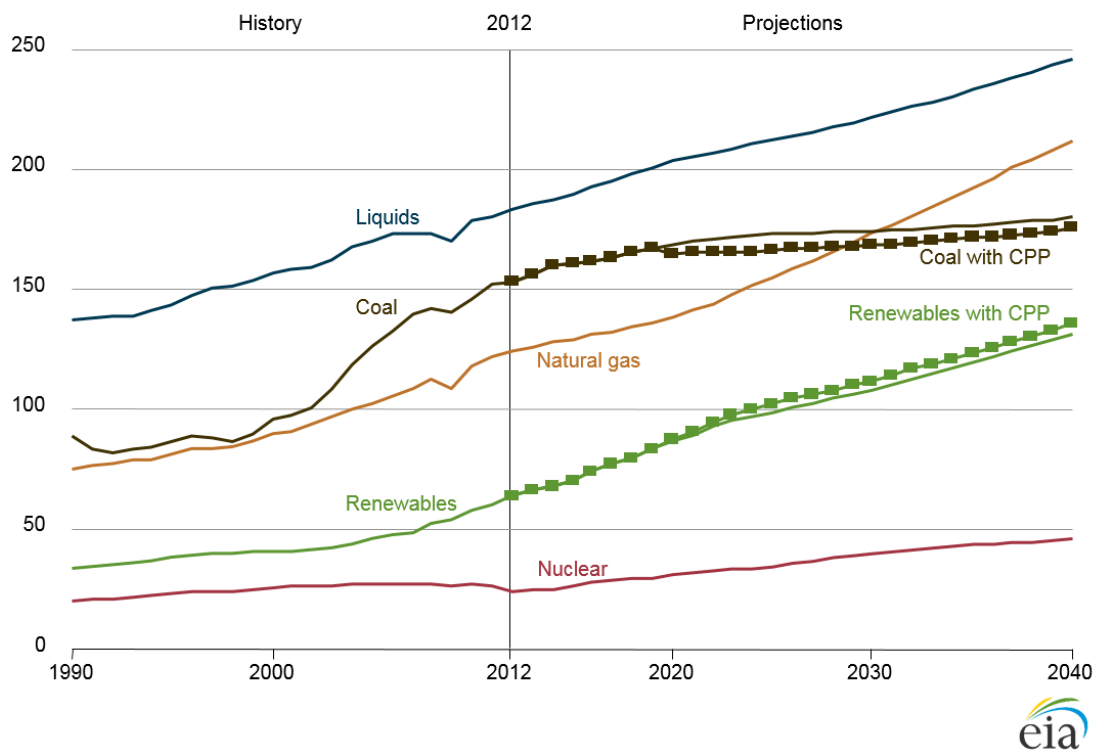
ΚΣ B: P

* Ισορροπία Nash, + maxi-min Σημείο Ισορροπίας, ΚΣ A, B: Κυρίαρχη Στρατηγική Παίκτη A ή B

Τα τρία παίγνια που παρουσιάστηκαν σε αυτή την ενότητα αποτελούν εξαιρετικές επιλογές για τη μοντελοποίηση των συνθηκών όπου ο έλεγχος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προκύπτει από τη μείωση των εκπομπών CO₂, μέσω κατάλληλων περιβαλλοντικών πολιτικών, δηλαδή προκύπτει από τη μείωση της χρήσης ορυκτών

καυσίμων. Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σήμερα και θα συνεχίσουν να αποτελούν μεγάλο μέρος της και στο μέλλον όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3 (IEA, 2016). Επομένως, είναι σχετικά απίθανο τα κράτη να επιλέξουν τη μείωση της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και την υποκατάστασή τους από πιο δαπανηρές τεχνολογίες χαμηλότερων εκπομπών CO₂.

Figure 1-5. World energy consumption by energy source, 1990-2040
quadrillion Btu



Σχήμα 2: Κατανάλωση ενέργειας ανά κατηγορία τεχνολογίας 1990-2040 (IEA, 2016)

4.2.4 Παίγνιο συντονισμού

Στο Δίλημμα των φυλακισμένων και οι δύο χώρες είναι ιδιαίτερα αρνητικές στην επιλογή της στρατηγικής $Π$ όταν η άλλη χώρα επιλέγει την επιλογή P , ενώ η καλύτερη επιλογή και για τις δύο χώρες είναι η στρατηγική $(Π, Π)$. Δεν υπάρχουν κίνητρα για απόκλιση από αυτή τη στρατηγική, δεδομένου όμως ότι μπορεί να επιτευχθεί αρχικά συναίνεση για την επιλογή της στρατηγικής $(Π, Π)$. Με μία μικρή τροποποίηση στη δομή του πίνακα απολαβών προκύπτει το παίγνιο, στο οποίο το χειρότερο αποτέλεσμα για ένα παίκτη είναι ο ίδιος να επιλέξει τη στρατηγική $Π$ ενώ ο άλλος επιλέγει τη στρατηγική P και με δεύτερο

χειρότερο αποτέλεσμα και για τους δύο παίκτες να είναι η κοινή επιλογή της στρατηγικής (P, P). Οι στρατηγικές των δύο παικτών στο παίγνιο αυτό που αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως παίγνιο συντονισμού (coordination game) παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 7: Παίγνιο συντονισμού

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β	
		Στρατηγικές	Π
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Π	(4, 4) *	(1, 3)
	P	(3, 1)	(2, 2) *+

* Ισορροπία Nash, + maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Σε αυτό το παίγνιο υπάρχουν δύο ισορροπίες Nash όταν είτε και οι δύο χώρες επιλέγουν τον περιορισμό της ρύπανσης είτε όταν και οι δύο χώρες επιλέγουν τον μη περιορισμό της ρύπανσης. Το διπλωματικό πρόβλημα επομένως σε αυτή την περίπτωση είναι αυτό της επιλογής σημείου ισορροπίας, καθώς εάν οι δύο παίκτες βρίσκονταν στο σημείο ισορροπίας (Π, Π) δε θα ήθελαν να μεταβάλλουν τη θέση τους, εκτός εάν αποφάσιζαν να επιλέξουν στρατηγικές maxi-min. Το παίγνιο αυτό βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής είναι σαφές σε όλους τους παίκτες, οπότε και η αντιμετώπισή του είναι η καλύτερη δυνατή επιλογή, αλλά παρόλα αυτά δεν είναι διατεθειμένοι να προβούν μονομερώς στην αντιμετώπισή του δεσμεύοντας πολύτιμους πόρους και χάνοντας τη σχετική ισχύ τους έναντι των ανταγωνιστών τους, προτιμώντας ως δεύτερη καλύτερη επιλογή τη συνέχιση της ρύπανσης.

Το παίγνιο αυτό αναφέρεται και ως κυνήγι ελαφιού (stag hunt) και περιγράφεται την ιστορία δύο κυνηγών που έχουν τη δυνατότητα να συνεργαστούν και να κυνηγήσουν ένα ελάφι ή μπορούν να μην συνεργαστούν και να κυνηγήσουν ένα λαγό. Χωρίς συνεργασία το κυνήγι του ελαφιού είναι καταδικασμένο να αποτύχει, αλλά ο κάθε κυνηγός μπορεί να πιάσει ένα λαγό εύκολα από μόνος του. Το παίγνιο συντονισμού διαφέρει θεμελιωδώς από το δίλημμα των φυλακισμένων γιατί η μεγαλύτερη απολαβή για ένα παίκτη σε αυτό είναι η αμοιβαία συνεργασία, ενώ στο δίλημμα των φυλακισμένων η μεγαλύτερη

απολαβή προκύπτει όταν ο παίκτης επιλέγει να συνεχίσει να ρυπαίνει ενώ ο άλλος παίκτης επιλέγει τον περιορισμό της ρύπανσης.

Το παγκόσμιο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής μπορεί να προσεγγιστεί και από το δίλημμα των φυλακισμένων και από το παίγνιο συντονισμού, ανάλογα με το πόσο σοβαρή θεωρείται η πιθανότητα καταστροφικής κλιματικής αλλαγής. Εάν αποδειχτεί ότι η κλιματική αλλαγή είναι ένας υπαρκτός κίνδυνος που μπορεί να φέρει σε κίνδυνο την ανθρωπότητα τότε η αντιμετώπιση του προβλήματος θα είναι η επιλογή του παίγνιου συντονισμού, ακόμα και στην περίπτωση ύπαρξης ισχυρών γεωπολιτικών αντιμαχιών, καθώς το σημείο ισορροπίας Nash του παίγνιου είναι αυτό-επιβαλλόμενο, εφόσον βέβαια μπορεί να επιτευχθεί. Εάν παρόλα αυτά τίποτα, ούτε η επιβίωση του ανθρώπινου είδους δεν έχει μεγαλύτερη σημασία για τους παίκτες από την επικράτηση σε γεωπολιτικό επίπεδο, τότε οι πιθανότητες συνεργασίας είναι ασθενείς και το πρόβλημα περιγράφεται καλύτερα με το δίλημμα των φυλακισμένων.

Η σύγκριση μεταξύ των δύο παιγνίων επιδεικνύει ότι το κυριότερο πρόβλημα που χρειάζεται να αντιμετωπιστεί στις διεθνείς διαπραγματεύσεις για το περιβάλλον είναι η αποτυχία των κυβερνήσεων των κρατών να αντιληφθούν τη βαρύτητα του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής. Είναι πολύ πιθανό να θεωρηθεί ότι εφόσον η αναγνώριση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής είναι σχετικά πρόσφατη, οι διαπραγματεύσεις εκκινούν από το σημείο ισορροπίας Nash (P, P) . Παρόλα αυτά η πιθανή συνειδητοποίηση του μεγέθους του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να οδηγήσει τα κράτη στην επιλογή της ισορροπίας Nash (II, II) , όπως συνέβη για παράδειγμα με την επιτυχία του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ.

4.2.5 Παίγνιο της κότας και παραπλήσια παίγνια

Στα παίγνια που εξετάστηκαν μέχρι στιγμής η επιλογή (II, II) αποτελούσε είτε σημείο ισορροπίας Nash είτε ήταν βέλτιστη κατά Παρέτο έναντι της ισορροπίας Nash. Υπάρχει παρόλα αυτά και μία υποκατηγορία περιβαλλοντικών παιγνίων στα οποία το σημείο ισορροπίας Nash προκύπτει από την επιλογή της ρύπανσης από τον ένα παίκτη και την επιλογή του περιορισμού της από τον άλλο παίκτη. Το βασικό παίγνιο αυτής της κατηγορίας είναι το “παίγνιο της κότας” (chicken game) στο οποίο δύο νεαροί οδηγοί οδηγούν σε μεγάλη ταχύτητα τα αυτοκίνητά τους ο ένας απέναντι στον άλλο και ο νικητής είναι αυτός ο οποίος δε θα αποφασίσει να στρίψει το τιμόνι. Εάν και οι δύο

στρίψουν το τιμόνι τότε θα σώσουν τις ζωές τους, αλλά εάν κανένας δεν το στρίψει τότε θα καταλήξουν και οι δύο νεκροί. Το παίγνιο της κότας παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 8: Παίγνιο της κότας

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	Π	P
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Π		(3, 3) ⁺	(2, 4) [*]
	P		(4, 2) [*]	(1, 1)

* Ισορροπία Nash, ⁺ maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Το παίγνιο έχει τα βασικά χαρακτηριστικά που ορίστηκαν προκειμένου να χαρακτηριστεί ως περιβαλλοντικό, καθώς η στρατηγική (Π, Π) είναι καλύτερη από τη στρατηγική (P, P) και για τους δύο παίκτες και η επιλογή της ρύπανσης από τον ένα παίκτη έχει μεγαλύτερες απολαβές από την επιλογή της μη ρύπανσης για τον άλλο παίκτη. Όπως διαπιστώνεται, το παίγνιο έχει δύο σημεία ισορροπίας Nash, τα οποία προκύπτουν από την επιλογή των στρατηγικών στις οποίες ο ένας παίκτης συνεχίζει να ρυπαίνει ενώ ο άλλος λαμβάνει μέτρα περιορισμού της ρύπανσης. Οι καταστάσεις αυτές περιγράφουν επιλογές παικτών οι οποίοι είναι, κατά αντιστοιχία με τους νεαρούς οδηγούς της ιστορίας του παίγνιου, ιδιαίτερα επιρρεπείς στον κίνδυνο. Εάν παρόλα αυτά οι δύο παίκτες είναι συντηρητικοί και θέλουν να μειώσουν την έκθεσή τους στον κίνδυνο, τότε θα επιλέξουν τη στρατηγική (Π, Π), η οποία αποτελεί και το σημείο ισορροπίας σύμφωνα με το κριτήριο maxi-min.

Υπάρχουν συνολικά τέσσερα ακόμα παίγνια με δομή αντίστοιχη με το παίγνιο της κότας, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 9, στα οποία τα σημεία ισορροπίας Nash προκύπτουν από τις στρατηγικές στις οποίες ο ένας παίκτης συνεχίζει να ρυπαίνει ενώ ο άλλος λαμβάνει μέτρα περιορισμού της ρύπανσης, ενώ το σημείο ισορροπίας και στα πέντε παίγνια σύμφωνα με το κριτήριο maxi-min είναι η στρατηγική περιορισμού της ρύπανσης και από τους δύο παίκτες. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 9 και στα τέσσερα αυτά παίγνια υπάρχει μία κυρίαρχη στρατηγική για κάθε παίκτη, η οποία υποδηλώνει ότι μόνο

η χώρα που δεν έχει κυρίαρχη στρατηγική σε αυτά τα παίγνια μπορεί να επιλέξει τη συντηρητική τακτική *maxi-min* προκειμένου να επιδιώξει το αποτέλεσμα (Π, Π) .

Πίνακας 9: Μη συμμετρικά παίγνια παραπλήσια με το παίγνιο της κότας

		B	
		Π	P
A	Στρατηγικές	(3, 4) ⁺	(2, 2)
	Π	(4, 3) [*]	(1, 1)
		ΚΣ B: Π	

		B	
		Π	P
A	Στρατηγικές	(4, 3) ⁺	(3, 4) [*]
	Π	(2, 2)	(1, 1)
		ΚΣ A: Π	

		B	
		Π	P
A	Στρατηγικές	(3, 4) ⁺	(2, 3)
	Π	(4, 2) [*]	(1, 1)
		ΚΣ B: Π	

		B	
		Π	P
A	Στρατηγικές	(4, 3) ⁺	(2, 4) [*]
	Π	(3, 2)	(1, 1)
		ΚΣ A: Π	

* Ισοροπία Nash, ⁺ *maxi-min* Σημείο Ισοροπίας, ΚΣ A, B: Κυρίαρχη Στρατηγική Παίκτη A ή B

Σε αυτή την κατηγορία παιγνίων, όπως και στο παίγνιο συντονισμού, η υιοθέτηση της στρατηγικής περιορισμού της ρύπανσης και από τους δύο παίκτες είναι εφικτή, εφόσον είναι αντιληπτός ο κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με το κριτήριο *maxi-min*. Παρόλα αυτά, στα παίγνια αυτά υπάρχει ένα μειονέκτημα στη στρατηγική *maxi-min*, καθώς ο ένας παίκτης (και οι δύο παίκτες στην περίπτωση του παίγνιου της κότας) έχει το κίνητρο να αποκλίνει από το σημείο ισοροπίας *maxi-min*. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο ένας παίκτης μπορεί να εκμεταλλευτεί την αποφυγή ανάληψης κινδύνου του άλλου παίκτη και να βελτιώσει τις απολαβές του υιοθετώντας τελικά τη στρατηγική *P*, οδηγούμενος μάλιστα σε σημείο ισοροπίας Nash, από την οποία ο άλλος παίκτης δεν είναι πρόθυμος να απομακρυνθεί. Επομένως, σε αυτή την κατηγορία παιγνίων, η στρατηγική *maxi-min* επιτρέπει σε ένα περισσότερο αδίστακτο ανταγωνιστή να αποκτήσει πλεονέκτημα αποκλίνοντας από αυτή, ενώ για ένα συντηρητικό παίκτη φαίνεται ελκυστική.

4.2.6 Δυστυχή παίγνια

Υπάρχουν έξι περιβαλλοντικά παίγνια στα οποία το σημείο ισοροπίας Nash και το σημείο ισοροπίας *maxi-min* προκύπτουν από την επιλογή της στρατηγικής ρύπανσης

από τον ένα παίκτη με παράλληλη επιλογής της στρατηγικής περιορισμού της ρύπανσης για τον άλλο παίκτη. Σε αυτά τα παίγνια που χαρακτηρίζονται ως “δυστυχή παίγνια” (unhappy games) υπάρχει έντονη ασυμμετρία μεταξύ των παικτών. Σε αυτά ο ένας παίκτης κερδίζει προκαλώντας θετικές απολαβές στον άλλο παίκτη, ενώ ο άλλος πάντοτε χάνει προκαλώντας αντίστοιχα θετικές απολαβές στον άλλο παίκτη. Επομένως τα κίνητρα των δύο παικτών είναι πλήρως μη σχετιζόμενα. Στα παίγνια αυτά οι δύο παίκτες έχουν διαμετρικά αντίθετες κοσμοθεωρίες και βρίσκουν εφαρμογή σε ηθικά διαφορούμενες καταστάσεις (Robinson, 2005). Τα έξι παίγνια που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία των δυστυχών παίγνιων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 10: Δυστυχή παίγνια

		B					B		
		Στρατηγικές	Π	P			Στρατηγικές	Π	P
A	Π		(3, 3)	(2, 4) ^{*+}	A	Π		(3, 3)	(1, 4)
	P		(4, 1)	(1, 2)		P		(4, 2) ^{*+}	(2, 1)
		B					B		
		Στρατηγικές	Π	P			Στρατηγικές	Π	P
A	Π		(4, 3)	(3, 4) ^{*+}	A	Π		(4, 3)	(2, 3) ^{*+}
	P		(2, 1)	(1, 2)		P		(3, 1)	(1, 2)
		B					B		
		Στρατηγικές	Π	P			Στρατηγικές	Π	P
A	Π		(3, 4)	(1, 2)	A	Π		(3, 4)	(1, 3)
	P		(4, 3) ^{*+}	(2, 1)		P		(4, 2) ^{*+}	(2, 1)

* Ισορροπία Nash, + maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Στα έξι αυτά παίγνια, στην περίπτωση που αυτά περιγράφουν περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις, η πιθανότητα κατάληξης αμοιβαίας συμφωνίας για τον περιορισμό της ρύπανσης είναι ιδιαίτερα ισχνή. Για παράδειγμα στα δύο παίγνια της δεύτερης σειράς παιγνίων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 10, ο Παίκτης A έχει ως κυρίαρχη στρατηγική τον περιορισμό της ρύπανσης και ο Παίκτης B έχει μεγαλύτερες απολαβές όταν ο Παίκτης A επιλέγει τον περιορισμό της ρύπανσης. Παρόλα αυτά, η επιλογή του μη περιορισμού της ρύπανσης είναι η κυρίαρχη στρατηγική για τον παίκτη B και στα δύο αυτά παίγνια και επιπλέον η υιοθέτηση της στρατηγικής ρύπανσης από τον παίκτη B

μειώνει τις απολαβές του παίκτη A. Επομένως η κυρίαρχη στρατηγική του Παίκτη A ωφελεί τον Παίκτη B, αλλά η κυρίαρχη στρατηγική του Παίκτη B βλάπτει τον Παίκτη A.

Η κατάσταση που περιεγράφηκε βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση όπου θεωρηθεί ότι ο παίκτης A είναι οι ανεπτυγμένες χώρες και ο παίκτης B οι αναπτυσσόμενες χώρες κατά τη διάρκεια περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων. Σε αυτή την περίπτωση, οι ανεπτυγμένες χώρες ωφελούνται από τον περιορισμό της ρύπανσης, όφελος που καρπώνονται και οι αναπτυσσόμενες χώρες. Παρόλα αυτά εάν η καλύτερη στρατηγική για τις αναπτυσσόμενες χώρες είναι να μην περιορίσουν τη ρύπανση, αυτό θα έχει αρνητικά αποτελέσματα για τις ανεπτυγμένες χώρες. Αξιοσημείωτο είναι ότι η επιλογή του μη περιορισμού της ρύπανσης ταυτόχρονα για τις ανεπτυγμένες χώρες και τις αναπτυσσόμενες χώρες δεν παρουσιάζει τη χαμηλότερη απολαβή για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Στην περίπτωση όπου οι παγκόσμιες περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις βασίζονται στο μοντέλο των δυστυχών παίγνιων, τότε θα πρέπει, προκειμένου να επιτευχθεί συμφωνία, να υπάρξουν απολαβές και πιέσεις (carrot and stick) εκτός της δομής του παιγνίου ώστε να μεταβληθεί η κατάταξη των απολαβών των αναπτυσσόμενων χωρών.

4.2.7 Παίγνια χωρίς καθαρή στρατηγική ισορροπίας Nash

Υπάρχουν δύο ακόμα παίγνια που μπορούν να υπαχθούν στην κατηγορία παιγνίων περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων, τα οποία αποκαλούνται “Κυκλικά Παίγνια” (Cycle) και στα οποία δεν υπάρχει κανένα σημείο αμιγούς στρατηγικής ισορροπίας Nash. Το σημείο ισορροπίας, σύμφωνα με το κριτήριο maxi-min, είναι αυτό στο οποίο ο ένας παίκτης επιλέγει τη στρατηγική του περιορισμού της ρύπανσης ενώ ο άλλος επιλέγει τη στρατηγική του μη περιορισμού της. Τα παίγνια αυτά παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα:

Πίνακας 11: Περιβαλλοντικά παίγνια χωρίς καθαρή στρατηγική ισορροπίας Nash

		B				B	
		Π	P			Π	P
A	Στρατηγικές	Π	P	A	Στρατηγικές	Π	P
	Π	(3, 4)	(2, 3) ⁺		Π	(4, 3)	(1, 4)
	P	(4, 1)	(1, 2)	P	(3, 2) ⁺	(2, 1)	

⁺ maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Τα παίγνια αυτά είναι συμμετρικά και περιγράφουν μία μάταιη κατάσταση κατά την οποία καμία κατάσταση δεν είναι διατηρήσιμη από κανένα παίκτη. Έστω στο πρώτο παίγνιο ότι οι δύο παίκτες εκκινούν από την επιλογή (P, P) . Ο Πάικτης Α έχει συμφέρον να μεταβεί από την κατάσταση αυτή στην επιλογή II (απολαβή από 1 σε 2). Όμως στην επιλογή (II, P) ο Πάικτης Β έχει συμφέρον να μεταβεί στην κατάσταση II (απολαβή από 3 σε 4).

Στη συνέχεια στην επιλογή (II, II) ο Πάικτης Α έχει συμφέρον να μεταβεί στην κατάσταση P (απολαβή από 3 σε 4), δίνοντας στον Πάικτη Β το κίνητρο να μεταβεί πάλι στην αρχική κατάσταση (P, P) (απολαβή από 3 σε 4). Ο κύκλος αυτός θα μπορούσε να συνεχίσει να επαναλαμβάνεται αέναα, παρόλο που η κατάσταση (II, II) υπερέχει κατά Παρέτο συγκριτικά με το σημείο ισορροπίας $\max\text{-}\min (II, P)$, αλλά παρόλα αυτά είναι μη διατηρήσιμη. Σε αυτή την κατηγορία παιγνίων, διεθνής περιβαλλοντική συμφωνία θα μπορούσε να επιτευχθεί με την παροχή κινήτρων και παροχών εκτός του πίνακα απολαβών του παίγνιου.

4.3 Εφαρμογή διλήμματος φυλακισμένων σε πολιτικές μείωσης θερμοκηπιακών εκπομπών

Η θεωρητική εφαρμογή του διλήμματος των φυλακισμένων, που επιχειρείται ακολούθως για την αποτίμηση των πολιτικών μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, βασίζεται στην παραδοχή ότι το πρόβλημα της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας και της μακροπρόθεσμης κλιματικής αλλαγής, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.3.2, είναι υπαρκτό, καθώς και ότι η λύση του είναι οικονομικά δαπανηρή και τεχνολογικά σύνθετη, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι και μη εφικτή. Τα μεγαλύτερα εμπόδια, που παρουσιάζονται κατά την αντιμετώπιση του κινδύνου της μακροπρόθεσμης κλιματικής αλλαγής, οφείλονται κυρίως σε κοινωνικά και πολιτικά αίτια και όχι σε οικονομικά ή τεχνολογικά αίτια (Clemons, 2007). Η αδυναμία επίλυσης του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής στο παρελθόν πηγάζει από το γεγονός ότι τα οφέλη της αλόγιστης εκμετάλλευσης του περιβάλλοντος είναι άμεσα και προφανή, ενώ τα οφέλη από τη βελτίωση της κατάστασης του φυσικού περιβάλλοντος στο μακρινό μέλλον είναι λιγότερα βέβαια, ασαφή και απαιτούν τη συντονισμένη δράση διαφόρων φορέων όπως επιχειρήσεις, κυβερνήσεις, εμπορικοί φορείς και τοπικοί πληθυσμοί. Η ακόλουθη

ανάλυση του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων βασίζεται στις ακόλουθες επιστημονικές παραδοχές:

1. Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας και η μακροπρόθεσμη κλιματική αλλαγή είναι υπαρκτή.
2. Το κλίμα της γης έχει υποστεί διάφορες αλλαγές στο παρελθόν ως συνδυασμό της ηφαιστειακής δραστηριότητας και της μεταβολής των ηλιακών εκπομπών.
3. Οι τρέχουσες κλιματικές αλλαγές είναι μεγαλύτερες από αυτές που προβλέπονται από τα μοντέλα προσομοίωσης που βασίζονται σε αυτές τις φυσικές δραστηριότητες και εικάζεται ότι οφείλονται στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, κυρίως του CO₂ από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης. Οι αλλαγές αυτές είναι ανθρωπογενείς και θα επιδεινωθούν εάν τα επίπεδα ανθρωπογενών εκπομπών CO₂ συνεχίσουν να αυξάνονται.
4. Σε κάποια στιγμή στο μέλλον η κλιματική αλλαγή θα αποτελέσει σημαντικό οικονομικό πρόβλημα, προκαλώντας μεταβολή των ακτογραμμών ως αποτέλεσμα της αύξησης της στάθμης των παγκόσμιων υδάτων, πλημύρες, ξηρασίες και προβλήματα διατροφικού εφοδιασμού στην ανθρωπότητα.
5. Το οικονομικό κόστος της αντιμετώπισης της μακροπρόθεσμης κλιματικής αλλαγής είναι υψηλό, αλλά μικρότερο από το οικονομικό κόστος της μη δράσης.

Επιπρόσθετα, στην πορεία της ανάλυσης θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες συμπεριφοριστικές παραδοχές (Clemons, 2007):

1. Οι άνθρωποι από τη φύση τους δεν λαμβάνουν κατά κανόνα αποφάσεις, οι οποίες έχουν μακροπρόθεσμες αβέβαιες απολαβές, έναντι αποφάσεων με βέβαια και άμεσα οφέλη.
2. Είναι ακόμα πιο δύσκολο να συντονιστούν οι αποφάσεις μεγάλων ομάδων όταν έχουν να επιλέξουν αποφάσεις με μακροπρόθεσμες αβέβαιες απολαβές έναντι αποφάσεων με βέβαια και άμεσα οφέλη.
3. Οι κυβερνήσεις των κρατών αποτελούνται από εκλεγμένους αξιωματούχους, οι οποίοι είναι δύσκολο να προτείνουν μακροπρόθεσμες πολιτικές που προκαλούν μελλοντικά αβέβαια οφέλη με αυξημένο κόστος σήμερα, βάζοντας με αυτό τον τρόπο σε κίνδυνο την επανεκλογή τους.

4. Καμία επιχείρηση δεν προτίθεται να μειώσει μονομερώς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί εάν δεν το κάνουν και οι ανταγωνιστές της, καθώς αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανταγωνιστικής της θέσης.
5. Ούτε οι ΗΠΑ ούτε η Κίνα δεν προτίθενται να μειώσουν μονομερώς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν. Το κόστος μίας τέτοιας πράξης θα ζημίωνε την ανταγωνιστική θέση των επιχειρήσεων της χώρας και θα αύξανε το κόστος των αγαθών και των υπηρεσιών που παράγονται για εσωτερική κατανάλωση, με αποτέλεσμα επιβράδυνση της οικονομικής μεγέθυνσης και μείωση της Ποιότητας Ζωής των κατοίκων της.
6. Οι κάτοικοι της ΕΕ και των ΗΠΑ είναι περισσότερο ευαισθητοποιημένοι και πιο ενήμεροι για τα προβλήματα που σχετίζονται με τον κίνδυνο της μακροπρόθεσμης κλιματικής αλλαγής, αλλά οι εκλεγμένοι αξιωματούχοι των κυβερνήσεων τους είναι λιγότερο ενήμεροι και ευαισθητοποιημένοι από τους πολίτες.

4.3.1 Βραχυχρόνιο και μακροχρόνιο περιβαλλοντικό δίλημμα φυλακισμένων

Στην ενότητα 2.2.4.1 παρουσιάστηκε το παίγνιο του διλήματος των φυλακισμένων στη γενική του θεώρηση ως το πιο αντιπροσωπευτικό παίγνιο μη μηδενικού αθροίσματος, ενώ στην ενότητα 4.2.2 παρουσιάστηκε το ίδιο παίγνιο υπό το πρίσμα των περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων. Για το παίγνιο αυτό το σημείο ισορροπίας Nash καθώς και το σημείο ισορροπίας *maxi-min* αποτελεί η ταυτόχρονη άσκηση της στρατηγικής ομολογίας και για τους δύο παίκτες, παρόλο που δεν είναι η στρατηγική που παρέχει τις μέγιστες απολαβές και για το σύνολο.

Έστω ότι το παίγνιο εφαρμόζεται σε διαπραγματεύσεις για την αντιμετώπιση της μακροπρόθεσμης κλιματικής αλλαγής από μία Μεγάλη Δύναμη. Η θεώρηση αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι οι υπόλοιποι μεγάλοι παίκτες όπως, η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ιαπωνία, έχουν δεσμευτεί για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και οι κύριοι ρυπαντές ανάμεσα στις χώρες που δεν τήρησαν το πρωτόκολλο του Κιότο είναι οι ΗΠΑ και η Κίνα (Clemons, 2007). Είναι δεδομένη η γνώση ότι η κλιματική αλλαγή και οι μακροπρόθεσμες συνέπειές της είναι ένας υπαρκτός κίνδυνος, και παράλληλα είναι επίσης γνωστό ότι απαιτούνται συντονισμένες παγκόσμιες δράσεις για να αντιμετωπιστεί. Η μονομερής μείωση των εκπομπών CO₂ από μία Μεγάλη Δύναμη θα

προκαλέσει βραχυπρόθεσμα αύξηση του κόστους παραγωγής των προϊόντων της και θα δημιουργήσει σημαντική μείωση της ανταγωνιστικότητάς τους σε παγκόσμιο επίπεδο. Η θεώρηση αυτή αποδεικνύει ότι σε κάθε περίπτωση η χώρα αυτή δεν έχει κανένα κίνητρο να δραστηριοποιηθεί περιβαλλοντικά και ότι οι επιλογές για τους άλλους παίκτες είναι είτε να δραστηριοποιηθούν με αποτέλεσμα μείωση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας τους είτε να μην δραστηριοποιηθούν διατηρώντας την οικονομική τους ισχύ. Επομένως, σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, η κλιματική αλλαγή θα επέλθει με ζημιογόνα αποτελέσματα για όλους τους παίκτες.

Η λύση της συνέχισης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας χωρίς περιορισμούς δεν αποτελεί μονόδρομο εάν αναπροσαρμοστούν ορισμένοι κανόνες του παίγνιου. Στην περίπτωση που στο αρχικό πρόβλημα υπήρχε η δυνατότητα στους δύο κρατούμενους να έρθουν σε συνεννόηση πριν λάβουν τις αποφάσεις τους, τότε καταστρώνοντας τον Πίνακα των πιθανών απολαβών τους, σύντομα θα κατέληγαν στο συμπέρασμα ότι μακροπρόθεσμα θα έπρεπε να καταλήξουν και οι δύο στην μη ομολογία, καθώς αυτή δίνει τη μεγαλύτερη απολαβή και για τους δύο. Εάν επίσης στο αρχικό παίγνιο οι απολαβές εκφράζονταν σε χρηματικές μονάδες αντί σε μήνες ποινής φυλάκισης, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 2.2.4.1, ή αντί σε διατακτική σειρά προτίμησης, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.2.2, τότε θα ήταν πολύ πιθανό οι δύο παίκτες να επεδίωκαν να μην ομολογήσουν, προκειμένου να έχουν τη μεγαλύτερη χρηματική απολαβή. Η αναπροσαρμοσμένη εκδοχή του διλήμματος των φυλακισμένων με χρηματικές απολαβές παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 12: Το δίλημμα των φυλακισμένων με χρηματικές απολαβές

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β	
		Στρατηγικές	Μη Ομολογία
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Μη Ομολογία	(5 €, 5 €)	(10 €, -10 €)
	Ομολογία	(- 10 €, 10 €)	(-5 €, - 5 €)

Πραγματοποιώντας μία ακόμα μεταβολή στον Πίνακα απολαβών του παιγνίου, οι δύο Παίκτες συμφωνούν ότι το αποτέλεσμα της ομολογίας έχει ιδιαίτερα υψηλό χρηματικό κόστος, κατά αντιστοιχία με το κόστος της κλιματικής αλλαγής. Εάν η επιλογή της μη

ομολογίας αντιστοιχιστεί στη συνέχιση της ρύπανσης και η επιλογή της ομολογίας στον περιορισμό της με απώτερο σκοπό την αποφυγή της κλιματικής αλλαγής, τότε μακροπρόθεσμα το παίγνιο διαφοροποιείται. Η επιδίωξη του περιορισμού της ρύπανσης μακροπρόθεσμα, μετά τις επενδύσεις σε πράσινη τεχνολογία και την απόσβεσή τους, θα οδηγήσει σε αποτροπή της κλιματικής αλλαγής αλλά σε σύγκριση με την κατάσταση σήμερα θα οδηγήσει σε μηδενικό όφελος, γιατί τελικά δε θα υπάρχει καμία μεταβολή και για αυτό το λόγο η απολαβή για τη στρατηγική (II, II) είναι $(0, 0)$. Σε αντίθετη περίπτωση ανεξάρτητα με το εάν ο ένας από τους δυο παίκτες ή και οι δύο παίκτες επιλέξουν τη συνέχιση της ρύπανσης, θα επέλθει κλιματική αλλαγή με ανυπολόγιστο κόστος για την ανθρωπότητα, έστω X τρισεκατομμύρια ευρώ, επομένως οι απολαβές σε αυτή την περίπτωση, θα είναι $(-X \text{ τρις } \text{€}, -X \text{ τρις } \text{€})$. Η μορφή του παίγνιου σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται στον Πίνακα 13 και η λύση του είναι προφανής, καθώς η μόνη λογική επιλογή εφόσον οι Παίκτες κατανοούν στοιχειωδώς το παίγνιο, είναι ο περιορισμός της ρύπανσης, δηλαδή η στρατηγική $(0, 0)$.

Πίνακας 13: Το μακροπρόθεσμο δίλημμα των φυλακισμένων για το περιβάλλον

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	Περιορισμός	Ρύπανση
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Περιορισμός		$(0 \text{ €}, 0 \text{ €})$	$(-X \text{ τρις } \text{€}, -X \text{ τρις } \text{€})$
	Ρύπανση	$(-X \text{ τρις } \text{€}, -X \text{ τρις } \text{€})$	$(-X \text{ τρις } \text{€}, -X \text{ τρις } \text{€})$	$(-X \text{ τρις } \text{€}, -X \text{ τρις } \text{€})$

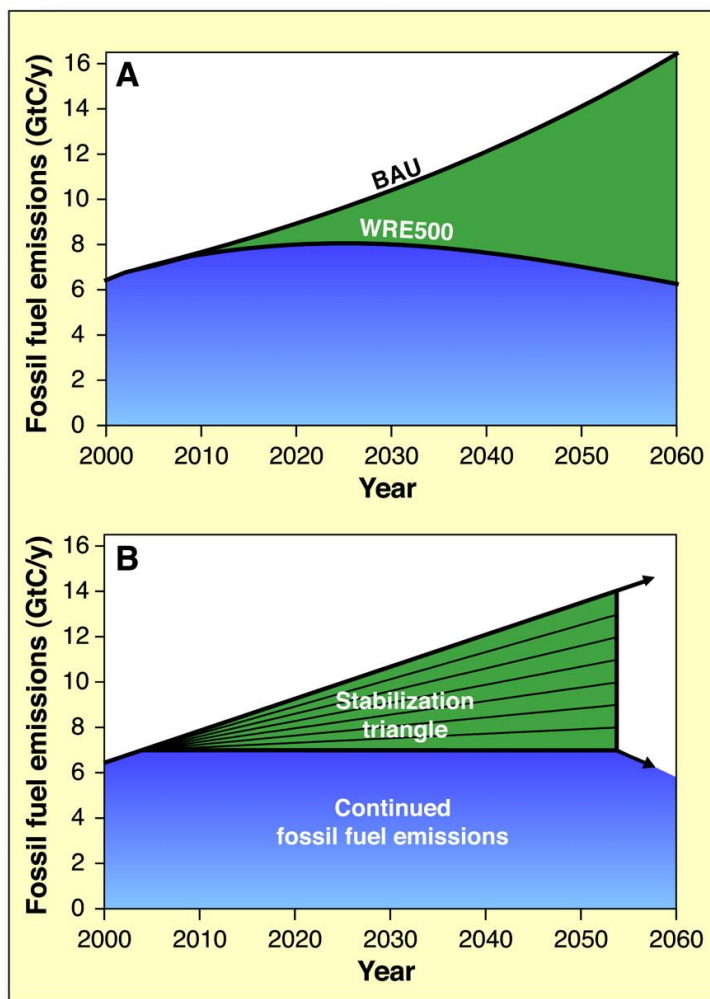
Έστω ότι το παραπάνω παίγνιο εξετάζεται με δύο μόνο παίκτες κατά τη διάρκεια περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων, τις ΗΠΑ και την Κίνα. Επίσης ισχύουν οι παραδοχές ότι οι δύο παίκτες μπορούν να διαπραγματευτούν, το παίγνιο μπορεί να επαναλαμβάνεται περιοδικά και ότι και οι δύο παίκτες γνωρίζουν ότι το κόστος της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής είναι ανυπολόγιστο όπως φαίνεται στον Πίνακα 23, επομένως δε θα επιλέξουν ποτέ τη στρατηγική (II, II) . Στην περίπτωση όπου το παίγνιο εξεταστεί βραχυπρόθεσμα, η στρατηγική (P, P) , κατά την οποία θεωρείται ότι οι δύο παίκτες συνεχίζουν να ρυπαίνουν χωρίς περιορισμό, οδηγεί βραχυπρόθεσμα σε μηδενική αλλαγή συγκριτικά με το σημερινό επίπεδο ευημερίας καθώς δεν πραγματοποιούνται επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες που έχουν κόστος αλλά και δεν επέρχεται άμεσα

κλιματική αλλαγή με ανυπολόγιστο κόστος. Επομένως, στην βραχυχρόνια θεώρηση του προβλήματος η στρατηγική (P, P) έχει απολαβή $(0, 0)$.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3.2, η αύξηση των εκπομπών CO₂ προκαλεί αποδεδειγμένα αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και εάν δεν εφαρμοστούν περιοριστικές πολιτικές ο κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής είναι υπαρκτός (IPCC, 2015). Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί (Pascala, 2004) υποδεικνύουν διάφορες τεχνολογίες με τη χρήση των οποίων μπορούν να σταθεροποιηθούν οι εκπομπές CO₂ σε επίπεδα έως 500 ppm ανά έτος, εκπομπές που αντιστοιχούν σε 7 δισεκατομμύρια τόνους άνθρακα ανά έτος (Giga tons of Carbon per year, GtC/y). Οι τεχνολογίες αυτές εστιάζουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και την ενεργειακή αποδοτικότητα, στη μετάβαση σε εναλλακτικούς τύπους καυσίμου, στην υιοθέτηση τεχνολογιών Δέσμευσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (Carbon Capture and Storage, CCS), στην εκτεταμένη χρήση της πυρηνικής ενέργειας και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και στην τόνωση των φυσικών συλλεκτών CO₂. Σύμφωνα με την έρευνα που αφορά την περίοδο 2005 - 2055 (Pascala, 2004), η χρήση των επτά εναλλακτικών αυτών τεχνολογικών προσεγγίσεων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπομπών CO₂ συγκριτικά με το σενάριο βάσης (Business As Usual, BAU) και ανάλογα με το ποσοστό χρήσης των τεχνολογιών να καταστήσει τα επίπεδα εκπομπών CO₂ σταθερά σε χρονικό ορίζοντα 50 ετών. Οι προβλέψεις αυτές παρουσιάζονται ακολούθως στο Σχήμα 4. Δεδομένου ότι τα τρέχοντα επίπεδα CO₂ είναι αντίστοιχα και ενδεχομένως χαμηλότερα (ESLR, 2016) συγκριτικά με τα δεδομένα της μελέτης αυτής, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα συμπεράσματά της είναι εφαρμόσιμα.

Εάν υποθεθεί ότι οι ΗΠΑ αποφάσιζαν να επενδύσουν βραχυπρόθεσμα στη χρήση πράσινων τεχνολογιών για την επίτευξη αυτού του στόχου, για παράδειγμα με μετατροπή όλων των συμβατικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε εργοστάσια CCS, απαιτείται ένα σύνολο επενδύσεων 30 τρισεκατομμυρίων ευρώ για χρονικό ορίζοντα πενήντα ετών, ποσό που αντιστοιχεί στο 1% του προβλεπόμενου ΑΕΠ των ΗΠΑ για αυτό το διάστημα. Αντίστοιχα, εάν υποθεθεί ότι η Κίνα αποφάσιζε να επενδύσει σε πράσινες τεχνολογίες για να καλύψει την αυξανόμενη ενεργειακή της ζήτηση, χωρίς μετατροπή των τρεχόντων υποδομών, απαιτείται ένα σύνολο επενδύσεων 11 τρισεκατομμυρίων ευρώ για χρονικό ορίζοντα πενήντα ετών, ποσό μικρότερο από το 1% του προβλεπόμενου ΑΕΠ της Κίνας για αυτό το διάστημα (Clemons, 2007). Στην

περίπτωση αυτή το εξεταζόμενο βραχυχρόνιο δίλημμα των φυλακισμένων για το Περιβάλλον παρουσιάζεται στον Πίνακα 24.



Σχήμα 3: Σχέδιο διατήρησης εκπομπών CO₂ σε επίπεδο 7 GtC/y (Pascala, 2004)

Πίνακας 14: Το βραχυχρόνιο δίλημμα των φυλακισμένων για το περιβάλλον

ΠΑΙΚΤΗΣ Β

	Στρατηγικές	Περιορισμός	Ρύπανση
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Περιορισμός	(-30 τρις €, -11 τρις €)	(- 30 τρις €, 0 €)
	Ρύπανση	(0 €, -11 τρις €)	(0 €, 0 €)

Η φύση του μακροπρόθεσμου παίγνιου δεν είναι εμφανής στους δύο παίκτες και οι δύο Μεγάλες Δυνάμεις έχουν συμφέρον να μην υιοθετήσουν περιβαλλοντικές πολιτικές περιορισμού των εκπομπών CO₂ και να επιδιώξουν την αύξηση του ΑΕΠ προσδοκώντας σε μεγαλύτερη ισχύ έναντι των ανταγωνιστών τους. Επομένως, τόσο η Κίνα όσο και η Αμερική θα επιδιώκουν να εφαρμόζουν τη στρατηγική *P* του μη περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εστιάζοντας στο βραχυπρόθεσμο και όχι στο μακροπρόθεσμο πρόβλημα, γεγονός που διαφαίνεται στη μέχρι τώρα στάση των δύο χωρών κατά τις παγκόσμιες περιβαλλοντικές συνδιασκέψεις

4.3.2 Διερεύνηση επίλυσης περιβαλλοντικού διλήμματος φυλακισμένων

Επιχειρώντας να διερευνηθούν οι πιθανές περιβαλλοντικές πολιτικές για τη λύση του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων συνοψίζονται οι βασικές θεωρήσεις στις οποίες θα βασιστεί η ανάλυση. Καταρχάς, θεωρείται ότι ο κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής είναι δεδομένος και οι οικονομικές επιπτώσεις στην περίπτωση αυτή είναι ανυπολόγιστες. Επίσης, η αποφυγή της κλιματικής αλλαγής είναι εφικτή και απαιτεί τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ με χρήση συνδυασμού γνωστών πράσινων τεχνολογιών. Παρόλα αυτά, το οικονομικό κόστος αυτής της τεχνολογικής στροφής είναι υψηλό και απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, χωρίς να είναι όμως απαγορευτικό. Το κόστος της συνέχισης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας κατανέμεται σε όλους τους παίκτες μακροπρόθεσμα, ενώ ευνοεί βραχυπρόθεσμα μόνο τον παίκτη που δε θα επιλέξει τη λήψη μέτρων. Το γεγονός αυτό καθιστά τη στρατηγική μη περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πιο ελκυστική υπό το πρίσμα του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων, καθώς η μονομερής δράση είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και η διμερής δράση δεν είναι εξασφαλισμένη.

Οι περιβαλλοντικές πολιτικές που κατά κανόνα εφαρμόζονται για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης βασίζονται στην εσωτερικευση των εξωτερικοτήτων, δηλαδή στην απόδοση κόστους στη ρύπανση, επιμερίζοντας το κόστος αυτό στους ρυπαντές. Η εφαρμογή τέτοιου είδους πολιτικών μπορεί να πραγματοποιηθεί σχετικά εύκολα στο εσωτερικό μίας χώρας, επιβαρύνοντας τις επιχειρήσεις που δε συμμορφώνονται με τα περιβαλλοντικά πρότυπα που έχουν θεσπιστεί, αλλά δεν είναι το ίδιο εύκολο να εφαρμοστεί σε διακρατικό επίπεδο καθώς δεν υπάρχει ενιαία παγκόσμια διακυβέρνηση. Μία ενδεχόμενη λύση θα ήταν μία διακρατική οργάνωση η οποία θα πραγματοποιούσε

ελέγχους στις εκπομπές CO₂ και θα ήταν επιφορτισμένη με το καθήκον του προσδιορισμού περιβαλλοντικού τέλους που θα επιβάρυνε τις εξαγωγές προϊόντων από τις χώρες που δε συμμορφώνονται με τα θεσπισθέντα όρια εκπομπών (Muller-Forstenberger, 1997). Το τέλος αυτό θα παρείχε το κίνητρο στις χώρες να στραφούν προς πράσινες τεχνολογίες, προκειμένου να αποφύγουν την αύξηση των εξαγωγικών τιμών τους, ενώ τα έσοδα από το τέλος αυτό θα μπορούσαν να επενδυθούν σε αντίστοιχες τεχνολογίες.

Παρόλο που θεωρητικά ένα τέτοιο σύστημα μοιάζει να ωφελεί συνολικά τον πλανήτη, παρουσιάζει δύο βασικά ελαττώματα. Πρώτον, εφόσον το τέλος αυτό θα επιβάρυνε τα εξαγωγικά προϊόντα, δε θα είχε καμία επίπτωση στα προϊόντα που καταναλώνονται εσωτερικά σε μία χώρα, συνεισφέροντας στην αύξηση του ΑΕΠ της. Επομένως μία χώρα που δε θα επέλεγε τον περιορισμό της ρύπανσης θα απολάμβανε αυξημένα οικονομικά οφέλη συγκριτικά με τα οφέλη που θα αποκόμιζε από τη στροφή της σε πράσινες τεχνολογίες. Δεύτερον, η επιβάρυνση των εξαγωγικών προϊόντων της μη συμμορφούμενης χώρας με ένα περιβαλλοντικό τέλος περιορίζει την κατανάλωση των προϊόντων αυτών στις υπόλοιπες χώρες που συμμορφώνονται με τον περιορισμό της ρύπανσης, επιβαρύνοντας τους τελικούς καταναλωτές. Εκτός των παραπάνω, η επιβολή ενός υποχρεωτικού τέλους θέτει υπό αμφισβήτηση εθνικά δικαιώματα και δικαιώματα ελεύθερου εμπορίου, επομένως αμφισβητείται η πιθανότητα λειτουργίας του.

Στην ενότητα 4.2.2 αναφέρθηκε ότι μία πιθανή λύση στο Δίλημμα των φυλακισμένων είναι η μεταβολή του πίνακα απολαβών του παίγνιου με εφαρμογή τακτικών “οφθαλμόν αντί οφθαλμού” (tit-for-tat). Πράγματι στην περίπτωση όπου το περιβαλλοντικό αυτό παίγνιο επαναλαμβάνεται πολλές φορές σύμφωνα με τις απολαβές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 εάν ο παίκτης *A*, δεν καταδώσει τον *B* τότε σύντομα και ο παίκτης *B* θα συνειδητοποιήσει ότι η καλύτερη τακτική είναι να κάνει και αυτός το ίδιο. Εάν σε μία επανάληψη του παίγνιου ο παίκτης *A* αποφασίσει να καταδώσει τον παίκτη *B*, τότε στην επόμενη επανάληψη ο παίκτης *B* θα αποφασίσει να καταδώσει με τη σειρά του τον παίκτη *A* με αποτέλεσμα και οι δύο να βρεθούν σε χειρότερη θέση από το εάν είχαν εξαρχής επιλέξει να μην καταδώσουν ο ένας τον άλλο. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση εξέτασης δύο Μεγάλων Δυνάμεων αυτή η θεώρηση δεν έχει εφαρμογή, γιατί το παίγνιο που και οι δύο παίκτες παίζουν περιγράφεται από το βραχυχρόνιο Δίλημμα των φυλακισμένων., όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 14. Τόσο οι ΗΠΑ όσο και η Κίνα θα επέλεγαν τη

στρατηγική του σημείου ισορροπίας Nash του μη περιορισμού της ρύπανσης. Ακόμα και στην περίπτωση όπου επιβαλλόταν ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό τέλος, οι δύο αυτές χώρες θα μπορούσαν αμοιβαία να το αγνοήσουν, ενώ τα πιθανά έσοδα από το τέλος εξαγωγών προς άλλες χώρες δε θα ήταν επαρκή για να περιορίσουν την περιβαλλοντική ζημία από τον μη περιορισμό της ρύπανσης των δύο Μεγάλων Δυνάμεων.

Εφόσον το πρόβλημα της αναγνώρισης κατάλληλης πολιτικής για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανάγεται στο βραχυχρόνιο περιβαλλοντικό δίλημμα των φυλακισμένων, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.3.1.1 μεταξύ δύο παικτών που αντιπροσωπεύουν δύο Μεγάλες Δυνάμεις, τότε το πρόβλημα δεν έχει αναγκαστικά κάποια λύση. Ενδεχομένως η πιθανότητα επιτυχίας ενός παγκόσμιου περιβαλλοντικού τέλους να καθοριστεί από τη διαμόρφωση ισχυρών καταναλωτικών προτιμήσεων προκειμένου να ασκηθεί επιπλέον πίεση στις κυβερνήσεις των ρυπαντών χωρών. Εάν υποθεθεί ότι ο συνασπισμός των χωρών που αποδέχονται την ύπαρξη ενός τέτοιου τέλους είναι αρκετά ευρύς, ώστε να έχει επιπτώσεις στις εξαγωγές των ρυπαντών κρατών, τότε ενδέχεται οι χώρες που δε συμμορφώνονται με τα θεσπισθέντα όρια εκπομπών να αναγκαστούν να αλλάξουν την συμπεριφορά τους προκειμένου να καταστήσουν τα προϊόντα τους πιο ελκυστικά στις χώρες που συμμορφώνονται. Επομένως στην περίπτωση αυτή, μία υπεύθυνη περιβαλλοντικά συμπεριφορά θα ήταν ταυτόχρονα και πιο ελκυστική οικονομικά.

Σε κάθε περίπτωση, η πιθανότητα επιτυχίας των περιβαλλοντικών πολιτικών για τη μείωση εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αντίληψη των παικτών για τις διαστάσεις του προβλήματος. Η καθαρά βραχυπρόθεσμη προσέγγιση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 14 δεν είναι δεσμευτική με το πέρασμα του χρόνου. Εάν μεσοπρόθεσμα το κόστος της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής αποδειχτεί ότι είναι άμεσο, σαφές και αποτιμάται αρκετά υψηλό, τότε ακόμα και μικρότερες δράσεις περιορισμού του προβλήματος θα έχουν σχετικά υψηλές απολαβές. Οι δράσεις αυτές μπορεί να έχουν συγκεκριμένο κόστος ανά παίκτη, αλλά συλλογικά, θεωρώντας πάντα ότι υπάρχουν παίκτες εκτός του εξεταζόμενου παίγνιου που είναι δεσμευμένοι σε δράσεις περιορισμού της ρύπανσης, καταλήγουν πραγματικά σε περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2. Σε αυτή την περίπτωση το παίγνιο Δίλημμα των φυλακισμένων θα μπορούσε να μετατραπεί στο παίγνιο συντονισμού όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα

4.2.3. Το παίγνιο που θα παίξουν οι δύο παίκτες κατά τη μεσοπρόθεσμη αυτή προσέγγιση παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 15: Το μεσοπρόθεσμο δίλημμα των φυλακισμένων για το περιβάλλον

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	Περιορισμός	Ρύπανση
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Περιορισμός		(0 €, 0 €)	(- Y -30 τρις €, - Y + Z τρις €.)
	Ρύπανση		(-Y + Z τρις €, -Y -11 τρις €)	(-X τρις €, -X τρις €)

Στην περίπτωση αυτή, το κόστος του περιορισμού της ρύπανσης και από τους δύο παίκτες θεωρείται το ίδιο με αυτό του μακροπρόθεσμου διλήμματος των φυλακισμένων, δηλαδή $(0, 0)$. Πράγματι στην περίπτωση όπου και οι δύο παίκτες ακολουθήσουν πολιτικές περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η επιλογή του μη περιορισμού της ρύπανσης και για τους δύο παίκτες έχει ανυπολόγιστο κόστος $(-X, -X)$ τρις € και οδηγεί στην κλιματική αλλαγή. Η δράση περιορισμού της ρύπανσης από ένα παίκτη συντονισμένα με τις δράσεις των χωρών που έχουν συμφωνήσει και εφαρμόζουν ήδη πολιτικές περιορισμού της ρύπανσης, έχει μεν μεγάλο κόστος αλλά ενδέχεται να μετριάσει σε κάποιο βαθμό της επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής με κόστος $-Y$ τρις €, όπου $Y < X$, γιατί οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα είναι περιορισμένες. Δεδομένου ότι η δράση αυτή θα έχει κάποιο αποτέλεσμα αλλά δε θα αποτρέψει πλήρως τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη, το κόστος για όλους τους παίκτες θα είναι τουλάχιστον $-Y$ τρις € μειούμενο ή αυξανόμενο κατά ένα αντίστοιχο ποσό, ανάλογα με το αν προέβησαν στη λήψη μέτρων ή όχι. Το ποσό Z ανταποκρίνεται στο όφελος που ενδέχεται να έχει ο ένας παίκτης έναντι του άλλου, λόγω της αύξησης της σχετικής του ισχύος σε γεωπολιτικό επίπεδο. Επομένως, προκειμένου το πρόβλημα του Πίνακα 15 να θεωρηθεί ότι αποτελεί ένα παίγνιο συντονισμού θα πρέπει να ισχύει:

$$\text{Για τον Παίκτη Α: } 0 > -Y + Z > -X > -Y - 30 \quad (7)$$

$$\text{Για τον Παίκτη Β: } 0 > -Y + Z > -X > -Y - 11 \quad (8)$$

Προκειμένου να ισχύουν οι παραπάνω ανισώσεις θα πρέπει καταρχάς το συνολικό μεσοπρόθεσμο γεωπολιτικό όφελος Z του κάθε παίκτη να μην υπερβαίνει το κόστος της κλιματικής αλλαγής μετά από τις δράσεις περιορισμού του άλλου παίκτη, δηλαδή $Y > Z$. Πράγματι σε αντίθετη περίπτωση, ο κάθε ένας από τους δύο παίκτες δεν πρόκειται ποτέ να αναλάβει δράση εάν γνωρίζει ότι οι δράσεις του άλλου παίκτη αρκούν για τον περιορισμό του προβλήματος, καθώς η επιλογή ρύπανσης δίνει πάντοτε τις μεγαλύτερες απολαβές, οπότε το πρόβλημα παραμένει ένα Δίλημμα των φυλακισμένων. Εάν οι μονομερείς δράσεις ενός παίκτη είναι ικανές να προκαλέσουν μικρότερη μεταβολή στο τελικό υψηλό κόστος της κλιματικής αλλαγής, σε σχέση με τις επενδύσεις που απαιτούνται να πραγματοποιηθούν από αυτόν, δηλαδή εάν $X - Y < 30$ και $X - Y < 11$, τότε το παίγνιο ανάγεται σε παίγνιο συντονισμού, όπως φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα.

Πίνακας 16: Αναπροσαρμογή του μεσοπρόθεσμου διλήμματος των φυλακισμένων για το περιβάλλον σε παίγνιο συντονισμού και απαιτούμενες συνθήκες

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	Περιορισμός	Ρύπανση
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Περιορισμός		(0 €, 0 €) *	(- Y -30 τρις €, - Y + Z τρις €.)
	Ρύπανση		(-Y + Z τρις €, -Y -11 τρις €)	(-X τρις €, -X τρις €) *+

* Ισορροπία Nash, + maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Απαιτούμενες Συνθήκες: $X > Y, Y > Z, X - Y < 11$

Εάν αποδειχτεί ότι η κλιματική αλλαγή είναι ένας υπαρκτός κίνδυνος που μπορεί να φέρει σε κίνδυνο την ανθρωπότητα τότε η αντιμετώπιση του προβλήματος θα είναι η επιλογή του παίγνιου συντονισμού, ακόμα και στην περίπτωση ύπαρξης ισχυρών γεωπολιτικών αντιμαχιών, καθώς το σημείο ισορροπίας Nash του παίγνιου είναι αυτό-επιβαλλόμενο, εφόσον βέβαια μπορεί να επιτευχθεί. Ο στόχος της διπλωματίας, των πράσινων τεχνολογιών και της ενημέρωσης για το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να είναι η μετατροπή του παίγνιου σε παίγνιο συντονισμού πριν ο πλανήτης να βρεθεί στο χείλος της καταστροφής, αυξάνοντας τις απολαβές και μειώνοντας το κόστος των

δράσεων περιορισμού της ρύπανσης, με παράλληλη αύξηση της πληροφόρησης για τον ενδεχόμενο κίνδυνο και το κόστος της κλιματικής αλλαγής.

Εξετάζοντας εάν το μεσοπρόθεσμο Δίλημμα των φυλακισμένων όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 15 θα μπορούσε να επαναπροσδιοριστεί και ως μη συγκρουσιακό παίγνιο, όπως το παίγνιο Harmony που εξετάστηκε στην ενότητα 4.2.1, θα πρέπει να ισχύει:

$$\text{Για τον Παίκτη A: } 0 > -Y - 30 > -Y + Z > -X \quad (9)$$

$$\text{Για τον Παίκτη B: } 0 > -Y - 11 > -Y + Z > -X \quad (10)$$

Οι παραπάνω ανισώσεις δεν μπορούν να ισχύουν ταυτόχρονα, καθώς ο παίκτης που απολαμβάνει το μεσοπρόθεσμο όφελος Z της μη λήψης μέτρων περιορισμού της ρύπανσης πάντοτε θα έχει μεγαλύτερο κέρδος επιδιώκοντας αυτή τη στρατηγική σε σχέση με το κόστος της λήψης μέτρων. Επομένως, το μεσοπρόθεσμο πρόβλημα της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί μέσω ενός μη συγκρουσιακού παίγνιου. Εξετάζοντας για άλλη μία φορά τον Πίνακα 15, διερευνώνται οι συνθήκες υπό τις οποίες θα μπορούσε το εξεταζόμενο παίγνιο να επαναπροσδιοριστεί υπό τη μορφή του παίγνιου της κότας, που εξετάστηκε στην ενότητα 4.2.5. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ισχύει:

$$\text{Για τον Παίκτη A: } -Y + Z > 0 > -Y - 30 > -X \quad (11)$$

$$\text{Για τον Παίκτη B: } -Y + Z > 0 > -Y - 11 > -X \quad (12)$$

Για να ισχύουν οι παραπάνω ανισώσεις θα πρέπει το εκτιμώμενο γεωπολιτικό όφελος του παίκτη που επιλέγει τον μη περιορισμό της ρύπανσης που προκαλεί, να είναι μεγαλύτερο από το αποτιμώμενο κόστος που προκύπτει από τις μετριασμένες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, δηλαδή $Z > Y$. Επίσης, εάν οι μονομερείς δράσεις ενός παίκτη είναι ικανές να προκαλέσουν μικρότερη μεταβολή στο τελικό υψηλό κόστος της κλιματικής αλλαγής, σε σχέση με τις επενδύσεις που απαιτούνται να πραγματοποιηθούν από αυτόν, δηλαδή εάν $X - Y < 30$ και $X - Y < 11$, τότε το παίγνιο ανάγεται σε παίγνιο της κότας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 17.

Η λύση αυτή εξετάζει την περίπτωση, όπου τα γεωπολιτικά οφέλη από τη μη λήψη μέτρων περιορισμού της ρύπανσης είναι πολύ μεγάλα συγκρινόμενα με τις μετριασμένες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, επομένως ο κάθε παίκτης έχει ισχυρό κίνητρο να συμπεριφερθεί ως free rider, συνεχίζοντας την ανεξέλεγκτη ρύπανση. Όπως και στο

παίγνιο συντονισμού, η υιοθέτηση της στρατηγικής περιορισμού της ρύπανσης και από τους δύο παίκτες είναι εφικτή, εφόσον είναι αντιληπτός ο κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με το κριτήριο maxi-min. Παρόλα αυτά, στην περίπτωση όπου το παίγνιο ανάγεται στη μορφή του παίγνιου της κότας και οι δύο παίκτες έχουν κίνητρο να αποκλίνουν από το σημείο ισορροπίας maxi-min. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο ένας παίκτης μπορεί να εκμεταλλευτεί την αποφυγή ανάληψης κινδύνου του άλλου παίκτη και να βελτιώσει τις απολαβές του, υιοθετώντας τελικά τη στρατηγική μη ελέγχου της ρύπανσης, οδηγούμενος μάλιστα σε σημείο ισορροπίας Nash, την οποία ο άλλος παίκτης δεν είναι πρόθυμος να μεταβάλλει.

Πίνακας 17: Αναπροσαρμογή του μεσοπρόθεσμου διλήμματος των φυλακισμένων για το περιβάλλον σε παίγνιο της κότας και απαιτούμενες συνθήκες

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β	
		Περιορισμός	Ρύπανση
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Στρατηγικές		
	Περιορισμός	$(0 \text{ €}, 0 \text{ €})^+$	$(-Y - 30 \text{ τρις €}, -Y + Z \text{ τρις €})^*$
	Ρύπανση	$(-Y + Z \text{ τρις €}, -Y - 11 \text{ τρις €})^*$	$(-X \text{ τρις €}, -X \text{ τρις €})$

* Ισορροπία Nash, + maxi-min Σημείο Ισορροπίας

Απαιτούμενες Συνθήκες: $Z > Y, X - Y < 11$

Όπως είναι προφανές από την παραπάνω διερεύνηση, της λύσης του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων, το πρόβλημα μπορεί να πάρει διαφορετικές μορφές ανάλογα με τον χρονικό ορίζοντα στον οποίο εξετάζεται και επιδέχεται πολλαπλές λύσεις ή καμία λύση, καθώς μεταβάλλεται ο πίνακας απολαβών του παίγνιου. Η μεταβολή των απολαβών των παικτών οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις θεωρήσεις των παικτών για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, αλλά και για τον χρονικό ορίζοντα στον οποίο ενδέχεται να προκληθούν, δεδομένης της χρονικής στιγμής στην οποία λαμβάνονται αποφάσεις. Επίσης, οι απολαβές των παικτών εξαρτώνται και από τα γεωπολιτικά οφέλη, τα οποία εκτιμούν ότι μπορούν να προκύψουν από την ανισοκατανομή των βαρών κατά την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Το μέγεθος των απολαβών αυτών μπορεί να είναι καθοριστικό για την παγκόσμια συντονισμένη δράση μείωσης των εκπομπών

αερίων του θερμοκηπίου ή για την συνέχιση της αλόγιστης ρύπανσης που μεγαλώνει την έκθεση στον κίνδυνο της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής.

4.4 Συζήτηση

Στο Κεφάλαιο αυτό εξετάστηκαν 25 μοντέλα παιγνίων 2·2 τα οποία μπορούν να βρουν εφαρμογή στη διεθνή περιβαλλοντική διπλωματία κατά το στάδιο των διαπραγματεύσεων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν ως οκτώ μη συγκρουσιακά παίγνια, το δίλημμα των φυλακισμένων και τα δύο συναφή του παίγνια, το παίγνιο συντονισμού, το παίγνιο της κότας και τα τέσσερα μη συμμετρικά συναφή του παίγνια, τα έξι δυστυχή παίγνια και δύο κυκλικά παίγνια χωρίς σημείο ισορροπίας Nash.

Η σύγκριση των παιγνιακών μοντέλων δείχνει ότι η πιο εύκολη περιβαλλοντική διαπραγμάτευση θα υπήρχε στην περίπτωση όπου το παίγνιο που την περιέγραφε ήταν μη συγκρουσιακό. Στην περίπτωση αυτή η επίτευξη συμφωνίας είναι σχετικά εύκολη και χρειάζεται ένα ελάχιστο επίπεδο συζητήσεων προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη κατά Παρέτο επιλογή και να μην ακολουθήσουν οι συμμετέχοντες στρατηγικές *maxi-min*. Το γεγονός ότι δεν έχει υπάρξει ακόμα δεσμευτική παγκόσμια συμφωνία, δείχνει ότι τα μη συγκρουσιακά μοντέλα δεν βρίσκουν εφαρμογή στις τρέχουσες παγκόσμιες διαπραγματεύσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η ανάλυση των παιγνιακών μοντέλων δείχνει ότι το σημείο ισορροπίας Nash δεν αποτελεί τη μοναδική έννοια επίλυσης των παίγνιων (*solution concept*) που εξετάζονται. Η απροθυμία ανάληψης κινδύνου και η έλλειψη εμπιστοσύνης μεταξύ των κρατών μπορεί να οδηγήσει τις χώρες, που εμπλέκονται σε περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις, να υιοθετήσουν στρατηγικές ισορροπίας *maxi-min*, χωρίς αυτό να αποτελεί γενικό κανόνα. Οι στρατηγικές *maxi-min* ορισμένες φορές οδηγούν σε σημείο ισορροπίας Nash και άλλες όχι. Το κριτήριο σημείου ισορροπίας Nash μπορεί να οδηγήσει σε πολλαπλές πιθανές λύσεις και συνδέεται συχνά με την ορθολογικότητα των παικτών, χωρίς να είναι δεσμευτικό παρόλα αυτά ότι ορθολογικοί παίκτες θα επιλέξουν σε κάθε περίπτωση στρατηγικές ισορροπιών Nash (DeCanio, 2013).

Η σύγκριση των 25 παιγνιακών μοντέλων δείχνει ότι μικρές αλλαγές στις προτιμήσεις των παικτών μπορούν να αλλάξουν το σημείο ισορροπίας Nash, επομένως και να

μεταβάλλουν τις προοπτικές συνεργασίας (Perlo, 2006). Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η μετατροπή του διλήμματος των φυλακισμένων σε παίγνιο συντονισμού, θέτοντας τις απολαβές των παικτών στη στρατηγική που περιγράφει την παράλληλη λήψη μέτρων περιορισμού της ρύπανσης στην πρώτη θέση της κατάταξης των προτιμήσεών τους. Όσο υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής της κατάταξης προτιμήσεων των εμπλεκόμενων παικτών, μέσω διπλωματικών προσεγγίσεων και αύξηση της πληροφόρησης, τόσο υπάρχει αισιοδοξία ότι το περιβαλλοντικό πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί.

Η δυσκολία της αντιμετώπισης του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να οφείλεται στην αντιδιαμετρική αντίληψη των κρατών ως προς τα συμφέροντά τους. Εάν η υπόθεση αυτή είναι αληθής ή δηλαδή το περιβαλλοντικό πρόβλημα είναι όντως ένα δίλημμα των φυλακισμένων, τότε απαιτούνται κατάλληλα κίνητρα συνεργασίας προκειμένου να επιτευχθεί μία παγκόσμια συμφωνία. Ακόμα και στην περίπτωση όπου οι περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις χαρακτηρίζονται από έντονη ασυμμετρία, είναι πιθανό μία σωστά καταστρωμένη στρατηγική διαπραγμάτευσης σε συνδυασμό με κατάλληλα κίνητρα και πίεση σε άλλους τομείς να οδηγήσουν σε συμφωνία μείωσης του επιπέδου εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Παράδειγμα ανεπιτυχούς κατάληξης περιβαλλοντικής διαπραγμάτευσης κατά το παιγνιακό πρότυπο του διλήμματος των φυλακισμένων αποτελεί η θέσπιση του Πρωτοκόλλου του Κιότο το 1997 για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή, το οποίο τελικά δεν υπογράφηκε και δεν εφαρμόστηκε από όλες τις συμμετέχουσες χώρες (UNFCCC, 2014).

Η τρέχουσα εικόνα μετά τη Συνδιάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή στο Παρίσι (UNFCCC, 2016) είναι ότι τα περισσότερα κράτη προτίθενται να συνεργαστούν για τη μείωση του κινδύνου της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Η υπογραφή και τήρηση δεσμευτικής συμφωνίας παρόλα αυτά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη στάση που θα τηρηθεί απέναντι στα κράτη που δεν δεσμεύονται ή αρνούνται να συνεργαστούν, έτσι ώστε το παίγνιο που περιγράφει τις διαπραγματεύσεις να μετατραπεί από δίλημμα των φυλακισμένων σε παίγνιο συντονισμού. Στο παίγνιο συντονισμού, η πορεία των διαπραγματεύσεων εξαρτάται από τον ορισμό του σημείου ισορροπίας και η επίτευξη διατηρήσιμης συμφωνίας ενδέχεται να απαιτεί προσεγγίσεις πέραν των αυστηρά οικονομικών προσεγγίσεων. Παράδειγμα επιτυχούς κατάληξης περιβαλλοντικής διαπραγμάτευσης κατά το παιγνιακό πρότυπο του παίγνιου

συντονισμού αποτελεί η υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ το 1987 για την αντιμετώπιση της τρύπας του όζοντος (UNEP, 2016).

Δεδομένης της αναγκαιότητας αντιμετώπισης πολλαπλών προβλημάτων, όπως η μείωση της φτώχειας και η οικονομική ανάπτυξη (Pezzey, 1992), είναι πιθανό η μεταβίβαση τεχνολογιών χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου να αποτελέσει σημαντικό κίνητρο συνεργασίας προς την κατεύθυνση αντιμετώπισης του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι επενδύσεις σε αυτού του είδους τεχνολογίες δεν είναι απαραίτητο ότι θα επιφέρουν αλλαγές στη σχετική ισχύ των Μεγάλων Δυνάμεων, μπορούν μάλιστα να θεωρηθούν και ένας υγιής τρόπος ανταγωνισμού μεταξύ τους, καθώς η διάδοση πράσινων τεχνολογικών ενδέχεται να μεγαλώσει τη σφαίρα επιρροής μίας Μεγάλης Δύναμης με ειρηνικό τρόπο.

Τα παίγνια που εξετάστηκαν δείχνουν ότι μία αμοιβαία δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών ρύπων δεν είναι αναγκαστικά η καλύτερη τακτική για μία Μεγάλη Δύναμη. Στην περίπτωση του παίγνιου συντονισμού, η υιοθέτηση της στρατηγικής περιορισμού της ρύπανσης από μία Μεγάλη Δύναμη ή από ένα συνασπισμό κρατών, ειδικά στα πρώτα στάδια των διαπραγματεύσεων, δίνει ισχυρό κίνητρο στα υπόλοιπα κράτη να υιοθετήσουν τη στρατηγική αυτή και να οδηγηθούν στο αμοιβαία για όλους συμφέρον σημείο ισορροπίας Nash (*II, II*). Εάν παρόλα αυτά μία ή περισσότερες από τις Μεγάλες Δυνάμεις έχει ως πρώτη προτεραιότητα την βραχυχρόνια μεγιστοποίηση της σχετικής της ισχύος, οι οποιοσδήποτε ενέργειες περιορισμού της ρύπανσης από τις άλλες χώρες θα είναι μάταιες. Στην περίπτωση του παίγνιου της κότας και των παραπλήσιών του παίγνιων, η ανακοίνωση ενός κράτους ότι η κυρίαρχη στρατηγική του είναι ο περιορισμός της ρύπανσης διασφαλίζει ουσιαστικά ότι το άλλο κράτος θα υιοθετήσει τη στρατηγική συνέχισης της ρύπανσης. Η πιθανότητα κατάληξης της στρατηγικής (*II, II*) επιτυγχάνεται μόνο εάν το δεύτερο κράτος ακολουθήσει τη στρατηγική του σημείου ισορροπίας *maxi-min* και μόνο υπό την προϋπόθεση ότι το πρώτο κράτος δεν θα ανακοινώσει προκαταβολικά ότι θα ακολουθήσει τη στρατηγική μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η πιο δύσκολη περίπτωση επίτευξης συμφωνίας εμφανίζεται όταν ένα από τα μεγάλα κράτη, τα οποία είναι και υπεύθυνα για μεγάλο μέρος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εκτιμάει ότι οι απολαβές του είναι μεγαλύτερες όταν επιλέγει τον μη

περιορισμό της ρύπανσης, ενώ όλα τα άλλα κράτη επιλέγουν τον περιορισμό της. Το στοιχείο αυτό εμφανίζεται στο δίλημμα των φυλακισμένων, στο παίγνιο της κότας και στα δυστυχή παίγνια. Στο παίγνιο της κότας, η υιοθέτηση στρατηγικής *maxi-min* από όλους τους παίκτες μπορεί να οδηγήσει στη στρατηγική (II, II) , παρόλο που υιοθέτηση της στρατηγικής αυτής από ένα μόνο παίκτη μπορεί να γίνει αντικείμενο εκμετάλλευσης από τον άλλο παίκτη. Στην κατηγορία των δυστυχών παιγνίων, τόσο το σημείο ισορροπίας Nash, όσο και το σημείο ισορροπίας *maxi-min* οδηγούν πάντοτε σε μη επίτευξη συμφωνίας και αυξημένη έκθεση στον κίνδυνο ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής.

Συμπερασματικά, η εξέταση των 25 παιγνιακών προτύπων αποδεικνύει ότι οι παγκόσμιες περιβαλλοντικές πολιτικές που θα προκαλέσουν μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθορίζονται από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Την εκτίμηση του μεγέθους του περιβαλλοντικού κινδύνου από τα εμπλεκόμενα κράτη
2. Το βαθμό στον οποίο οι κυβερνήσεις των Μεγάλων Δυνάμεων ενδιαφέρονται πραγματικά για τις μελλοντικές επιπτώσεις των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και όχι αποκλειστικά για τα βραχυχρόνια οφέλη σχετικής ισχύος
3. Τον βαθμό στον οποίο αυτές οι περιβαλλοντικές πολιτικές δε δίνουν σαφές προβάδισμα επιλεκτικά σε ορισμένες Μεγάλες Δυνάμεις
4. Το κατά πόσο οι πολιτικές αυτές μπορούν να προκαλέσουν επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες και αύξηση της ενεργειακής απόδοσης με παράλληλη τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης στις αναπτυσσόμενες χώρες

Η ανάλυση του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων βασίστηκε σε ορισμένες βασικές υποθέσεις, όσον αφορά το περιβαλλοντικό πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής αλλά και τη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων παικτών. Ο κίνδυνος της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής θεωρείται δεδομένος αλλά δεν είναι γνωστό το πότε θα συμβεί, ενώ το κόστος της είναι ανυπολόγιστο και τα τεχνολογικά μέσα αντιμετώπισής της υπάρχουν αλλά η επίλυση του προβλήματος έχει πολύ μεγάλο κόστος. Οι συμπεριφοριστικές παραδοχές της ανάλυσης βασίζονται στην απροθυμία των παικτών για λήψη αβέβαιων αποφάσεων στο μέλλον, σε σχέση με βραχυχρόνιες αποφάσεις και στην απουσία αλτρουιστικής συμπεριφοράς των παικτών όσον αφορά το ζήτημα της

κλιματικής αλλαγής. Η μείωση του μεγέθους του παίγνιου του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων σε παίγνιο δύο παικτών, βασίζεται στη θεώρηση ότι καταρχάς ότι οι επιλογές των μεγάλων παικτών είναι καθοριστικές για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ότι οι μικροί παίκτες αργά ή γρήγορα θα ευθυγραμμίσουν τις επιλογές τους με τις επιλογές των μεγάλων παικτών. Επίσης θεωρείται ότι χώρες ή συνασπισμοί χωρών όπως η Ευρώπη και η Ιαπωνία έχουν έμπρακτα αποδείξει τη δέσμευσή τους για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, οπότε και θα ακολουθήσουν δεδομένα τον δρόμο της λήψης μέτρων για τον περιορισμό της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Με αυτά τα δεδομένα, το παίγνιο μπορεί να αναχθεί σε ένα παίγνιο 2·2 με παίκτες τις δύο Μεγάλες Δυνάμεις, τις ΗΠΑ και την Κίνα.

Η υπόθεση, ότι ο κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής μπορεί να αποτραπεί με γνωστές τεχνολογίες, επιτρέπει τον προσδιορισμό του κόστους μείωσης της περιβαλλοντικής ρύπανσης με σκοπό τη διατήρηση των εκπομπών σωματιδίων άνθρακα σε σταθερά επίπεδα στο μέλλον (Pascala, 2004). Επομένως, επιλέγεται η χρήση χρηματικών απολαβών αντί για διατακτική σειρά προτίμησης, κατά την εξέταση του προβλήματος σε βραχυχρόνιο επίπεδο. Ο χρονικός ορίζοντας του προβλήματος είναι, παρόλα αυτά, πολύ πιο ευρύς από μερικές δεκάδες χρόνια, οπότε χρειάζεται να πραγματοποιηθούν κάποιες εκτιμήσεις για τις μακροχρόνιες απολαβές. Τα μόνα δεδομένα που μπορούν να θεωρηθούν, τα οποία είναι συνεπή με τις υποθέσεις, είναι ότι το κόστος της κλιματικής αλλαγής όταν θα επέλθει στο μέλλον θα είναι ανυπολόγιστο, ενώ η ταυτόχρονη δράση των δύο παικτών σήμερα για περιορισμό της ρύπανσης, παρόλο που θα αποτρέψει την κλιματική αλλαγή δε θα επιφέρει κάποιο οικονομικό όφελος συγκριτικά με την κατάσταση σήμερα.

Σε αυτά τα πλαίσια επομένως, η αντιμετώπιση του περιβαλλοντικού προβλήματος της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας της γης βραχυχρόνια ανάγεται στο κλασικό παίγνιο του διλήμματος των φυλακισμένων. Τα βραχυχρόνια κόστη σε ορίζοντα πενήντα ετών είναι σαφώς οριοθετημένα και σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των δύο παικτών, τα πενήντα έτη είναι πολύ σύντομο χρονικό διάστημα για να γίνουν εμφανή τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής. Πρακτικά ο βραχυπρόθεσμος ορίζοντας στον οποίο οι δύο Μεγάλες Δυνάμεις λαμβάνουν μυωπικά αποφάσεις θα τις οδηγήσει πάντοτε στην κατεύθυνση της μη λήψης μέτρων περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς

η στρατηγική (P, P) αποτελεί τόσο σημείο ισορροπίας Nash όσο και σημείο ισορροπίας σύμφωνα με το κριτήριο $\max\text{-min}$.

Η μακροπρόθεσμη εξέταση του περιβαλλοντικού προβλήματος παρόλα αυτά δίνει μία αρκετά διαφορετική εικόνα. Σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα, εφόσον βραχυπρόθεσμα ακολουθείται πάντα η επιλογή της συνέχισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, παρόλες τις προσπάθειες περιορισμού από τα υπόλοιπα κράτη, η κλιματική αλλαγή επέρχεται με ανυπολόγιστο κόστος για την ανθρωπότητα. Αναλύοντας αυτό το παίγνιο, όλες οι πιθανές στρατηγικές πλην της στρατηγικής $(Π, Π)$ οδηγούν στις ίδιες απολαβές, καθώς το κόστος της κλιματικής αλλαγής επιβαρύνει όλους τους παίκτες κατά τον ίδιο τρόπο ανεξάρτητα με το ένα προσπάθησαν να την αποτρέψουν ή όχι. Δηλαδή, το κόστος της συνέχισης της ρύπανσης της ατμόσφαιρας κατανέμεται σε όλους τους παίκτες μακροπρόθεσμα, ενώ ευνοεί βραχυπρόθεσμα μόνο τον παίκτη που δε θα επιλέξει τη λήψη μέτρων. Εάν οι δύο Μεγάλες Δυνάμεις είχαν εξαρχής αυτήν την οπτική ότι η μη λήψη μέτρων και η συνέχιση της άσκησης της στρατηγικής (P, P) θα επέφερε με βεβαιότητα την κλιματική αλλαγή, τότε το παίγνιο ανάγεται σε απλή επιλογή μεταξύ δύο καταστάσεων, έναρξη συντονισμένων ταυτόχρονων περιβαλλοντικών δράσεων σήμερα ή ανυπολόγιστη καταστροφή στο μέλλον.

Παρόλα αυτά, οι συμπεριφοριστικές παραδοχές, που έχουν ληφθεί στην ανάλυση (Clemons, 2007), οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι παίκτες ποτέ δε θα επέλεγαν αβέβαιες απολαβές στο μέλλον οι οποίες θα προκαλούσαν βέβαιη ζημία σήμερα. Η υπόθεση αυτή αφορά τους πολίτες σε επίπεδο καθημερινότητας, τις επιχειρήσεις σε επίπεδο οικονομικού ανταγωνισμού αλλά και τις κυβερνήσεις των εμπλεκόμενων χωρών, οι οποίες δεν είναι πρόθυμες να αναλάβουν το πολιτικό κόστος της μείωσης της ανταγωνιστικής θέσης του κράτους που διοικούν.

Το δίλημμα των φυλακισμένων για το περιβάλλον υπάγεται στη γενικότερη κατηγορία των κοινωνικών διλημάτων, επομένως μπορούν να εφαρμοστούν όλες οι συμπεριφοριστικές πρακτικές που έχει αποδειχτεί ότι ενισχύουν τη συνεργασία μεταξύ των δύο παικτών κατά τη διάρκεια περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων, υπό το πρίσμα ότι το περιβάλλον θεωρείται δημόσιο αγαθό (Public Good) (Irwin, 2009):

1. Μέγεθος ομάδας (group size): Έχει αποδειχτεί ότι ομάδες πάνω από οκτώ άτομα παρουσιάζουν μειωμένα επίπεδα συνεργασίας έναντι μικρότερων ομάδων διαπραγματεύσεων.
2. Διαμόρφωση πλαισίου (framing): Έχει αποδειχτεί ότι η τοποθέτηση των απολαβών κατά την παρουσίασή τους με θετικό αντί για αρνητικό τρόπο παίζει καθοριστικό ρόλο στις επιλογές των ανθρώπων.
3. Διάδοση φήμης (reputational spillovers): Έχει αποδειχτεί ότι η προβολή μίας θετικής πράξης αποτελεί σημαντικό κίνητρο υιοθέτησης αυτής της συμπεριφοράς
4. Τιμωρία (punishment): Η συνεργασία είναι πιο πιθανή όταν υπάρχει η δυνατότητα για τους συνεργαζόμενους να τιμωρήσουν αποκλίνουσες συμπεριφορές.

Οι συμπεριφοριστικές αυτές πρακτικές μπορούν να ενισχύσουν τη συνεργασία, αλλά στην περίπτωση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής ο αριθμός των ανθρώπων που εμπλέκονται είναι πολύ μεγάλος, με πολύ διαφορετικές καταβολές και αντιλήψεις, που δυσχεραίνουν τις διαπραγματεύσεις επομένως η περιβαλλοντική διπλωματία δεν μπορεί να βασιστεί αποκλειστικά σε συμπεριφοριστικές πρακτικές. Η διερεύνηση ενός πιθανού επιβαλλόμενου παγκόσμιου περιβαλλοντικού τέλους, που θα υποχρέωνε με οικονομικούς μηχανισμούς την αναπροσαρμογή των απολαβών αυτών, βασιζόμενο σε ένα μοντέλο “οφθαλμός αντί οφθαλμού” αποδεικνύεται ότι δε θα μπορούσε να εφαρμοστεί, με τα σημερινά δεδομένα παγκόσμιου ανταγωνισμού για την εξισορρόπηση ισχύος μεταξύ των Μεγάλων Δυνάμεων. Με βάση αυτά τα δεδομένα η πιθανότητα εύρεσης λύσης για τον περιορισμό του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής μοιάζει απίθανη.

Ως εναλλακτική προσέγγιση για την εξεύρεση λύσης στο παίγνιο, εξετάστηκε μία μεσοπρόθεσμη προσέγγιση του περιβαλλοντικού προβλήματος της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας της γης. Σε αυτή τη θεώρηση οι περισσότερες χώρες έχουν δεσμευτεί ήδη στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η τελική κατάληξη εξαρτάται αποκλειστικά από τη δράση ή μη των δύο Μεγάλων Δυνάμεων. Τα περιθώρια για την αποτροπή της κλιματικής αλλαγής είναι πιο στενά αλλά υπάρχει περιθώριο για κοινή δράση, η οποία, εφόσον ακολουθηθεί, θα οδηγήσει κατά αντιστοιχία με τη μακροπρόθεσμη θεώρηση του προβλήματος σε αποτροπή της αλλά και σε μηδενικό όφελος για τις δύο μεγάλες δυνάμεις σε σχέση με την αρχική κατάσταση.

Η ουσιαστική διαφορά της μεσοπρόθεσμης προσέγγισης είναι ότι ο συνασπισμός των χωρών, που έχει δεσμευτεί στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, καταφέρνει, είτε με τη μορφή ενός παγκόσμιου περιβαλλοντικού τέλους, είτε με επιρροή μέσω της διπλωματίας, να καταδείξει ότι υπάρχουν περιθώρια δράσης και εάν ληφθούν κατάλληλα, μέτρα από τουλάχιστον μία από τις δύο Μεγάλες Δυνάμεις, η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή θα συμβεί, αλλά με εμφανώς μετριασμένες συνέπειες. Η υπόθεση αυτή, φυσικά δεν αρκεί για να θεωρηθεί ότι οι δύο παίκτες θα επέλεγαν την επιλογή του περιορισμού της ρύπανσης, γιατί εάν επιλέξουν να συμπεριφερθούν ως free riders, ενδέχεται να αποκομίσουν σημαντικά γεωπολιτικά οφέλη σε σχέση με τον ανταγωνιστή τους εάν αυτός επιλέξει την επιλογή του περιορισμού της ρύπανσης.

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αποδεικνύει ότι τελικά το αρχικό παίγνιο μπορεί να επιδέχεται περισσότερες από μία λύσεις, οι οποίες εξαρτώνται από την εκτίμηση των παικτών για τα γεωπολιτικά οφέλη που μπορούν να αποκομίσουν εφόσον ακολουθήσουν την τακτική του free rider, από το κόστος της απαιτούμενης δράσης για τον περιορισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής ανά παίκτη και από το βαθμό στον οποίο καταφέρνει να περιοριστούν οι επιπτώσεις αυτές από μονομερείς δράσεις. Σε περίπτωση όπου το συνολικό μεσοπρόθεσμο γεωπολιτικό όφελος του κάθε παίκτη δεν υπερβαίνει το κόστος της κλιματικής αλλαγής μετά από τις δράσεις περιορισμού του άλλου παίκτη, τότε η λύση του παίγνιου είναι το δίλημμα των φυλακισμένων. Εάν παρόλα αυτά, αυτό δεν ισχύει και οι μονομερείς δράσεις ενός παίκτη είναι ικανές να προκαλέσουν μικρότερη μεταβολή στο τελικό κόστος της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με τις επενδύσεις που απαιτούνται να πραγματοποιηθούν από αυτόν τότε το Παίγνιο μπορεί να αναχθεί σε παίγνιο συντονισμού. Εάν το εκτιμώμενο γεωπολιτικό όφελος του παίκτη από τον μη περιορισμό της ρύπανσης είναι μεγαλύτερο από το αποτιμώμενο κόστος που προκύπτει από τις μετριασμένες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και εάν οι μονομερείς δράσεις ενός παίκτη είναι ικανές να προκαλέσουν μικρότερη μεταβολή στο τελικό κόστος της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με τις επενδύσεις που απαιτούνται να πραγματοποιηθούν από αυτόν, τότε το παίγνιο ανάγεται σε παίγνιο της κότας.

Το γεγονός ότι το ίδιο παίγνιο μπορεί να προσεγγιστεί με περισσότερους από έναν τρόπους, ανάλογα με τις θεωρήσεις του κάθε παίκτη, καταλήγοντας σε διαφορετικές λύσεις, αποδεικνύει ότι στην περίπτωση της περιβαλλοντικής διπλωματίας υπάρχουν περιθώρια συνεργασίας, η έκταση της οποίας μπορεί να επαναπροσδιοριστεί από τους

φορείς χάραξης πολιτικών. Οι περιβαλλοντικές πολιτικές που σκοπό έχουν τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να βασίζονται στην ενίσχυση των μορφών συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων σε όλα τα επίπεδα, στην ενημέρωση σχετικά με τα επιστημονικά ευρήματα που σχετίζονται με τον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής και στην επιβολή κυρώσεων για τις αποκλίνουσες συμπεριφορές των παικτών, με κατάλληλο τρόπο ώστε οι επιβαλλόμενες κυρώσεις να μην διακόπτουν τη συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα

5.1 Ανασκόπηση και συμπεράσματα

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι από τη φύση τους διασυνοριακά και για αυτόν τον λόγο οι προκλήσεις για τον εντοπισμό και την αντιμετώπισή τους από τους εμπλεκόμενους φορείς είναι πολύ μεγάλες. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί το κυριότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει σήμερα η επιστημονική κοινότητα, καθώς θεωρείται ότι πάνω από το 95% της αύξησης της θερμοκρασίας της γης οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες και κυρίως στην αύξηση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου όπως το CO₂ (IPCC, 2015). Οι περιβαλλοντικές πολιτικές που εφαρμόζονται για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εστιάζουν κατά κανόνα σε οικονομικούς παράγοντες και αποσκοπούν στην εσωτερική του εξωτερικού οικονομικού κόστους της περιβαλλοντικής ρύπανσης, αποσκοπώντας στην κινητοποίηση για δράση επιχειρήσεων και ιδιωτών, μέσω μηχανισμών της αγοράς, με την παροχή οικονομικών κινήτρων και αντικινήτρων. Η βασική διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών πραγματοποιείται σε διακρατικό επίπεδο με διεθνείς συνδιασκέψεις για το περιβάλλον.

Η παρούσα έρευνα εστίασε στην ανάλυση των διεθνών περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων με χρήση της Θεωρίας Παιγνίων και στη διερεύνηση των δυνατοτήτων συνεργασίας και επίτευξης διατηρήσιμης συμφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων κρατών-παικτών. Με βάση την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε δόθηκαν επαρκείς απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στο Κεφάλαιο 3.

Στην παρούσα έρευνα αναγνωρίστηκαν 25 κατάλληλα παιγνιακά πρότυπα ως υποψήφια για την περιγραφή των περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων (E1), τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν ως οκτώ μη συγκρουσιακά παίγνια, το δίλημμα των φυλακισμένων και τα δύο συναφή του παίγνια, το παίγνιο συντονισμού, το παίγνιο της κότας και τα τέσσερα μη συμμετρικά συναφή του παίγνια, τα έξι δυστυχή παίγνια και δύο κυκλικά παίγνια χωρίς σημείο ισορροπίας Nash.

Η ανάλυση των παιγνιακών μοντέλων δείχνει ότι η επιλογή του εκάστοτε μοντέλου εξαρτάται από τη θεώρηση των παικτών όσον αφορά την έκταση του προβλήματος, τα πιθανά οφέλη και το κόστος που προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος. Επομένως οι απολαβές των παικτών προσδιορίζουν το παίγνιο που αυτοί παίζουν, καθώς και την πιθανή λύση του (E2). Μία πιθανή λύση ενός περιβαλλοντικού παίγνιου αποτελεί το σημείο ισορροπίας Nash, χωρίς όμως να αποτελεί και τη μοναδική έννοια επίλυσης του παίγνιου (solution concept). Αφενός, η απροθυμία ανάληψης κινδύνου και η έλλειψη εμπιστοσύνης μεταξύ των κρατών μπορεί να οδηγήσει τις χώρες, που εμπλέκονται σε περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις, να υιοθετήσουν στρατηγικές ισορροπίας *maxi-min*, οι οποίες δεν οδηγούν πάντοτε σε σημείο ισορροπίας Nash. Αφετέρου, το κριτήριο σημείου ισορροπίας Nash, που συχνά συνδέεται με την ορθολογικότητα των παικτών, μπορεί να οδηγήσει σε πολλαπλές πιθανές λύσεις και, χωρίς βέβαια να είναι δεσμευτικό ότι οι ορθολογικοί παίκτες θα επιλέγουν πάντοτε στρατηγικές ισορροπιών Nash (DeCanio, 2013).

Μικρές αλλαγές στις προτιμήσεις των παικτών που συμμετέχουν σε περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις μπορούν να αλλάξουν το σημείο ισορροπίας Nash, και επομένως να μεταβάλλουν τις προοπτικές συνεργασίας. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η μετατροπή του διλήμματος των φυλακισμένων σε παίγνιο συντονισμού, θέτοντας τις απολαβές των παικτών στη στρατηγική που περιγράφει την παράλληλη λήψη μέτρων περιορισμού της ρύπανσης στην πρώτη θέση της κατάταξης των προτιμήσεών τους. Στα περισσότερα από τα εξεταζόμενα παίγνια η αύξηση της πιθανότητας συνεργασίας προκύπτει είτε μέσω της πληροφόρησης και της δυνατότητας επανάληψης του παίγνιου, είτε μέσω παροχής κινήτρων και αντικινήτρων εκτός της δομής του παίγνιου (E3). Επομένως, οι περιβαλλοντικές πολιτικές που σκοπό έχουν τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να βασίζονται στην ενίσχυση των μορφών συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων σε όλα τα επίπεδα, στην ενημέρωση σχετικά με τα επιστημονικά ευρήματα που σχετίζονται με τον κίνδυνο της κλιματικής αλλαγής και στην επιβολή κυρώσεων για τις αποκλίνουσες συμπεριφορές των παικτών, με κατάλληλο τρόπο ώστε οι επιβαλλόμενες κυρώσεις να μην διακόπτουν τη συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων.

Η ανάλυση της ειδικής εφαρμογής του περιβαλλοντικού διλήμματος των φυλακισμένων αποδεικνύει ότι το παίγνιο έχει διαφορετικές λύσεις ανάλογα με το εάν εξετάζεται

βραχυπρόθεσμα, οπότε και αποτελεί ένα κλασικό δίλημμα των φυλακισμένων, ή μακροπρόθεσμα οπότε και αποτελεί ένα απλό πρόβλημα επιλογής μεταξύ της βέλτιστης λύσης του περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του κινδύνου της κλιματικής αλλαγής (E4). Οι συμπεριφορικές (behavioral) εκτιμήσεις για τους συμμετέχοντες παίκτες με τις σημερινές συνθήκες δείχνουν ότι η μακροπρόθεσμη λύση δεν είναι ιδιαίτερα πιθανό να ακολουθηθεί, εξαιτίας των βραχυπρόθεσμων γεωπολιτικών ωφελειών που μπορούν να αποκομίσουν οι παίκτες συγκρινόμενες με το κόστος της απαιτούμενης δράσης, και που δεν εμφανίζουν άμεσα ορατά αποτελέσματα.

Η διερεύνηση ενός πιθανού επιβαλλόμενου παγκόσμιου περιβαλλοντικού τέλους που θα υποχρέωνε, με οικονομικούς μηχανισμούς, την αναπροσαρμογή των απολαβών των παικτών, βασιζόμενο σε ένα μοντέλο “οφθαλμός αντί οφθαλμού” αποδεικνύεται ότι είτε δε θα μπορούσε να εφαρμοστεί είτε δε θα επέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα παγκόσμιου ανταγωνισμού εξισορρόπηση ισχύος μεταξύ των Μεγάλων Δυνάμεων (E5). Ακόμα και στην περίπτωση όπου επιβαλλόταν ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό τέλος, ορισμένες χώρες θα μπορούσαν αμοιβαία να το αγνοήσουν, ενώ τα πιθανά έσοδα από το τέλος των χωρών που επέλεξαν να το υιοθετήσουν δε θα ήταν επαρκή για να περιορίσουν την περιβαλλοντική ζημία από τη συνέχιση της ρύπανσης εκ μέρους των μη συμμορφούμενων χωρών. Ενδεχομένως η πιθανότητα επιτυχίας ενός παγκόσμιου περιβαλλοντικού τέλους να καθοριστεί από τη διαμόρφωση ισχυρών καταναλωτικών προτιμήσεων προκειμένου να ασκηθεί επιπλέον πίεση στις κυβερνήσεις των ρυπαντών χωρών.

Εκτός από τη βραχυπρόθεσμη και τη μακροπρόθεσμη θεώρηση του προβλήματος, εξετάστηκε και μία μεσοπρόθεσμη προσέγγιση του προβλήματος η οποία βασίζεται στη μετατροπή του διλήμματος των φυλακισμένων σε παίγνιο συντονισμού ή παίγνιο της κότας, μεταβάλλοντας τις απολαβές των παικτών σύμφωνα με τις θεωρήσεις τους για το κόστος αντιμετώπισης του προβλήματος και τα πιθανά γεωπολιτικά οφέλη από την αποφυγή αντιμετώπισής του. Το γεγονός, ότι το ίδιο παίγνιο μπορεί να προσεγγιστεί με περισσότερους από έναν τρόπους, ανάλογα με τις θεωρήσεις του κάθε παίκτη, καταλήγοντας σε διαφορετικές λύσεις, αποδεικνύει ότι υπάρχουν περιθώρια συνεργασίας, για την εύρεση βέλτιστης λύσης για το κοινωνικό σύνολο (E6). Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την επιτυχία των περιβαλλοντικών πολιτικών είναι:

1. Η σωστή εκτίμηση του μεγέθους του περιβαλλοντικού κινδύνου από τα εμπλεκόμενα κράτη
2. Ο βαθμός στον οποίο οι κυβερνήσεις των Μεγάλων Δυνάμεων αντιλαμβάνονται τις μελλοντικές επιπτώσεις των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και όχι αποκλειστικά για τα βραχυχρόνια οφέλη σχετικής ισχύος
3. Ο βαθμός στον οποίο οι περιβαλλοντικές πολιτικές δε δίνουν σαφές προβάδισμα επιλεκτικά σε ορισμένες Μεγάλες Δυνάμεις
4. Η δυνατότητα των περιβαλλοντικών πολιτικών να προκαλέσουν επενδύσεις σε πράσινες τεχνολογίες και αύξηση της ενεργειακής απόδοσης με παράλληλη τόνωση της οικονομικής ανάπτυξης

5.2 Αδυναμίες παρούσας έρευνας

Η ανάλυση των περιβαλλοντικών διαπραγματεύσεων για τη διαμόρφωση κατάλληλων περιβαλλοντικών πολιτικών αντιμετώπισης περιβαλλοντικών προβλημάτων παρουσιάζει δύο βασικές αδυναμίες. Η Θεωρία Παιγνίων κατά κανόνα εξετάζει παίγνια λίγων παικτών και επιχειρείται γενίκευση των αποτελεσμάτων σε συστήματα περισσότερων παικτών. Το παγκόσμιο διεθνές σύστημα απαρτίζεται από πληθώρα κρατών, υπερεθνικών οργανισμών, οργανώσεων και ιδρυμάτων. Σε ένα τόσο σύνθετο σύστημα η κατασκευή παιγνιοθεωρητικών μοντέλων είναι ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς οι στρατηγικές των παικτών δεν είναι γνωστές και οι απολαβές των παικτών είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν (Paravantis, 2016). Επομένως, η Θεωρία Παιγνίων ενδέχεται, εξαιτίας των απλοποιήσεων και των παραδοχών που απαιτούνται για την εφαρμογή της, να μην μπορεί να επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα συγκριτικά με τα αποτελέσματα μοντέλων που προέρχονται από την επιστήμη της πολυπλοκότητας όπως τα Πολύπλοκα Προσαρμοστικά Συστήματα (Complex Adaptive System, CAS).

Η εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων κατά τη λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων βασίζεται σε παραδοχές για την ορθολογικότητα των παικτών. Η θεωρία της ορθολογικής επιλογής υποδεικνύει ότι ο λήπτης αποφάσεων επιλέγει τη βέλτιστη ενέργεια σύμφωνα με τις καθαρές προτιμήσεις του μεταξύ όλων των επιλογών που έχει στη διάθεσή του (Romp, 1997). Οι άνθρωποι παρόλα αυτά έχει αποδειχθεί ότι καταρχάς λαμβάνουν αποφάσεις κάνοντας ασυνείδητη χρήση κάποιων διαισθητικών κανόνων (intuitive rules), ενώ η έννοια της δεσμευμένης ορθολογικότητας

(bounded rationality) υποδεικνύει ότι οι άνθρωποι συχνά περιορίζονται από τα όρια που υπάρχουν σε πόρους, χρόνο, πληροφορίες και γνώση (Baron, 1998). Επομένως, οι ανθρώπινες αποφάσεις, καθώς δεν οδηγούν πάντοτε σε βέλτιστα αποτελέσματα σε ατομικό και συλλογικό επίπεδο (Baron, 1998), καθιστούν αδύνατη τη συμβατική αντίληψη περί ορθολογικότητας στη δημόσια πολιτική και κατ' επέκταση στις αποφάσεις που σχετίζονται με περιβαλλοντικές πολιτικές (Mancur, 1971).

Οι παραπάνω αδυναμίες οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης περιβαλλοντικών πολιτικών με τη χρήση της Θεωρίας Παιγνίων θα πρέπει να αξιολογούνται γνωρίζοντας τις αδυναμίες και τους περιορισμούς της θεωρητικής μεθόδου. Σύμφωνα άλλωστε με τον Γερμανό φιλόσοφο I. Kant: “κανείς πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός έναντι της υπερβολικής χρήσης της θεωρίας” (Morgenstern, 1964).

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

Ως μελλοντική επέκταση της έρευνας, προτείνεται η εξέταση παίγνιων με περισσότερους από δύο παίκτες, προκειμένου να διερευνηθούν οι πιθανές λύσεις περιβαλλοντικών προβλημάτων στα οποία υπάρχουν περισσότερα αντικρουόμενα συμφέροντα και πολλές διαφορετικές εκτιμήσεις για τις απολαβές των παικτών κατά τις περιβαλλοντικές διαπραγματεύσεις. Εφόσον κριθεί αναγκαίο, στην περίπτωση μεγάλης αύξησης του μεγέθους του προβλήματος (αύξηση του αριθμού των δρώντων), εξετάζεται η διερεύνηση τεχνικών της επιστήμης της πολυπλοκότητας (complexity science), ενδεχομένως με χρήση προσομοίωσης σε περιβάλλοντα προγραμματισμού που επιτρέπουν την αναπαράσταση της συμπεριφοράς συστημάτων με πολλούς δρώντες, όπως τη Net-Logo (Wilesnky, 1999). Επίσης, κρίνεται σκόπιμο στα εκτεταμένα αυτά μοντέλα πολλών παικτών να εξεταστούν διαφορετικές περιβαλλοντικές πολιτικές, με αριθμητικά δεδομένα κόστους και ωφέλειας, με αξιολόγηση των λύσεων για την αναγνώριση των βέλτιστων περιβαλλοντικών πολιτικών.

Επιπρόσθετα, κατά την πορεία της παρούσας έρευνας διαφάνηκε η καθοριστική επίδραση παραγόντων που προέρχονται από επιστήμες όπως η κοινωνική ψυχολογία και η συμπεριφορική οικονομική στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών, ανοίγοντας με αυτό τον τρόπο νέους ορίζοντες για μελέτη και ενασχόληση στο μέλλον, σε επίπεδο

έρευνας, των αποκλίσεων από την ορθολογικότητα και της αντιμετώπισης των κοινωνικών/ηθικών διλημάτων που διαμορφώνονται.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Asafu-Adjaye, J., Mahadevan, R., (2013). “Implications of CO₂ reduction policies for a high carbon emitting economy”, *Energy Economics Volume 38*, p.p. 32–41

Aumann, R., (1985). “What is game theory trying to accomplish?”, *Frontiers of Economics*, Eds. Arrow, K., Honkapohja, S., Oxford: Basil Blackwell, p.p. 909–924

Aumann, R., J., (2008). “Game Theory”, *The New Palgrave Dictionary of Economics. Second Edition*. Eds. Durlauf, S., N., Blume L., E., Palgrave Macmillan. Dictionary of Economics 2, p.p. 460-482

Babiker, M., H., (2001). “The CO₂ abatement game: Costs, incentives, and the enforceability of a sub-global coalition”, *Journal of Economic Dynamics & Control 25*, p.p. 1-34

Baron, J., (1998). *Judgement misguided, intuition and error in public decision making*, Oxford University Press, Inc.

Barrett, S., (2003). *Environment & statecraft: The strategy of environmental treaty-making*. Oxford University Press, Oxford

Bateson, G., (1972). *Steps to an ecology of mind: collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology*, University Of Chicago Press, Chicago

Blume, L., E., Easley, D., (2008). “Rationality”, *The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition*, Palgrave Macmillan

Bond, A., Pope J., Morrison-Saunders, A., Retief, F., (2016). “A game theory perspective on environmental assessment: What games are played and what does this tell us about decision making rationality and legitimacy?”, *Environmental Impact Assessment Review 57*, p.p. 187–194

Bradenburger, A., M., Nalebuff, B., J., (1996). *Co-opetition*, Currency Doubleday, New York

Brécheta, T., Hritonenkob, N., Yatsenkoc, Y., (2016). "Domestic environmental policy and international cooperation for global commons", *Resource and Energy Economics* 44, p.p. 183–205

Center on Budget and Policy Priorities, CBPP, (2015). Policy basics: Policies to reduce greenhouse gas emissions. Retrieved from <http://www.cbpp.org/research/policy-basics-policies-to-reduce-greenhouse-gas-emissions>

Clemons, E., K., Schimmelbusch, H., (2007). "The environmental prisoners' dilemma or we're all in this together: Can I trust you to figure it out?", *A Retrospective on Information, Strategy, and Economics: After 20 Years at HICSS, What Have We Learned about IT and Strategy?*, IEEE Computer Society, Washington

Cournot, A., A., (1838). "Recherches sur les principes mathematiques de la théorie des richesses", *Librairie des sciences politiques et sociales*, Paris: M. Rivière & C.ie

DeCanio, S., Fremstad, A., (2011). "Game theory and climate diplomacy", *Ecological Economics* 85, p.p. 177-187

Dixit, A., Nalebuff, B., (2008). *The art of strategy: A game theorist's guide to success in business and life*, Norton, New York

European Commission, EC, (2015). Sustainable development. Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/eussd/>

European Commission, EC, (2016). The EU Emissions Trading System (EU ETS). Retrieved from http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm

Earth System Research Laboratory, ESLR, (2016). Trends in atmospheric carbon dioxide. Retrieved from <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

Finus, M., (2002). "Game theory and international environmental co-operation: A survey with an application to the Kyoto-Protocol", *Controlling Global Warming: Perspectives from Economics*", *Game Theory and Public Choice*, Eds. Oates, W., E., Folmer, H., Edward Elgar Pub

Forgo, F., Fulop, J., Prill, M., (2005). "Game theoretic models for climate change negotiations", *European Journal of Operational Research* 160, p.p. 252–267

- Fiorino, D., J., (1995). *Making environmental policy*, Regents of the University of California
- Fisher, R., Ury, W., (1999). *Getting to yes: Negotiating agreement without giving in*, Random House Business Books, New York
- Gauthier, D., (1986). *Morals by agreement*, Oxford University Press, Oxford
- Grieco, J., M., (1988). “Anarchy and the limits of cooperation: A realist critique of the newest liberal institutionalism”, *International Organization*, Vol. 42, No. 3, The MIT Press, p.p. 485-507
- Hardin G., (1968). “The tragedy of the commons”, *Science*, Vol 162, Issue 3859
- Hartmann, D., L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., (2013). “2: Observations: Atmosphere and surface”. *IPCC WGI AR5 Report*, p.p. 198
- International Agency Association, IEA, (2011). *Deploying renewables 2011: Best and future policy practice*, OECD/IEA
- International Agency Association, IEA, (2016). *International energy outlook 2016*, U.S. Energy Information Administration, Washington
- International Panel on Climate Change, IPCC, (2015). *CLIMATE CHANGE 2014: Synthesis report. Summary for policymakers*, IPCC
- Irwin, T., (2009). “Implications for climate-change policy of research on cooperation in social dilemmas”, *World Bank Policy Research Working Paper No. 5006*, World Bank, Washington
- Karp, L., Simon, L., (2013). “Participation games and international environmental agreements: A non-parametric model”, *Journal of Environmental Economics and Management* 65, p.p. 326–344
- Keohane, R., Nye, J., (1989). *Power and interdependence: World politics in transition*, Little, Brown and Company, Boston
- Leyton-Brown, K., Shoham, Y., (2008). *Essentials of game theory: A concise, multidisciplinary introduction*, Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, CA
- Mancur, O., (1971). *The logic of collective action: Public goods and the theory of groups*, 2nd Edt.. Harvard University Press

- Masoudia, N., Zaccour, G., (2014). “Emissions control policies under uncertainty and rational learning in a linear-state dynamic model”, *Automatica* 50, p.p. 719–726
- McCain, R., A., (2004). *Game theory: A non-technical introduction to the analysis of strategy*, Thomson South-Western, Mason
- McCormick, J., (2001). *Environmental policy in the European Union*, The European Series. Palgrave
- Miller, J., D., (2003). *Game theory at work: How to use game theory to outthink and outmaneuver your competition*, McGraw-Hill, New York
- Morgenstern, O., (1964). *On some criticism of game theory*, Economic Research Program, Research Paper No.8, Office of Naval Research, Princeton University, NJ
- Μπαμπινιώτης, Γ., Δ., (2002). *Λεξικό της νέας Ελληνικής γλώσσας*, Κέντρο Λεξικολογίας ΕΠΕ, Αθήνα
- Muller-Forstenberger, G., Stephan, G., (1997). “Environmental policy and cooperation beyond the nation state: An introduction and overview”, *Structural Change and Economic Dynamics* 8, p.p. 99-114
- Myerson, R., B., (1997). *Game theory: analysis of conflict*. Harvard University Press
- Nash, J., (1950). “Equilibrium points in n-person games”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 36, p.p. 48-49
- Organization for Economic Co-operation and Development, OECD, (2016). Database on instruments used for environmental policy. Retrieved from <http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/>
- Osborne, M. J. (2004). *An introduction to game theory*. Oxford University Press
- Paravantis, J., A., (2016). “From game theory to complexity, emergence and agent-based modeling in world politics”, *Intelligent Computing Systems: Emerging Application Areas*, Eds. Tsihrintzis, G., A., Virvou, M., Jain, L., C., Springer, Berlin Heidelberg, p.p. 39-85
- Pascala, S., Socolow, R., (2004). “Stabilization wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies”, *Science*, 13 vol. 305, p.p. 968-972
- Perlo-Freeman, S., (2006). The topology of conflict and co-operation. Retrieved from <https://ideas.repec.org/p/uwe/wpaper/0609.html>

- Pezzey, J., (1992). *Sustainable development concepts: An economic analysis*, World Bank Environmenta, Washington DC
- Polak, B., (2007). Game Theory: Lecture 1, Transcript ECON 159. Retrieved from <http://oyc.yale.edu/transcript/235/econ-159>
- Prisoner's Dilemma blog, PD, (2013). Retrieved from <http://www.prisoners-dilemma.com/>
- Prisoner's Dilemma, PD, (1997). Stanford Encyclopedia of Philosophy. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/entries/prisoner-dilemma/>
- Rasmusen, E., (2001). *An introduction to game theory, games and information*, Third Edition, Indiana University.
- Robinson, D., Goforth, D., (2005). *The Topology of the 2·2 games: A new periodic table*, Routledge, New York
- Romp, G., (1997). *Game theory: Introduction and applications*, Oxford University Press
- Ross, D., (2016). "Game Theory", *The Stanford encyclopedia of philosophy*. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/game-theory/>
- Schelling, T. (1980). *The strategy of conflict*, Harvard University, Cambridge
- Shirayev, E., B., Zubok, V., M., (2014). *International relations*, Oxford University Press, New York
- Shubik, M., (1983). *Game theory in the social sciences: Concepts and solutions*, The MIT Press, Cambridge
- Smith, M., J., (1974). "The theory of games and the evolution of animal conflicts". *Journal of Theoretical Biology*. 47, p.p. 209-221
- Stanton, E., A., (2010) *Negishi welfare weights in integrated assessment models: the mathematics of global inequality*, Climatic Change
- Stein, A., A., (1990). *Why nations cooperate: Circumstance and choice in international relations*. Cornell University Press, Ithaca
- Stevens, S., P., (2008). *Games people play: Game theory in life, business and beyond. Parts I and II*, The Teaching Company

- Stocker, T., Dahe, Q., Plattner, G.-K., (2013). “Technical summary”, *IPCC AR5 WG1*
- Susskind, L., E., (1994). *Environmental diplomacy: Negotiating more effective global agreements*, Oxford University Press, New York
- Tietenberg, T., (1996). *Environmental and natural resources economics*, Harper Collins College Publishers
- Tranter, B., Booth, K., (2015). “Scepticism in a changing climate: A cross-national study”, *Global Environmental Change* 33, p.p. 54–164.
- United Nations Documentation: Environment, UN, (2016). Retrieved from <http://research.un.org/en/docs/environment/conferences>
- United Nations Environmental Program, Ozone Secretariat, UNEP, (2016). Retrieved from <http://ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer>
- United Nations Climate Change Conference, UNFCCC, (2016). Retrieved from <http://unfccc.int/2860.php>
- United Nations Convention on Climate Change, UNFCCC, (2014). Retrieved from http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- von Neumann, J., Morgenstern, O., (1944). *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press, Princeton
- Waltz, K., (1979). *Theory of international politics*, Addison-Wesley
- Wilensky, U., Stroup, W., (1999). Retrieved from <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/hubnet.html>, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Στοιχεία Θεωρίας Παιγνίων

A.1 Εισαγωγή

Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί τη μελέτη των ανθρώπινων συγκρούσεων και της ανθρώπινης συνεργασίας σε συνθήκες ανταγωνισμού και έχει ως σκοπό την εξέταση της συμπεριφοράς των ορθολογικά σκεπτόμενων ανθρώπων όταν συνεργάζονται ή όταν οι ενέργειες του ενός επιδρούν στις ενέργειες και στις αποφάσεις των άλλων (Aumann, 2008). Η Θεωρία Παιγνίων μπορεί εναλλακτικά να οριστεί ως η μελέτη των μαθηματικών μοντέλων της σύγκρουσης και συνεργασίας μεταξύ ορθολογικά σκεπτόμενων ανθρώπων. Παρέχει τις γενικές μαθηματικές τεχνικές για την ανάλυση των καταστάσεων στις οποίες δύο ή περισσότερα άνθρωποι καλούνται να πάρουν αποφάσεις που θα επηρεάσουν το όφελος των υπόλοιπων συμμετεχόντων (Myerson, 1997).

Βασική διαφορά της Θεωρίας Λήψης Αποφάσεων και της Θεωρίας Παιγνίων είναι ότι η πρώτη πραγματοποιείται από έναν λήπτη αποφάσεων, που καλείται να επιλέξει μεταξύ εναλλακτικών λύσεων, βελτιστοποιώντας ένα προκαθορισμένο κριτήριο επιλογής, ενώ η δεύτερη εφαρμόζεται στην περίπτωση δυο ή περισσότερων ληπτών αποφάσεων σε συνθήκες ανταγωνιστικής αλληλεξάρτησης, δηλαδή σε καταστάσεις όπου οι επιπτώσεις των επιλογών του ενός λήπτη επηρεάζουν το αποτέλεσμα του άλλου.

Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί μια μεθοδολογία ανάλυσης καταστάσεων μεταξύ μιας ομάδας λογικών οντοτήτων που ανταγωνίζονται με σκοπό η κάθε οντότητα να αποκτήσει το μεγαλύτερο δυνατό όφελος. Σκοπός της είναι η κατανόηση και η ανάλυση των διαφόρων καταστάσεων αλληλεπίδρασης οντοτήτων, οι οποίες συμπεριφέρονται με στρατηγικό τρόπο και επιχειρούν να λάβουν κάποιες αποφάσεις. Η μεμονωμένη οντότητα στη Θεωρία Παιγνίων ονομάζεται παίκτης, και αποτελεί τον δρώντα που λαμβάνει αποφάσεις. Σκοπός του κάθε παίκτη είναι να μεγιστοποιήσει το κέρδος του, το οποίο μετράται σε μια κλίμακα ωφέλειας. Παίκτης δεν είναι αναγκαστικά ένα πρόσωπο, αλλά και μία οργάνωση, ένα κράτος ή ένας οποιοσδήποτε συνασπισμός οντοτήτων με κοινές επιδιώξεις.

Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η προσέγγιση προβλημάτων με τη βοήθεια της Θεωρίας Παιγνίων είναι σημαντικό να δοθεί έμφαση σε τρεις έννοιες οι οποίες αποτελούν βασικές παραδοχές κατά την εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων: ατομικισμός, ορθολογικότητα και αλληλεξάρτηση (Romp, 1997). Ο έννοια του ατομικισμού στη Θεωρία Παιγνίων είναι σύμφωνη με αυτή που δίνεται στη νεοκλασική οικονομική θεώρηση και υποδηλώνει την πρόθεση κάθε παίκτη να εξυπηρετήσει τα ατομικά συμφέροντά του και να μην έρθει σε συνεργασία με τους υπόλοιπους παίκτες παρά μόνο εάν αυτή η επιλογή είναι σύμφωνη με το προσωπικό του συμφέρον. Η ορθολογικότητα αναφέρεται στην παραδοχή ότι οι παίκτες είναι θεμελιωδώς ορθολογικοί και είναι ικανοί να προσδιορίσουν τα πιθανά αποτελέσματα των πράξεων τους καθώς και να τα ταξινομήσουν κατά σειρά προτίμησης. Η αλληλεπίδραση τέλος αναφέρεται σε καταστάσεις όπου οι πιθανές δράσεις των παικτών είναι αμοιβαία εξαρτημένες, σε καταστάσεις δηλαδή όπου το όφελος του κάθε παίκτη εξαρτάται έστω και μερικώς από τις κινήσεις των άλλων παικτών. Οι παραπάνω παραδοχές δεν είναι πάντοτε ρεαλιστικές στην ανάλυση πραγματικών προβλημάτων (Blume, 2008). Για παράδειγμα, πολλές φορές οργανισμοί ή κράτη ταυτίζονται με έναν παίκτη παρόλο που οι αποφάσεις των κρατών ή των οργανισμών δεν διέπονται αναγκαστικά από τον ατομικισμό, καθώς μπορεί να αποτελούν συνισταμένη πολλών διαφορετικών απόψεων και θεωρήσεων των μελών τους. Επίσης, η θεώρηση ότι οι παίκτες είναι ορθολογικοί, ακολουθώντας τη λύση με τη μεγαλύτερη απολαβή για αυτούς, έρχεται σε αντίθεση με πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι συχνά οι άνθρωποι προκειμένου να λάβουν σύνθετες αποφάσεις εφαρμόζουν απλούς και συχνά μη βέλτιστους κανόνες αποφάσεων (Blume, 2008). Τέλος, υπάρχουν καταστάσεις όπου η έννοια της αλληλεπίδρασης υπό τη μορφή της αύξησης της ωφέλειας ενός παίκτη εις βάρος ενός άλλου δεν είναι δεσμευτική.

Η Θεωρία Παιγνίων, όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια, έχει πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών, στην οικονομία, στις επιχειρήσεις, στην πληροφορική, στις τηλεπικοινωνίες, στην πολιτική, στην κοινωνιολογία, στη βιολογία, στη φιλοσοφία (Romp, 1997). Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι τα πάντα έχουν κάποια σχέση με τη Θεωρία Παιγνίων, καθώς, λόγω του ότι ουσιαστικά μοντελοποιεί κάθε μορφή αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες οντότητες, μπορεί να έχει απεριόριστες εφαρμογές σε διαφορετικούς τομείς, σε οποιαδήποτε πτυχή της καθημερινότητας, από τα πιο περίπλοκα έως τα πιο απλά ζητήματα.

A.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη γνωστή αναφορά στη Θεωρία Παιγνίων έγινε το 1838 από τον Γάλλο φιλόσοφο και οικονομολόγο Augustin Cournot ο οποίος ανέλυσε τις ολιγοπωλιακές συμπεριφορές ανταγωνιστικών επιχειρήσεων με παραπλήσιο τρόπο με τις σύγχρονες μεθόδους της Θεωρίας Παιγνίων (Cournot, 1838). Η ουσιαστική ανάπτυξη της Θεωρίας Παιγνίων ξεκίνησε το 1920 από τον μαθηματικό Emil Borel, αλλά η αληθινή γέννησή τους και η ονομασία τους αποδίδεται στον Ούγγρο φυσικό και μαθηματικό, John von Neumann, ο οποίος το 1928 απέδειξε ότι τα παιχνίδια μηδενικού αθροίσματος έχουν πάντα λύση, καθώς και ότι η απώλεια ενός παίκτη είναι ίση με το κέρδος του δεύτερου. Υποστήριξε δε, ότι ο κάθε παίκτης, όντας λογικός και εγωιστής, θα επιλέξει να ακολουθήσει εκείνη τη στρατηγική που έχει το μεγαλύτερο όφελος.

Καθοριστικής σημασίας γεγονός στην εξέλιξη της θεωρίας παιγνίων ήταν η δημοσίευση του βιβλίου “Theory of Games & Economic Behavior”, το 1944, από τους John von Neumann και Oskar Morgenstern (von Neuman, 1944). Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 ο Αμερικανός μαθηματικός οικονομολόγος John Nash εισήγαγε την έννοια της ισορροπίας για παιχνίδια μη-μηδενικού αθροίσματος, γνωστή και ως ισορροπία Nash (Nash, 1950). Πρόκειται για μια κατάσταση, από την οποία κανένας παίκτης ενός παιγνίου δεν έχει συμφέρι να απομακρυνθεί, δεδομένων των επιλογών των αντιπάλων.

Τις επόμενες δεκαετίες η Θεωρία Παιγνίων γνώρισε αλματώδη ανάπτυξη και άρχισε να εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς, ανάμεσά τους και στις πολιτικές επιστήμες, ενώ πληθώρα ερευνητικών πειραμάτων ξεκίνησαν προσπαθώντας να αναλύσουν και να δώσουν λύση υπό το πρίσμα της Θεωρίας Παιγνίων σε όλο και περισσότερα προβλήματα. Το 1965 ο Reinhard Selten μελέτησε τα δυναμικά παίγνια (παίγνια που εξελίσσονται στον χρόνο) εισάγοντας την έννοια της ισορροπίας στα υποπαίγνια (subgame perfect equilibrium) και της ισορροπίας τρεμάμενου χεριού (trembling hand perfect equilibrium), ενώ το 1975 ο John Harsanyi γενίκευσε τις ιδέες του John Nash και μελέτησε παίγνια μη-πλήρους πληροφόρησης (Osborne, 2004). Για τις εργασίες τους οι τρεις αυτοί επιστήμονες τιμήθηκαν το 1994, με το βραβείο Nobel της Σουηδικής Ακαδημίας Επιστημών. Τη δεκαετία του 1970 η Θεωρία Παιγνίων εφαρμόστηκε και στον κλάδο της βιολογίας, ως αποτέλεσμα της εργασίας του John Maynard Smith που σχετιζόταν με την

έννοια της “εξελικτικά σταθερής στρατηγικής” (evolutionary stable strategy) (Smith, 1974).

Στα τέλη του 1990 η θεωρία παιγνίων εφαρμόστηκε σε ακόμα ευρύτερο φάσμα αντικειμένων, όπως για παράδειγμα στον σχεδιασμό δημοπρασιών. Με το θέμα αυτό ασχολήθηκαν διάφοροι επιστήμονες για την κατανομή δικαιωμάτων χρήσης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στη βιομηχανία των κινητών τηλεπικοινωνιών. Το 2005 ο Αμερικανός επιστήμονας Thomas Schelling και ο Γερμανός θεωρητικός παιγνίων Robert Aumann κέρδισαν το βραβείο Νόμπελ για τις Οικονομικές επιστήμες “επειδή εμπλούτισαν την αντίληψη μας σχετικά με τις έννοιες του ανταγωνισμού και της συνεργασίας μέσω της παιγνιοθεωρητικής ανάλυσης”. Τους ακολούθησαν το 2007 οι Roger Myerson, Leonid Hurwicz και Eric Maskin για τη θεμελίωση της θεωρίας σχεδιασμού μηχανισμών.

A.2.2 Πεδία εφαρμογής Θεωρίας Παιγνίων

Κάθε κατάσταση που περιγράφει μία ανταγωνιστική δραστηριότητα στην οποία οι παίκτες ανταγωνίζονται μεταξύ τους σύμφωνα με ένα σύνολο από κανόνες, αποτελεί δυνητικά μία εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων. Η Θεωρία Παιγνίων εξετάζει τα προβλήματα λήψης αποφάσεων στα οποία δύο οι περισσότεροι λήπτες αποφάσεων έχουν να διαλέξουν ανάμεσα σε εναλλακτικές στρατηγικές προκειμένου να μεγιστοποιήσουν το όφελός τους, έχουν δηλαδή ορθολογική συμπεριφορά (Paravantis, 2016). Επομένως, είναι προφανές ότι η Θεωρία Παιγνίων καλύπτει ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών. Οι κυριότερες αυτές εφαρμογές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρία βασικά πεδία: την καθημερινότητα, τις επιχειρήσεις και την οικονομία, και την πολιτική σκηνή και τις διεθνείς σχέσεις (Dixit, 2008).

Καταρχάς, τα Παίγνια αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο ανάλυσης των διαπροσωπικών σχέσεων στην καθημερινότητα. Οι καθημερινές ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις μπορούν να αναλυθούν με τη βοήθεια της Θεωρίας Παιγνίων (Stevens, 2008· Miller, 2003), με πρότυπο τέσσερα βασικά Παίγνια (παίγνιο συντονισμού, παίγνιο της κότας, μάχη των φύλων, δίλημμα των φιλακισμένων), μερικά από τα οποία θα παρουσιαστούν και στη συνέχεια.

Η οικονομία και οι επιχειρήσεις αποτελούν ένα από τα πρώτα πεδία εφαρμογής της Θεωρίας Παιγνίων (von Neuman, 1944), γεγονός που αποδεικνύεται από τα πέντε βραβεία Νόμπελ στα οικονομικά που έχουν απονεμηθεί. Εκτός από την κλασική ανάλυση των ολιγοπωλιακών αγορών και του ανταγωνισμού στις αγορές, όπου οι εταιρίες παρουσιάζουν ανταγωνιστική συμπεριφορά προκειμένου να αυξήσουν τα μερίδιά τους στην αγορά, επομένως και το κέρδους τους, η Θεωρία Παιγνίων μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση του ανοίγματος νέων αγορών (Brandenburger, 1996), όπου κατά το άνοιγμα της αγοράς είναι στο συμφέρον των εταιριών αντί να ανταγωνιστούν να συνεργαστούν (ο όρος που χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση είναι co-opetition). Οι εφαρμογές στον τομέα των επιχειρήσεων επεκτείνονται και σε ατομικό επίπεδο στελεχών, με εξέταση στρατηγικών επαγγελματικής ανέλιξης των στελεχών (Dixit, 2008) και διαπραγματεύσεων που οδηγούν όλους τους δρώντες σε ικανοποιητικές απολαβές και όχι αναγκαστικά σε ζημία του ενός έναντι του άλλου (Fisher, 1999). Ως ενδεικτικό παράδειγμα Παίγνιου στον τομέα των επιχειρήσεων αναφέρεται η επένδυση σε έρευνα και ανάπτυξη για τις φαρμακευτικές εταιρίες. Κάθε φαρμακευτική εταιρία επενδύει ένα ποσό στην ανάπτυξη νέων φαρμάκων. Η πρώτη εταιρία που αναπτύσσει ένα φάρμακο έχει το δικαίωμα να το εκμεταλλευτεί αποκλειστικά για κάποια χρόνια. Οι εταιρίες πρέπει να αποφασίσουν πού θα διοχετεύσουν τους πόρους τους για έρευνα, πώς θα τιμολογήσουν τα νέα φάρμακα ή πώς θα μειώσουν το ρίσκο κατά την ανάπτυξη ενός φαρμάκου. Οι αποφάσεις αυτές λαμβάνονται βάσει συμπερασμάτων για τις αντίστοιχες αποφάσεις των ανταγωνιστικών εταιριών, επομένως υπάρχει το στοιχείο του ανταγωνισμού, της ατομικότητας και της αλληλεπίδρασης.

Η πολιτική και η διεθνής διπλωματία είναι ένα ακόμα πεδίο στο οποίο πιο πρόσφατα βρήκε εφαρμογή η Θεωρία Παιγνίων (Schelling, 1980), αλλά παρουσιάζει έντονη άνθηση, ιδιαίτερα στο πεδίο ανάλυσης των διεθνών σχέσεων. Τα Παίγνια που αναλύουν τις διεθνείς σχέσεις αποτελούν είτε συνεργατικά παίγνια, στα οποία είναι προς όφελος όλων των παικτών αλλά και του συνόλου να συνεργαστούν, είτε παίγνια, στα οποία υπάρχει ένα κοινωνικό δίλημμα, η κατάληξη του οποίου δεν είναι αναγκαστικά αυτή που έχει το καλύτερο αποτέλεσμα τόσο για τους παίκτες όσο και για το σύνολο (McCain, 2004). Ως παράδειγμα εφαρμογής της Θεωρίας Παιγνίων στη διεθνή πολιτική αναφέρεται η ανάλυση της πυραυλικής κρίσης στην Κούβα τον Οκτώβρη του 1962, κατά την οποία οι κυβερνήσεις των ΗΠΑ και ΕΣΣΔ έφεραν τον πλανήτη στο χείλος της

πυρηνικής καταστροφής (Paravantis, 2016). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τέλος τα παίγνια που αφορούν διαπραγματεύσεις αλλά και πολιτικές, τα οποία θα αναλυθούν εκτενέστερα στη συνέχεια.

A.2 Βασικές έννοιες Θεωρίας Παιγνίων

Ο ορισμός του Παίγνιου, ή του Παιχνιδιού, όπως χρησιμοποιείται στην καθομιλουμένη, είναι “οποιαδήποτε ενέργεια που δεν έχει πρακτικό σκοπό, αλλά προσφέρει ευχαρίστηση, γιατί είναι διασκεδαστική”, ή “οποιαδήποτε δραστηριότητα που πραγματοποιείται σύμφωνα με ορισμένους κανόνες, με σκοπό τη διασκέδαση ή την απόκτηση χρημάτων” (Μπαμπινιώτης, 2002). Με βάση τον ορισμό της καθομιλουμένης θα μπορούσε να δημιουργηθεί εναλλακτικά ο ορισμός ότι, Παίγνιο (Game) αποτελεί κάθε κατάσταση κατά την οποία δύο ή περισσότεροι ορθολογικοί παίκτες με αντικρουόμενους στόχους επιλέγουν τρόπους ενέργειας που δημιουργούν συνθήκες ανταγωνιστικής αλληλεξάρτησης. Η χρήση του όρου “Παίγνιο” στη Θεωρία Παιγνίων κατά τη δημιουργία της, πρόκειται περισσότερο για ένα “ιστορικό ατύχημα” (Shubik, 1983) καθώς ο όρος Παίγνιο ή παιχνίδι συνδέεται, όπως φαίνεται και από τους ορισμούς του λεξικού, περισσότερο με τη διασκέδαση και την απομάκρυνση από τα καθημερινά προβλήματα της ζωής. Η καθημερινή χρήση του όρου δεν πρέπει παρόλα αυτά να μειώνει καθόλου τον σοβαρό ρόλο της Θεωρίας Παιγνίων ως εργαλείο για τη μαθηματική ανάλυση και μοντελοποίηση της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης, υπό το πρίσμα των στρατηγικών επιλογών μεμονωμένων ανθρώπων ή ομάδων.

Βασικότερα στοιχεία ενός παιγνίου αποτελούν οι παίκτες, οι κανόνες που διέπουν το παίγνιο, οι πληροφορίες που υπάρχουν κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του παιγνίου και η αξιολόγηση των διαφόρων αποτελεσμάτων.

Παίκτης

Ως Παίκτης στη Θεωρία Παιγνίων ορίζεται κάθε αυτόνομη μονάδα λήψης αποφάσεων, η οποία, παρόλα αυτά, δεν ελέγχει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα του παιγνίου (Aumann, 1985). Παίκτης μπορεί να είναι ένα άτομο, μία επιχείρηση, ακόμα και ένα κράτος. Ένας Παίκτης έχει σαφή αντικειμενικό σκοπό, τον οποίο προσπαθεί να επιτύχει κατά όλη τη διάρκεια του παίγνιου και σαφή όρια δράσης,

τα οποία καθορίζονται από τους κανόνες του παιχνιδιού αλλά και το σύνολο των πόρων και των μέσων που διαθέτει.

Στρατηγική

Στρατηγική ενός παίκτη είναι το σύνολο των κανόνων, οι οποίοι ορίζουν ποια από τις δυνατές επιλογές ή ενέργειες που έχει στη διάθεσή του ένας παίκτης πρέπει να ακολουθήσει μέχρι το τέλος του παιχνιδιού, προκειμένου να επιτύχει τον στόχο του, έχοντας πάντοτε υπόψη του όλες τις πληροφορίες που σχετίζονται με τις κινήσεις των άλλων παικτών (Polak, 2007). Η έννοια της στρατηγικής είναι παρόμοια σε όλα τα επίπεδα ανταγωνισμού, είτε πρόκειται για μεμονωμένα άτομα σε απλά καθημερινά παιχνίδια, είτε για επιχειρήσεις σε σύνθετες καταστάσεις οικονομικών αλληλεξαρτήσεων ή ακόμα και για κράτη σε διαπραγματεύσεις με διπλωματικά συμφέροντα. Η στρατηγική που θα ακολουθήσει ένας παίκτης μπορεί να είναι αμιγής ή μικτή. Αμιγής στρατηγική είναι η στρατηγική εκείνη στην οποία κάθε παίκτης επιλέγει μία μόνο από τις δυνατές επιλογές του με πιθανότητα ίση με τη μονάδα, ενώ η μικτή στρατηγική περιλαμβάνει έναν συνδυασμό στρατηγικών, εκ των οποίων κάθε μία επιλέγεται με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας. Η μικτή στρατηγική δηλαδή, είναι ουσιαστικά μία κατανομή πιθανοτήτων πάνω στις καθαρές στρατηγικές που διαθέτει ένας παίκτης.

Ορθολογική Επιλογή

Σύμφωνα με τη θεωρία της ορθολογικής επιλογής, σε ένα παίγνιο η ενέργεια που επιλέγεται από τον λήπτη αποφάσεων είναι καλύτερη ή τουλάχιστον το ίδιο καλή, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του, συγκριτικά με οποιαδήποτε άλλη διαθέσιμη ενέργεια. Η θεωρία της ορθολογικής επιλογής ουσιαστικά υποδεικνύει ότι ο λήπτης αποφάσεων επιλέγει τη βέλτιστη ενέργεια σύμφωνα με τις καθαρές προτιμήσεις του μεταξύ όλων των επιλογών που έχει στη διάθεσή του (Romp, 1997).

Το μοντέλο της ορθολογικής επιλογής αναλύεται με δύο επιμέρους συστατικά: το σύνολο A , που αποτελείται από όλες τις ενέργειες οι οποίες, υπό κάποιες προϋποθέσεις, είναι διαθέσιμες στον λήπτη αποφάσεων και τον τρόπο καθορισμού των προτιμήσεων του λήπτη αποφάσεων. Σε κάθε δοθείσα κατάσταση, ο λήπτης αποφάσεων έρχεται αντιμέτωπος με ένα υποσύνολο του A από το οποίο μπορεί να επιλέξει ένα μόνο στοιχείο, μία μόνο δηλαδή επιλογή. Ο λήπτης αποφάσεων γνωρίζει το υποσύνολο των διαθέσιμων ενεργειών, το οποίο δεν επηρεάζεται από τις προτιμήσεις του ίδιου και το θεωρεί

δεδομένο. Όταν ο λήπτης αποφάσεων έρχεται αντιμέτωπος με οποιοδήποτε ζεύγος ενεργειών γνωρίζει ποιο στοιχείο του ζεύγους προτιμά, ή γνωρίζει ότι θεωρεί και τις δύο ενέργειες εξίσου επιθυμητές, οπότε και είναι “αδιάφορος” μεταξύ των δύο ενεργειών. Επιπλέον οι προτιμήσεις αυτές είναι συνεπείς σε επίπεδο λογικής, δηλαδή σε ένα σύνολο ενεργειών A , που απαρτίζεται από τις ενέργειες a , b και c , εάν ο λήπτης προτιμάει την ενέργεια a από την ενέργεια b και παράλληλα προτιμάει την ενέργεια b από την ενέργεια c , τότε θα πρέπει να προτιμάει και την ενέργεια a από την ενέργεια c .

Για το σύνολο $A = (a, b, c)$ εάν $(a > b)U(b > c)$, τότε πρέπει $(a > c)$ (13)

Συνάρτηση απολαβής

Για την αναπαράσταση των προτιμήσεων ενός παίκτη, μεταξύ των διαθέσιμων ενεργειών που έχει να επιλέξει, χρησιμοποιείται μία συνάρτηση απολαβής (payoff function) η οποία συσχετίζει μία αριθμητική τιμή με κάθε ενέργεια, με τρόπο ώστε να προτιμώνται οι ενέργειες με τη μεγαλύτερη αριθμητική τιμή (Leyton-Brown, 2008). Πιο συγκεκριμένα η συνάρτηση απολαβής u αναπαριστά τις προτιμήσεις του λήπτη αποφάσεων αν για οποιοσδήποτε ενέργειες a και b από ένα σύνολο στρατηγικών ισχύει ότι:

$u(a) > u(b)$, εάν και μόνο αν ο λήπτης αποφάσεων προτιμάει την επιλογή a από την b .

Μία συνάρτηση απολαβής μπορεί να υπολογίζει ένα πραγματικό μέγεθος (για παράδειγμα χρηματική ωφέλεια) ή μπορεί να είναι απλά διατακτική, δηλαδή να προσδιορίζει εάν ο λήπτης αποφάσεων προτιμάει την επιλογή a , b ή c , χωρίς να υπολογίζει το πόσο πολύ προτιμάει την ενέργεια a από την ενέργεια b ή πόσο περισσότερο προτιμάει την ενέργεια a από την b σε σχέση με την ενέργεια b από την ενέργεια c . Οι προτιμήσεις ενός λήπτη αποφάσεων μπορούν να αναπαρασταθούν με πολλές εναλλακτικές συναρτήσεις απολαβής, ανάλογα με τη φύση του εξεταζόμενου προβλήματος.

Λύση του Παίγνιου

Ως λύση (solution) του παίγνιου θεωρείται η βέλτιστη στρατηγική όλων των παικτών. Η λύση του παίγνιου αποτελεί ουσιαστικά μία θεωρία που προσδιορίζει ένα σύνολο εκβάσεων για ένα παιγνιακό μοντέλο. Στα περισσότερα στρατηγικά παίγνια η στρατηγική αλληλεπίδραση είναι επαρκώς σύνθετη, έτσι ώστε ακόμα και ένα σχετικά απλό μοντέλο να μπορεί να επιδέχεται περισσότερες από μία λύσεις, οι οποίες

σχετίζονται με τις παραδοχές και τις θεωρήσεις που έχουν ληφθεί κατά την κατάστρωση του παιγνίου.

A.3 Κατηγορίες παιγνίων

Τα παίγνια, όπως και το τεράστιο πλήθος καταστάσεων στις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν, διαφέρουν, ανάλογα με τους εκάστοτε κανόνες και τα κριτήρια που τα χαρακτηρίζουν. Οι κυριότεροι διαχωρισμοί των παιγνίων ανάλογα με τα ειδικά χαρακτηριστικά τους παρατίθενται ακολούθως (Rasmusen, 2001).

Αριθμός Παικτών

Τα παίγνια στα οποία υπάρχουν δύο μόνο παίκτες ονομάζονται "παίγνια δύο παικτών". Εάν οι παίκτες είναι περισσότεροι από δύο τότε έχουμε "παίγνια n παικτών" όπου $n > 2$, $n \in \mathbb{N}$. Τα παίγνια δύο παικτών είναι τα συνηθέστερα παίγνια καθώς τα περισσότερα προβλήματα μπορούν να αναχθούν αφαιρετικά σε μία απλή μορφή αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο παικτών. Αν και φαινομενικά απλά, τα παίγνια δύο παικτών παρέχουν τη δυνατότητα της θεμελιώδους ανάλυσης μίας αλληλεπίδρασης, η οποία στη συνέχεια εφόσον το παίγνιο έχει θεμελιωθεί, αναλυθεί και επιλυθεί σωστά, μπορεί να επεκταθεί και να θεμελιωθεί ως παίγνιο πολλών παικτών. Ειδική κατηγορία των παιγνίων είναι και τα παίγνια στα οποία υπάρχει μόνο ένας παίκτης ο οποίος έχει ως αντίπαλό του "τη φύση", όπως για παράδειγμα ισχύει στην πασιέντζα. Τα παίγνια αυτά στη μορφή του ενός παίκτη ενάντια στη φύση θεωρείται πως ανήκουν στην κατηγορία παιγνίων με δύο παίκτες.

Δυνατότητα Συνεργασίας

Σε κάποιες κατηγορίες παιγνίων, οι παίκτες πριν παίξουν το παίγνιο έχουν τη δυνατότητα να συνεργαστούν και να κάνουν συμφωνίες μεταξύ τους για τις στρατηγικές που πρόκειται να ακολουθήσουν κατά τη διεξαγωγή του παίγνιου. Αυτά τα παίγνια ονομάζονται "συνεργατικά παίγνια" (cooperative games) και βρίσκουν εφαρμογή στην ανάλυση των καταστάσεων, όπου οι συνεργατικές λύσεις, με σκοπό τη μεγιστοποίηση του οφέλους όλων των παικτών ως σύνολο και όχι ατομικά, είναι κατανοητές και κοινά επιδιωκόμενες από όλους τους παίκτες. Στον αντίποδα των συνεργατικών παιγνίων, υπάρχουν τα παίγνια στα οποία οι παίκτες ενεργούν αποκλειστικά ατομικά, χωρίς την παραμικρή συνεννόηση και συνεργασία μεταξύ τους, κατά όλη τη διάρκεια διεξαγωγής

του παιγνίου. Τα παίγνια αυτού του είδους ονομάζονται “μη συνεργατικά παίγνια” (non-cooperative games). Τα όρια των δύο κατηγοριών πολλές φορές δεν είναι πλήρως διακριτά, καθώς στο ίδιο παίγνιο ενδέχεται να υπάρχουν τόσο στοιχεία συνεργασίας όσο και ανταγωνισμού.

Χαρακτηριστικά Απολαβών

Όταν σε ένα παίγνιο το κέρδος ενός παίκτη είναι ίσο με την απώλεια του αντιπάλου του, το παίγνιο αυτό ονομάζεται “παίγνιο μηδενικού αθροίσματος” (Zero Sum Game). Σε αυτά τα παίγνια το άθροισμα των απολαβών των παικτών είναι ίσο με μηδέν, επομένως η συνεργασία μεταξύ των παικτών είναι πρακτικά ανέφικτη. Αντίθετα, υπάρχουν τα “παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος” (Non-zero Sum Games), στα οποία το άθροισμα των απολαβών των παικτών είναι διάφορο του μηδενός. Στα παίγνια της κατηγορίας αυτής, το κέρδος ενός παίκτη δεν προκαλεί απαραίτητα ζημιά σε κάποιον ανταγωνιστή. Επομένως στη λύση των παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος όλοι οι παίκτες μπορούν να κερδίσουν ή και να χάσουν, ανάλογα με τη φύση και τον τρόπο διεξαγωγής του παιγνίου.

Σειρά Λήψης Αποφάσεων

Τα παίγνια διαχωρίζονται σε στρατηγικά (κανονικά) παίγνια και σε δυναμικά (εκτεταμένα) παίγνια. Ως στρατηγικό παίγνιο (αναφέρεται και ως κανονικό παίγνιο ή παίγνιο σε στρατηγική μορφή) χαρακτηρίζεται το μοντέλο παιγνίου όπου κάθε παίκτης επιλέγει το πλάνο δράσης του, δηλαδή τη στρατηγική που θα ακολουθήσει μόνο μια φορά σε όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού, και η επιλογή αυτή είναι για όλους τους παίκτες είτε ταυτόχρονη, είτε πραγματοποιείται σε νεκρό χρόνο πριν την έναρξη διεξαγωγής του παιγνίου. Σημαντικό στοιχείο στα στρατηγικά παίγνια είναι ότι κανένας από τους συμμετέχοντες παίκτες δεν γνωρίζει τη στρατηγική που έχουν επιλέξει οι υπόλοιποι παίκτες. Αντίθετα, ως παίγνιο σε εκτεταμένη μορφή χαρακτηρίζεται το παίγνιο στο οποίο καθορίζονται οι δυνατές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες δημιουργούνται από τις εκάστοτε συμπεριφορές των εμπλεκόμενων παικτών. Στα δυναμικά παίγνια, ο κάθε παίκτης μπορεί να αλλάξει πλάνο δράσης μία ή περισσότερες φορές κατά τη συνολική διάρκεια του παιχνιδιού, ανάλογα με τις αποφάσεις και τις ενέργειες των υπολοίπων παικτών, προκειμένου να αναπροσαρμόσει την τακτική του επιδιώκοντας το βέλτιστο για αυτόν αποτέλεσμα.

Αριθμός Στρατηγικών

Τα παίγνια διαχωρίζονται σε “πεπερασμένα” και σε “μη πεπερασμένα”. Τα πεπερασμένα παίγνια τελειώνουν μετά από ένα μετρήσιμο συγκεκριμένο αριθμό κινήσεων, σε αντίθεση με τα μη πεπερασμένα παίγνια, τα οποία διαρκούν για απεριόριστο αριθμό κινήσεων και ο νικητής γίνεται γνωστός αφού όλες οι κινήσεις των παικτών τελειώσουν.

Πληροφόρηση

Μια ακόμα κατηγοριοποίηση των παιγνίων είναι η διάκριση σε παίγνια τέλειας πληροφόρησης και σε παίγνια ατελούς πληροφόρησης. Σε ένα παίγνιο τέλειας πληροφόρησης οι παίκτες, εκτός από τους κανόνες και τους περιορισμούς του παιχνιδιού, γνωρίζουν και τις κινήσεις ή τις ενέργειες των υπολοίπων παικτών. Αντίθετα, σε ένα παίγνιο ατελούς πληροφόρησης αυτή η γνώση δεν είναι διαθέσιμη στους εμπλεκόμενους παίκτες, καθώς δεν είναι πλήρως ενημερωμένοι για τις αποφάσεις και τις αντιδράσεις των υπολοίπων παικτών.

A.4 Τρόποι αναπαράστασης παιγνίων

Προκειμένου να καταστρωθεί ένα παίγνιο και στη συνέχεια να επιλυθεί, πρώτα πρέπει να αναπαρασταθεί σε πλήρη, ευκρινή και κατανοητή μορφή, διευκολύνοντας έτσι την ανάλυσή του. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι αναπαράστασης των παιγνίων, η αναπαράσταση με μορφή μήτρας (μορφή πίνακα) και η αναπαράσταση με μορφή δέντρου (Rasmusen, 2001).

Μορφή μήτρας (κανονική μορφή)

Η μορφή μήτρας, γνωστή και ως κανονική μορφή ή στρατηγική μορφή, είναι η πιο συνηθισμένη μορφή αναπαράστασης ενός παιγνίου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ως στρατηγική στη Θεωρία Παιγνίων αναφέρονται οι κανόνες, οι οποίοι ορίζουν ποια από τις δυνατές επιλογές που έχει στη διάθεσή του ο κάθε παίκτης πρέπει να ακολουθήσει μέχρι το τέλος του παιχνιδιού. Ζητούμενο της αναπαράστασης, επομένως, είναι οι στρατηγικές του κάθε παίκτη και τα αποτελέσματά τους, δηλαδή οι απολαβές που προκύπτουν από κάθε συνδυασμό στρατηγικών. Στην απλή περίπτωση παιγνίου δύο παικτών, η υλοποίηση αυτή μπορεί να γίνει με τη μορφή πίνακα, όπου σε κάθε γραμμή του υπάρχει η στρατηγική του παίκτη 1 και σε κάθε στήλη του η στρατηγική του παίκτη 2. Στην περίπτωση που υπάρχουν N παίκτες, η αναπαράσταση του παιγνίου γίνεται είτε

με πίνακα μεγαλύτερων διαστάσεων είτε με N πίνακες διαστάσεων $2 \cdot 2$. Η κανονικής μορφής αναπαράσταση ενός παιγνίου προσδιορίζει τους παίκτες του παιγνίου, τις στρατηγικές που διαθέτει ο κάθε παίκτης και την απολαβή που λαμβάνει κάθε παίκτης για κάθε συνδυασμό στρατηγικών που μπορούν να επιλέξουν οι παίκτες. Ακολούθως παρατίθεται η αναπαράσταση με μορφή μήτρας ενός παιγνίου μη μηδενικού αθροίσματος δύο παικτών.

Πίνακας 18: Παράδειγμα αναπαράστασης παιγνίου δύο παικτών με μορφή μήτρας

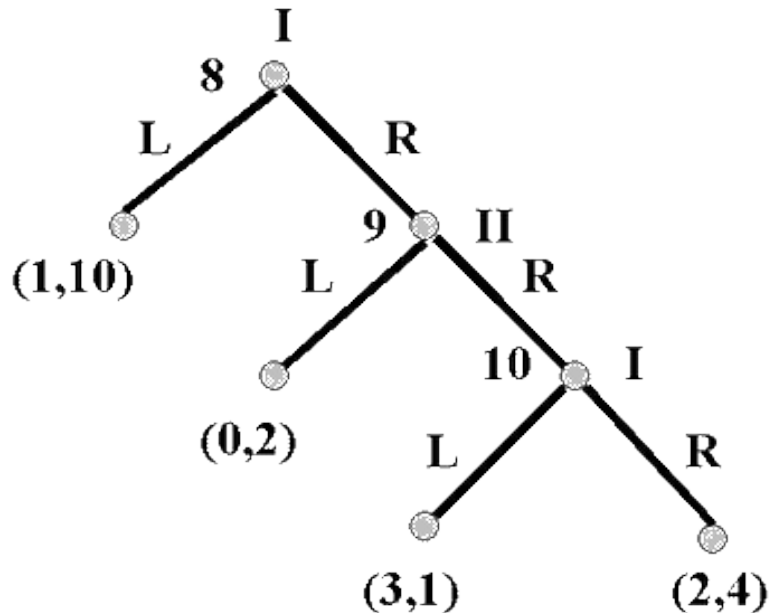
		ΠΑΙΚΤΗΣ Β	
		Στρατηγικές	
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	A_1	$(2, 2)$	$(0, 3)$
	A_2	$(3, 0)$	$(1, 1)$

Οι παίκτες στο παραπάνω παράδειγμα είναι ο Α και ο Β και οι στρατηγικές τους είναι οι A_1 ή A_2 και οι B_1 ή B_2 αντίστοιχα. Κάθε γραμμή του πίνακα παρουσιάζει τη στρατηγική του ενός παίκτη, ενώ κάθε στήλη τη στρατηγική του άλλου παίκτη. Σε κάθε κελί του πίνακα φαίνονται οι απολαβές για κάθε ένα από τους δύο παίκτες, ανάλογα με τη στρατηγική που αντιστοιχεί στη γραμμή και στη στήλη του κελιού. Για να αναπαρασταθεί ένα παίγνιο με κανονική μορφή πρέπει οι παίκτες να αποφασίζουν ταυτόχρονα, χωρίς γνώση της κίνησης του αντιπάλου τους και επίσης, να μην είναι γνωστή η χρονική στιγμή που λαμβάνονται οι αποφάσεις. Η στρατηγική μορφή είναι επομένως μια στατική μορφή αναπαράστασης παιγνίου.

Μορφή δένδρου (αναλυτική μορφή)

Η αναλυτική μορφή, γνωστή και ως εκτεταμένη μορφή ή μορφή δένδρου, είναι η μορφή αναπαράστασης ενός παιγνίου στην οποία εμφανίζονται όλες οι λεπτομέρειες της αλληλεπίδρασης των παικτών, δηλαδή όλοι οι παίκτες που συμμετέχουν στο παίγνιο (ένας από τους παίκτες μπορεί να είναι και η τύχη ή η φύση), όλες οι κινήσεις των παικτών (οι επιλογές δηλαδή που διαθέτει κάθε παίκτης κάθε φορά που καλείται να λάβει αποφάσεις), η σειρά με την οποία μπορεί κάθε παίκτης να λάβει αποφάσεις, η πληροφόρηση κάθε παίκτη όταν λαμβάνει μία απόφαση, καθώς και οι απολαβές κάθε «παρτίδας». Ως παρτίδα νοείται το σύνολο το οποίο αποτελείται από τις πιθανές κινήσεις

των παικτών σε ακολουθία, από την αρχή του παιχνιδιού μέχρι το σημείο, στο οποίο τερματίζεται το παιχνίδι και ο κάθε παίκτης παίρνει την αντίστοιχη απολαβή. Ακολούθως παρατίθεται η αναπαράσταση ενός παιχνιδιού με μορφή δένδρου.



Σχήμα 4: Παράδειγμα αναπαράστασης παιχνιδιού με μορφή δένδρου (Ross, 2016)

Τα εκτεταμένα παίγνια αναπαρίστανται ως δέντρα που ξεκινούν από έναν κοινό κόμβο, τον κόμβο αφετηρίας. Οι κλάδοι που ξεκινούν από τους κόμβους συμβολίζουν τις πιθανές διαθέσιμες ενέργειες ενός παίκτη. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τα σημεία που λαμβάνουν αποφάσεις οι παίκτες και ονομάζονται κόμβοι απόφασης. Σε κάθε κόμβο καταλήγει ένας μόνο κλάδος, αλλά ενδέχεται να ξεκινούν από αυτόν περισσότεροι του ενός. Στους τελικούς κόμβους παρουσιάζονται οι απολαβές κάθε στρατηγικής για κάθε παίκτη. Η αναλυτική μορφή είναι χρήσιμη για την αναπαράσταση παιχνιδιών στα οποία οι παίκτες έχουν πληροφόρηση σχετικά με τις αποφάσεις των αντιπάλων τους. Σε αντίθεση με την κανονική μορφή όπου οι διαθέσιμες επιλογές είναι και οι στρατηγικές των παικτών, στην εκτεταμένη μορφή οι στρατηγικές είναι περισσότερο σύνθετες και συχνά πολύπλοκες.

A.5 Παίγνια δύο παικτών μηδενικού αθροίσματος

Το πιο απλό παίγνιο που απαντάται στη Θεωρία Παιγνίων είναι το παίγνιο μηδενικού αθροίσματος (zero sum game) με δύο παίκτες. Στο παίγνιο αυτό όταν ο ένας παίκτης

κερδίζει, ο άλλος παίκτης χάνει, και η ωφέλεια του ενός παίχτη ισούται με τη ζημία του άλλου παίκτη (Stevens, 2008). Σε αυτή την κατηγορία παιγνίων το άθροισμα αποτελεσμάτων είναι ίσο με το μηδέν και κατά την αναπαράστασή τους σε στρατηγική μορφή δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται δύο αριθμοί, για τον προσδιορισμό των απολαβών των παικτών γιατί ουσιαστικά ό,τι κερδίζει ο ένας παίκτης το χάνει ο άλλος. Ο κάθε παίκτης κατά την επίλυση του παιγνίου μπορεί να ακολουθήσει αμιγή ή μικτή στρατηγική.

Τα παίγνια μηδενικού αθροίσματος αποτελούν υποκατηγορία της γενικής κατηγορίας παιγνίων δύο παικτών σταθερού αθροίσματος, στα οποία το άθροισμα των ανταμοιβών των παικτών είναι μια σταθερά c (θετική ή αρνητική). Όταν η τιμή της σταθεράς c είναι θετικός αριθμός, τότε οι παίκτες μοιράζονται κάποια ανταμοιβή, ενώ όταν είναι αρνητικός αριθμός οι παίκτες μοιράζονται κάποιο κόστος. Τα παίγνια μηδενικού αθροίσματος είναι η ειδική περίπτωση των παιγνίων σταθερού αθροίσματος όπου ισχύει $c = 0$.

Απαραίτητο εργαλείο για την επίλυση παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος αποτελεί ο πίνακας αποτελεσμάτων, στον οποίο αναπαρίστανται οι ακριβείς απολαβές που προκύπτουν από κάθε δυνατό συνδυασμό στρατηγικών των δύο παικτών. Στον επόμενο πίνακα διαστάσεων $m \times n$, που ονομάζεται πίνακας πληρωμών του παίκτη A, βλέπουμε τους δύο παίκτες, τον παίκτη A (σειρές) και τον παίκτη B (στήλες), τις m στρατηγικές του παίκτη A και τις n στρατηγικές του παίκτη B.

Πίνακας 19: Δομή πίνακα πληρωμών σε παίγνιο μηδενικού αθροίσματος δύο παικτών

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β			
		1	2	...	n
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Στρατηγικές				
	1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
	2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}

m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα πληρωμών του παίκτη A, αν ο παίκτης A επιλέξει τη στρατηγική A_i και ο παίκτης B επιλέξει τη στρατηγική B_j , τότε ο παίκτης A κερδίζει a_{ij} και ο παίκτης B χάνει a_{ij} . Οι δύο παίκτες είναι ορθολογιστές, επιλέγουν δηλαδή τις στρατηγικές τους με στόχο τη δική τους ευημερία, βάσει των στοιχείων του πίνακα, και δεν αντιδρούν συναισθηματικά. Αντικειμενικός σκοπός του παίκτη A είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους του, ενώ του παίκτη B η ελαχιστοποίηση της ζημίας του. Οι παίκτες γνωρίζουν τη δομή του πίνακα πληρωμών και γνωρίζουν ότι οι αντίπαλοί τους γνωρίζουν τη δομή αυτή. Τέλος, οι παίκτες επιλέγουν ταυτόχρονα στρατηγική, χωρίς να επικοινωνούν, χωρίς συνεργασία και χωρίς να έχουν ενημερωθεί εκ των προτέρων για την επιλογή του αντιπάλου τους. Σε αυτή την περίπτωση παιγνίων γίνεται χρήση της μεθόδου των κριτηρίων *maxi-min* και *mini-max* προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη στρατηγική που πρέπει να επιλέξει ο κάθε παίκτης, απαλείφοντας διαδοχικά τις υποδεέστερες στρατηγικές (Stevens, 2008), (Leyton-Brown, 2008), όπως θα παρουσιαστεί και ακολούθως.

A.5.1 Επίλυση με Αμιγή Στρατηγική *maxi-min* και *mini-max*

Σε ένα παίγνιο δύο παικτών (παίκτης A, παίκτης B), αντικειμενικός σκοπός του παίκτη A είναι η επίτευξη του μέγιστου κέρδους. Για αυτόν τον λόγο ο παίκτης A θα ακολουθεί πάντα στρατηγική *maxi-min*, δηλαδή θα επιλέγει το μέγιστο (*maximum*) των ελαχίστων (*minimum*) στοιχείων των σειρών από τον πίνακα πληρωμών. Αντίστοιχα, αντικειμενικός σκοπός του παίκτη B είναι η ελάχιστη ζημία. Έτσι, ο παίκτης B θα ακολουθεί στρατηγική *mini-max*, δηλαδή θα επιλέγει πάντα το ελάχιστο (*minimum*) των μεγίστων (*maximum*) στοιχείων των στηλών. Εάν σε ένα παίγνιο το στοιχείο του πίνακα πληρωμών της στρατηγικής *maxi-min* είναι το ίδιο με το στοιχείο της στρατηγικής *mini-max*, το στοιχείο αυτό ονομάζεται σημείο ισορροπίας ή σαγματικό στοιχείο (*saddle point*) και δίνει την τιμή λύσης του παιγνίου, που συμβολίζεται με V , δηλαδή:

$$V = \max_i \min_j = \min_j \max_i, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

Το σημείο ισορροπίας σε ένα παίγνιο, εφόσον υπάρχει, είναι πάντα το μικρότερο στοιχείο της σειράς και το μεγαλύτερο στοιχείο της στήλης στην οποία ανήκει. Σημείο ισορροπίας υπάρχει όταν κανένας από τους παίκτες δεν επιθυμεί να αλλάξει τη στρατηγική του, ακόμα και όταν γνωρίζει τη στρατηγική του αντιπάλου του. Υπάρχουν όμως και

περιπτώσεις παιγνίων δύο παικτών μηδενικού αθροίσματος όπου το στοιχείο $\max_i \min_j = a_{ij}$ δεν είναι ίδιο με το στοιχείο $\max_j \min_i = a_{ij}$. Τότε δεν υπάρχει σημείο ισορροπίας, δηλαδή δεν επιτυγχάνεται σταθερή λύση με τη χρήση αμιγών στρατηγικών και θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μικτές στρατηγικές, οι οποίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Μία στρατηγική είναι υποδεέστερη μίας άλλης, η οποία ονομάζεται υπερέχουσα ή κυρίαρχη, όταν η κυρίαρχη στρατηγική είναι τουλάχιστον τόσο “καλή” όσο και η υποδεέστερη, έχει δηλαδή μεγαλύτερη ή ίση τιμή της συνάρτησης απολαβής συγκριτικά με τις εναλλακτικές στρατηγικές.

Ένα παράδειγμα εφαρμογής της στρατηγικής $\max_i \min_j$ στην περίπτωση που υπάρχει σημείο ισορροπίας παρουσιάζεται στο παίγνιο του ακόλουθου πίνακα. Στον πίνακα απολαβών παρουσιάζονται οι απολαβές του παίκτη Α, ενώ οι απολαβές του παίκτη Β έχουν το αντίθετο πρόσημο από τις απολαβές του παίκτη Α.

Πίνακας 20: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο $\max_i \min_j$ (1)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Β1	Β2	Β3
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Στρατηγικές			
	A1	-10	15	6
	A2	4	4	5
	A3	-15	-12	4

Με την εφαρμογή της διαδικασίας διαγραφής των υποδεέστερων στρατηγικών στο παίγνιο με τον παραπάνω πίνακα πληρωμών παρατηρείται ότι ο ορθολογικός παίκτης Α δεν θα εφάρμοζε ποτέ τη στρατηγική Α3, καθώς έχει λιγότερα οφέλη (-15) σε σχέση με τις στρατηγικές Α1 και Α2 (-15 < -10 < -4) για οποιαδήποτε επιλογή του παίκτη Β. Επομένως η στρατηγική Α3 αφαιρείται από τον πίνακα απολαβών και εξετάζεται ο πίνακας 2 x 3 που προκύπτει έπειτα από αυτήν την απαλοιφή (Πίνακας 21).

Στη συνέχεια, ο ορθολογικός παίκτης Β γνωρίζοντας ότι ο παίκτης Α δεν θα εφαρμόσει ποτέ τη στρατηγική Α3 και γνωρίζοντας ότι ο Α γνωρίζει ότι το γνωρίζει, δεν εφαρμόζει ποτέ τη δική του στρατηγική Β3 αφού είναι υποδεέστερη των Β1 και Β2 (-5 < -4), οπότε

η στρατηγική B3 αφαιρείται από τον πίνακα πληρωμών και εξετάζεται ο πίνακας 2·2, όπως προκύπτει έπειτα από αυτήν την απαλοιφή (Πίνακας 22).

Πίνακας 21: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο maxi-min (2)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	B1	B2
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	A1	-10	15	6
	A2	4	4	5
	A3	-15	-12	4

Πίνακας 22: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο maxi-min (3)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	B1	B2
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	A1	-10	15	6
	A2	4	4	5
	A3	-15	-12	4

Ακολούθως, ο παίκτης Α γνωρίζοντας ότι ο Β γνωρίζει όλα τα προηγούμενα, δεν θα εφαρμόσει τη στρατηγική A1 αφού είναι υποδεέστερη της A2 ($-10 < 4$). Οπότε, προκύπτει το σημείο ισορροπίας του εξεταζόμενου παιγνίου, όταν ο παίκτης Α εφαρμόζει τη στρατηγική A2, η οποία έχει τη μικρότερη ενδεχόμενη ζημία ανεξάρτητα από τις επιλογές του παίκτη Β και ο παίκτης Β τη στρατηγική του B1, η οποία έχει τη μικρότερη ενδεχόμενη ζημία ανεξάρτητα από τις επιλογές του παίκτη Α. Το σημείο αυτό ονομάζεται τιμή του παιγνίου, συμβολίζεται με V και είναι το μεγαλύτερο στοιχείο στη στήλη του και το μικρότερο στοιχείο στη γραμμή του, στον πίνακα πληρωμών του παίκτη Α. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η τελική επίλυση του εξεταζόμενου παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο maxi-min.

Πίνακας 23: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος με σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο *maxi-min* (4)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β			
		Β1	Β2	Β3	Row <i>min</i>
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	Στρατηγικές				
	A1	-10	15	6	-10
	A2	4	4	5	4
	A3	-15	-12	4	-15
	Column <i>max</i>	4	15	9	$V=4$

A.5.2 Επίλυση με Μικτή Στρατηγική *maxi-min* και *mini-max*

Σε ορισμένα παίγνια δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί σημείο ισορροπίας μέσω της χρήσης αμιγών στρατηγικών. Σε αυτά τα παίγνια μπορεί να βρεθεί σταθερή λύση, δηλαδή σημείο ισορροπίας, αν οι παίκτες ακολουθήσουν μικτές στρατηγικές, δηλαδή αν επιλέξουν τις εναλλακτικές στρατηγικές τους με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας (Leyton-Brown, 2008). Κάθε παίκτης ακολουθεί τις στρατηγικές του με βάση κάποια κατανομή πιθανοτήτων, ώστε να μεγιστοποιεί το ελάχιστο προσδοκώμενο κέρδος του (να ελαχιστοποιεί τη μέγιστη προσδοκώμενη ζημιά του), ανεξάρτητα από τις επιλογές του αντιπάλου του. Η κατανομή πιθανοτήτων με βάση την οποία επιλέγει τις στρατηγικές του, ονομάζεται μικτή ή τυχαία *maxi-min* (*mini-max*) στρατηγική.

Οι εναλλακτικοί τρόποι με τους οποίους κάθε παίκτης παίζει το παίγνιο συμβολίζονται με διανύσματα πιθανοτήτων (x_1, x_2, \dots, x_m) , (y_1, y_2, \dots, y_n) και είναι οι μικτές στρατηγικές, όπου x_i είναι η πιθανότητα ο παίκτης Α να εφαρμόσει τη στρατηγική A_i και y_j είναι η πιθανότητα ο παίκτης Β να εφαρμόσει τη στρατηγική B_j . Για τις πιθανότητες x_i και y_j ισχύει:

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1, \sum_{j=1}^n y_j = 1 \quad (15)$$

Όταν εφαρμόζονται οι μικτές στρατηγικές, σύμφωνα με το κριτήριο *mini-max*, για κάθε παίκτη υπάρχει πάντα μία άριστη μικτή στρατηγική, που οδηγεί σε μια σταθερή λύση (σαγματικό σημείο), από το οποίο κανείς δεν θέλει να μετακινηθεί, δηλαδή κανένας παίκτης δεν μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω τη θέση του κατά την απόκλιση από αυτή τη

λύση. Στην περίπτωση αυτή συμβολίζουμε με $V(A)$ το προσδοκώμενο κέρδος του παίκτη A, $V(B)$ την προσδοκώμενη ζημιά του παίκτη B και το σημείο ισορροπίας V προσδιορίζεται ως:

$$V(A) = V(B) = V \quad (16)$$

όπου το σημείο ισορροπίας V για τις άριστες μικτές στρατηγικές ονομάζεται αναμενόμενη τιμή του παιγνίου και ισχύει η εξής σχέση:

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i y_j \quad (17)$$

Ένα παράδειγμα εφαρμογής της στρατηγικής maximin στην περίπτωση που δεν υπάρχει σημείο ισορροπίας παρουσιάζεται στο παίγνιο του ακόλουθου πίνακα. Στον πίνακα πληρωμών παρουσιάζονται οι απολαβές του παίκτη A, ενώ οι απολαβές του παίκτη B έχουν το αντίθετο πρόσημο από τις απολαβές του παίκτη A.

Πίνακας 24: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο maxi-min (1)

		ΠΑΙΚΤΗΣ B		
		Β1	Β2	Β3
ΠΑΙΚΤΗΣ A	Στρατηγικές			
	A1	3	-2	2
	A2	-1	0	4
	A3	-4	-3	1

Με την εφαρμογή της διαδικασίας διαγραφής των υποδεέστερων στρατηγικών όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο παίγνιο, στο παίγνιο με τον παραπάνω πίνακα πληρωμών παρατηρείται ότι ο ορθολογικός παίκτης A δεν θα εφάρμοζε ποτέ τη στρατηγική A3, καθώς έχει λιγότερα οφέλη (-4) σε σχέση με τις στρατηγικές A1 και A2 ($-4 < -2 < -1$) για οποιαδήποτε επιλογή στρατηγικής του παίκτη B. Επομένως η στρατηγική A3 αφαιρείται από τον πίνακα απολαβών και εξετάζεται ο πίνακας 2x3 που προκύπτει έπειτα από αυτήν την απαλοιφή.

Πίνακας 25: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο *maxi-min* (2)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	B1	B2
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	A1	3	-2	2
	A2	-1	0	4
	A3	-4	-3	1

Στη συνέχεια, ο ορθολογικός παίκτης Β γνωρίζοντας ότι ο παίκτης Α δεν θα εφαρμόσει ποτέ τη στρατηγική Α3 και γνωρίζοντας ότι ο Α γνωρίζει ότι το γνωρίζει, δεν εφαρμόζει ποτέ τη δική του στρατηγική Β3 αφού είναι υποδεέστερη της Β1 και Β2 ($-4 < -3 < 0$) για κάθε στρατηγική που μπορεί να επιλέξει ο παίκτης Α, οπότε η στρατηγική Β3 αφαιρείται από τον πίνακα πληρωμών και εξετάζεται ο πίνακας 2·2, όπως προκύπτει έπειτα από αυτήν την απαλοιφή.

Πίνακας 26: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο *maxi-min* (3)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β		
		Στρατηγικές	B1	B2
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	A1	3	-2	2
	A2	-1	0	4
	A3	-4	-3	1

Ακολούθως, ο παίκτης Α γνωρίζοντας ότι ο Β γνωρίζει όλα τα προηγούμενα, δεν θα εφαρμόσει τη στρατηγική Α1 αφού είναι υποδεέστερη της Α2 ($-2 < -1$). Οπότε, προκύπτει το σημείο ισορροπίας του εξεταζόμενου παιγνίου, όταν ο παίκτης Α εφαρμόζει τη στρατηγική Α2, η οποία έχει τη μικρότερη ενδεχόμενη ζημία (-1) ανεξάρτητα από τις επιλογές του παίχτη Β και ο παίκτης Β τη στρατηγική του Β2 η οποία έχει τη μικρότερη

ενδεχομένη ζημία (0) ανεξάρτητα από τις επιλογές του παίκτη A. Το σημείο αυτό αποτελεί την τιμή του παιγνίου.

Πίνακας 27: Παράδειγμα επίλυσης παιγνίου μηδενικού αθροίσματος χωρίς σημείο ισορροπίας με τη μέθοδο *maxi-min* (4)

		ΠΑΙΚΤΗΣ Β			
		Στρατηγικές	B1	B2	B3
ΠΑΙΚΤΗΣ Α	A1	3	-2	2	-2
	A2	-1	0	4	-1
	A3	-4	-3	1	-4
	Column <i>max</i>	3	0	4	$-1 \neq 0$

Όπως φαίνεται από την ανωτέρω επίλυση, η λύση του συγκεκριμένου παιγνίου δεν είναι ευσταθής καθώς εάν ο παίκτης B θεωρήσει ότι ο παίκτης A θα επιλέξει τη στρατηγική A2 τότε αυτός θα επιλέξει την στρατηγική B2 για να έχει όφελος 1. Εάν αντίστοιχα, ο παίκτης A θεωρήσει ότι ο παίκτης B θα επιλέξει τη στρατηγική B1 τότε θα προτιμήσει να επιλέξει τη στρατηγική A1 προκειμένου να έχει όφελος 3, και ο B θα επιλέξει τη στρατηγική B2 ($2 > -3$) και στην πορεία οι δύο παίκτες θα αντιληφθούν τη δυσκολία να πραγματοποιήσουν επιλογή, επομένως πρέπει να αναζητήσουν μία περισσότερο σταθερή στρατηγική.

Στο παραπάνω παίγνιο ο A παίκτης μπορεί να αποφύγει να έχει αναμενόμενη ζημία περισσότερο από $1/3$, εάν ακολουθήσει τη στρατηγική A1 με πιθανότητα $1/6$ και τη στρατηγική A2 με πιθανότητα $5/6$. Πράγματι, η προσδοκώμενη ζημία στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι $3 \times (1/6) - 1 \times (5/6) = -1/3$, εάν ο B ακολουθήσει τη στρατηγική B1 και είναι $-2 \times (1/6) + 0 \times (5/6) = -1/3$ εάν ο B ακολουθήσει τη στρατηγική B2. Αντίστοιχα, ο B έχει προσδοκώμενο όφελος $1/3$ ανεξάρτητα με τις επιλογές του παίκτη A εάν ακολουθήσει τη στρατηγική B1 με πιθανότητα $1/3$ και τη στρατηγική B2 με πιθανότητα $2/3$. Οι μεικτές αυτές στρατηγικές είναι τώρα σταθερές και δεν επιδέχονται περαιτέρω βελτίωση και ισχύει $V = V(A) = V(B) = -1/3$.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα παίγνιου με μικτή στρατηγική αποτελεί το παίγνιο κορώνα γράμματα στο οποίο η λύση είναι η μικτή στρατηγική $1/2$, κατά την οποία ο κάθε παίκτης με 50% πιθανότητα διαλέγει κάθε φορά κορώνα ή γράμματα. Κανείς από τους δύο παίκτες δε μπορεί να θεωρηθεί ότι κάνει μία καλή ή κακή κίνηση όταν το παίγνιο παίζεται μία μόνο φορά. Όταν όμως το παίγνιο επαναληφθεί αρκετές φορές, οι παίκτες μπορούν να χαράξουν κάποια στρατηγική που θα τους εξασφαλίσει συγκριτικό πλεονέκτημα (Stevens, 2008).

A.6 Παίγνια δύο παικτών μη μηδενικού αθροίσματος

Τα παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος (non-zero sum games), ανεξαρτήτως πολυπλοκότητας, σε αντίθεση με τα παίγνια μηδενικού και σταθερού αθροίσματος, σπάνια έχουν κοινά αποδεκτή λύση (Leyton-Brown, 2008). Αυτό συμβαίνει επειδή αφενός μεν δεν υπάρχει βέλτιστη στρατηγική που να υπερέχει ξεκάθαρα έναντι των υπολοίπων, αφετέρου δε τα οφέλη των παικτών συχνά δεν είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθούν, άρα και να προσδιοριστούν με ακρίβεια. Γενικά, σε ένα παίγνιο δύο παικτών υπάρχουν τόσο ανταγωνιστικά στοιχεία όσο και στοιχεία συνεργασίας των δύο πλευρών, καθώς τα συμφέροντα των παικτών μπορεί να είναι άλλοτε αντικρουόμενα και άλλοτε κοινά.

Τα παίγνια στα οποία υπάρχουν κοινά συμφέροντα, χαρακτηρίζονται ως παίγνια πλήρους συνεργασίας ή συνεργατικά παίγνια (cooperative games) (Perlo-Freeman, 2006). Στα παίγνια αυτού του είδους οι δύο παίκτες έχουν μόνο κοινά συμφέροντα. Τέτοια περίπτωση είναι για παράδειγμα ο κυβερνήτης ενός αεροπλάνου και ο συντονιστής του πύργου ελέγχου, οι οποίοι ουσιαστικά “παίζουν” ένα παίγνιο πλήρους συνεργασίας με ένα κοινό στόχο, την ασφαλή προσγείωση του αεροπλάνου. Η επίλυση αυτών των παιγνίων είναι σχετικά εύκολη και απαιτεί τον αποδοτικό συνδυασμό των κινήσεων των δύο παικτών. Υπάρχουν ωστόσο και καταστάσεις, στις οποίες οι δύο παίκτες έχουν κοινά συμφέροντα, παρότι αυτά δεν είναι ορατά εκ πρώτης όψεως. Για παράδειγμα, για δύο κράτη που βρίσκονται σε εμπόλεμη κατάσταση, κοινό συμφέρον μπορεί να αποτελεί η κατάπαυση του πυρός, ανεξαρτήτως της μεταξύ τους διαμάχης.

Τα παίγνια που συνδυάζουν ανταγωνιστικά στοιχεία και στοιχεία συνεργασίας είναι κατά κανόνα πιο πολύπλοκα, αλλά και πιο ενδιαφέροντα καθώς συναντώνται πολύ πιο συχνά

στην καθημερινή ζωή (Perlo-Freeman, 2006). Τέτοια περίπτωση αποτελεί η πώληση αυτοκινήτου στην οποία ένας πωλητής διαπραγματεύεται με τον πελάτη, και οι δύο επιθυμούν την ολοκλήρωση της αγοραπωλησίας, αλλά ανταγωνίζονται σχετικά με το αντίτιμο. Άλλη παρόμοια περίπτωση μπορεί να αποτελεί η συγχώνευση δύο τραπεζών, όπου και οι δύο τράπεζες έχουν συμφέρον από τη συγχώνευση αλλά διαπραγματεύονται όσον αφορά τους όρους της. Σε όλες τις περιπτώσεις παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος, τα κίνητρα των δύο παικτών είναι πολύπλευρα και για αυτό τον λόγο παρουσιάζουν μεγάλη συσχέτιση με την πραγματικότητα και βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές τόσο σε εκφάνσεις της καθημερινότητας όσο και σε πληθώρα επιστημονικών πεδίων.

Η λήψη αποφάσεων στα παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος γίνεται με τον κανόνα της ορθολογικότητας σύμφωνα με τον οποίο κάθε παίκτης αποσκοπεί στο μέγιστο δυνατό όφελος. Τα οφέλη των παικτών είναι ανεξάρτητα και έτσι οι δύο παίκτες λαμβάνουν τις αποφάσεις τους βάσει του ατομικού τους οφέλους. Επομένως, ο κάθε παίκτης αποφασίζει για τη στρατηγική που θα ακολουθήσει, αδιαφορώντας για το όφελος ή τη ζημία του αντιπάλου του. Στόχος και των δύο παικτών είναι η μεγιστοποίηση του ατομικού τους οφέλους, συνεπώς και οι δύο θα ακολουθήσουν *maxi-min* στρατηγικές. Το ζεύγος τιμών που θα προκύψει από τις *maxi-min* στρατηγικές των δύο παικτών, ονομάζεται αμιγές ζεύγος τιμών του παίγνιου.

Στα παίγνια δύο παικτών μη μηδενικού αθροίσματος ο παίκτης A έχει στρατηγικές που προέρχονται από το σύνολο $M = \{1, \dots, m\}$ και ο παίκτης B έχει στρατηγικές από το σύνολο $N = \{1, \dots, n\}$ ή $N = \{m + 1, \dots, m + n\}$, ούτως ώστε να μη χρειάζεται να προδιορίζεται σε ποιον παίκτη ανήκει η κάθε στρατηγική. Μία μικτή στρατηγική αναπαρίσταται με ένα διάνυσμα στήλης m στοιχείων για τον παίκτη A και n στοιχείων για τον παίκτη B.

Τα κέρδη του κάθε παίκτη αναπαριστούνται σε δύο πίνακες A και B μεγέθους $m \times n$ όπου οι γραμμές αντιστοιχούν στις καθαρές στρατηγικές του παίκτη A και οι στήλες αντιστοιχούν στις καθαρές στρατηγικές του παίκτη B. Για τον παίκτη A το στοιχείο $A(i,j)$ αντιπροσωπεύει το κέρδος του A αν παίζει τη στρατηγική $i \in M$ και ο παίκτης B παίζει τη στρατηγική $j \in N$. Αντίστοιχα, το κέρδος του παίκτη B για αυτή τη στρατηγική

αντιστοιχεί στο στοιχείο $B(i,j)$. Ένα τέτοιο παίγνιο μπορεί απλά να προσδιοριστεί ως (A, B) .

Έστω X το σύνολο όλων των δυνατών κατανομών πιθανότητας των στρατηγικών του παίκτη A και Y το σύνολο των κατανομών πιθανότητας για τον παίκτη B . Με $x \in X$ συμβολίζεται μια μικτή στρατηγική του παίκτη A και με $y \in Y$ μια μικτή στρατηγική του παίκτη B . Έστω ότι το x είναι ένα διάνυσμα m θέσεων $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ και το y ένα διάνυσμα n θέσεων $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. Για τις πιθανότητες x_i και y_j ισχύει:

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1 \text{ και } \sum_{j=1}^n y_j = 1 \quad (18)$$

Όπως και στην περίπτωση των παιγνίων μηδενικού αθροίσματος, έτσι και στην περίπτωση παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος με μικτή στρατηγική, το αναμενόμενο κέρδος του κάθε παίκτη εξαρτάται τόσο από τον τρόπο κατανομής των πιθανοτήτων πάνω στις δικές του στρατηγικές, όσο και από την επιλογή της κατανομής των πιθανοτήτων του αντιπάλου.

Για την κατανόηση της κλασικής μορφής ενός παιγνίου μη μηδενικού αθροίσματος παρουσιάζεται ως βασικό παράδειγμα το δημοφιλές παίγνιο “Δίλημμα των φυλακισμένων” (Prisoner’s Dilemma).

A.6.1 Δίλημμα φυλακισμένων

Το “δίλημμα των φυλακισμένων” είναι το πιο ευρέως γνωστό παίγνιο της Θεωρίας Παιγνίων. Δημιουργοί του υπήρξαν οι Merrill Flood και Melvin Dresher το έτος 1950, όταν εργαζόνταν για τη RAND, μία επιστημονική, μη κερδοσκοπική οργάνωση που αρχικά προσέφερε τις υπηρεσίες της στις ένοπλες δυνάμεις των Η.Π.Α. Στη συνέχεια ο Albert W. Tucker μορφοποίησε το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας πίνακες πληρωμών ενώ του έδωσε την τελική μορφή το έτος 1992, αποδίδοντάς του παράλληλα και την ονομασία “Prisoner’s Dilemma” (PD) (Prisoner’s Dilemma blog, 2013).

Το παίγνιο αυτό περιγράφεται ως εξής: “Δύο ύποπτοι συλλαμβάνονται και κατηγορούνται για ένα έγκλημα. Η αστυνομία δεν διαθέτει επαρκή στοιχεία για να τους καταδικάσει, εκτός και αν τουλάχιστον ένας από τους δύο ομολογήσει. Η αστυνομία κρατά τους υπόπτους σε ξεχωριστά κελιά και τους εξηγεί τις επιπτώσεις που θα έχουν οι πιθανές πράξεις τους. Αν κανείς τους δεν ομολογήσει, τότε και οι δύο θα καταδικαστούν για ένα πταίσμα και θα τους απαγγελθεί ένας μήνας φυλάκιση. Αν ομολογήσουν και οι

δύο, τότε και οι δύο θα καταδικαστούν σε έξι μήνες φυλάκιση. Τέλος, αν ομολογήσει ο ένας αλλά ο άλλος όχι, τότε αυτός που ομολόγησε θα απελευθερωθεί αμέσως, όμως ο άλλος θα καταδικαστεί σε εννέα μήνες φυλάκιση”.

Η μοντελοποίηση του προβλήματος ως στρατηγικό παίγνιο έχει τα ακόλουθα στοιχεία: οι παίκτες είναι οι δύο ύποπτοι A και B, οι ενέργειες για τον κάθε παίκτη είναι το σύνολο των ενεργειών {Ομολογεί, Δεν Ομολογεί}, οι προτιμήσεις για τον κάθε ύποπτο είναι αυτές που διαμορφώνονται στον επόμενο πίνακα απολαβών, όπου οι δύο γραμμές αντιστοιχούν στις δύο δυνατές ενέργειες του παίκτη A, οι δύο στήλες αντιστοιχούν στις δύο δυνατές ενέργειες του παίκτη B και οι αριθμοί στα κελιά είναι οι απολαβές των παικτών, οι οποίοι εκφράζουν τους μήνες φυλάκισης.

Πίνακας 28: Το Δίλημμα των φυλακισμένων

		ΠΑΙΚΤΗΣ B		
		Στρατηγικές	Δεν Ομολογεί	Ομολογεί
ΠΑΙΚΤΗΣ A	Δεν Ομολογεί	(-1, -1)	(-9, 0)	
	Ομολογεί	(0, -9)	(-6, -6)	

Επιλέγοντας συναρτήσεις απολαβής u_1 και u_2 που αναπαριστούν τις προτιμήσεις των υπόπτων, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η φθίνουσα διάταξη των ενεργειών για τον ύποπτο A με βάση την απολαβή του είναι:

$$u_1(\text{Ομολογεί}, \text{Δεν Ομολογεί}) > u_1(\text{Δεν Ομολογεί}, \text{Δεν Ομολογεί}) > u_1(\text{Ομολογεί}, \text{Ομολογεί}) > u_1(\text{Δεν Ομολογεί}, \text{Ομολογεί}) \quad (19)$$

ενώ αντίστοιχα για τον ύποπτο B, η φθίνουσα διάταξη των ενεργειών του είναι:

$$u_2(\text{Δεν Ομολογεί}, \text{Ομολογεί}) > u_2(\text{Δεν Ομολογεί}, \text{Δεν Ομολογεί}) > u_2(\text{Ομολογεί}, \text{Ομολογεί}) > u_2(\text{Ομολογεί}, \text{Δεν Ομολογεί}) \quad (20)$$

Όπως αναφέρθηκε, σε ένα παίγνιο κανονικής μορφής οι παίκτες επιλέγουν ταυτόχρονα τις στρατηγικές τους, χωρίς αυτό να σημαίνει πως και οι δύο πλευρές δρουν ταυτόχρονα. Δηλαδή καθένας παίκτης επιλέγει τη δράση του, χωρίς όμως να έχει επίγνωση των επιλογών των άλλων παικτών, όπως στο εξεταζόμενο “Δίλημμα των φυλακισμένων”

όπου οι κρατούμενοι παίρνουν αποφάσεις σε τυχαίο χρόνο και βρίσκονται σε διαφορετικά κελιά.

Για την επίλυση του προβλήματος λαμβάνεται υπόψη ότι ένας ορθολογικός παίκτης δε θα επιλέξει ποτέ να παίξει μια αυστηρά κυριαρχούμενη στρατηγική. Αν ο ένας ύποπτος πρόκειται να επιλέξει την επιλογή “Ομολογεί”, τότε ο άλλος ύποπτος θα προτιμούσε να επιλέξει την επιλογή “Ομολογεί”, ώστε να βρεθεί στη φυλακή για έξι μήνες αντί για εννέα μήνες στην περίπτωση που επιλέξει την επιλογή “Δεν Ομολογεί”. Αντίστοιχα, αν ένας ύποπτος πρόκειται να επιλέξει την επιλογή “Δεν Ομολογεί”, τότε ο άλλος θα προτιμούσε να επιλέξει την επιλογή “Ομολογεί”, και έτσι να απελευθερωθεί αμέσως αντί να επιλέξει την επιλογή “Δεν Ομολογεί”, και να βρεθεί στη φυλακή για ένα μήνα. Έτσι για τον κρατούμενο i η επιλογή “Δεν Ομολογεί” κυριαρχείται από την επιλογή “Ομολογεί”. Αυτό συμβαίνει γιατί για κάθε στρατηγική που θα μπορούσε να επιλέξει ο κρατούμενος j , το όφελος του κρατούμενου i από την επιλογή “Δεν Ομολογεί” είναι μικρότερο του οφέλους του υπόπτου i από την επιλογή “Ομολογεί”. Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ένας ορθολογικός παίκτης θα επιλέξει την ενέργεια “Ομολογεί” και το (Ομολογεί, Ομολογεί) θα είναι το αποτέλεσμα στο οποίο θα καταλήξουν οι δύο ορθολογικοί παίκτες, παρόλο που το αποτέλεσμα (Ομολογεί, Ομολογεί) καταλήγει και για τους δύο παίκτες σε χαμηλότερα οφέλη από το αποτέλεσμα (Δεν Ομολογεί, Δεν Ομολογεί).

Η βασική θεώρηση του προβλήματος παρουσιάζει τη διαμάχη ανάμεσα στην ατομική και τον συλλογική ορθολογικότητα (Prisoner’s Dilemma, 1997). Μία ομάδα, τα μέλη της οποίας επιδιώκουν ορθολογικά το ατομικό τους συμφέρον μπορεί να καταλήξει σε χειρότερα αποτελέσματα συγκριτικά με τις επιλογές μίας ομάδας που τα μέλη της δεν επιδιώκουν το ατομικό τους συμφέρον. Γενικότερα, εάν οι απολαβές της ομάδας λαμβάνουν υπόψη το κοινό συμφέρον, αντί για το ατομικό συμφέρον των μελών, τότε τα μέλη της ομάδας ενδέχεται να πετύχουν αποτελεσματικότερα τους στόχους τους στην περίπτωση που δεν ακολουθήσουν τους ατομικούς τους στόχους με ορθολογικό τρόπο. Επομένως το δίλημμα των φυλακισμένων, τόσο στην απλή μορφή του όσο και στις εκδοχές του με πολλούς παίκτες, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου είναι δύσκολο να συνεργαστούν για το κοινό καλό ορθολογικοί ατομικιστές παίκτες. Η σύγχρονη βιβλιογραφία εστιάζει σε μεγάλο βαθμό στην αναγνώριση των συνθηκών υπό τις οποίες οι παίκτες θα επέλεγαν τη συνεργατική λύση (Δεν Ομολογεί, Δεν Ομολογεί) (Perloff-Freeman, 2006). Μία ελαφρώς διαφοροποιημένη ερμηνεία του παίγνιου δίνει τη

δυνατότητα της εξέτασης των επιλογών ανάμεσα στην εγωιστική συμπεριφορά και τον κοινωνικό αλτρουισμό, καθώς η επιλογή του δρώντα παίκτη “Δεν Ομολογεί” ωφελεί πάντοτε τον άλλο παίκτη, ανεξάρτητα από τις επιλογές του άλλου παίκτη, ενώ η επιλογή “Ομολογεί” από τον δρώντα παίκτη ωφελεί πάντοτε τον εαυτό του, ανεξάρτητα από τις επιλογές του άλλου παίκτη. Η επιλογή του να ωφελεί κανείς τον εαυτό του δεν είναι πάντοτε σωστή και η επιλογή του να ωφελεί κανείς πάντοτε τους άλλους εις βάρος του ατομικού του συμφέροντος δεν είναι πάντοτε ηθικά απαραίτητη, αλλά στο Δίλημμα των φυλακισμένων το καλύτερο αποτέλεσμα και για τους δύο παίκτες είναι αυτό που προκύπτει από την ταυτόχρονα αλτρουιστική συμπεριφορά και όχι από την ατομικιστική συμπεριφορά. Η παρατήρηση αυτή έχει οδηγήσει πολλούς σύγχρονους στοχαστές και φιλοσόφους στην ανάλυση της φύσης της ηθικής και της ανθρώπινης επιλογής (Gauthier, 1986).

Στη γενική θεώρησή του πάντως, το Δίλημμα των φυλακισμένων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παίγνιο στη Θεωρία Παιγνίων καθώς μοντελοποιεί περιστάσεις, στις οποίες υπάρχουν προφανή κέρδη από την αμοιβαία συνεργασία των παικτών, όμως ο κάθε παίκτης έχει κίνητρο για αυτόνομη δράση, ανεξάρτητα από την επιλογή που κάνει ο άλλος παίκτης.

A.6.2 Κυριαρχία Στρατηγικών

Κατά την ανωτέρω ανάλυση του διλήμματος των φυλακισμένων αναφέρθηκε ο όρος κυριαρχία. Η έννοια της κυριαρχίας σε μία στρατηγική s είναι ένας πολύ βασικός όρος στη Θεωρία Παιγνίων, καθώς υποδεικνύει τη λύση ενός παίγνιου, καθώς και τη δυναμική με την οποία επικρατεί η λύση αυτή (Leyton-Brown, 2008). Ακολουθώς παρουσιάζονται οι μορφές κυριαρχίας που χρησιμοποιούνται στη Θεωρία Παιγνίων.

Κυριαρχία

Μια στρατηγική s_i^* ενός παίκτη i με συνάρτηση απολαβής u κυριαρχεί (dominates) μιας στρατηγικής $s_i^\#$, όταν ισχύει:

$$\forall s_{-i}: u_i(s_i^*, s_{-i}) > u_i(s_i^\#, s_{-i}) \quad (21)$$

Δηλαδή, μια στρατηγική s_i^* ενός παίκτη i κυριαρχεί μιας στρατηγικής $s_i^\#$, εάν για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών των άλλων παικτών $-i$ η στρατηγική s_i^* έχει μεγαλύτερη

απολαβή σε σχέση με την $s_i^\#$. Σε αυτή την περίπτωση η στρατηγική $s_i^\#$ χαρακτηρίζεται ως κυριαρχούμενη στρατηγική (dominated strategy). Δηλαδή, μία στρατηγική s_i^* ενός παίκτη i με συνάρτηση απολαβής u χαρακτηρίζεται ως κυρίαρχη στρατηγική (dominant strategy), εάν ισχύει:

$$\forall s_i \neq s_i^*, \forall s_{-i}: u_i(s_i^*, s_{-i}) > u_i(s_i, s_{-i}) \quad (22)$$

Δηλαδή, μια στρατηγική s_i^* είναι κυρίαρχη στρατηγική, εάν για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών των άλλων παικτών η στρατηγική αυτή έχει τη μεγαλύτερη απολαβή από τις εναλλακτικές στρατηγικές του παίκτη i . Στην περίπτωση αυτή, όλες οι εναλλακτικές στρατηγικές του παίκτη i ορίζονται ως κυριαρχούμενες.

Ασθενής κυριαρχία

Μια στρατηγική s_i^* κυριαρχεί ασθενώς (weakly dominates) μιας στρατηγικής $s_i^\#$, όταν ισχύει:

$$\forall s_{-i}: u_i(s_i^*, s_{-i}) \geq u_i(s_i^\#, s_{-i}) \text{ και } \exists s'_{-i}: u_i(s_i^*, s'_{-i}) > u_i(s_i^\#, s'_{-i}) \quad (23)$$

Δηλαδή, μια στρατηγική s_i^* κυριαρχεί ασθενώς μιας στρατηγικής $s_i^\#$, εάν για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών των άλλων παικτών η στρατηγική s_i^* έχει ίση ή μεγαλύτερη απολαβή σε σχέση με τη $s_i^\#$, ενώ υπάρχει τουλάχιστον ένας συνδυασμός στρατηγικών των άλλων παικτών s'_{-i} , για τον οποίο η s_i^* αποφέρει μεγαλύτερη απολαβή από τη $s_i^\#$. Σε αυτή την περίπτωση η στρατηγική $s_i^\#$ χαρακτηρίζεται ως ασθενώς κυριαρχούμενη στρατηγική (weakly dominated strategy). Επομένως, μία στρατηγική s_i^* για τον παίκτη i λέγεται ασθενώς κυρίαρχη στρατηγική (weakly dominant strategy), εάν ισχύει:

$$\forall s_i \neq s_i^*, \forall s_{-i}: u_i(s_i^*, s_{-i}) \geq u_i(s_i, s_{-i}) \quad (24) \text{ και}$$

$$\forall s_i \neq s_i^*, \exists s'_{-i}: u_i(s_i^*, s'_{-i}) > u_i(s_i, s'_{-i}) \quad (25)$$

Δηλαδή, μια στρατηγική s_i^* είναι ασθενώς κυρίαρχη στρατηγική, εάν για κάθε μία από τις εναλλακτικές στρατηγικές του παίκτη i η s_i^* έχει τουλάχιστον ίση απολαβή για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών των υπολοίπων παικτών και παράλληλα καλύτερη απολαβή για τουλάχιστον έναν συνδυασμό στρατηγικών των υπολοίπων παικτών. Στην περίπτωση αυτή, όλες οι εναλλακτικές στρατηγικές του παίκτη i ορίζονται ως ασθενώς κυριαρχούμενες.

Αυστηρή κυριαρχία

Στο κανονικής μορφής παίγνιο $G = \{S_i, u_i\} = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$ έστω ότι s'_t και s''_t είναι εφικτές στρατηγικές για τον παίκτη i (δηλαδή $s'_t, s''_t \in S_i$). Η στρατηγική s'_t χαρακτηρίζεται ως αυστηρά κυριαρχούμενη από τη στρατηγική s''_t , αν για κάθε εφικτό συνδυασμό στρατηγικών των άλλων παικτών, το όφελος του i επιλέγοντας τη στρατηγική s'_t είναι γνησίως μικρότερο από το όφελος του επιλέγοντας τη στρατηγική s''_t :

$$u_i(s_1, \dots, s_{i-1}, s'_i, s_{i+1}, \dots, s_n) < u_i(s_1, \dots, s_{i-1}, s''_i, s_{i+1}, \dots, s_n) \quad (26)$$

για κάθε $(s_1, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_n)$ που μπορεί να σχηματιστεί από τους χώρους στρατηγικής $S_1, \dots, S_{i-1}, S_{i+1}, \dots, S_n$ των άλλων παικτών.

Επιλυσιμότητα κυριαρχίας

Οι παραπάνω ορισμοί είναι χρήσιμοι για την επίλυση οποιουδήποτε στρατηγικού παίγνιου. Εάν σε ένα παίγνιο υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική για κάποιον παίκτη, τότε επιλέγεται η στρατηγική αυτή. Εάν όμως δεν υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική τότε, εάν υπάρχουν κυριαρχούμενες στρατηγικές, αυτές αγνοούνται, και η επιλογή της λύσης γίνεται μεταξύ των μη-κυριαρχούμενων στρατηγικών και θα υπάρχει πάντοτε τουλάχιστον μία μη κυριαρχούμενη στρατηγική.

A.7 Ισορροπία Nash

Στη Θεωρία Παιγνίων μία πολύ σημαντική παράμετρος επίλυσης ενός παιγνίου μη μηδενικού αθροίσματος με δύο ή περισσότερους παίκτες αποτελεί η ισορροπία Nash, που φέρει την ονομασία της από τον διάσημο μαθηματικό και οικονομολόγο John Nash ο οποίος τιμήθηκε το 1994 με το βραβείο Nobel για την πρόταση του. Σύμφωνα με τη θεωρία του ορθολογικού λήπτη αποφάσεων, κάθε παίκτης ενός στρατηγικού παιγνίου επιλέγει πάντοτε την καλύτερη διαθέσιμη ενέργεια.

A.7.1 Ορισμός

Σε ένα παίγνιο, η καλύτερη ενέργεια για κάποιον δεδομένο παίκτη εξαρτάται γενικά από τις ενέργειες των άλλων παικτών, δηλαδή κάθε παίκτης θα πρέπει να σχηματίσει μια πεποιθήση σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών (Rasmusen, 2001). Κανείς δεν

θα πει στον παίκτη ποιες ενέργειες θα επιλέξουν οι αντίπαλοί του, όμως η προηγούμενη ανάμιξή του με αυτό το παίγνιο τον κάνει να είναι σίγουρος σχετικά με αυτές τις ενέργειες. Παρόλο που κάθε παίκτης έχει εμπειρία στη διεξαγωγή παιγνίου, θεωρούμε ότι αντιμετωπίζει διακριτά, μεμονωμένα, την κάθε παρτίδα του παιγνίου. Δεν εξοικειώνεται με τη συμπεριφορά συγκεκριμένων αντιπάλων και κατά συνέπεια δεν βασίζει την ενέργειά του στον αντίπαλο τον οποίο αντιμετωπίζει, αλλά και ούτε περιμένει ότι η τρέχουσα ενέργειά του θα επηρεάσει τη μελλοντική συμπεριφορά των άλλων παικτών.

Για κάθε παίγνιο υπάρχει ένας πληθυσμός από πολλούς λήπτες αποφάσεων οι οποίοι μπορούν, σε οποιαδήποτε περίσταση, να αναλάβουν τον ρόλο του παίκτη. Σε κάθε παρτίδα του παιγνίου οι παίκτες επιλέγονται με τυχαίο τρόπο, ένας από κάθε πληθυσμό. Έτσι ο κάθε παίκτης εμπλέκεται επαναλαμβανόμενα στο παίγνιο, ενάντια σε διαρκώς μεταβαλλόμενους αντιπάλους. Η εμπειρία του τον οδηγεί σε πεποιθήσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των "τυπικών" αντιπάλων και όχι ενός συγκεκριμένου συνόλου αντιπάλων.

Η προς μελέτη θεωρητική λύση ενός παιγνίου βασίζεται επομένως σε δύο βασικά στοιχεία. Πρώτον, ότι κάθε παίκτης επιλέγει την ενέργειά του σύμφωνα με το μοντέλο της ορθολογικής επιλογής, με δεδομένες τις πεποιθήσεις του σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών. Δεύτερον, ότι η πεποίθηση του κάθε παίκτη, σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών, είναι σωστή. Αυτά τα δύο στοιχεία δημιουργούν τον ορισμό της ισορροπίας Nash.

Η ισορροπία Nash (Nash equilibrium) είναι ένα προφίλ ενεργειών a^* το οποίο έχει την ιδιότητα ότι κανένας παίκτης i δεν μπορεί να έχει καλύτερο αποτέλεσμα επιλέγοντας μια ενέργεια διαφορετική από την a^* , με δεδομένο ότι κάθε άλλος παίκτης j εμμένει στην ενέργεια a_j^* . Στην ειδική περίπτωση όπου οι παίκτες σε οποιαδήποτε μεμονωμένη παρτίδα του παιγνίου κληρώνονται με τυχαίο τρόπο από μια συλλογή πληθυσμών, η ισορροπία Nash αντιστοιχεί σε μια σταθερή κατάσταση. Αν όποτε παίζεται το παίγνιο, το προφίλ ενεργειών είναι η ίδια ισορροπία Nash a^* , τότε κανένας παίκτης δεν έχει λόγο να επιλέξει ενέργεια που να είναι διαφορετική από τη συνιστώσα στο a^* . Δηλαδή η ισορροπία Nash ενσωματώνει μια σταθερή "κοινωνική νόρμα", όπου αν όλοι οι άλλοι παίκτες είναι προσκολλημένοι σε αυτή, τότε κανένας μεμονωμένος παίκτης δεν επιθυμεί να παρεκκλίνει από αυτή (McCain, 2004).

Το δεύτερο στοιχείο της θεωρίας της ισορροπίας Nash, ότι οι πεποιθήσεις των παικτών σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών είναι σωστές, υπονοεί ειδικότερα ότι οι πεποιθήσεις των δύο παικτών σχετικά με την ενέργεια ενός τρίτου παίκτη είναι ίδιες. Για αυτόν τον λόγο η συγκεκριμένη συνθήκη αναφέρεται μερικές φορές ως απαίτηση να είναι “συντονισμένες οι προβλέψεις” των παικτών.

Στο κανονικής μορφής παίγνιο n - παικτών $G = \{S_i, u_i\} = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$ οι στρατηγικές (s_1^*, \dots, s_n^*) αποτελούν μια ισορροπία κατά Nash, αν για κάθε παίκτη i η s_i^* είναι η άριστη απόκριση, ή τουλάχιστον εξίσου καλή με άλλες, του παίκτη i στις στρατηγικές $(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_{i+1}^*, s_n^*)$ που αντιστοιχούν στους $n-1$ άλλους παίκτες:

$$u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \geq u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \quad (27)$$

για κάθε εφικτή στρατηγική s_i στο S_i , δηλαδή το s_i^* να αποτελεί λύση του $\max_{s_i \in S_i} u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$.

Για να γίνει κατανοητός ο ορισμός της ισορροπίας κατά Nash υποθέτουμε ότι η παιγνιοθεωρητική ανάλυση προτείνει τις στρατηγικές (s'_1, \dots, s'_n) ως λύση στο κανονικής μορφής παίγνιο $G = \{S_i, u_i\} = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$. Εάν το σύνολο (s'_1, \dots, s'_n) δεν αποτελεί ισορροπία Nash του G , ισχύει ισοδύναμα ότι υπάρχει κάποιος παίκτης i για τον οποίο η s'_i δεν είναι άριστη απόκριση στο $(s'_1, \dots, s'_{i-1}, s'_{i+1}, s'_n)$. Δηλαδή υπάρχει κάποια s''_i στο S_i τέτοια ώστε:

$$u_i(s'_1, \dots, s'_{i-1}, s'_i, s'_{i+1}, \dots, s'_n) < u_i(s'_1, \dots, s'_{i-1}, s''_i, s'_{i+1}, \dots, s'_n) \quad (28)$$

Άρα, αν η παιγνιοθεωρητική ανάλυση προσφέρει τις στρατηγικές (s'_1, \dots, s'_n) ως λύση αλλά αυτές οι στρατηγικές δεν αποτελούν ισορροπία κατά Nash, τότε τουλάχιστον ένας παίκτης θα έχει κίνητρο να παρεκκλίνει από την πρόβλεψη της θεωρίας, οπότε και η θεωρία θα διαψευστεί από την πραγματική εξέλιξη του παιγνίου.

Μια στενά συσχετιζόμενη επεξήγηση για την ισορροπία κατά Nash περιλαμβάνει την έννοια της σύμβασης. Για να προκύψει μια σύμβαση σχετικά με το πώς πρέπει να παιχθεί ένα παίγνιο, οι στρατηγικές, που προτείνονται σε αυτή, πρέπει να αποτελούν ισορροπία Nash, ειδάλτως τουλάχιστον ένας από τους παίκτες δεν θα τηρήσει τη σύμβαση. Ο παραπάνω ορισμός δεν υπονοεί ότι ένα στρατηγικό παίγνιο διαθέτει υποχρεωτικά μια ισορροπία Nash, ούτε ότι έχει το πολύ μια τέτοια ισορροπία. Υπάρχουν παίγνια που διαθέτουν μόνο μια ισορροπία Nash, άλλα υπάρχουν και παίγνια με πολλές ισορροπίες

Nash. Αυτό που επίσης πρέπει να σημειωθεί είναι ότι ένα παίγνιο μπορεί να έχει ισορροπία Nash με χρήση είτε αμιγών είτε μικτών στρατηγικών. Μάλιστα ο Nash απέδειξε ότι κάθε παίγνιο n παικτών έχει μία τουλάχιστον ισορροπία Nash, εάν επιτρέπεται η χρήση μικτών στρατηγικών από τους παίκτες που συμμετέχουν σε αυτό (Nash, 1950).

Μία σημαντική παρατήρηση είναι ότι μία ισορροπία Nash δεν αποφέρει απαραίτητα τα μεγαλύτερα οφέλη σε όλους τους παίκτες που συμμετέχουν. Σε πολλές περιπτώσεις, όλοι οι παίκτες μπορούν να αυξήσουν τα κέρδη τους αν καταφέρουν να συμφωνήσουν σε ένα σύνολο στρατηγικών, διαφορετικών από την ισορροπία Nash. Σύμφωνα με τον ορισμό της ισορροπίας Nash προκύπτουν οι επόμενες προτάσεις:

Πρόταση Α

Στο κανονικής μορφής παίγνιο με n παίκτες $G = \{S_i, u_i\} = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$, αν οι στρατηγικές (s_1^*, \dots, s_n^*) αποτελούν ισορροπία κατά Nash, τότε επιβιώνουν από τη διαδοχική απαλοιφή αυστηρά κυριαρχούμενων στρατηγικών.

Πρόταση Β

Στο κανονικής μορφής παίγνιο με n παίκτες $G = \{S_i, u_i\} = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$, αν η διαδοχική απαλοιφή αυστηρά κυριαρχούμενων στρατηγικών απαλείψει όλες τις στρατηγικές πλην των (s_1^*, \dots, s_n^*) , τότε οι στρατηγικές αυτές αποτελούν τη μοναδική ισορροπία Nash του παιγνίου.

A.7.2 Ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών

Η ισορροπία Nash, όπως αναλύθηκε για ένα στρατηγικό παίγνιο, είναι ένα προφίλ ενεργειών στο οποίο η ενέργεια του κάθε παίκτη είναι βέλτιστη με δεδομένες τις ενέργειες των άλλων παικτών. Σε μια σταθερή κατάσταση, η συμπεριφορά του κάθε παίκτη είναι η ίδια, όποτε παίζει το παίγνιο και κανένας παίκτης δεν επιθυμεί να αλλάξει τη συμπεριφορά του γνωρίζοντας, βάσει της εμπειρίας του, τη συμπεριφορά των άλλων παικτών. Η ισορροπία δηλαδή είναι είτε η κατάσταση “best response”, είτε η κατάσταση “no incentive to deviate”. Οι δύο αυτές προσεγγίσεις οδηγούν στο ίδιο αποτέλεσμα, αλλά η εφαρμογή της κάθε προσέγγισης διαφέρει ανάλογα με το πρόβλημα (Leyton-Brown, 2008).

Πιο γενικές θεωρήσεις, σχετικά με τη σταθερή κατάσταση, επιτρέπουν να ποικίλλουν οι επιλογές των παικτών, εφόσον παραμένει σταθερό το μοτίβο των επιλογών. Για παράδειγμα, τα διάφορα μέλη ενός δεδομένου πληθυσμού μπορεί να επιλέγουν διαφορετικές ενέργειες, με τον κάθε παίκτη να επιλέγει την ίδια ενέργεια κάθε φορά που παίζει το παίγνιο. Εναλλακτικά, μπορεί το κάθε άτομο κάθε φορά που παίζει το παίγνιο, να επιλέγει την ενέργειά του με πιθανοτικό τρόπο σύμφωνα με την ίδια αμετάβλητη πιθανοτική κατανομή. Αυτές οι δύο πιο γενικές θεωρήσεις της σταθερής κατάστασης είναι ισοδύναμες. Δηλαδή η σταθερή κατάσταση του πρώτου τύπου στην οποία το κλάσμα p του πληθυσμού, που αντιπροσωπεύει τον παίκτη i , επιλέγει την ενέργεια a , και αντιστοιχεί σε μια σταθερή κατάσταση του δεύτερου τύπου στην οποία το κάθε μέλος του πληθυσμού που αντιπροσωπεύει τον παίκτη i επιλέγει την ενέργεια a με πιθανότητα p . Και στις δύο περιπτώσεις, σε κάθε παρτίδα του παιγνίου η πιθανότητα να επιλέξει το άτομο που έχει το ρόλο του παίκτη i την ενέργεια a είναι ίση με p . Και οι δύο αυτές θεωρήσεις της σταθερής κατάστασης μοντελοποιούνται από μία ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών, που αποτελεί γενίκευση της έννοιας της ισορροπίας Nash (von Neumann, 1944).

Η πρώτη συστηματική μελέτη των προτιμήσεων που αφορούν πιθανοτικές κατανομές και αναπαριστάνονται από την αναμενόμενη τιμή της συνάρτησης απολαβής για αιτιοκρατικά αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκε από τους von Neumann και Morgenstern (1944) και έδωσαν το τίτλο τους στις προτιμήσεις αυτές που ονομάζονται προτιμήσεις vNM. Μια συνάρτηση απολαβής ως προς τα αιτιοκρατικά αποτελέσματα, της οποίας οι αναμενόμενες τιμές αναπαριστάνουν τέτοιες προτιμήσεις, αποκαλείται συνάρτηση απολαβής Bernoulli, προς τιμήν του Daniel Bernoulli ο οποίος ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε μια αντίστοιχη συνάρτηση για την αναπαράσταση προτιμήσεων.

Για να μελετηθούν οι στοχαστικές σταθερές καταστάσεις, επεκτείνεται η έννοια του στρατηγικού παιγνίου, παρέχοντας σε κάθε παίκτη προτιμήσεις vNM σχετικά με πιθανοτικές κατανομές (γνωστές και ως λοταρίες) ως προς το σύνολο των προφίλ ενεργειών και με αυτόν τον τρόπο ορίζεται το στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM. Ένα στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM αποτελείται από ένα σύνολο n παικτών, ένα σύνολο ενεργειών για κάθε παίκτη και προτιμήσεις σχετικά με τις πιθανοτικές κατανομές ως προς τα προφίλ ενεργειών, οι οποίες μπορούν να αναπαρασταθούν από την

αναμενόμενη τιμή μιας συνάρτησης απολαβής Bernoulli ως προς τα προφίλ ενεργειών κάθε παίκτη i .

Ένα στρατηγικό παίγνιο δύο παικτών με προτιμήσεις vNM όπου κάθε παίκτης διαθέτει πεπερασμένο πλήθος ενεργειών μπορεί να παρουσιαστεί με έναν πίνακα ίδιας μορφής με τον πίνακα της κανονικής μορφής του στρατηγικού παιγνίου. Οι αριθμοί όμως που θα υπάρχουν στα κελιά του πίνακα είναι οι τιμές της συνάρτησης απολαβής που αναπαριστούν τις προτιμήσεις των παικτών ως προς τα αιτιοκρατικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα είναι οι τιμές των συναρτήσεων απολαβής (Bernoulli), των οποίων οι αναμενόμενες τιμές αναπαριστούν τις προτιμήσεις των παικτών ως προς τις πιθανοτικές κατανομές.

Στη γενίκευση της έννοιας της ισορροπίας Nash, που μοντελοποιεί μια στοχαστική σταθερή κατάσταση για ένα στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM, κάθε παίκτης επιτρέπεται να επιλέξει μια κατανομή πιθανοτήτων ως προς το σύνολο ενεργειών του και όχι μία μοναδική αιτιοκρατική ενέργεια. Αυτή η κατανομή πιθανοτήτων αναφέρεται με τον όρο μικτή στρατηγική (mixed strategy).

Έστω ότι ο παίκτης i έχει K αμιγείς στρατηγικές $A_i = \{a_{i1}, \dots, a_{iK}\}$. Μια μικτή στρατηγική για τον παίκτη i θα είναι μια κατανομή πιθανότητας (p_{i1}, \dots, p_{iK}) , όπου p_{iK} είναι η πιθανότητα ο παίκτης i να επιλέξει τη στρατηγική a_{iK} , για $k = 1, \dots, K$ και ισχύει ότι $p_{i1} + \dots + p_{iK} = 1$.

Υποθέτουμε κανονικής μορφής παίγνιο $G = \{A_1, \dots, A_n, u_1, \dots, u_n\}$, στο οποίο έστω ότι $A_i = \{a_{i1}, \dots, a_{iK}\}$. Η μικτή στρατηγική για τον παίκτη i είναι μια κατανομή πιθανότητας (p_{i1}, \dots, p_{iK}) , για την οποία ισχύει ότι $0 < p_{iK} < 1$ για $k = 1, \dots, K$, καθώς και $p_{i1} + \dots + p_{iK} = 1$.

Μια μικτή στρατηγική μπορεί να αντιστοιχίζει πιθανότητα 1 σε κάποια μεμονωμένη ενέργεια. Δηλαδή με το να επιτρέπεται στον παίκτη να επιλέξει κατανομές πιθανοτήτων, δεν του απαγορεύεται να επιλέξει αιτιοκρατικές ενέργειες. Αυτή η μικτή στρατηγική αναφέρεται ως καθαρή στρατηγική (pure strategy). Το να επιλέξει ο παίκτης i την καθαρή στρατηγική που αντιστοιχίζει πιθανότητα 1 στην ενέργεια a_i είναι ισοδύναμο με το να επιλέξει απλώς την ενέργεια a_i και αυτή η στρατηγική συμβολίζεται απλώς a_i .

Η ισορροπία των παιγνίων που χρησιμοποιούν μικτές στρατηγικές ονομάζεται ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών και αποτελεί ουσιαστικά ένα προφίλ μικτών στρατηγικών a^* , το οποίο έχει την ιδιότητα ότι κανένας παίκτης i δεν διαθέτει κάποια μικτή στρατηγική a_i , τέτοια ώστε να προτιμά την πιθανοτική κατανομή (λοταρία) ως προς τα αποτελέσματα που παράγονται από το προφίλ στρατηγικών (a_i, a_{-i}^*) , από την πιθανοτική κατανομή ως προς τα αποτελέσματα που παράγονται από το προφίλ στρατηγικών a^* .

Το προφίλ μικτών στρατηγικών a^* σε ένα στρατηγικό παίγνιο με προτιμήσεις vNM αποτελεί ισορροπία Nash μικτών στρατηγικών αν, για κάθε παίκτη i και κάθε μικτή στρατηγική a_i του παίκτη i , η αναμενόμενη απολαβή του παίκτη i με το προφίλ a^* είναι τουλάχιστον εξίσου μεγάλη με την αναμενόμενη απολαβή του παίκτη i για το προφίλ (a_i, a_{-i}^*) σύμφωνα με μια συνάρτηση απολαβής, της οποίας οι αναμενόμενες τιμές αναπαριστούν τις προτιμήσεις του παίκτη i ως προς τις πιθανοτικές κατανομές. Ισοδύναμα για κάθε παίκτη i ,

$$u_i(a^*) \geq u_i(a_i, a_{-i}^*), \text{ για κάθε μικτή στρατηγική } a_i \text{ του παίκτη } i, \text{ (29)}$$

όπου $u_i(a)$ είναι η αναμενόμενη απολαβή του παίκτη i για το προφίλ μικτών στρατηγικών a^* .

A.7.3 Κυριαρχία στην Ισορροπία Nash

Για ένα γενικό παίγνιο, ορίζεται ότι μια ισορροπία Nash είναι αυστηρή (strict Nash equilibrium) αν η ενέργεια ισορροπίας του κάθε παίκτη είναι καλύτερη από όλες τις άλλες ενέργειές του, με δεδομένες τις ενέργειες των άλλων παικτών. Ακριβέστερα, ένα προφίλ ενεργειών a^* αποτελεί αυστηρή ισορροπία Nash αν για κάθε παίκτη i ισχύει $u_i(a^*) > u_i(a_i, a_{-i}^*)$, για όλες τις ενέργειες $a_i \neq a_i^*$ του παίκτη i .

Οι ορθολογικοί παίκτες δεν παίζουν αυστηρά κυριαρχούμενες στρατηγικές, διότι δεν υπάρχει καμία εκτίμηση που θα μπορούσε να κάνει κάποιος παίκτης, ώστε η επιλογή μιας αυστηρά κυριαρχούμενης στρατηγικής να ήταν βέλτιστη. Οπότε κατά την λύση παιγνίων, η διαδικασία της διαδοχικής απαλοιφής αυστηρά κυριαρχούμενων στρατηγικών βασίζεται στην ιδέα ότι οι ορθολογικοί παίκτες δεν παίζουν ποτέ αυστηρά κυριαρχούμενες στρατηγικές. Ένα μειονέκτημα της διαδικασίας αυτής είναι ότι κάθε βήμα απαιτεί μια επιπλέον υπόθεση σχετικά με το τι γνωρίζουν οι παίκτες για την ορθολογικότητα των άλλων. Οπότε για να εφαρμοστεί η διαδικασία για οποιοδήποτε

πλήθος βημάτων, χρειάζεται να υποθέσουμε πως είναι κοινώς γνωστό ότι οι παίκτες είναι ορθολογικοί. Δηλαδή δεν αρκεί να υποθέσουμε απλά ότι όλοι οι παίκτες είναι ορθολογικοί, αλλά και ότι όλοι οι παίκτες γνωρίζουν ότι όλοι οι άλλοι παίκτες είναι ορθολογικοί. Επιπλέον ελάττωμα της διαδοχικής απαλοιφής αυστηρά κυριαρχούμενων στρατηγικών είναι ότι η διαδικασία μπορεί να οδηγήσει σε προβλεπτική απροσδιοριστία για την εξέλιξη του παιγνίου.

Σε ένα στρατηγικό παίγνιο μια αυστηρά κυριαρχούμενη ενέργεια δεν είναι βέλτιστη απάντηση σε καμία ενέργεια των άλλων παικτών, αφού όποια ενέργεια και αν επιλέξουν οι άλλοι παίκτες, κάποια άλλη ενέργεια είναι καλύτερη. Αφού η ενέργεια ισορροπίας Nash για έναν παίκτη είναι η βέλτιστη απάντηση στις ενέργειες ισορροπίας Nash των άλλων παικτών, ισχύει ότι η αυστηρά κυριαρχούμενη ενέργεια δεν συμμετέχει σε καμία ισορροπία Nash.

Επομένως, κατά την αναζήτηση των ισορροπιών Nash σε ένα παίγνιο, απαλείφονται από την εξέταση όλες οι αυστηρά κυριαρχούμενες ενέργειες. Σε μια αυστηρή ισορροπία Nash καμία ενέργεια του παίκτη στην ισορροπία δεν κυριαρχείται ασθενώς. Αυτό συμβαίνει διότι η απολαβή κάθε παίκτη, για κάθε ενέργεια εκτός της ισορροπίας, είναι μικρότερη σε σχέση με την απολαβή της ενέργειας ισορροπίας και επομένως καμία ενέργεια εκτός της ισορροπίας δεν κυριαρχεί ασθενώς έναντι της ενέργειας ισορροπίας.

Κλείνοντας την παρουσίαση της ισορροπίας Nash αναφέρεται η περίπτωση των συμμετρικών παιγνίων, όπου οι παίκτες λαμβάνονται από έναν μοναδικό πληθυσμό και δεν υπάρχει τίποτα που να διακρίνει, σε οποιαδήποτε δεδομένη αναμέτρηση, τον έναν παίκτη από τον άλλον. Σε αυτά τα παίγνια υπάρχει μόνο ένας ρόλος στο παίγνιο και έτσι η σταθερή κατάσταση χαρακτηρίζεται από μία μόνο ενέργεια που χρησιμοποιείται από τον κάθε συμμετέχοντα όποτε παίζει το παίγνιο.

Μια ενέργεια a^* αντιστοιχεί σε μία τέτοια σταθερή κατάσταση αν κανένας παίκτης δεν μπορεί να επιτύχει καλύτερο αποτέλεσμα επιλέγοντας οποιαδήποτε άλλη ενέργεια, εφόσον ο άλλος παίκτης επιλέξει την ενέργεια a^* . Μια ενέργεια a^* διαθέτει αυτή την ιδιότητα αν και μόνο αν η κατάσταση (a^*, a^*) είναι ισορροπία Nash για το παίγνιο. Με άλλα λόγια, η λύση που αντιστοιχεί σε μια σταθερή κατάσταση για αλληλεπιδράσεις ζευγαριών μεταξύ των μελών ενός μοναδικού πληθυσμού είναι μια "συμμετρική ισορροπία Nash", μια ισορροπία Nash δηλαδή στην οποία και οι δύο παίκτες επιλέγουν

την ίδια ενέργεια. Επομένως, ένα προφίλ ενεργειών a^* σε ένα στρατηγικό παίγνιο με διατακτικές προτιμήσεις, στο οποίο όλοι οι παίκτες έχουν το ίδιο διαθέσιμο σύνολο ενεργειών, αποτελεί συμμετρική ισορροπία Nash (Symmetric Nash equilibrium) αν είναι ισορροπία Nash και εφόσον το a^* είναι ίδιο για κάθε παίκτη i .

Σύντομο βιογραφικό σημείωμα

Σκοτεινός Ηρακλής

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

- 2015-2016 Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στην Ενέργεια: Στρατηγική, Δίκαιο και Οικονομία, Τμήμα Διεθνών και Ευρωπαϊκών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Πειραιά
- 1998-2004 Δίπλωμα Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

- 2016-σήμερα Energy Manager, Υπεύθυνος τμήματος Supply και Trading, VOLTON Ελληνική Ενεργειακή
- 2013-2016 Portfolio Manager & Energy Trader, Τομέας Ενεργειακών Συναλλαγών, Διεύθυνση Διαχείρισης Ενέργειας, ΔΕΗ ΑΕ
- 2012-2013 Energy Trader & Market Analyst, Τομέας Ενεργειακών Συναλλαγών, Διεύθυνση Διαχείρισης Ενέργειας, ΔΕΗ ΑΕ
- 2004-2012 Research Associate, Ερευνητής σε προγράμματα της ΕΕ, ΕΠΙΣΕΥ, ΕΜΠ

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- 2011 Methodology for Assessing Transmission Investments in Deregulated Electricity Markets, PowerTech 2011
- 2010 Transmission Expansion Planning in Deregulated Electricity Markets for Increased Wind Power Penetration, EEM 2010
- 2005 Status of Integrating Renewable Electricity Production in Greece, Prospects and Problems, PowerTech 2005
- 2005 Economic and Environmental Evaluation of High Wind Power Penetration in the Greek Interconnected Energy Production System, CIGRE 2005
- 2005 Economic Evaluation of Energy Production Systems with High Wind Power Penetration; Application to the Greek National Interconnected System, EWEA 2004
- 2004 Transient Analysis of Microgrids in Grid – Connected and Islanded Mode of Operation, MedPower 2004

