

ΘΕΩΡΙΑ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ

Πτυχιακή Εργασία

Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

Επιβλέπων Καθηγητής: Καρατζάς Γεώργιος

Εξεταστική Επιτροπή: Παρανυχιανάκης Νικόλαος
Ροζάκης Στυλιανός

Κατσανεβάκη Μαρτσέλα
Χανιά, Μάρτης 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαχείριση των υδάτινων πόρων καθώς και η ορθολογική τους χρήση συχνά αποτελεί αντικείμενο συγκρούσεων ανάμεσα σε ομάδες που καλούνται να τους μοιραστούν. Είτε αυτός ο διαμοιρασμός αφορά ιδιώτες που αντλούν από κοινή γεώτρηση, είτε κράτη με διασυννοριακά ύδατα προς εκμετάλλευση, οι αντιθέσεις και οι συγκρούσεις που προκύπτουν αποτελούν ένα πολύ ενδιαφέρον κοινωνικό-οικονομικό πεδίο μελέτης. Έτσι η μελέτη και οργάνωση μιας σωστής διαχείρισης, η συνεργασία των χρηστών καθώς και ο ρόλος της Πολιτείας συμβάλλουν στην εξομάλυνση των παραπάνω αντιθέσεων. Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί ένα εργαλείο μελέτης των αποφάσεων που δύναται να επιλέξουν οι εμπλεκόμενοι χρήστες, λειτουργώντας ορθολογικά με απώτερο σκοπό την βελτιστοποίηση του κέρδους τους. Το κέρδος του ενός πολλές φορές μπορεί να συνεπάγεται τη ζημία του άλλου, έτσι προκύπτουν καταστάσεις ανταγωνισμού ή συνεργασίας (όταν υπάρχουν παραπάνω από 2 παίκτες) με τον πιθανό σχηματισμό συνασπισμών. Για να υπάρξει παίγνιο θα πρέπει να συμμετέχουν τουλάχιστον 2 παίκτες με το λιγότερο 2 στρατηγικές ο καθένας, με αντικρουόμενα συμφέροντα. Δημιουργείται έτσι ο πίνακας πληρωμών που περιέχει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς στρατηγικών των παικτών από τον οποίο θα προκύψει το αποτέλεσμα του παιγνίου. Σημαντική είναι η έννοια της ισορροπίας του παιγνίου, η οποία καθορίζει το παραπάνω αποτέλεσμα και αφορά εκείνο το συνδυασμό στρατηγικών όπου και οι δυο παίκτες βελτιστοποιούν τις αποδόσεις τους ταυτόχρονα και κανείς τους δεν έχει την πρόθεση να αλλάξει στρατηγική.

Η Θεωρία Παιγνίων μελετά τις συμπεριφορές των παικτών (χρηστών αρδευτικού νερού στην περίπτωση μας) σε προβλήματα διαχείρισης υδάτινων πόρων και περιγράφει τον τρόπο αλληλεπίδρασής τους δίνοντας βάση στο ατομικό τους συμφέρον με αποτέλεσμα να χάνει συνήθως το περιβάλλον. Οι έννοιες της συνεργασίας και της εμπιστοσύνης που αναπτύσσονται μεταξύ τους είναι πολύ σημαντικές για την αλλαγή αυτής της συνθήκης, κάτι που θα μελετηθεί αναλυτικά στην παρούσα εργασία.

Θα οριστεί ένα παίγνιο μη μηδενικού αθροίσματος, με παίκτες αγρότες καλλιεργητές ελιάς, οι οποίοι καλούνται να διαχειριστούν τον υδροφορέα στην περιοχή της Μεσσαράς του Ηρακλείου Κρήτης, για την άρδευση των καλλιεργειών τους. Ως προσομοιωτικό μοντέλο του παραπάνω παιγνίου χρησιμοποιήθηκε η διαδικτυακή πλατφόρμα του Irrigania. Μια διαδραστική πλατφόρμα στην οποία μπορεί κάποιος να ορίσει τα χαρακτηριστικά του παιχνιδιού ή να συμμετέχει ως αγρότης ο οποίος έχει συγκεκριμένα χωράφια προς άρδευση και έχει να διαλέξει ανάμεσα σε τρεις πηγές νερού: το νερό βροχής, το νερό από ποτάμι και το υπόγειο νερό. Μέσα από αυτό το διαδικτυακό παιχνίδι, όπως ορίζεται, υπολογίζονται οι αποδόσεις (έσοδα) των παικτών, το κόστος άντλησης το οποίο αλλάζει κάθε χρόνο ανάλογα με το μέγεθος της άντλησης καθώς και η στάθμη του υδροφορέα μέσα από μια σειρά εξισώσεων. Οι εξισώσεις αυτές εμπλουτίστηκαν με παραπάνω όρους και παραμέτρους ορίζοντας τον ρόλο της πολιτείας στη διαχείριση των κοινών αγαθών.

Έτσι μελετάται η επέμβαση της πολιτείας στην αλλαγή των σημείων ισορροπίας του παιγνίου και άρα στην αλλαγή της εγωιστικής νοοτροπίας των χρηστών, προάγοντας μια περιβαλλοντική πολιτική όπου το περιβάλλον θα αντιμετωπίζεται με σεβασμό και η χρήση των φυσικών πόρων θα γίνεται με σύνεση, ενισχύοντας την αειφορία τους.

Η Θεωρία Παιγνίων ως ένα μαθηματικό εργαλείο της Θεωρίας Λήψης Αποφάσεων αποτελεί την μεθοδολογία για την διάρθρωση και ανάλυση των προβλημάτων στρατηγικής επιλογής. Μέσω διάφορων κριτηρίων και θεωρημάτων εντοπίζεται η βέλτιστη λύση- συνδυασμός στρατηγικών για τις δεδομένες συνθήκες. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το κριτήριο Minimax Regret και η χρησιμότητά του στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε ζητήματα διαχείρισης υδάτινων πόρων. Εφαρμόστηκε επίσης το θεώρημα του Bayes για την προσπάθεια πρόβλεψης των στρατηγικών που θα ακολουθήσουν οι παίκτες δεδομένων των συνθηκών περιβάλλοντος (π.χ. γνωρίζοντας την στάθμη του υδροφορέα).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η προσπάθεια επικράτησης μιας περιβαλλοντικής πολιτικής σε θέματα διαχείρισης υδάτινων πόρων, μέσω εξωτερικών παραγόντων (πολιτεία) με απώτερο στόχο την εκ νέου διαμόρφωση περιβαλλοντικής συνείδησης στους ίδιους τους χρήστες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά την διάρκεια συγγραφής και εκπόνησης της παρούσας εργασίας, είχα την πολύτιμη βοήθεια πολλών ανθρώπων. Πρώτα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων Καθηγητή μου Γεώργιο Καρατζά για την άριστη συνεργασία μας και ιδιαίτερα τον Εμμανουήλ Βαρουχάκη για την εξαιρετική καθοδήγηση και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με την Θεωρία Παιγνίων, ένα θέμα που από όταν το πρωτοσυνάντησα ήξερα πως θέλω να το εξερευνήσω. Ευχαριστώ επίσης τα μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής μου Επιτροπής, τους Καθηγητές Παρανυχιανάκη Νικόλαο και Ροζάκη Στυλιανό για την άριστη συνεργασία που είχαμε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους φίλους που με στήριξαν σε αυτό το εγχείρημα καθώς και αυτούς που μου χάρισαν και μου χαρίζουν όμορφες στιγμές όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητική μου ζωής. Ευχαριστώ πολύ τους Γιάννη, Αργυρώ, Μαρία, Αντώνη, Λένια, Δημήτρη, για την υποστήριξή τους και το κουράγιο που μου έδιναν καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της εργασίας, κάτι που το είχα πολύ ανάγκη. Γι' αυτό δεν είναι οι φίλοι άλλωστε; Τους εύχομαι ότι καλύτερο!

Ευχαριστώ επίσης θερμά, τον Φίλιππο και την Αλίνα για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους.

Τέλος, ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου την οικογένειά μου, τους γονείς μου Αντώνη, Λένα, και την αδελφή μου Χριστίνα, για την αμέριστη αγάπη και την στήριξη που μου παρέχουν όλα αυτά τα χρόνια που είμαι μακριά τους.

Χωρίς αυτούς δεν θα είχα φτάσει εδώ.

Κατσανεβάκη Μαρτσέλα

Χανιά, Μάρτης 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	6
Κεφάλαιο 1	8
Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 2	15
Θεωρία Παιγνίων, Γενικά χαρακτηριστικά	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	15
2.3 Βασικά Χαρακτηριστικά.....	17
2.3.1 Περιγραφή Παιγνίων	19
2.4 Ταξινόμηση Παιγνίων	20
2.4.1 Αριθμός παικτών	20
2.4.2 Συνεργατικά και μη συνεργατικά παίγνια.....	20
2.4.3 Δυναμικά ή στατικά παίγνια	20
2.4.4 Παίγνια Μηδενικού Αθροίσματος	21
2.4.5 Παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος	23
2.5 Ισορροπία Nash	24
2.6 Βασικά στρατηγικά παίγνια	27
2.6.1 Το Δίλημμα του φυλακισμένου "Prisoner's Dilemma"	27
2.6.2 Παίγνιο Γερακιού- Περιστεριού (Chicken Game).....	31
2.6.3 Κυνήγι Ελαφιού (Stag Game).....	33
2.7 Η τραγωδία των κοινών «Tragedy of the commons»	34
Κεφάλαιο 3	35
Θεωρία Παιγνίων – εργαλείο στη Θεωρία Λήψης Αποφάσεων	35
3.1 Εισαγωγή	35
3.2 Minimax Regret	36
3.3 Bayes Risk Analysis.....	38
3.4 Γραφική αναπαράσταση- Decision Trees.....	39
Κεφάλαιο 4	41
Εφαρμογές της Θεωρίας Παιγνίων στη Διαχείριση Υδάτινων πόρων	41
4.1 Θεωρία Παιγνίων και Υδατικοί Πόροι	41

4.1.1 Εισαγωγή.....	41
4.1.2 Γιατί χρήση της Θεωρίας Παιγνίων;.....	42
Κεφάλαιο 5	43
Irrigania- ένα διαδικτυακό παιχνίδι για τον διαμοιρασμό των υδατικών πόρων	43
5.1 Εισαγωγή	43
5.2 Η ιδέα του παιχνιδιού.....	43
Κεφάλαιο 6	46
Περιοχή μελέτης.....	46
6.1 Γενικά Χαρακτηριστικά.....	46
6.2 Καλλιέργεια της ελιάς	51
6.2.1 Εισαγωγή.....	51
6.2.2 Οικολογικό περιβάλλον.....	51
6.2.3 Η ελαιοκαλλιέργεια σήμερα	51
6.2.4 Εδαφοκλιματολογικές απαιτήσεις	52
Κεφάλαιο 7	54
Παίγνιο διαμοιρασμού υδάτινων πόρων	54
7.1 Εισαγωγή	54
Στήσιμο Παιγνίου.....	54
7.1.1 Θεωρία Παιγνίων – το Δίλημμα του φυλακισμένου	55
7.1.2 Irrigania – εφαρμογή του παιχνιδιού.....	62
7.1.3 Θεωρία λήψης αποφάσεων- Decision making.....	66
7.1.4 Bayes Risk Analysis	68
Κεφάλαιο 8	75
Συζήτηση- Συμπεράσματα - Προτάσεις βελτίωσης	75
Βιβλιογραφία	79
Παράρτημα Ι.....	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακες

Πίνακας 1: Παιγνίο 2×2.....	17
Πίνακας 2:Minimax-maximin.....	21
Πίνακας 3: Minimax-maximin 2ο στάδιο.....	22
Πίνακας 4: Minimax- maximin 3ο στάδιο.....	22
Πίνακας 5: Περίπτωση μικτής στρατηγικής minimax-maximin	23
Πίνακας 6: Το Δίλημμα του κρατουμένου	24
Πίνακας 7: Πρώτο στάδιο του παιγνίου	25
Πίνακας 8: Δεύτερο στάδιο παιγνίου-κυρίαρχες στρατηγικές.....	25
Πίνακας 9 : «Δίλημμα του Φυλακισμένου», Bonnie και Clyde.....	28
Πίνακας 10 : Γεράκι – Περιστέρι (ή Κοτόπουλο)	31
Πίνακας 11: Πίνακας ωφέλειας.....	32
Πίνακας 12 : Πίνακας με σηματοδοτημένες ισορροπίες	32
Πίνακας 13: Παιγνίο καθαρού συντονισμού	33
Πίνακας 14: Αποδόσεις -Κυνήγι ελαφιού (Stag Game)	34
Πίνακας 15: Πίνακας Πληρωμών (payoff table).....	37
Πίνακας 16: Πίνακας απωλειών ευκαιρίας (regret matrix)	37
Πίνακας 17: Κόστη και έσοδα για χωράφια με διαφορετική πηγή νερού	44
Πίνακας 18 : Εξήγηση μεταβλητών	44
Πίνακας 22: Πίνακας αποδόσεων Benefit-Loss.....	56
Πίνακας 23: Αποδόσεις με χρήση της εξίσωσης κέρδους	57
Πίνακας 24: Δείκτες κέρδους	58
Πίνακας 25: Παρέμβαση πολιτείας- επιβολή προστίμου	59
Πίνακας 26: Παρέμβαση πολιτείας- επιβολή προστίμου με χρήση δεικτών	60
Πίνακας 27: Παρέμβαση πολιτείας με χρηματική επιβράβευση	61
Πίνακας 28: Παρέμβαση πολιτείας με χρηματική επιβράβευση με χρήση δεικτών	61
Πίνακας 29: Παρέμβαση πολιτείας με συνδυασμό τακτικών	62
Πίνακας 30: Σενάριο 1ο irrigania	63
Πίνακας 31: Σενάριο 2ο Irrigania	64
Πίνακας 32: Σενάριο 3ο Irrigania	66
Πίνακας 33: : Πίνακας πληρωμών	67
Πίνακας 34: Πίνακας κόστους ευκαιρίας	68
Πίνακας 35: Αρχική πρόθεση παικτών	69
Πίνακας 36: Ανανεωμένη πρόθεση παικτών	71
Πίνακας 37: Αρχική πρόθεση παικτών με επιβολή προστίμου	72
Πίνακας 38: Πίνακας πληρωμών μινιμαχ 2ο	77
Πίνακας 39: Πίνακας κόστους ευκαιρίας 2ο	78
Πίνακας 40: Επιλογή πηγής νερού.....	83
Πίνακας 41: Μέσος όρος επιλογών πηγής νερού.....	83
Πίνακας 42: Ετησίες Αποδόσεις των παικτών	84

Εικόνες

Εικόνα 1: Χρήσεις νερού ανά τον κόσμο (πηγή:Unesco 2012)	9
Εικόνα 2: Παγκόσμια Αρδευόμενη Επιφάνεια (www.iwmi.org)	10
Εικόνα 3:Απώλειες νερού άρδευσης	10
Εικόνα 4: Εκτεταμένη μορφή ή δενδροδιάγραμμα	19
Εικόνα 5: Παράδειγμα δέντρου αποφάσεων	40
Εικόνα 6: Επιφάνεια εργασίας Irrigania.....	44
Εικόνα 7: Χάρτης με τα ισχύοντα απαγορευτικά μέτρα στην Περιφέρεια Κρήτης1	48
Εικόνα 8: Μέση ετησια βροχοπτώση και υψος σταθμής του υδροφορεα-περιοχη μεσσαρας. 1980-2003 οι τιμες λαμβανονται από 10 πηγαδια, 2003-2006 από 6 πηγαδια και το 2006-2010 από 2 πηγαδια(narouchakis 2015)	49
Εικόνα 9:Μεση μηνιαια βροχοπτώση-περιοχη μεσσαρας (narouchakis, 2015)	49
Εικόνα 10: Ετησια υψη σταθμής για τον υδροφορεα στην περιοχη της Μεσσαρας	50
Εικόνα 11: : Δενδρόγραμμα πιθανοτήτων Bayes.....	72
Εικόνα 12: Δέντρο αποφάσεων- περίπτωση επιβολής προστίμου	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

“Όταν στερέψει το πηγάδι, θα μάθουν την αξία του νερού”, Βενιαμίν Φρανκλίνος από το Αλμανάκ του Φτωχού Ρίτσαρντ (1732).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη διάρκεια των τελευταίων 25 ετών, πολιτικοί, ακαδημαϊκοί, μελετητές προβλέπουν συχνά ότι οι διαμάχες γύρω από το νερό μπορούν να αποτελέσουν αιτία μελλοντικών πολέμων. Αυτή την ιδέα υποστήριζε και ο τότε Αιγύπτιος Υπουργός εξωτερικών και τέως γενικός γραμματέας του ΟΗΕ Boutros Ghali, ο οποίος προέβλεψε ότι «ο επόμενος πόλεμος στη Μέση Ανατολή, θα γίνει για το νερό». Ο διάδοχός του στον ΟΗΕ, Kofi Annan, το 2001 υποστήριξε ότι «ο αμείλικτος ανταγωνισμός για καθαρό νερό μπορεί κάλλιστα να γίνει η πηγή συγκρούσεων και πολέμων στο μέλλον», καθώς και ο τέως αντιπρόεδρος της Παγκόσμιας Τράπεζας, Ismail Serageldin, είπε πως «οι πόλεμοι του επόμενου αιώνα θα γίνονται για το νερό έκτος αν υπάρξουν σημαντικές αλλαγές στη διακυβέρνηση». Ο βασιλιάς Χουσεΐν της Ιορδανίας είχε τονίσει το 1990 ότι «το νερό είναι το μόνο ζήτημα που θα μπορούσε να τον οδηγήσει σε πόλεμο με το Ισραήλ».

Ο «λευκός χρυσός» όπως αποκαλούν το νερό, είναι το πολυτιμότερο αγαθό του πλανήτη μας. Η υγεία, η ποιότητα ζωής αλλά κυρίως η επιβίωση των ανθρώπων εξαρτάται από την πρόσβαση στο νερό. Αποτελεί το 70% του σωματικού μας βάρους και καθημερινά η ανεπάρκειά του γίνεται όλο και πιο έντονη.

Στις 22 Δεκεμβρίου του 1992, η Γενική Συνέλευση του ΟΗΕ στο Ρίο ντε Τζανέιρο ανακήρυξε την 22^η Μαρτίου ως «Παγκόσμια Ημέρα για το νερό». Στόχος των δράσεων του οργανισμού είναι η μείωση του αριθμού των ανθρώπων που δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό, ο οποίος ανέρχεται πάνω από 1 δισεκατομμύριο.

- Το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε χώρες που υφίστανται μέτριες έως υψηλές ελλείψεις νερού.
- 400 εκατομμύρια παιδιά, σχεδόν ένα στα πέντε παιδιά του κόσμου, στερείται ακόμη και την ελάχιστη ποσότητα καθαρού νερού που χρειάζεται για να επιβιώσει.
- 5 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από ασθένειες που σχετίζονται με μολυσμένα ύδατα.
- 2,5 δισεκατομμύρια στερούνται και των πλέον βασικών συνθηκών υγιεινής

Μέχρι το 2025 τα 2/3 του παγκόσμιου πληθυσμού θα αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα με τη διαθεσιμότητα του νερού.

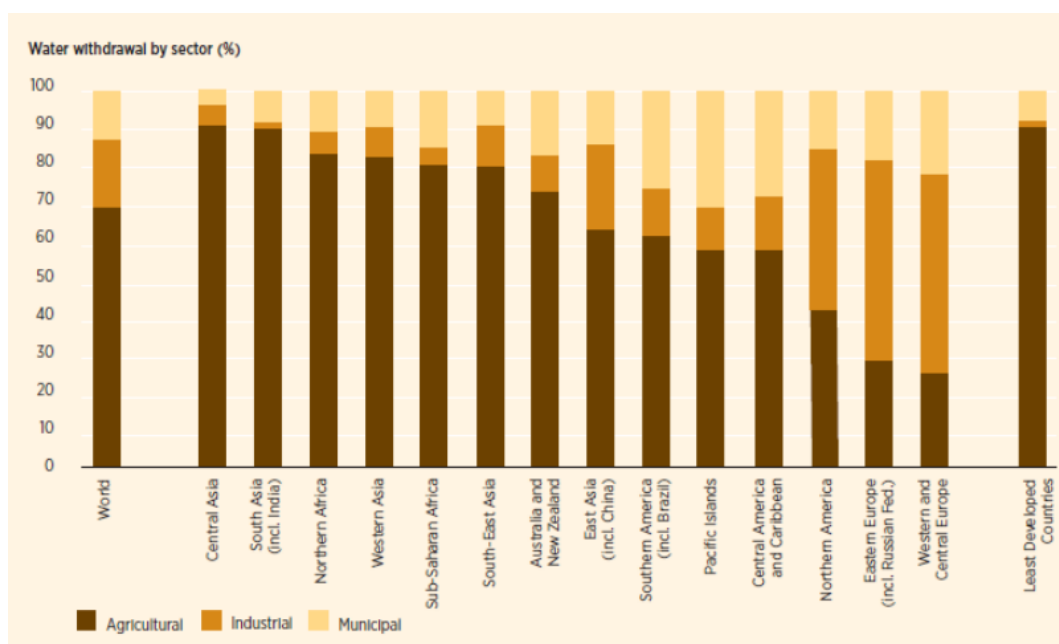
Για τον δυτικό-πολιτισμένο κόσμο αποτελεί δεδομένο αγαθό, ενώ για αρκετούς λαούς είναι αιτία πολέμου. Με 300 σημεία σ' όλο τον πλανήτη να είναι δυνητικά πεδία συγκρούσεων σχετικά με το νερό, σύμφωνα με τον ΟΗΕ, και με τις χώρες της Μέσης Ανατολής να αντιμετωπίζουν το μεγαλύτερο πρόβλημα, η σωστή διαχείρισή του αποτελεί επιτακτική ανάγκη για την ευημερία των πολιτών.

Πίσω από τις εξελίξεις αυτές δεν βρίσκεται μόνο η πληθυσμιακή αύξηση των τελευταίων ετών, η οποία συμβαίνει με ραγδαίους ρυθμούς, αλλά περισσότερο η

υπερεκμετάλλευση, η ρύπανση, η σπατάλη και οι ακραίες αρδευτικές πρακτικές που οδηγούν στη καταστροφική διαχείριση των διαθέσιμων υδάτων.

Η διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων, όπως το νερό, τα δάση και το έδαφος σε όλο τον κόσμο, μειώνονται με την πάροδο των χρόνων (από πλευράς ποιότητας και ποσότητας), ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης και της επέκτασης της αστικοποίησης και της γεωργίας.

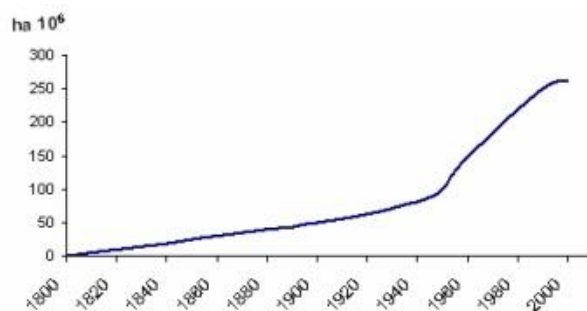
Γεωργία και χρήση νερού



ΕΙΚΟΝΑ 1: ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ (ΠΗΓΗ:UNESCO 2012)

Το ένα τρίτο του νερού που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη αφορά την γεωργία. Πόσο μάλλον για χώρες όπως αυτές της Μεσογείου, όπου ο πρωτογενής τομέας κατέχει σημαντική θέση στην οικονομία, η ζήτηση του νερού προς άρδευση είναι μεγάλη. Στην Ελλάδα η κατανάλωση του νερού υπολογίζεται σε 8.184,3 hm³/έτος, εκ των οποίων τα ποσοστά της αρδευτικής χρήσης του νερού σε σχέση με την οικιακή και την βιομηχανική χρήση, φτάνουν μέχρι και το 80%. Από αυτήν την ποσότητα μέχρι και 50% του μεταφερόμενου νερού χάνεται λόγω της κακής κατάστασης των αρδευτικών δικτύων.

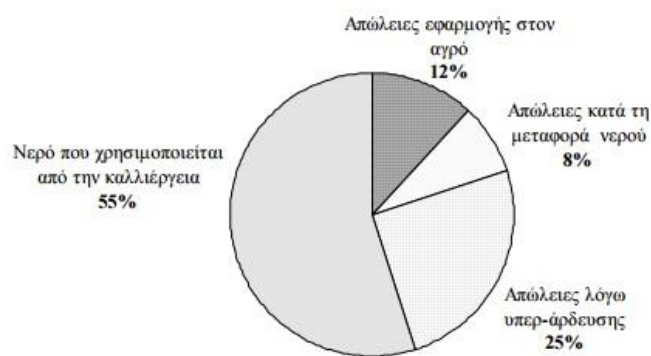
Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις λαμβάνουν την απαραίτητη υγρασία με την εφαρμογή της τεχνητής άρδευσης αλλά και φυσικά, από τις βροχοπτώσεις. Εκτιμάται ότι το 84% της γεωργικής γης σε παγκόσμιο επίπεδο ποτίζεται από την βροχή και παράγει το 40% της τροφής που καταναλώνεται παγκοσμίως, ενώ το υπόλοιπο 16% από τεχνητά μέσα άρδευσης (Uitto και Duda 2002). Οι αρδευόμενες εκτάσεις αυξάνονταν από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα ενώ από την δεκαετία του '40 παρατηρείται ραγδαία αύξηση σύμφωνα με στοιχεία του Διεθνούς Ινστιτούτου Διαχείρισης Υδάτων (IWMI).



ΕΙΚΟΝΑ 2: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (WWW.IWMI.ORG)

Τα δημόσια δίκτυα καλύπτουν το ένα τρίτο των συνολικών αρδευόμενων εκτάσεων, ενώ τα υπόλοιπα δυο τρίτα που απομένουν αρδεύονται από ιδιωτικά δίκτυα. Το σύστημα άρδευσης με καταιονισμό κυριαρχεί στην ελληνική γεωργία (δημόσια και ιδιωτικά) με ποσοστό 53%, ακολουθεί η επιφανειακή άρδευση με 36% και τέλος η στάγδην άρδευση με 11% στα δημόσια δίκτυα. Αντίθετα στα ιδιωτικά η στάγδην λαμβάνει πολύ μεγάλα ποσοστά όντας η οικονομικότερη μέθοδος άρδευσης εκ των τριών.

Η αρδευόμενη γεωργία, ως μεγαλύτερος καταναλωτής νερού, θα πρέπει να επιδιώξει μια πιο ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού. Επιβάλλεται να αξιοποιήσει υδατικούς πόρους που μέχρι σήμερα έμεναν ανεκμετάλλετοι, να αξιοποιήσει τις δυνατότητες της σύγχρονης αρδευτικής τεχνολογίας («στάγδην» άρδευση) και να βελτιώσει την αρδευτική τεχνική ώστε να γίνεται αποτελεσματική χρήση του νερού, χωρίς τις τεράστιες σημερινές απώλειες από τα αρδευτικά δίκτυα. Σημαντική τέλος είναι η αξιοποίηση και η σωστή διαχείριση των υπογείων υδάτων και ακόμη περισσότερο ο περιορισμός της ανεξέλεγκτης άντλησής τους που διακυβεύει την ίδια τους την ύπαρξη και αειφορία.



ΕΙΚΟΝΑ 3: ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Ο αγροτικός τομέας ευθύνεται για την υποβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων νερών σε πολλές περιοχές. Σύμφωνα με Έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (2003) «ίσως χρειαστεί μεγάλο χρονικό διάστημα, έως ότου οι αλλαγές στις γεωργικές πρακτικές αρχίσουν να αντικατοπτρίζονται στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων. Καθώς η ηλικία των υπόγειων υδάτων κυμαίνεται από δεκαετίες έως χιλιετίες (παρότι τα υπόγεια νερά που χρησιμοποιούνται για πόσιμο νερό έχουν μέσο όρο ηλικίας 40 ετών), οι τρέχουσες πρακτικές αφήνουν ουσιαστικά μια κληρονομιά ρύπανσης των υπογείων υδάτων για τις επόμενες γενιές».

Αρδευτικό νερό και νομοθεσία

Το νερό είτε αντιμετωπίζεται ως «φυσικός πόρος», είτε ως «κοινωνικό αγαθό», είναι βασικό και αναντικατάστατο στοιχείο για την ανάπτυξη και την επιβίωση της ανθρωπότητας. Αποτελεί όμως και το πλέον «ευαίσθητο» και το πρώτο θιγόμενο περιβαλλοντικό συστατικό από τα δυο σύνδρομα της σύγχρονης κοινωνίας: την υπερκατανάλωση και τη ρύπανση. Εντούτοις στη χώρα μας μια σχεδίαση ορθής «Υδατικής Πολιτικής», θα μπορούσε να το προστατεύει από τους παραπάνω κινδύνους και να εξασφαλίζει τις απαιτούμενες ποσότητές του στην κατάλληλη ποιότητα υπό συνθήκες αειφόρου ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος.

Για ένα μέλλον όπου θα υπάρχει αρκετό νερό για την κάλυψη των αναγκών των οικοσυστημάτων μας και θα απομένουν επαρκείς πόροι για τις καταναλωτικές μας απαιτήσεις, θα πρέπει να προσφέρουμε τα κατάλληλα πακέτα πολιτικής για την στήριξη μέτρων αποδοτικότερης χρήσης.

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980, η έρευνα, η αξιοποίηση, η χρήση και η προστασία των υδάτινων πόρων ρυθμίζεται με μια σειρά από νόμους και διοικητικές αποφάσεις που πολλές φορές επικαλύπτονται ή έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους. Αναδεικνύεται έτσι η αδυναμία αποτελεσματικής εφαρμογής τους και συγκρότησης αποτελεσματικών μηχανισμών ελέγχου και επιβολής των προβλεπόμενων κυρώσεων.

Το 2000 δημοσιεύεται η Οδηγία 2000/60/EK, η οποία αποσκοπεί στη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής επί των υδάτων. Βασικός στόχος της οδηγίας είναι η αναβάθμιση και προστασία της ποιότητας των υδατικών πόρων και το πνεύμα της είναι σε μεγάλο βαθμό περιβαλλοντικό. Μεταξύ των βασικών και καινοτόμων αρχών της Οδηγίας είναι η συμμετοχή όλων των ενδιαφερόμενων, μέχρι και τον τελικό χρήστη- καταναλωτή, στη διαχείριση των υδατικών πόρων και η αποτελεσματική εφαρμογή οικονομικών εργαλείων.

Η αποκατάσταση του περιβάλλοντος μέχρι σήμερα σε περιπτώσεις πρόκλησης ρύπανσης περιλάμβανε τις ζημίες που προκαλούνταν βασικά σε πρόσωπα και αγαθά. Σημαντικά συστατικά του φυσικού περιβάλλοντος (όπως φυτά, ζώα, οικότυποι) και οι επιπτώσεις σε αυτά από την πρόκληση ρύπανσης δεν περιλαμβάνονταν σε δράσεις αποκατάστασης καθώς θεωρούνταν ένα δημόσιο αγαθό για το οποίο δεν αναγνωρίζονταν ευθύνη του ατόμου που προκάλεσε τη ζημιά.

Αυτή την έλλειψη σε ότι αφορά την ανάληψη ευθύνης και της κάλυψης της δαπάνης ρυθμίζει η οδηγία 2004/35/EK για την περιβαλλοντική ευθύνη. Η οδηγία εισάγει το καθεστώς που προβλέπει για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος όταν ένας φορέας εκμετάλλευσης προκαλέσει ρύπανση και ο οποίος είναι οικονομικά υπεύθυνος για την αποκατάσταση της ζημίας και της επαναφοράς του περιβάλλοντος και βασίζεται στην αρχή ο «ρυπαίνων πληρώνει»(ΥΠΕΚΑ).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σε μια προσπάθεια να προωθήσει τις περιβαλλοντικά βιώσιμες παραγωγές και να εξασφαλίσει την ποιότητα των προϊόντων προχώρησε το 2003 στην προώθηση της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (ΚΑΠ) για την επίτευξη βιώσιμης γεωργίας. Σύμφωνα με τη νέα αυτή πολιτική οι αγρότες είναι ελεύθεροι να επιλέξουν το είδος της παραγωγής ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς, ενώ οι επιχορηγήσεις, οι οποίες είναι ανεξάρτητες από τον όγκο παραγωγής, είναι άμεσα συνδεδεμένες με την εξασφάλιση περιβαλλοντικών προτύπων όπως αυτά ορίζονται από την Ε.Ε.

Διαχείριση πόρων και πολιτεία

Το νερό μπορεί να θεωρηθεί ως φυσικός πόρος, ως οικονομικό αγαθό και ως περιβαλλοντικό στοιχείο, ανάλογα με το κύριο κριτήριο και το είδος διαχείρισης. Σε σχέση πάντως με άλλους φυσικούς πόρους και με άλλα οικονομικά αγαθά έχει μια ιδιαιτερότητα: είναι μοναδικό και αναντικατάστατο. Ένα μετάλλευμα π.χ. μπορεί να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο (φυσικό ή συνθετικό υλικό) στην καθημερινή χρήση και στην οικονομική ανάπτυξη. Το νερό όμως όχι, αφού αποτελεί προϋπόθεση της ανθρώπινης ύπαρξης και ζωής στον πλανήτη και δεν έχει υποκατάστατο στην ανάπτυξη. Η βιώσιμη (αιφόρος) διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι η βασική παράμετρος της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η διαχείριση των υπόγειων υδατικών πόρων απαιτεί τη μελέτη των παραμέτρων που καθορίζουν την εκμετάλλευσή τους, παράλληλα με την αντιμετώπιση όλων των περιβαλλοντικών, των οικονομικών και των κοινωνικών παραγόντων που υπεισέρχονται στο πρόβλημα. Οι παράμετροι αυτές εκφράζουν την επίδραση που έχουν οι αντλήσεις στη συμπεριφορά του υδροφορέα σε σχέση με: (α) τα υδρογεωλογικά του στοιχεία, (β) τα υδρολογικά δεδομένα της περιοχής και (γ) την ενδεχόμενη συμμετοχή της διοίκησης μέσα από την υπάρχουσα νομοθεσία. Η μελέτη του εύρους, μέσα στο οποίο κυμαίνονται οι τιμές τους, μπορεί να οδηγήσει σε μια απόφαση πολιτικής από την πλευρά της πολιτείας. Το ζήτημα της διαχείρισης εντάσσεται στα κοινωνικό-πολιτικά προβλήματα, επειδή οι παράγοντες που υπεισέρχονται έχουν στενή σχέση με την συμπεριφορά των χρηστών και την στάση της πολιτείας απέναντί τους. Στην παρούσα εργασία πρόκειται να γίνει μια προσπάθεια μελέτης της αλληλεπίδρασης μεταξύ χρηστών και πολιτείας καθώς και των σχέσεων αλληλεξάρτησης και συνεργασίας που αναπτύσσονται μεταξύ των ίδιων των χρηστών.

Σήμερα η κυριότερη δραστηριότητα εκμετάλλευσης ενός υδροφορέα είναι οι αντλήσεις που γίνονται από ένα μεγάλο αριθμό εγκατεστημένων γεωτρήσεων, με σκοπό την κάλυψη αναγκών σε νερό διαφόρων επιχειρηματικών μονάδων, κυρίως αγροτικών. Για την εγκατάσταση μιας γεώτρησης απαιτείται η έκδοση άδειας, με την οποία καθορίζεται και το επιτρεπόμενο βάθος άντλησης, ωστόσο τις περισσότερες φορές, ακριβώς εξαιτίας της μεγάλης άντλησης και της πτώσης του υδροφόρου ορίζοντα που αυτή συνεπάγεται, οι ιδιοκτήτες των γεωτρήσεων προχωρούν σε όλο και μεγαλύτερα βάθη άντλησης, με αποτέλεσμα την περαιτέρω πτώση του. Το γεγονός αυτό μελλοντικά θα οδηγήσει σε μια υπεράντληση του υδροφορέα και στη χρεοκοπία των επιχειρησιακών δράσεων, οι οποίες βασίστηκαν στην εκμετάλλευσή του.

Ας υποθεθεί ένα παράδειγμα για την διαχείριση του υπόγειου νερού ενός υδροφορέα στον οποίο πραγματοποιούνται αντλήσεις για την άρδευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων της περιοχής. Ο κάθε αγρότης καλείται να αποφασίσει πόσο νερό θα αντλήσει για την άρδευση των χωραφιών του. Προφανώς, μεγάλες ποσότητες νερού αντιστοιχούν σε μεγάλα κέρδη από την παραγωγή των προϊόντων και άρα μεγαλύτερο όφελος γι' αυτόν. Αν όμως ακολουθήσουν το ίδιο σκεπτικό και οι άλλοι αγρότες τότε θα υποστούν όλοι τις συνέπειες της επίδρασης αυτών των αντλήσεων, με αποτέλεσμα την σημείωση πτώσης στάθμης στο νερό της γεώτρησης. Η ετήσια άντληση του κάθε αγρότη δεν επηρεάζει μόνο την δική του γεώτρηση, αλλά και των γειτόνων του και έμμεσα εν τέλει τα διαθέσιμα αποθέματα ολόκληρου του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής. Αν τώρα ο αγρότης φερθεί με «σύνεση» και περιορίσει την άντλησή του στα ανανεώσιμα αποθέματα, κινδυνεύει να γίνει αντικείμενο εκμετάλλευσης από τους γείτονές του, εφόσον αυτοί δεν θα φερθούν ανάλογα. Έτσι φαίνεται ότι παρόλο που όλους θα τους

συνέφερε μια «συνετή» τακτική όσον αφορά στις αντλήσεις τους, αν λάβουμε υπόψιν ότι τους ενδιαφέρει η αιφορία των υδατικών πόρων, ο πειρασμός για την μεγαλύτερη δυνατή αύξηση του εισοδήματός τους θα παροτρύνει πολλούς σε ανταγωνιστικές αντλήσεις με υπέρβαση των ανανεώσιμων αποθεμάτων.

Η διαχείριση του υπόγειου υδροφορέα καθίσταται εξαιρετικά πολύπλοκη δεδομένου ότι οι αντλήσεις των γεωτρήσεων δεν μπορούν να καθοριστούν εκ των προτέρων ούτε και να προβλεφθούν, αφού οι αγρότες αντλούν σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες των καλλιεργειών τους, με κύριο στόχο την αύξηση της παραγωγής και άρα των εσόδων τους.

Πρόκειται για μια «κατάσταση δράσης» παρόμοια με αυτή του γνωστού παιγνίου « Το Δίλημμα του Φυλακισμένου», ένα παιχνίδι για δύο παίκτες, το οποίο επινόησαν οι Merrill Flood και Melvin Dresher στις αρχές της δεκαετίας του '50 και το οποίο έχει εκτεταμένα μελετηθεί στη Θεωρία Παιγνίων αλλά και στις οικονομικές και πολιτικές επιστήμες, αφού θεωρήθηκε ένα ιδεατό μοντέλο που περιγράφει τα φαινόμενα του πραγματικού κόσμου.

Στην παρούσα εργασία θα γίνει προσέγγιση του παραπάνω παραδείγματος που αφορά στη διαχείριση του υπόγειου νερού με βάση το διάσημο παίγνιο του «Διλήμματος του Φυλακισμένου».

Τιμολόγηση του νερού

Η αξία του αρδευτικού νερού ορίζεται ως το ανώτατο ποσό το οποίο είναι διατεθειμένος να πληρώσει ένας πλήρως ενημερωμένος γεωργός για μια επιπλέον ποσότητα νερού (Young 1996).

Η τιμολογιακή πολιτική αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης – Αποχέτευσης. Οι Δημοτικές επιχειρήσεις χαρακτηρίζονται «κοινοφελούς χαρακτήρα», άρα η επιδίωξή τους δεν είναι το κέρδος αλλά η παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας στη χαμηλότερη δυνατή τιμή. Θα πρέπει βέβαια να υπογραμμιστεί ότι το νερό αποτελεί μεν κοινωνικό αγαθό, αλλά ωστόσο έχει οικονομικό κόστος το οποίο πρέπει κάθε φορά να ανακτάται.

Βεβαίως η αντιμετώπιση του νερού ως οικονομικού αγαθού, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να είναι συνώνυμη με δημιουργία επιπλέον εσόδων για κάλυψη αδικαιολόγητων ελλειμμάτων, ούτε με κατακόρυφες αυξήσεις. Το εύρος των τιμών του νερού δεν θα πρέπει να θέτει σε κίνδυνο το αγροτικό εισόδημα. Τέτοιες δράσεις θα επιφέρουν αρνητικά αποτελέσματα σε ότι αφορά την κοινωνική αποδοχή των μέτρων και πλήττουν τις σχέσεις μεταξύ πολιτείας και πολιτών.

Η τιμή του νερού που παρέχεται από δημόσια δίκτυα στην Ελλάδα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή καθώς και από το είδος και το μέγεθος της κατανάλωσης. Η αξία του πόσιμου νερού στην περιφέρεια Κρήτης το 2005 ήταν 0,42 € ανά m³ (ΕΔΕΥΑ, Σαφαρίκας 2005). Ενώ η τιμή του κυμαινόταν στο 1,28 € ανά m³ (ΕΔΕΥΑ, Σαφαρίκας 2005). Η τιμή του νερού άρδευσης ποικίλει σε μεγάλο εύρος μεταξύ των διαφόρων περιοχών, αλλά και μέσα στην ίδια περιοχή, ανάλογα με το διαχειριστή του έργου. Στη Κρήτη π.χ. στην περιοχή της Δυτικής Κισάμου το νερό άρδευσης από τα έργα του ΟΑΔΥΚ κοστίζει 0,15-0,18 €/m³, όταν στα έργα που διαχειρίζονται οι Δήμοι κοστίζει 0,18-0,25 €/m³ και σε

μερικές ιδιωτικές γεωτρήσεις το κόστος φτάνει τις 0,35-0,40 €/m³ (Chartzoulakis et al., 2001).

Οι τιμές αυτές είναι υψηλότερες από αυτές των άλλων μεσογειακών χωρών της Ε.Ε, που παράγουν ανταγωνιστικά προϊόντα (OECD, 1999). Για να μειωθούν οι διαφορές αυτές στην τιμή του νερού για άρδευση, ιδιαίτερα μεταξύ των φορέων που ελέγχονται από το κράτος, θα πρέπει να εφαρμοστεί πολιτική τιμών τέτοια που η τιμή του νερού να διαφοροποιείται ανάλογα με τη προέλευσή του (άντληση ή φυσική ροή) και να καλύπτει το πραγματικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης των έργων από τους χρήστες. Η τιμή του νερού, για κατανάλωση πάνω από τις ανάγκες τις καλλιέργειας ή ακόμα πάνω από την δυνατότητα του υδροφορέα, να προσausξάνεται κλιμακωτά, μέσω μιας διαδικασίας επιβολής προστίμων ανάλογα με το μέγεθος της άντλησης. Αυτή η πολιτική τιμών πέρα από το γεγονός ότι θα συμβάλει στη μακροχρόνια λειτουργία των αρδευτικών έργων, θα εξασφαλίσει την λελογισμένη χρήση του νερού και θα αυξήσει το ενδιαφέρον και την ανησυχία των χρηστών για την έλλειψή του.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μία έστω ελάχιστη μείωση του νερού προς άρδευση θα έλυνε πολλά προβλήματα άλλων τομέων. Εκτιμάται ότι η μείωση των αρδευτικών αναγκών κατά 10% θα διπλασίαζε τη διαθέσιμη ποσότητα για οικιακή χρήση σε όλο τον κόσμο (Postel, 1992).

Έχει υπολογιστεί ότι με εφαρμογή μιας αποτελεσματικής πολιτικής στην κατεύθυνση της διαχείρισης της ζήτησης του νερού, κατά μέσο όρο σε όλο τον κόσμο, οι αγρότες έχουν περιθώρια να περικόψουν την κατανάλωση του νερού κατά 10-50%, η βιομηχανία κατά 40-90% και η ύδρευση κατά 30%, χωρίς καμιά διαφορά στο οικονομικό αποτέλεσμα, αλλά και χωρίς αυτό να σημαίνει υποβάθμιση της ποιότητας της ζωής (Μυλόπουλος Ι.).

Στην παρούσα εργασία θα εξεταστεί με την βοήθεια της Θεωρίας Παιγνίων, η δυνατότητα επιβολής ρυθμιστικών μέτρων π.χ. προστίμων στην προσπάθεια επαναπροσδιορισμού περιβαλλοντικής πολιτικής όσον αφορά στη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Το παίγνιο στήθηκε με παίκτες αγρότες καλλιεργητές ελιάς, των οποίων τα αγροτεμάχια τοποθετήθηκαν στη περιοχή της Μεσσαράς του Ηρακλείου Κρήτης. Η μελέτη έχει στόχο να αποτυπώσει την δυνατότητα αλλαγής μιας αλόγιστης συμπεριφοράς στην χρήση αρδευτικού νερού γεώτρησης, αναφορικά με την παρέμβαση της πολιτείας είτε με την μορφή προστίμου ή επιβράβευσης (bonus). Θα ελεγχθεί κατά πόσο η συνεργασία και η εμπιστοσύνη ανάμεσα στους παίκτες θα μπορέσει να λειτουργήσει ως παρακινήτης μιας πιο περιβαλλοντικά και οικονομικά συμφέρουσας τακτικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΙΑ ΠΑΙΓΝΙΩΝ, ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Θεωρία Παιγνίων δύναται να οριστεί ως η μελέτη των μαθηματικών προτύπων που αφορούν στη σύγκρουση ή τη συνεργασία μεταξύ ορθολογικών ληπτών αποφάσεων. Ασχολείται με αποφάσεις, υπό αβέβαιες συνθήκες συνθήκες, όπου εμπλέκονται δυο ή περισσότεροι νοήμονες "αντίπαλοι" και όπου ο καθένας τους φιλοδοξεί να βελτιστοποιήσει τη δική του απόφαση εις βάρος των άλλων ή σε συνεργασία με άλλους, διαμορφώνοντας ίσως συνασπισμούς. Εφόσον συμμετέχουν τουλάχιστον δυο παίκτες με τουλάχιστον δυο στρατηγικές ο καθένας με αντίθετα συμφέροντα, το αποτέλεσμα για κάθε παίκτη καθορίζεται από τις συνδυασμένες επιλογές όλων των παικτών και δίνεται από τον πίνακα αποτελεσμάτων του παιγνίου. Ονομάζουμε λοιπόν παίγνιο την κατάσταση σύγκρουσης ή ανταγωνισμού ή συνεργασίας μεταξύ των ομάδων των αντιπάλων.

Είναι μια επιστημονική διαδικασία κατά την οποία με χρήση απλών υπολογισμών και λογικής, μπορεί να μελετηθεί και πιθανότατα να προβλεφθεί, ο τρόπος με τον οποίο άτομα ή ομάδες ατόμων λαμβάνουν αποφάσεις σ' ένα ανταγωνιστικό μεταξύ τους περιβάλλον.

❖ Θεωρία του τρελού

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές εκδοχές-στρατηγικές υλοποίησης της Θεωρίας Παιγνίων. Γνωστότερη όλων η «Θεωρία του Τρελού», όπου το ένα μέρος μιας διαδικασίας διαπραγμάτευσης παρουσιάζεται στα άλλα μέρη σαν «εκτός ελέγχου» και «έτοιμο για τα πάντα», με στόχο να πείσει τα υπόλοιπα μέρη να δεχθούν τους όρους του. Οι αντίπαλοι θα πρέπει να πιστέψουν πως έχουν απέναντι κάποιον με απρόβλεπτη συμπεριφορά, ο οποίος διαθέτει την απαραίτητη ισχυρή δύναμη καταστροφής. Ο φόβος ενός ατυχήματος θα τους οδηγήσει να υποχωρήσουν. Το 1986 ο υπουργός των εξωτερικών των ΗΠΑ, Τζωρτζ Σούλτς, είχε διατυπώσει με σαφήνεια τις παραμέτρους αυτού του δόγματος: « Η λέξη διαπραγμάτευση είναι ένας ευφημισμός για τη συνθηκολόγηση εάν η σκιά της δύναμης δεν πέφτει στην πράσινη τσόχα..» Το 2004 μάλιστα έγινε γνωστό πως ακριβώς αυτή η θεωρία εφαρμόστηκε το 1969 από τον τότε Πρόεδρο των Η.Π.Α. Ρίσαρντ Νίξον, σε μια προσπάθεια να τελειώσει τον πόλεμο στο Βιετνάμ.

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη γνωστή αναφορά της Θεωρίας παιγνίων παρουσιάστηκε σε μια επιστολή του James Waldegrave το 1713. Στην επιστολή αυτή, ο Waldegrave παρέχει μια λύση σε μια έκδοση δυο παικτών του παιχνιδιού καρτών le Her, η οποία ήταν βασισμένη σε μια minimax μικτή στρατηγική. Το 1913 ένας σύγχρονος αναλυτής, ο Zermelo, ασχολήθηκε με την εφαρμογή της θεωρίας παιγνίων στο σκάκι. Απέδειξε ότι μια παρτίδα σκάκι όντας παίγνιο μηδενικού αθροίσματος, έχει πάντα μια λύση με την ύπαρξη νικηφόρας στρατηγικής για έναν από τους δυο παίκτες από οποιαδήποτε κατάσταση χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της «προς τα πίσω επαγωγής» (backward induction). Από

τον ίδιο πήρε το όνομα του το Θεώρημα Zermelo το οποίο όσον αφορά στο σκάκι αποδίδεται ως εξής: «είτε τα λευκά μπορούν να εξαναγκάσουν μια νίκη, είτε τα μαύρα μπορούν να εξαναγκάσουν μια νίκη ή και οι δυο πλευρές μπορούν να εξαναγκάσουν τουλάχιστον μια ισοπαλία» (Λιβανίου, 2011).

Το 1928 εδραιώθηκε η ύπαρξη λύσης για τα παίγνια μηδενικού αθροίσματος από μια δημοσίευση του John von Neumann. Η συγκεκριμένη έρευνα έθεσε την Θεωρία Παιγνίων ως ένα ξεχωριστό επιστημονικό πεδίο. Το 1944 ο Neumann εκδίδει μαζί με τον Oskar Morgenstern το βιβλίο "Theory of Games and Economic Behavior", ένα μεγάλο έργο το οποίο έθεσε βάσεις για την περαιτέρω εξέλιξη της Θεωρίας Παιγνίων. Οι Neumann και Morgenstern όρισαν ως παίγνιο κάθε αλληλεπίδραση μεταξύ δρώντων ή αυτοβούλων υποκειμένων, η οποία διέπεται από ένα σύνολο κανόνων που προσδιορίζουν τις πιθανές κινήσεις κάθε συμμετέχοντος και ένα σύνολο αποτελεσμάτων για κάθε πιθανό συνδυασμό κινήσεων. Η σημασία του συγκεκριμένου έργου αποδίδεται στα εξής επιτεύγματα: Οι Neumann και Morgenstern όρισαν αξιωματικά την θεωρία της χρησιμότητας, ανέλυσαν διεξοδικά τις βέλτιστες λύσεις στα παιχνίδια μηδενικού αθροίσματος και εισήγαγαν μια νέα κατηγορία παιχνιδιών, τα συνεργατικά παίγνια (cooperative games)(Πεφανίδης).

Το 1950 εμφανίστηκε η πρώτη συζήτηση στους μαθηματικούς κύκλους σχετικά με το δίλημμα του φυλακισμένου, όταν έγινε ένα πείραμα από τους αξιοσημείωτους μαθηματικούς Merrill M. Flood και Melvin Dresher.

Την ίδια περίοδο, ο John Nash θέτει το επόμενο ορόσημο για την ιστορία της Θεωρίας Παιγνίων με την εισαγωγή της έννοιας της ισορροπίας. Αναπτύσσει δηλαδή ένα κριτήριο σχετικά με την αμοιβαία σταθερότητα των στρατηγικών, γνωστό και ως ισορροπία Nash, το οποίο εφαρμόζεται ευρέως στη σύγχρονη Θεωρία Παιγνίων. Επικεντρώθηκε σε παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος στα οποία οι παίκτες μπορούν να κερδίζουν ή να χάνουν συγχρόνως. Γι' αυτό του το επίτευγμα του απονεμήθηκε βραβείο Nobel στα Οικονομικά το 1994.

Ο John Nash μοιράστηκε το βραβείο με τον οικονομολόγο John C. Harsanyi και τον μαθηματικό Reinhard Selten, οι οποίοι γενίκευσαν την έννοια της ισορροπίας Nash και σε άλλες κατηγορίες παιγνίων όπως τα δυναμικά και τα παίγνια με ελλιπή πληροφόρηση (incomplete information), τα οποία βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις οικονομικές επιστήμες.

Το 1971 ο Lloyd Shapley εισήγαγε την ομώνυμη Τιμή Shapley (Shapley Value) για παίγνια με τη δυνατότητα δημιουργίας συνασπισμών. Σε κάθε συνεργατικό παίγνιο αναθέτει μια μοναδική κατανομή (μεταξύ των παικτών) του συνολικού πλεονάσματος που παράγεται από την συνεργασία όλων των παικτών. Το πιο διαδεδομένο σύγγραμμα εκδόθηκε το 1957 από τους Duncan Luce και Howard Raiffa, όπου εισήγαγαν την έννοια των επαναλαμβανόμενων παιγνίων και αποτελεί ακόμα και σήμερα τη βασική πηγή πληροφόρησης για τη Θεωρία Παιγνίων.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, μια εφαρμογή υψηλού προφίλ της θεωρίας παιγνίου ήταν ο σχεδιασμός των δημοπρασιών. Οι διακεκριμένοι θεωρητικοί του παιγνίου ενεπλάκησαν στο σχεδιασμό των δημοπρασιών για τη χορήγηση δικαιωμάτων χρήσης των ζωνών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για τον κλάδο της κινητής τηλεφωνίας. Οι περισσότερες από αυτές τις δημοπρασίες σχεδιάστηκαν με στόχο την πιο αποτελεσματική από τις παραδοσιακές κυβερνητικές πρακτικές κατανομής αυτών των

πόρων και επιπλέον έθεσαν δισεκατομμύρια δολάρια στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη (Turocy & Stengel, 2001).

2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ως παίγνιο (game) ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία δυο ή περισσότεροι ορθολογικοί παίκτες με αντικρουόμενους στόχους επιλέγουν τρόπους δράσης, δημιουργώντας μεταξύ τους συνθήκες ανταγωνιστικής αλληλεξάρτησης. Ο παίκτης μπορεί να θεωρηθεί ένα άτομο, μια ομάδα, ένα κράτος το οποίο λαμβάνει αποφάσεις αυτόνομα. Στόχος του είναι η βελτιστοποίηση της δικής του ευημερίας έναντι των αντιπάλων του βασιζόμενος στους κανόνες, τους πόρους και τα δεδομένα που έχει στην διάθεσή του. Δημιουργεί λοιπόν τις δικές του στρατηγικές, την αλληλουχία κινήσεων δηλαδή που δύναται να ακολουθεί σε κάθε κίνησή του ο παίκτης μέχρι το τέλος του παιχνιδιού. Οι στρατηγικές βέβαια εφόσον είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τα ισχύοντα δεδομένα, σε περίπτωση ανανέωσης των τελευταίων, εξελίσσονται μαζί τους και μπορούν να αλλάξουν κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού.

Μια διάκριση που μπορεί να γίνει στις στρατηγικές είναι σε αμιγείς και μικτές. Μια αμιγής (καθαρή) στρατηγική είναι εκείνη στην οποία κάθε μια από τις δυνατές επιλογές που έχει ο παίκτης επιλέγεται στο ακέραιο. Δηλαδή κάθε παίκτης επιλέγει μια μόνο από τις δυνατές στρατηγικές του με πιθανότητα ίση με τη μονάδα. Αντίθετα μεικτή είναι η στρατηγική η οποία περιλαμβάνει συνδυασμό στρατηγικών οι οποίες επιλέγονται με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας. Επομένως μια μεικτή στρατηγική αποτελεί μια κατανομή πιθανοτήτων πάνω στις καθαρές στρατηγικές που έχει ο παίκτης.

Οι βασικές αρχές που διέπουν ένα στρατηγικό παίγνιο N παικτών, καθένας από τους οποίους διαλέγει μόνο μια στρατηγική που δεν αλλάζει είναι οι εξής:

- Οι δυο παίκτες είναι ορθολογιστές (Bernoulli 1738), δηλαδή επιλέγουν τις στρατηγικές που θα ακολουθήσουν με στόχο την προσωπική τους ευημερία, ανάλογα με τις επιλογές που τους δίνονται. Δρουν χωρίς συναισθηματική παρέμβαση παρά μόνο με τη λογική.
- Κάθε παίκτης "ξέρει" το παιχνίδι. δηλαδή γνωρίζει τον πίνακα πληρωμών και άρα όλες τις κινήσεις και αποδόσεις του παιχνιδιού. Γνωρίζει επίσης ότι και ο άλλος παίκτης τα γνωρίζει κ.ο.κ (Αρχή κοινής Γνώσης, common knowledge)
- Οι παίκτες επιλέγουν ταυτόχρονα στρατηγική, χωρίς να επικοινωνούν , χωρίς να συνεργάζονται και χωρίς να γνωρίζουν τις επιλογές στρατηγικών των αντιπάλων τους.
- Το παίγνιο παίζεται μόνο μια φορά

Για την καλύτερη κατανόηση της μορφής ενός παιγνίου παρατίθεται το παρακάτω παράδειγμα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΠΑΙΓΝΙΟ 2×2

	B1	B2
A1	6 , 6	-2 , 4
A2	0 , 1	0 , 0

Το παραπάνω παίγνιο είναι της μορφής 2×2 , δηλαδή έχει δυο στήλες επί δυο γραμμών και έχουμε δυο παίκτες, τον Α και τον Β. Ο παίκτης Α είναι ο παίκτης γραμμής στον οποίο αντιστοιχούν οι πρώτες τιμές ανά κελί. Ο παίκτης Β αντίστοιχα ονομάζεται παίκτης στήλης στον οποίο αντιστοιχούν οι δεύτερες τιμές ανά κελί. Α1 και Α2 αντίστοιχα είναι η πρώτη και η δεύτερη στρατηγική του παίκτη Α. Ομοίως Β1 και Β2 η πρώτη και η δεύτερη στρατηγική του παίκτη Β. Τα ζευγάρια τιμών ανά κελί που αντιστοιχούν στους δύο παίκτες, δείχνουν το κέρδος (όφελος, payoff) κάθε παίκτη για κάθε συνδυασμό στρατηγικών.

Όταν ξεκινάει το παιχνίδι, οι παίκτες διαλέγουν ταυτόχρονα μια στρατηγική. Το κελί που αντιστοιχεί στο σημείο τομής των δύο επιλογών δείχνει το κέρδος που θα έχει ο καθένας με αυτές τις επιλογές. Οι παίκτες όπως αναφέραμε είναι ορθολογιστές οπότε πριν πάρουν κάποια απόφαση για το ποια στρατηγική θα ακολουθήσουν, κοιτάνε ποια πραγματικά τους ωφελεί, με ποια δηλαδή θα έχουν το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος ό,τι και αν κάνει ο αντίπαλός τους. Σε αυτό το σημείο η επιλογή γίνεται με βάση την κυριαρχία των στρατηγικών.

Μια στρατηγική λέμε ότι είναι κυρίαρχη "dominant" εάν για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών των άλλων παικτών έχει το μεγαλύτερο όφελος σε σχέση με τις υπόλοιπες. Όποια στρατηγική και αν ακολουθήσει ο άλλος παίκτης, αυτή θα είναι πάντα η καλύτερη επιλογή και δεν θα υπάρχει λόγος αλλαγής της. Αντιθέτως μια στρατηγική ονομάζεται κυριαρχούμενη "dominated" όταν υπάρχει κάποια άλλη στρατηγική που είναι πάντα καλύτερη ό,τι και αν κάνει ο άλλος παίκτης.

Στο παραπάνω παράδειγμα παρατηρούμε ότι η κυρίαρχη στρατηγική για τον παίκτη Β είναι η Β1 αφού όποια από τις δυο στρατηγικές και αν επιλέξει ο παίκτης Α, για τον παίκτη Β θα είναι πάντα πιο συμφέρουσα η πρώτη (Β1).

Για τις στρατηγικές του παίκτη Α δεν ισχύει βέβαια το ίδιο. Αν ο Α ξέρει ότι ο Β θα επιλέξει την πρώτη του στρατηγική Β1, τότε ο ίδιος θα απαντήσει επιλέγοντας την Α1. Αντίθετα αν γνωρίζει ότι ο παίκτης Β θα επιλέξει την Β2 στρατηγική, ο ίδιος θα καταλήξει στην Α2 με το μεγαλύτερο δυνατό όφελος. Επομένως για τον παίκτη Α δεν υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική. Αν κάποιος παίκτης, στο παράδειγμά μας ο Β, βρεθεί με κυρίαρχη στρατηγική, την ακολουθεί και το παιχνίδι έχει λύση κυρίαρχης στρατηγικής. Αυτό βέβαια δεν είναι σίγουρο αφού δεν υπάρχουν πάντα κυρίαρχες στρατηγικές άλλα μπορεί να υπάρχουν ασθενείς κυριαρχίες

Μια στρατηγική κυριαρχεί ασθενώς εάν για κάθε μια από τις εναλλακτικές στρατηγικές του παίκτη έχει τουλάχιστον ίση απολαβή για όλους τους συνδυασμούς στρατηγικών των υπολοίπων παικτών. Όλες οι άλλες εναλλακτικές στρατηγικές ονομάζονται ασθενώς κυριαρχούμενες. Στο παραπάνω παίγνιο η στρατηγική Α1 κυριαρχεί ασθενώς της Α2 αφού $(6 > -2)$ και $(0 = 0)$.

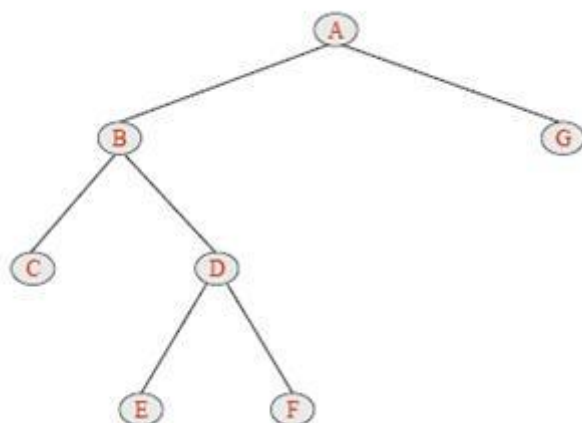
Η ισορροπία στο παίγνιο προκύπτει από την τομή των καλύτερων στρατηγικών και για τους δυο παίκτες. Αυτό συμβαίνει στο κελί (Α1,Β1) και άρα στη λύση (6,6).

2.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΙΓΝΙΩΝ

Η θεωρία παιγνίων μπορεί να χρησιμοποιήσει δύο τρόπους για την αναπαράσταση των παιγνίων. Ο ένας τρόπος είναι με μήτρες, δηλαδή με στρατηγική μορφή, η οποία αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή του παιγνίου και ο άλλος τρόπος είναι με δέντρα, δηλαδή με εκτεταμένη μορφή. Ας δούμε αναλυτικά τους δύο αυτούς τρόπους αναπαράστασης.

Η **κανονική μορφή** ή αλλιώς στρατηγική μορφή, είναι ο βασικός τύπος παιγνίου που μελετάται στα παίγνια μη συνεργασίας. Ένα παίγνιο σε στρατηγική μορφή παραθέτει τις στρατηγικές του κάθε παίκτη καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από όλους τους πιθανούς συνδυασμούς στρατηγικών ανά παίκτη. Αυτό μπορεί να παρουσιαστεί σε μορφή μήτρας, όπου κάθε γραμμή αφορά μια στρατηγική του Παίκτη I, ενώ κάθε στήλη αφορά μια στρατηγική του Παίκτη II. Ένα αποτέλεσμα αντιπροσωπεύεται από μια ανταμοιβή (payoff), η οποία είναι ξεχωριστή για κάθε παίκτη και είναι ένας αριθμός ο οποίος μετρά κατά πόσο συμφέρουσα είναι για τον παίκτη η επιλογή της συγκεκριμένης στρατηγικής.

Από την άλλη πλευρά, η αναλυτική ή **εκτεταμένη μορφή**, όπως ονομάζεται, είναι μια αρκετά λεπτομερής ανάλυση του παιγνίου. Πρόκειται για μια πλήρη περιγραφή για το πώς παίζεται ένα παίγνιο με την πάροδο του χρόνου, αποκαλύπτοντας όλες τις λεπτομέρειες αλληλεπίδρασης των παικτών. Τα παίγνια διαδοχικών κινήσεων απεικονίζονται με την προσομοίωση τους με ένα δένδρο χαρτογράφησης και ταξινόμησης εναλλακτικών επιλογών (game tree). Ακολουθεί ένα παράδειγμα δέντρου αποφάσεων:



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ Η ΔΕΝΔΡΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Το δένδρο συγκροτείται από τα παρακάτω συστατικά μέρη:

- Κόμβος αφετηρίας –έναρξης (initial node)
- Κόμβοι απόφασης (decision nodes)
- Τερματικός κόμβος (terminal node)
- Κλάδοι (branches)

Σε κάθε κόμβο απόφασης καταλήγει μόνο ένας κλάδος αλλά δύνανται να ξεκινούν περισσότεροι (Πετράκης).

Περιλαμβάνει την χρονική σειρά με την οποία οι παίκτες επιλέγουν στρατηγικές, τις πληροφορίες που έχουν στη διάθεσή τους καθ' όλη την διάρκεια του παιγνίου καθώς και την στιγμή που επιλύεται η αβεβαιότητα της κατάστασης. Ένα παίγνιο εκτεταμένης μορφής μπορεί να αναλυθεί άμεσα ή ακόμα να μετατραπεί εύκολα σε ισοδύναμο παίγνιο κανονικής μορφής (Fudenberg & Tirole, 1991).

2.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΑΙΓΝΙΩΝ

Τα παίγνια ταξινομούνται συχνά σε διάφορα είδη μέσω κριτηρίων. Τα κυριότερα κριτήρια ταξινόμησης παρουσιάζονται παρακάτω:

2.4.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΙΚΤΩΝ

Το πρώτο και βασικό κριτήριο, με το οποίου μπορούμε να ταξινομήσουμε ένα παίγνιο είναι ο αριθμός των παικτών που συμμετέχουν. Αν λοιπόν έχουμε δυο παίκτες τότε τα παίγνια ονομάζονται «παίγνια δυο παικτών», ενώ αν συμμετέχουν n παίκτες τότε ονομάζονται «παίγνια n παικτών» με $n > 2$.

2.4.2 ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΑ ΠΑΙΓΝΙΑ

Η παρουσία τουλάχιστον δυο ορθολογιστών παικτών είναι η ελάχιστη απαίτηση για να υπάρξουν φαινόμενα ανταγωνισμού και συνεργασίας. Η παρουσία παραπάνω παικτών ($n > 3$) συνεπάγεται την δυνατότητα σχηματισμού συνασπισμών. Την περίπτωση δηλαδή που μια ομάδα με δυο ή περισσότερους παίκτες προκειμένου να διεκδικήσουν συμφέροντά τους, ενώνουν τις δυνάμεις τους και συναρμονίζουν τις στρατηγικές τους. Έτσι προκύπτουν τα «παίγνια με ή άνευ συνεργασίας», μια ταξινόμηση που βασίζεται στο κατά πόσο οι παίκτες πριν παίξουν το παίγνιο μπορούν να μορφώσουν συνασπισμούς και να επιτύχουν δεσμευτικές συμφωνίες για τις στρατηγικές. Συνεργατικά παίγνια είναι αυτά που εξετάζουν καταστάσεις όπου τουλάχιστον δυο παίκτες ωφελούνται είτε συνεργαζόμενοι είτε επιμερίζοντας κάποιο κόστος. Στα μη συνεργατικά παίγνια οι παίκτες δεν μπορούν να συντονιστούν και να πάρουν μια κοινή απόφαση, διότι αποφασίζουν ταυτόχρονα. Έτσι όταν ο ένας παίκτης αποφασίζει δεν ξέρει τι έχει κάνει ο άλλος και αντίστροφα.

2.4.3 ΔΥΝΑΜΙΚΑ Η ΣΤΑΤΙΚΑ ΠΑΙΓΝΙΑ

Στατικά ονομάζονται τα παίγνια στα οποία οι παίκτες επιλέγουν την στρατηγική τους ταυτόχρονα χωρίς να γνωρίζουν ο ένας την πρόθεση του άλλου. Το παίγνιο παίζεται μόνο μια φορά και δεν υπάρχει επιλογή «βελτίωσης» στρατηγικής καθώς αφού παρθεί η απόφαση ακολουθείται μέχρι τέλους του παιγνίου. Γι' αυτό το λόγο τα συγκεκριμένα παίγνια ονομάζονται στατικά παίγνια ταυτόχρονων κινήσεων ή αλλιώς one-shot games.

Ωστόσο υπάρχουν και τα παίγνια στα οποία ο ένας παίκτης παίζει πριν τον άλλο, τα οποία ονομάζονται διαδοχικά ή δυναμικά παίγνια. Σ' αυτά τα παίγνια ο παίκτης που παίζει πρώτος έχει τον ρόλο του «ηγέτη», είναι αυτός δηλαδή που καθορίζει κατά κάποιον τρόπο το παιχνίδι. Αντίστοιχα ο παίκτης που παίζει δεύτερος ονομάζεται και «επακόλουθος».

2.4.4 ΠΑΙΓΝΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ

Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης των παιγνίων είναι ως προς τα χαρακτηριστικά των συναρτήσεων αμοιβής ή απώλειας. Έτσι σε παίγνια δύο παικτών, όπου η αμοιβή του ενός είναι ίση ή και προέρχεται από την απώλεια του άλλου, οι παίκτες βρίσκονται σε σύγκρουση και οποιαδήποτε συνεργασία είναι ανέφικτη. Αναφερόμαστε δηλαδή στην περίπτωση που οι παίκτες έχουν πλήρως αντιτιθέμενα συμφέροντα. Αυτή είναι και η ουσιαστική προϋπόθεση για την ανάπτυξη της θεωρίας των παιγνίων μηδενικού αθροίσματος. Σε περίπτωση όπου η προϋπόθεση αυτή δεν ισχύει, το παίγνιο δεν είναι μηδενικού αθροίσματος και η θεωρία δεν είναι εφαρμόσιμη. Τα παίγνια αυτά, δυο παικτών μηδενικού αθροίσματος, ονομάζονται παίγνια «σταθερού αθροίσματος» με το άθροισμα των αμοιβών να ισούται με μηδέν.

Ένα παίγνιο δυο παικτών μηδενικού αθροίσματος περιγράφεται συνήθως με έναν πίνακα αποτελεσμάτων ή πληρωμών, ο οποίος δείχνει ποιες πληρωμές πρέπει να γίνουν μετά την εύρεση της λύσης του παιγνίου.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΜΙΓΟΥΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ- ΚΡΙΤΗΡΙΟ MINIMAX MAXIMIN

Η βασική θεωρία είναι η εξής:

«Κάθε παίκτης επιλέγει μια στρατηγική που του δίνει την δυνατότητα να επιτύχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, δεδομένου ότι ο αντίπαλος γνωρίζει την στρατηγική που αυτός ακολουθεί».

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας αυτών των παιγνίων παρατίθεται το παρακάτω παράδειγμα.

Έστω ότι έχουμε ένα παίγνιο μεταξύ των παικτών Α και Β σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Σε κάθε κελί φαίνεται η ωφέλεια που θα έχει ο παίκτης Ι η οποία αντιστοιχεί στην στρατηγική γραμμής του παίκτη Ι και στη στρατηγική στήλης του παίκτη ΙΙ. Στόχος του κάθε παίκτη είναι με δεδομένη την επιλογή του αντιπάλου του να επιλέξει την ενέργεια που θα του αποφέρει την μεγαλύτερη ωφέλεια ή την μικρότερη ωφέλεια στον αντίπαλό του.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: MINIMAX-MAXIMIN

	B1	B2	B3	B4
A1	5	10	2	9
A2	6	7	17	8
A3	-2	1	8	12

Αν ο παίκτης Ι επιλέξει την στρατηγική Α1, τότε ο παίκτης ΙΙ θα πρέπει να επιλέξει την στρατηγική Β3, προσπαθώντας να κρατήσει όσο το δυνατόν μειωμένη την ωφέλεια του αντιπάλου του. Ομοίως αν ο παίκτης Ι διαλέξει την Α2, τότε ο παίκτης ΙΙ θα διαλέξει την Β1 αφού αυτή αντιστοιχεί στη χαμηλότερη ωφέλεια. Αν τέλος ο πρώτος διαλέξει την Α3, τότε ο δεύτερος θα πάει πάλι για την Β1 στρατηγική. Σ' αυτήν την περίπτωση, ο δεύτερος

παίκτης όχι μόνο προσπαθεί να μειώσει την ωφέλεια του πρώτου άλλα μ' αυτήν την ενέργεια τον οδηγεί σε ήττα ενώ ο ίδιος έχει για πρώτη φορά ωφέλεια.

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε ποιες είναι οι δυνατές ωφέλειες του παίκτη I αν παίξει πρώτος αυτός, αναλογικά με την απάντηση του αντιπάλου. Από τα αποτελέσματα των στρατηγικών, φαίνεται ότι για τον παίκτη I η πιο συμφέρουσα επιλογή είναι η στρατηγική A2 η οποία θα του αποδώσει 6 μονάδες ωφέλειας. Αυτή ορίζουμε και ως maximin τιμή, την μέγιστη δυνατή ωφέλεια από τις ελάχιστες που δύναται να προκύψουν. Αντίστοιχα η minimax είναι η χαμηλότερη τιμή στην οποία μπορεί να περιοριστεί ο αντίπαλός του.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: MINIMAX-MAXIMIN 2^ο ΣΤΑΔΙΟ

	B1	B2	B3	B4	min γραμμής
A1	5	10	2	9	2
A2	6	7	17	8	6
A3	-2	1	8	12	-2

maximin τιμή= 6

Αν παίξει πρώτος ο παίκτης II, ο πίνακας διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: MINIMAX- MAXIMIN 3^ο ΣΤΑΔΙΟ

	B1	B2	B3	B4	min γραμμής
A1	5	10	2	9	2
A2	6	7	17	8	6
A3	-2	1	8	12	-2
max στήλης	6	10	17	12	V=6

minimax τιμή = 6

Εάν ο παίκτης II θέλει να ελαχιστοποιήσει την απώλειά του θα επιλέξει την στρατηγική B1. Άρα η minimax τιμή είναι το 6 και δηλώνει την μικρότερη δυνατή απώλεια ή χασούρα από τις μέγιστες δυνατές που μπορεί να προκύψουν.

Στην περίπτωση μας η maximin και η minimax τιμές είναι ίσες, κάτι που ορίζει με ευκολία το σημείο ισορροπίας του παιγνίου. Επομένως για τον παίκτη I η βέλτιστη απόφαση είναι η επιλογή της A2 στρατηγικής, ενώ για τον παίκτη II η επιλογή της B1 στρατηγικής. Η πιθανή εφαρμογή μιας άλλης στρατηγικής από τον πρώτο παίκτη λ.χ., πέραν από το σημείο ισορροπίας, θα έχει απάντηση από τον αντίπαλο η οποία δυσχεραίνει την θέση του πρώτου. Το ίδιο ισχύει και αντίστροφα μιας και το σημείο ισορροπίας είναι εξίσου ισχυρό κίνητρο μη αλλαγής της στρατηγικής και για τους δυο παίκτες (Τσάντας).

Το σημείο ισορροπίας (οριακό σημείο) ονομάζεται τιμή του παιγνίου και παρατηρούμε ότι είναι το μεγαλύτερο στη στήλη του και το μικρότερο στη γραμμή του (σαγματικό σημείο).

Έτσι, σύμφωνα με το κριτήριο minimax, σε ένα πίνακα πληρωμών που αφορά τον παίκτη I (όπως ο παραπάνω), ο παίκτης I επιλέγει, εκείνη τη στρατηγική που θα του δώσει το μεγαλύτερο από τα ελάχιστα των γραμμών (maximin τιμή) και ο παίκτης II επιλέγει εκείνη τη στρατηγική που θα του δώσει το ελάχιστο από τα μέγιστα των στηλών (minimax τιμή). Η maximin τιμή ονομάζεται κατώτερη τιμή και η minimax ανώτερη τιμή του παιγνίου. Οι τιμές αυτές είναι συντηρητικές και αποτελούν κατά κάποιο τρόπο τα επίπεδα ασφαλείας των δυο παικτών (Πετράκης). Όταν οι δύο τιμές ταυτίζονται το παίγνιο έχει λύση με αμιγείς στρατηγικές και η λύση είναι σταθερή (stable) δηλαδή υπάρχει ένα μοναδικό σημείο ισορροπίας που δίνει την τιμή του παιγνίου.

Παίγνια αυτού του είδους λέγεται ότι είναι αυστηρώς προσδιορισμένα αφού η έκβασή τους είναι «προκαθορισμένη».

Το κριτήριο minimax-maximin θεωρείται ένας συντηρητικός τρόπος λήψεως απόφασης το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στα παίγνια μηδενικού αθροίσματος.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΙΚΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ

Στις μικτές στρατηγικές κάθε παίκτης ακολουθεί τις στρατηγικές του με βάση κάποια κατανομή πιθανοτήτων, ώστε να μεγιστοποιήσει το ελάχιστο προσδοκώμενο κέρδος του ή αλλιώς να ελαχιστοποιήσει τη μέγιστη προσδοκώμενη ζημία του. Αυτές οι ενέργειες γίνονται ανεξάρτητα από τις επιλογές του αντιπάλου του.

Παρατίθεται παράδειγμα μικτής στρατηγικής παρακάτω:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΙΚΤΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ MINIMAX-MAXIMIN

	B1	B2	B3	min
A1	0	2	4	0
A2	5	7	6	5
A3	6	3	7	3
max	6	7	7	6≠5

Στο παραπάνω παράδειγμα οι τιμές minimax και maximin δεν συμπίπτουν και επομένως δεν υπάρχει σημείο ισορροπίας (ασταθής λύση). Έτσι οι παίκτες δεν μπορούν να ισορροπήσουν σε ένα κοινό σημείο στο οποίο να ελαχιστοποιούν ταυτόχρονα τη μέγιστη προσδοκώμενη ζημία. Επομένως, γνωρίζοντας ο κάθε παίκτης την δομή του πίνακα παρατηρεί ότι για κάθε στρατηγική του αντιπάλου του υπάρχει πάντα μια καλύτερη απάντηση.

Θεώρημα minimax για τις μικτές στρατηγικές : Όταν εφαρμόζονται μικτές στρατηγικές, τότε για κάθε παίκτη υπάρχει πάντα μια άριστη μικτή στρατηγική, που οδηγεί σε σταθερή λύση (σαγματικό σημείο), από το οποίο κανείς δεν θέλει να μετακινηθεί δηλαδή κανένας παίκτης δεν μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω τη θέση του.

2.4.5 ΠΑΙΓΝΙΑ ΜΗ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΑΘΡΟΙΣΜΑΤΟΣ

Στα παίγνια γενικού μη μηδενικού αθροίσματος το κέρδος του ενός παίκτη δεν αντιστοιχεί απαραίτητα σε ζημία του άλλου. Έτσι μπορούν εύκολα να προκύψουν στοιχεία συνεργασίας ή ανταγωνισμού ανάμεσα στους παίκτες, καθώς και να προωθηθεί ο

σχηματισμός συνασπισμών από ομάδες παικτών με κοινά συμφέροντα. Τέτοια παίγνια παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς οι παίκτες θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδυάσουν στρατηγικές, να συνεργαστούν με άλλους παίκτες και να ορίσουν τα όρια της εμπιστοσύνης που μπορούν να δείξουν ο ένας στον άλλο. Η έννοια της εμπιστοσύνης είναι πολύ σημαντική σε αυτά τα παίγνια όπου υπάρχει η δυνατότητα να κερδίσουν ή να χάσουν μαζί και οι δύο παίκτες. Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί αυτή η σχέση εμπιστοσύνης ανάμεσα στους παίκτες σε ένα παίγνιο μη μηδενικού αθροίσματος το οποίο αναλύεται στη συνέχεια.

2.5 ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ NASH

Το θεώρημα που διατύπωσε ο Nash και έγινε γνωστό σε όλο τον κόσμο αναφέρει πως κάθε παίγνιο με πεπερασμένο πλήθος παικτών και ενεργειών έχει τουλάχιστον ένα σημείο ισορροπίας, σύμφωνα με το οποίο όλοι οι παίκτες επιλέγουν τις πιο συμφέρουσες για αυτούς ενέργειες, γνωρίζοντας και τις επιλογές των αντιπάλων τους. Οι παίκτες σκέφτονται τι μπορεί να διαλέξει ο αντίπαλός τους,, προσπαθούν να καταλάβουν την συμπεριφορά των άλλων και επιλέγουν την στρατηγική τους σύμφωνα με αυτό. Δηλαδή η στρατηγική ενός παίκτη αποτελεί την καλύτερη αντίδραση(απόκριση) στην στρατηγική του άλλου παίκτη. Αυτός ο συνδυασμός στρατηγικών αποτελεί την ισορροπία Nash.

Ο παίκτης επιλέγει εκείνη από τις δικές του στρατηγικές, η οποία είναι η καλύτερη απάντηση στην στρατηγική που νομίζει ότι θα επιλέξει ο άλλος παίκτης. Επομένως κανένας παίκτης δεν έχει κίνητρο να φύγει μονομερώς από αυτήν την ισορροπία που έχει δημιουργηθεί. Οι παίκτες καταλαβαίνουν πως βρίσκονται σε ισορροπία αν μια αλλαγή στις στρατηγικές από οποιονδήποτε από αυτούς, οδηγήσει σε χαμηλότερο κέρδος από αυτό που θα είχαν αν παρέμεναν στην σωστή στρατηγική. Δεδομένου των επιλογών των αντιπάλων, ο παίκτης δεν έχει να κερδίσει κάποιο μεγαλύτερο όφελος και για αυτό δεν αλλάζει στρατηγική. Με αυτήν ακριβώς την έννοια, η ιδέα του Nash σηματοδοτεί μια ισορροπία παιγνίου, δηλαδή εντοπίζει ένα σημείο στο οποίο θα ισορροπήσουν οι πράξεις και οι πεποιθήσεις των ορθολογικά σκεπτόμενων παικτών(Βαρουφάκης 2007).

Όπως είναι φανερό η θεωρία για την ισορροπία Nash, έχει δυο συνιστώσες: πρώτα κάθε παίκτης κάνει την επιλογή του βασιζόμενος στην ορθολογική απόφαση που προέρχεται από τις πεποιθήσεις του για το τι θα πράξει ο αντίπαλος και δεύτερον κάθε πεποίθηση του παίκτη για την επιλογή του αντιπάλου του είναι σωστή(Martin 2002).

Για την ευκολότερη κατανόηση της ισορροπίας Nash, παρατίθεται το παίγνιο του Διλήμματος του Φυλακισμένου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΤΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΟΥ ΚΡΑΤΟΥΜΕΝΟΥ

A \ B	B	
	B1	B2
A1	3 , 3	0 , 5
A2	5 , 0	1 , 1

Στο γνωστό παίγνιο του διλήμματος του φυλακισμένου το οποίο θα αναλυθεί λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο, οι τιμές του πίνακα αναφέρονται σε χρόνια κράτησης. Δεν είναι πίνακας πληρωμών άρα το συμφέρον του κάθε παίκτη είναι να ακολουθήσει την στρατηγική που θα του αποδώσει τα λιγότερα χρόνια στη φυλακή!

Ξεκινώντας από τον παίκτη A βρίσκουμε ποια στρατηγική θα επιλέξει σε συγκεκριμένη στρατηγική του αντιπάλου. Έστω ότι ο A πιστεύει ότι ο B θα επιλέξει την στρατηγική B1. Τότε προφανώς θα ακολουθήσει την A1 αφού τα 3 χρόνια φυλακή είναι σίγουρα καλύτερα από τα 5. Αν ο A πιστεύει πως ο B θα διαλέξει την B2 στρατηγική αυτός φυσικά θα προτιμήσει την A2 αφού τα χρόνια κράτησης θα είναι πολύ λιγότερα (μεγαλύτερο κέρδος).

Ύστερα από τις επιλογές του παίκτη A, κυκλώνοντας τις κυρίαρχες στρατηγικές του παίκτη A, ο πίνακας παρουσιάζεται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΠΑΙΓΝΙΟΥ

A \ B	B	
	B1	B2
A1	3 3	0 , 5
A2	5 , 0	1 1

Ομοίως εργαζόμαστε για τον παίκτη B. Αν αυτός νομίζει ότι ο A θα επιλέξει την A1 στρατηγική, θα προτιμήσει την B1 η οποία του αποδίδει τα λιγότερα χρόνια στη φυλακή. Αν ο B νομίζει πως ο A θα ακολουθήσει την A2 στρατηγική, θα προτιμήσει και πάλι την B1 αφού θα αφεθεί ελεύθερος! Σηματοδοτούμε τις κυρίαρχες στρατηγικές του παίκτη B με τετράγωνα και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΑΙΓΝΙΟΥ-ΚΥΡΙΑΡΧΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ

A \ B	B	
	B1	B2
A1	3 3	0 , 5
A2	5 0	1 1

Η ισορροπία Nash υπάρχει όταν η καλύτερη απόκριση του παίκτη A είναι ίδια με την καλύτερη απόκριση του παίκτη B, όταν δηλαδή οι εν δυνάμει επιλογές των παικτών

συνυπάρχουν στο ίδιο κελί. Στο παράδειγμά μας έχουμε μια ισορροπία Nash στο κελί $(A1, B1) = (3, 3)$

Δεν έχουν όλα τα παίγνια ισορροπία Nash, αλλά υπάρχουν και παίγνια που έχουν παραπάνω από μια ισορροπίες Nash.

Ο Nash κατάφερε επίσης να αποδείξει πως όλα τα πεπερασμένα παίγνια εμπεριέχουν τουλάχιστον ένα σύνολο μικτών στρατηγικών (μια ανά παίκτη) που συνιστά την ισορροπία Nash σε μικτές στρατηγικές (INMΣ). Όταν υπάρχουν πολλές ισορροπίες Nash (σε καθарές στρατηγικές), τη λύση δίνει η ισορροπία Nash σε μικτές στρατηγικές (Βαρουφάκης 2007). Ακόμη και αν δεν υπάρχει ισορροπία σε καθарές στρατηγικές, υπάρχει μια μοναδική ισορροπία σε μικτές στρατηγικές, κάτι που δίνει στις τελευταίες επιπρόσθετη αξία αφού σε οποιοδήποτε παιχνίδι μπορεί να βρεθεί ισορροπία, έστω και μικτής στρατηγικής (Δασκαλάκης 2008).

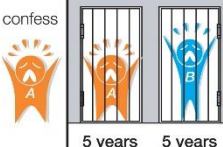


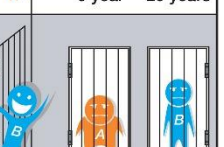
Σύμφωνα με τον Binmore (1987, 2011) υπάρχουν δυο σημαντικοί παράγοντες που καθιστούν την ισορροπία Nash τόσο σημαντική στον επιχειρηματικό κόσμο. Ο πρώτος προσδιορίζεται στην έννοια της λογικής λύσης ενός παιγνίου, δηλαδή οι παίκτες λαμβάνουν ορθολογικές αποφάσεις προσπαθώντας να αποκομίσουν την μέγιστη ωφέλεια από μια συνεργασία ή μια σύγκρουση. Ο δεύτερος παράγοντας είναι ότι η έννοια της ισορροπίας του Nash είναι εξελικτική. Εάν από ένα μεγάλο πλήθος, επιλέξουμε με τυχαίο τρόπο κάποιους παίκτες για να συμμετάσχουν σε ένα συγκεκριμένο παίγνιο, και εκτελέσουμε επαναληπτικά τη διαδικασία της τυχαίας επιλογής, τότε με την πάροδο του χρόνου οι βέλτιστες στρατηγικές των παικτών θα συγκλίνουν, ενώ δεν θα υπάρχουν διαφορές όταν το πλήθος προσεγγίσει το σημείο ισορροπίας του Nash. Το συγκεκριμένο φαινόμενο αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «μαζική δράση» (mass action). Αυτός είναι ο κύριος λόγος που η ισορροπία Nash έχει μεγάλη εφαρμογή στην εξήγηση των βιολογικών φαινομένων (Βλαχοπούλου, 2010).

Συμπερασματικά, η λύση διαπραγμάτευσης κατά Nash θεωρείται ως ένα από τα βασικότερα εργαλεία της μικροοικονομικής θεωρίας, κυρίως λόγω της μοναδικότητάς της.

2.6 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΑ ΠΑΙΓΝΙΑ

2.6.1 ΤΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ "PRISONER'S DILEMMA"

Prisoners' dilemma

	prisoner B	
	confess	remain silent
prisoner A	 5 years 5 years	 0 year 20 years
	 20 years 0 year	 1 year 1 year

© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

Τον Ιανουάριο του 1950 στην Καλιφόρνια, δυο Αμερικανοί μαθηματικοί, ο Merrill Meeks Flood και ο Melvin Dresher εργάζονται πάνω στη θεωρία παιγνίων για λογαριασμό της RAND Corporation σε ένα ερευνητικό κέντρο. Εκεί ανακαλύπτουν ένα απλό μαθηματικό μοντέλο σε μορφή παιγνίου, στο οποίο οι δυο παίκτες μπορούν είτε να συνεργαστούν μεταξύ τους είτε να προδώσουν ο ένας τον άλλον. Τον ίδιο χρόνο ο μαθηματικός Albert William Tucker καθηγητής του John Nash στο Princeton, χρησιμοποιεί σε μια διάλεξη στο πανεπιστήμιο του Stanford ένα παράδειγμα

με φυλακισμένους και ποινές με σκοπό να κάνει πιο κατανοητό στο κοινό το παίγνιο των Flood και Dresher. Από την διάλεξη του Tucker και έπειτα το παίγνιο ονομάζεται «Δίλημμα του Φυλακισμένου» και αποτελεί το πιο διάσημο πρόβλημα της θεωρίας παιγνίων.

Το παίγνιο έχει ως εξής:

Δυο ύποπτοι για κάποιο έγκλημα συλλαμβάνονται από τις αρχές και κρατούνται σε διαφορετικά κελιά. Έστω ότι πρόκειται για το διάσημο ζευγάρι κακοποιών Bonnie και Clyde. Η αστυνομία δεν έχει επαρκή στοιχεία για την ενοχή τους καθώς δεν συλλήφθηκαν επ' αυτοφώρω, αλλά είναι σίγουρη πως αυτοί διέπραξαν το έγκλημα.

Ελλείψει λοιπόν αποδεικτικών στοιχείων, τους προσφέρουν μια συμφωνία: αν ομολογήσουν και οι δυο πως διέπραξαν το έγκλημα θα φυλακιστούν για 5 χρόνια (μειωμένη ποινή λόγω συμμόρφωσης). Αν τώρα η Bonnie ομολογήσει το έγκλημα με ταυτόχρονη άρνηση του Clyde, τότε η ίδια θα αφεθεί ελεύθερη λόγω καλής θελήσεως για συνεργασία με τις αρχές και ο Clyde θα εκτίσει κανονικά την ποινή με 20 χρόνια φυλάκιση. Αντίστοιχα αν ομολογήσει Clyde με την Bonnie να αρνείται το έγκλημα, ο ίδιος αφήνεται ελεύθερος και ο Bonnie καταδικάζεται σε 20 χρόνια φυλακή. Στην τελευταία περίπτωση, αν αρνηθούν και οι δύο το έγκλημα τότε μετά από σύντομο χρονικό διάστημα παραμονής στη φυλακή, η αστυνομία θα αναγκαστεί να τους αφήσει ελεύθερους λόγω έλλειψης στοιχείων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9 : «ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ», BONNIE ΚΑΙ CLYDE

Prisoner's Dilemma	Clyde Confess	Clyde Remain Silent
Bonnie Confess	 5 years	 5 years
Bonnie Remain Silent	 20 years	 0 years

Ας έρθουμε τώρα στην θέση του Clyde. Έστω ότι η Bonnie παίζει πρώτη, δηλαδή ο ανακριτής την ανακρίνει πρώτη, ο Clyde ανάλογα με την απάντησή της έχει τις εξής δυνατές επιλογές: αν ομολογήσει η Bonnie τότε τον συμφέρει να ομολογήσει και ο ίδιος αφού θα εκτίσει ποινή μόλις 5 χρόνια συγκριτικά με τα 20 που θα έκανε στη φυλακή αν κράταγε το στόμα του κλειστό. Αν πάλι η Bonnie αρνηθεί τις κατηγορίες, τον συμφέρει και πάλι να ομολογήσει αφού σ' αυτήν την περίπτωση ο ίδιος αφήνεται ελεύθερος και δεν χρειάζεται να παραμείνει ούτε τον 1 χρόνο στη φυλακή αν αρνιόταν τις κατηγορίες και αυτός. Άρα ό,τι και αν αποφασίσει η Bonnie τον Clyde τον συμφέρει να ομολογήσει, αφού το διάνυσμα των ποινών της ομολογίας είναι και στις δυο περιπτώσεις μικρότερο απ' αυτό της άρνησης. Το ίδιο θα συνέβαινε κι αν έπαιζε πρώτος ο Clyde αφού το παιχνίδι είναι συμμετρικό.

Αν θεωρήσουμε λοιπόν ότι το ζευγάρι είναι ορθολογιστές τότε θα είμαστε σίγουροι ότι θα προβούν και οι δυο σε ομολογία και θα εκτίσουν 5ετή φυλάκιση. Είναι όμως σωστή αυτή η επιλογή; Κοιτάζοντας ο καθένας το συμφέρον του και ακυρώνοντας τις κυριαρχούμενες στρατηγικές του βλέπουμε ότι έπραξαν ορθά. Και οι δύο κοιτούν το ατομικό τους συμφέρον, έχοντας την ελπίδα ότι ο άλλος δεν θα μιλούσε και οι ίδιοι θα αφήνονταν ελεύθεροι. Οι παίκτες στο συγκεκριμένο παίγνιο τα θέλουν όλα για τον εαυτό τους. Να κερδίσουν όσο το δυνατόν περισσότερα ή έστω να υποστούν όσο δυνατόν λιγότερη ζημία. Ο εγωισμός τους όμως δεν τους οδήγησε στο βέλτιστο και για τους δυο αποτέλεσμα, στο να κρατήσουν και οι δυο το στόμα τους κλειστό και να αφεθούν ελεύθεροι μετά από σύντομη κράτηση. Εδώ παρατηρείται έντονα η έλλειψη εμπιστοσύνης.

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι αφήνουμε το ζευγάρι σε ένα δωμάτιο πριν γίνει η ανάκριση για να μιλήσουν και να φτιάξουν μια στρατηγική. Ας υποθέσουμε ότι αποφασίζουν μεταξύ τους να πάει ο καθένας χωριστά για ανάκριση. Στην περίπτωση αυτή το κίνητρο να ομολογήσει ο καθένας από τους δυο είναι ακόμα μεγαλύτερο δεδομένης της συμφωνίας του αντιπάλου για άρνηση των κατηγοριών. Για το λόγο αυτό, η προηγούμενη συζήτηση λέγεται cheap talk. Συζήτηση δηλαδή χωρίς νόημα, χωρίς ουσία αφού τις περισσότερες φορές δεν έχει κανένα αποτέλεσμα.

Η εμπιστοσύνη είναι ένα δεδομένο το οποίο είτε θα προϋπάρχει ανάμεσα στους παίκτες είτε δεν θα υπάρξει ποτέ. Δεν δύναται να δημιουργηθεί εν βρασμό, την τελευταία στιγμή πριν την ανάκριση. Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρει αρκετά η έννοια της εμπιστοσύνης και η ιδέα του αν μπορούμε με κάποιο τρόπο να ωθήσουμε τους Bonnie και Clyde σε αμοιβαία άρνηση, σε συνεργασία δηλαδή. Θα παρακολουθήσουμε παρακάτω έναν συλλογισμό για την προσπάθεια μεταφοράς του σημείου ισορροπίας

από το μη συνεργατικό (ομολογία, ομολογία)=(5,5), στο συνεργατικό (άρνηση, άρνηση)=(1,1).

Ας υποθέσουμε ότι ο ένας έχει πολύ μεγάλη θέληση για συνεργασία. Σκεπτόμενος όμως ότι ακόμα κι αν ο ίδιος έχει θέληση να συνεργαστεί, ο αντίπαλος θα έχει μεγαλύτερο κίνητρο να ομολογήσει. Οπότε τι κάνει ο πρώτος; Ομολογεί και αυτός! Ακόμα δηλαδή και ο ένας από τους δυο να έχει όλη την καλή διάθεση να συνεργαστεί δεν μπορεί εύκολα να ξεφύγει από τον φαύλο κύκλο. Εδώ υπεισέρχεται ο ρόλος της υπόθεσης του ορθολογισμού. Οι παίκτες είναι ορθολογιστές και ο καθένας ξέρει ότι ο άλλος θα δράσει με γνώμονα την μεγιστοποίηση της ευημερίας του, οπότε θα επιλέγει πάντοτε το πιο συμφέρον για τον ίδιο. Ωστόσο εδώ επέρχεται ο παράγοντας της αξιοπιστίας: υπάρχει έφεση προς συνεργασία με εκείνους που πιστεύουμε ότι έχουν την αντίστοιχη έφεση να συνεργαστούν. Από την άλλη η σιωπή σε τέτοιες κοινωνικές ομάδες αποτελεί ύψιστη τιμή και η απόφαση του να προδώσουν ο ένας τον άλλον είναι μάλλον ανορθόδοξη μ' αυτό το σκεπτικό. Μια άλλη περίπτωση που μεγιστοποιεί την πιθανότητα οι δυο ύποπτοι να μην ομολογήσουν, είναι μόνο αν έχουν ξαναπεράσει όλη αυτή την κατάσταση και γνωρίζουν πως δεν πρόκειται να προδοθούν. Εδώ έγκειται και η έννοια της προυπάρχουσας εμπιστοσύνης που αναφέραμε πρωτύτερα. Αυτή η ισορροπία λέγεται «υπο-παιγνιακή τέλεια ισορροπία Nash» όπου οι φυλακισμένοι έχουν μάθει να μην καρφώνουν ο ένας τον άλλο και έτσι ελαχιστοποιούν την συλλογική ποινή τους.

Όταν το δίλημμα του φυλακισμένου αφορά πάνω από δύο πρόσωπα ονομάζεται **free ride problem** (το πρόβλημα των τζαμπατζήδων). Έχει την ίδια δομή με το δίλημμα του φυλακισμένου αφού και εδώ η κυρίαρχη ατομική στρατηγική υπερέχει της κοινής λογικής. Αφορά όλες τις περιπτώσεις δημοσίων αγαθών (όλοι τα εκμεταλλεύονται άσχετα αν έχουν πληρώσει γι' αυτά, όπως για παράδειγμα η καθαρή ατμόσφαιρα) όπου η πρόσβαση δεν μπορεί να περιοριστεί σε αυτούς που έχουν πληρώσει και στους άλλους, τους τζαμπατζήδες, οι οποίοι δεν συνεισφέρουν αλλά τα χρησιμοποιούν (Παπαιωάννου 2014).

Το Δίλημμα του Φυλακισμένου έγινε ευρέως γνωστό στους επιστημονικούς κύκλους και απασχόλησε επιστήμονες από πολλούς και διαφορετικούς κλάδους. Οι οικονομολόγοι είδαν στα πρόσωπα των δυο φυλακισμένων τον *homo economicus*, τον άνθρωπο που συμπεριφέρεται έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει το κέρδος και να ελαχιστοποιήσει το κόστος. Οι φιλόσοφοι ασχολήθηκαν με τα ηθικά διλήμματα των παικτών. Το δίλημμα του φυλακισμένου έχει εφαρμογές στο δίκαιο, την ψυχολογία ακόμα και την βιολογία κάτι που κάνει εντύπωση για ένα απλό μαθηματικό παίγνιο.

ΤΟ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ο Αμερικανός μαθηματικός και πολιτικός επιστήμονας Robert Axelrod βρήκε στο Δίλημμα του Φυλακισμένου μια πιθανή απάντηση στο ερώτημα: υπό ποιες συνθήκες δυο θεμελιωδώς εγωιστικά όντα μπορούν να επιλέξουν να συνεργαστούν; Για να απαντήσει το ερώτημα εφάρμοσε το παίγνιο σε επανάληψη. Όπως είδαμε πρωτύτερα στην περίπτωση των Bonnie και Clyde το παίγνιο παίζεται μόνο μια φορά και άρα οι όποιες προσπάθειες για συνεργασία είναι μάταιες. Στο Επαναλαμβανόμενο Δίλημμα του Φυλακισμένου οι παίκτες έχουν τη δυνατότητα να μάθουν από τα λάθη τους και να επανορθώσουν, ανοίγοντας έτσι ένα παράθυρο στη στην αμοιβαία συνεργασία. Το 1979 καλεί τους σημαντικότερους θεωρητικούς των

παιγνίων να υποβάλλουν στρατηγικές, υπό τη μορφή προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, για να παίξουν το Επαναλαμβανόμενο Δίλημμα του Φυλακισμένου. Υποβάλλονται 14 στρατηγικές από ψυχολόγους, μαθηματικούς, κοινωνιολόγους και πολιτικούς επιστήμονες. Ο Axelrod βάζει τις διάφορες στρατηγικές να αναμετρηθούν μεταξύ τους. Νικητής του διαγωνισμού αναδεικνύεται ο Αμερικανοεβραίος μαθηματικός και ψυχολόγος Anatol Rapoport που δημιούργησε τον πιο απλό αλγόριθμο, τον Tit for Tat ή αλλιώς «μία σου και μία μου».

TIT FOR TAT

Η βασική αρχή που διέπει αυτή τη μέθοδο είναι :

- Η πρώτη κίνηση του παίκτη που ακολουθεί Tit for Tat είναι πάντα η συνεργασία
- Στη συνέχεια μιμείται την στρατηγική που ακολούθησε ο αντίπαλος στον προηγούμενο «γύρο» του παιγνίου.

Πρόκειται για τη μαθηματικοποιημένη μορφή της ιδέας: «οφθαλμός αντί οφθαλμού». Είναι μια στρατηγική δεσμευμένης συνεργασίας όπου ο παίκτης ξεκινάει με συνεργασία, σαν κίνηση καλής θέλησης, και έπειτα αντιγράφει την στρατηγική του αντιπάλου. Η “σοφία” αυτής της στρατηγικής έχει να κάνει με τον συνδυασμό αυστηρότητας απέναντι στους 22 αποστάτες(αφού τους τιμωρείς άμεσα) αλλά και ηπιότητας(αφού μέσα σε έναν γύρο μπορείς να τον συγχωρήσεις)(Βαρουφάκης 2007). Τελικά φαίνεται πως αυτός που δεν συμπεριφέρεται εγωιστικά, είναι αυτός που κερδίζει.

Ο Axelrod διοργάνωσε και ένα δεύτερο τουρνουά τον επόμενο χρόνο. Αυτή τη φορά υποβλήθηκαν 63 στρατηγικές. 62 καινούριες και η «μία σου και μία μου». Πολλές από αυτές ήταν παραλλαγές του «μία σου και μία μου». Η πιο πετυχημένη παραλλαγή ήταν η στρατηγική «μία σου και δυο μου» (Tit for Two Tats) του Βρετανού εξελικτικού βιολόγου και γενετιστή John Maynard Smith (1920-2004) όπου ο παίκτης προδίδει μετά από δύο συνεχόμενες προδοσίες. Όμως νικητής αναδείχθηκε και πάλι ο Rapoport.

Η «μία σου και δυο μου» διαφέρει από την αρχική στρατηγική ως εξής:

Όταν ο αντίπαλος δεν συνεργαστεί, η μία σου και δυο μου τον τιμωρεί λέγοντάς σου να αποστατήσεις για δυο συνεχείς γύρους(αντί για έναν), ακόμα κι αν ο αντίπαλος αποστατήσει μόνο για έναν γύρο. Ο λόγος για τον οποίο η στρατηγική αυτή αναμενόταν να δώσει καλύτερα αποτελέσματα από την στρατηγική «μία σου και μία μου» ήταν ότι, θεωρητικά είναι λιγότερο ευάλωτη στην αποτυχία συντονισμού μεταξύ των παικτών που προσπαθούν να συνεργαστούν αλλά το κάνουν με διαφορά φάσης μεταξύ τους, κι έτσι τότε συνεργάζεσαι εσύ την ώρα που ο άλλος αποστατεί, μετά αποστατείς εσύ και συνεργάζεται ο άλλος κ.ο.κ (Βαρουφάκης 2007).

2.6.2 ΠΑΙΓΝΙΟ ΓΕΡΑΚΙΟΥ- ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ (CHICKEN GAME)

Το παίγνιο του Γερακιού- Περιστεριού ή αλλιώς Παίγνιο του κοτόπουλου (Chicken Game), περιλαμβάνει ένα μείγμα σύγκρουσης και συνεργασίας. Και οι δυο πλευρές γνωρίζουν ότι το χειρότερο αποτέλεσμα θα προέλθει από την κατά μέτωπο σύγκρουσή τους. Αν η μια από τις δυο πλευρές υποχωρήσει, η σύγκρουση θα αποφευχθεί, αλλά η ίδια θα χαρακτηριστεί ως κοτόπουλο ή αλλιώς δειλή. Αναμφισβήτητα η απόφαση δεν είναι απλή αφού το κόστος της σύγκρουσης είναι αρκετά μεγάλο όπως και η στέρηση του κύρους ή η ένδειξη αδυναμίας από την άλλη πλευρά. Αν το δούμε μέσα από ένα παράδειγμα. Έστω δύο παιδιά η Λένα και ο Αντώνης βρίσκουν ένα παγωτό. Ο καθένας τους έχει μια βασική επιλογή: είτε να αρπάξει ολόκληρο το παγωτό (στρατηγική «γερακιού» γ), είτε να μην το αρπάξει (στρατηγική «περιστεριού» π). Αν και οι δυο επιλέξουν την γερακίσια (δηλαδή την επιθετική) συμπεριφορά, τότε θα τσακωθούν και το παγωτό θα πέσει στο έδαφος, με αποτέλεσμα να μην το γευτεί κανείς (ωφέλεια -10 και για τους δύο, όπου το αρνητικό πρόσημο αντανακλά ότι όχι μόνο δεν έφαγαν παγωτό αλλά ότι τσακώθηκαν κιόλας). Αν και οι δυο επιλέξουν την ήρεμη συμπεριφορά π, τότε θα μοιραστούν το παγωτό (έστω ότι σε αυτή την περίπτωση και οι δύο κερδίζουν 50 μονάδες ωφέλειας). Τέλος αν ο ένας παίξει γ και ο άλλος παίξει π, τότε ο πρώτος παίρνει όλο το παγωτό (και κερδίζει 90 μονάδες ωφέλειας) ενώ ο δεύτερος δεν παίρνει καθόλου παγωτό και καταλήγει να έχει μηδενική ωφέλεια (Βαρουφάκης 2007).

Το παραπάνω σκεπτικό αποτυπώνεται στον πίνακα οφέλους του παιγνίου που ακολουθεί

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 : ΓΕΡΑΚΙ – ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ (Η ΚΟΤΟΠΟΥΛΟ)

	γ	π
γ	-10 , -10	90 , 0
π	0 , 90	50 , 50

Φαίνεται καθαρά ότι η πιο συμφέρουσα λύση είναι αυτή της αμοιβαίας υποχώρησης υιοθέτησης του σκεπτικού του περιστεριού. Έτσι και οι δυο ωφελούνται εξίσου, απολαμβάνοντας μισό παγωτό και διατηρώντας καλές σχέσεις μεταξύ τους. Προκύπτουν οφέλη δηλαδή από κάποιο είδος συνεργασίας ή τουλάχιστον ενός συντονισμού που τους απομακρύνει από τη σύγκρουση. Από την άλλη το κίνητρο να δράσει κανείς επιθετικά είναι ισχυρό και ωθεί στη σύγκρουση. Αυτό εξαρτάται βέβαια και από την πιθανότητα πρόβλεψης των κινήσεων του αντιπάλου από μεριάς του εκάστοτε παίκτη. Αν δηλαδή ο Αντώνης ξέρει ότι η Ελένη δεν θα αρπάζε το παγωτό (θα έπαιζε π), τότε ο ίδιος έχει ισχυρό κίνητρο να παίξει γ και να έχει ωφέλεια 90. Το ίδιο θα συνέβαινε και αντίστροφα. Το ερώτημα που τίθεται είναι: θα αποφύγουν οι παίκτες την σύγκρουση; Η οποία είναι ασύμφορη όχι μόνο για την κατάληξη του παγωτού στο πάτωμα αλλά και για τον κλονισμό των μεταξύ τους σχέσεων. Εδώ μπαίνει το ζήτημα του συντονισμού της συμπεριφοράς, της συνεργασίας δηλαδή η οποία θα οδηγήσει είτε στην αμοιβαία υποχώρηση π, π είτε θα πάρει ο ένας όλο το παγωτό και ο άλλος καθόλου. Πρόκειται λοιπόν για ένα παίγνιο με δυο ισορροπίες Nash σε καθαρές στρατηγικές.

ΤΟ ΠΑΙΓΝΙΟ ΤΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

Έστω ότι έχουμε δυο επιχειρήσεις που αποφασίζουν ταυτόχρονα αν θα λανσάρουν μικρούς ή μεγάλους σκληρούς δίσκους.

Ο πίνακας ωφέλειας διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΠΙΝΑΚΑΣ ΩΦΕΛΕΙΑΣ

	M	μ
M	1, 1	-1, -1
μ	-1, -1	2, 2

Παρατηρούμε ότι αν οι δυο εταιρείες συντονιστούν στο ίδιο μέγεθος δίσκου πετυχαίνουν τα ίδια κέρδη ενώ αν διαλέξουν διαφορετικά μεγέθη, θα έχουν απώλειες λόγω ανταγωνισμού. Είναι προφανές λοιπόν ότι τους συμφέρει περισσότερο να προωθήσουν τους μικρούς σκληρούς δίσκους παρά τους μεγάλους αφού τα κέρδη τους θα είναι μεγαλύτερα. Εδώ εμφανίζεται η έννοια του συντονισμού αφού οι δυο εταιρείες έχουν κίνητρο να ακολουθήσουν την ίδια στρατηγική, δηλαδή να συνεργαστούν.

Εφαρμόζοντας την μέθοδο που αναπτύξαμε νωρίτερα, αναζητούμε τις ισορροπίες Nash στο συγκεκριμένο παράδειγμα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 12 : ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΜΕΝΕΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΕΣ

	M	μ
M	1, 1	-1, -1
μ	-1, -1	2, 2

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι έχουμε δυο συνδυασμούς στρατηγικών που είναι ισορροπίες Nash. Πως μπορούμε να διαλέξουμε πιο σημείο ισορροπίας είναι το «σωστό»;

Όταν συμβαίνει αυτό υπάρχει ένα επιχείρημα που λέγεται focal point (σημείο εστίασης). Στο συγκεκριμένο παίγνιο είναι ξεκάθαρο το σημείο ισορροπίας στο οποίο θα τείνουν και οι δύο ταυτόχρονα. Και αυτό διότι υπάρχει μια διαφορά στις πληρωμές που αποδίδουν οι μικρότεροι σκληροί δίσκοι. Άρα μια καλή ισορροπία είναι το $(\mu, \mu) = (2, 2)$, καλύτερη σίγουρα από την $(M, M) = (1, 1)$.

Στην περίπτωση όμως που τα κέρδη και των δυο επιλογών μεγέθους δίσκου ήταν τα ίδια τότε το παίγνιο μετονομάζεται σε «καθαρού συντονισμού».

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΠΑΙΓΝΙΟ ΚΑΘΑΡΟΥ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

	Μ	μ
Μ	1 , 1	-1 , -1
μ	-1 , -1	1 , 1

Εδώ τα πράγματα δυσκολεύουν και η λήψη απόφασης δεν είναι τόσο προφανής όπως πριν. Δεν υπάρχει κανένας τρόπος με την πρώτη ματιά να γίνει επιλογή κάποιας ισορροπίας. Μπορεί όμως να υπάρχει τέτοια κουλτούρα στη χώρα, όπου ο μικρός δίσκος να αρέσει περισσότερο, άρα τότε υπάρχει και πάλι focal point!

2.6.3 ΚΥΝΗΓΙ ΕΛΑΦΙΟΥ (STAG GAME)

Μια αρκετά ενδιαφέρουσα εκδοχή παιγνίου κατά την οποία εξέχουσα σημασία για την επίτευξη της βέλτιστης ισορροπίας κατέχει η αφοσίωση και η εμπιστοσύνη ανάμεσα στους παίκτες. Αυτά τα στοιχεία θέλει να αναδείξει η παρούσα εργασία ως βασικά δομικά στοιχεία ενός παιγνίου.

Το 1762 ο J.-J. Rousseau ασχολήθηκε με το πρόβλημα της συλλογικής παραγωγής όταν: (α) κάθε μέλος μιας κοινωνίας παραγωγών πρέπει να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών βαθμών αφοσίωσης σε ένα κοινό αγαθό και (β) η τελική αξία του αγαθού, το οποίο θα μοιραστεί μεταξύ των συνεταιριών – παραγωγών, θα είναι ανάλογη με την προσπάθεια των ελάχιστα αφοσιωμένων μελών της ομάδας. Πολλές φορές πράγματι, σε περιπτώσεις που ο κοινός σκοπός απαιτεί την προσήλωση όλων, αρκεί η ολιγωρία λίγων για να επέλθει μεγάλη απώλεια για όλους. Η συνεισφορά του Rousseau ήταν η σκέψη ότι, σε τέτοιες περιπτώσεις, το αν θα επιτευχθεί ο κοινός σκοπός ή όχι εξαρτάται ουσιαστικά από τον βαθμό της αισιοδοξίας μεταξύ των μελών της ομάδας. Αν πιστεύουν ότι θα επιτευχθεί, θα επιτευχθεί. Με άλλα λόγια αν εμπιστεύονται ο ένας τον άλλο έχουν ελπίδες να βγουν όλοι κερδισμένοι. Το παράδειγμα που χρησιμοποίησε ο Rousseau για να εξηγήσει αυτή τη σκέψη αναφέρεται σε μια ομάδα κυνηγών, ο καθένας εκ των οποίων έχει την εξής επιλογή: (α) να ενώσει τις δυνάμεις του με τους υπόλοιπους δημιουργώντας κλοιό γύρω από το ελάφι ώστε να το πιάσουν όλοι μαζί και έτσι να φάνε όλοι καλά. (β) να απέχει από την κοινή προσπάθεια, επιλέγοντας να κυνηγήσει ένα μικρότερο θήραμα π.χ. ένα λαγό, και να εξασφαλίσει έστω ένα μικρό γεύμα για τον ίδιο (δεν θα πεινάσει εντελώς).

Το πρόβλημα στην περίπτωση (α) είναι ότι η επιτυχία εξαρτάται από την αφοσίωση στο κοινό έργο του κάθε κυνηγού, αφού αρκεί να απέχει ένας κυνηγός για να ξεφύγει το ελάφι.

Ο πίνακας με τις αποδόσεις του παιγνίου ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ -ΚΥΝΗΓΙ ΕΛΑΦΙΟΥ (STAG GAME)

	Cooperate	Defect
Cooperate	3 , 3	0 , 2
Defect	2 , 0	1 , 1

Ο Amartya Sen το ονόμασε common assurance game(παιγνίο αμοιβαίας διαβεβαίωσης), επειδή, για να συντονιστούν στην πάνω δεξιά ισορροπία(όπως ποθούν), οι παίκτες πρέπει να ξεπεράσουν την έφεση να επιλέξουν την πρώτη τους στρατηγική, η οποία τους εξασφαλίζει θετικές αποδόσεις ό,τι και να πράξει ο αντίπαλος. Με άλλα λόγια, χρειάζονται αμοιβαία εμπιστοσύνη ή διαβεβαιώσεις ότι μια συνεργατική ισορροπία είναι εφικτή.

2.7 Η ΤΡΑΓΩΔΙΑ ΤΩΝ ΚΟΙΝΩΝ «TRAGEDY OF THE COMMONS”

Η έννοια της ισορροπίας Nash μπορεί να εφαρμοστεί στη μελέτη της τραγωδίας ή του προβλήματος των κοινών (the commons tragedy). Ως κοινά θεωρούνται οι πόροι ή τα αγαθά τα οποία είναι προσβάσιμα σε όλους και η τωρινή ή μελλοντική διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από την χρήση τους. Το πρόβλημα έγκειται στην υπερβολική χρήση των κοινόχρηστων πόρων της οποίας το όφελος κατευθύνεται σε λίγους ενώ το κόστος μοιράζεται σε πολλούς. Πρόκειται δηλαδή μιας αναλογίας για την σύγκρουση των ιδιωτικών συμφερόντων και του κοινού καλού στην διεκδίκηση των πόρων. Η τραγωδία των κοινών προσπαθεί να αναδείξει το πρόβλημα της ατομικής συμπεριφοράς απέναντι στα συλλογικά αγαθά. Όταν τα αγαθά δεν ανήκουν σε συγκεκριμένα άτομα αλλά σε όλους (κοινά), όπως ένας υπόγειος υδροφορέας, τότε η εκμετάλλευσή τους αποφέρει ατομικά πλεονεκτήματα αλλά κοινά μειονεκτήματα. Αυτό συμβαίνει διότι μπορεί ο καθένας να χαρεί την προσβασιμότητα στον πόρο, αλλά όταν έρθει η στιγμή της “πληρωμής”, δηλαδή της μείωσης της διαθεσιμότητάς του, τότε η ευθύνη και το χρέος βαραινουν όλους τους χρήστες ισότιμα. Ας πάρουμε την περίπτωση που ο πόρος είναι ένας υπόγειος υδροφορέας. Οι χρήστες μπορούν να είναι αγρότες οι οποίοι χρησιμοποιούν τον υδροφορέα προς άρδευση των χωραφιών τους στη γύρω περιοχή. Σε περίπτωση υπεράντλησης οι ίδιοι θα είναι κερδισμένοι από την διαθεσιμότητα του νερού και άρα την μεγαλύτερη παραγωγή και πώληση των προϊόντων τους. Όταν όμως μετά από την πάροδο κάποιων ετών, αρχίσει να μειώνεται αισθητά η στάθμη του υδροφορέα, να μειώνεται ο πόρος δηλαδή, τότε τις επιπτώσεις αυτές θα επωμιστούν όλοι οι χρήστες του υδροφορέα. Αυτοί που όντως ευθύνονται για την μείωση του πόρου καθώς και αυτοί που αν και έκαναν καλύτερη διαχείριση, ανήκοντας στο σύνολο καλούνται να υποστούν ισότιμα τις συνέπειες.

Το πρόβλημα σχετίζεται με την θεωρία παιγνίων, η οποία μελετά την αλληλεπίδραση και την προσπάθεια πρόγνωσης της συμπεριφοράς περισσότερων υποκειμένων, ως προς το πόσο διαφορετικοί μπορεί να είναι οι στόχοι της προσωπικής ευτυχίας και της συνολικής αποτελεσματικότητας (efficiency) και πώς αυτό επηρεάζει τη συμπεριφορά των ατόμων.

Η θεωρία αυτή βρίσκει εφαρμογή κυρίως στη διαχείριση πόρων, υλικών και άυλων. Ωστόσο εφαρμόζεται και εκτός των άλλων στη διανοητική εργασία, δικαιολογώντας την απονομή αποκλειστικών δικαιωμάτων σε άυλα αγαθά (πνευματικά δικαιώματα).

Έχει αναπτυχθεί και η αντίστροφη θεωρία, η οποία αναφέρεται στην τραγωδία των αντικοινών (tragedy of the anticommons) κατά την οποία η υπερβολική κατανομή των πόρων σε ιδιώτες οδηγεί στην εκμετάλλευση τους μόνο από τους δικαιούχους (ιδιώτες). Έτσι δεν μπορούν να χαρούν όλοι την διαθεσιμότητα του πόρου καθώς τα συμφέροντα των ιδιωτών μπορεί να συγκρούονται με αυτά του κοινωνικού συνόλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΩΡΙΑ ΠΑΙΓΝΙΩΝ – ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εσωτερική συνοχή και οι μαθηματικές βάσεις της θεωρίας παιγνίων την κάνουν ένα εξαιρετικό εργαλείο για τη μοντελοποίηση και το σχεδιασμό διαδικασιών λήψης αποφάσεων, οι οποίες είναι αυτοματοποιημένες και λαμβάνουν χώρα σε διαδραστικά περιβάλλοντα. Ως ένα μαθηματικό εργαλείο για την λήψη αποφάσεων, η δύναμη της θεωρίας παιγνίων είναι η μεθοδολογία που παρέχει τη διάρθρωση και την ανάλυση των προβλημάτων της στρατηγικής επιλογής. Η διαδικασία της τυπικής μοντελοποίησης μιας κατάστασης όπως ένα παίγνιο, απαιτεί από τον λήπτη αποφάσεων να απαριθμήσει με σαφήνεια τους παίκτες καθώς και τις στρατηγικές τους επιλογές, και να λαμβάνει υπόψη του τις προτιμήσεις και τις αντιδράσεις των παικτών. Η πειθαρχία που εμπλέκεται στην κατασκευή ενός τέτοιου μοντέλου έχει ήδη τη δυνατότητα του να παρέχει ο λήπτης αποφάσεων μια σαφέστερη και ευρύτερη άποψη της κατάστασης. Αυτή είναι μια «καθοδηγητική» εφαρμογή της θεωρίας παιγνίων που έχει ως στόχο τη βελτίωση της στρατηγικής της λήψης αποφάσεων (Turocy & Stengel, 2001).

Στη θεωρία αποφάσεων έχει καθιερωθεί η χρήση μιας σειράς από κριτήρια, έτσι ώστε ο αποφασίζων να επιλέγει σε κάθε περίπτωση το κριτήριο που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει σαν βάση για την επιλογή της απόφασης που θα υλοποιήσει (Hiller and Hillier, 1998).

(Α) Αποφάσεις κάτω από συνθήκες βεβαιότητας

Όταν μια απόφαση λαμβάνεται κάτω από συνθήκες βεβαιότητας, η διοίκηση γνωρίζει εκ των προτέρων ποια κατάσταση της φύσης θα εμφανιστεί, καθώς και τα αποτελέσματα κάθε εναλλακτικής λύσης. Έτσι θα επιλέξει τη λύση που του προσφέρει μεγιστοποίηση του κέρδους ή ελαχιστοποίηση του κόστους.

(Β) Αποφάσεις κάτω από συνθήκες κινδύνου

Με τον όρο «κίνδυνος» εννοείται ότι η διοίκηση που αποφασίζει, γνωρίζει εκ των προτέρων τις πιθανότητες εμφάνισης των διαφόρων καταστάσεων της φύσης και μπορεί να προσδιορίσει τα αποτελέσματα κάθε εναλλακτικής λύσης.

(Γ) Αποφάσεις κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας

Όταν σε ένα πρόβλημα είναι δυνατόν να εμφανιστούν διάφορες καταστάσεις φύσης, για την εξέλιξη των οποίων η διοίκηση που αποφασίζει δεν έχει καθόλου πληροφορίες ή έχει ασήμαντο αριθμό πληροφοριών, που δεν μπορούν να αποτελέσουν βάση για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων εμφάνισης των καταστάσεων αυτών της φύσης, τότε λέμε ότι η απόφαση γίνεται κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας.

Οι αποφάσεις κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας μπορούν να θεωρηθούν, σύμφωνα με τη θεωρία των Παιγνίων, σαν «παιγνία» και να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

- «Παιγνία» του ανθρώπου εναντίον της φύσης
- «Παιγνία» μεταξύ προσώπων

Επειδή η κατάσταση αβεβαιότητας είναι καθαρά υποκειμενική, τα κριτήρια που αναπτύχθηκαν για τη λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας αντανakλούν την υποκειμενική αξιολόγηση του διοικητικού φορέα για το περιβάλλον στα πλαίσια του οποίου αποφασίζει. Επομένως, η επιλογή του ενός ή του άλλου κριτηρίου για τη λήψη αποφάσεων εξαρτάται από την ιδιοσυγκρασία και υποκειμενική κρίση του διοικητικού φορέα που παίρνει την απόφαση.

Παρακάτω θα αναπτυχθεί το πολύ σημαντικό κριτήριο *minimax regret*, με βάση το οποίο μια απόφαση μπορεί να χαρακτηριστεί ως η βέλτιστη δυνατή δεδομένων συγκεκριμένων παραγόντων επιρροής.

3.2 MINIMAX REGRET

Το κριτήριο βασίζεται στη διαφορά που προκύπτει μεταξύ της απόφασης που λαμβάνεται και εκείνης που θεωρείται ότι θα επέφερε το μεγαλύτερο κέρδος κάτω από τις συνθήκες παραγόντων επιρροής. Επικεντρώνεται δηλαδή στην αποφυγή και ελαχιστοποίηση της μεταμέλειας η οποία οφείλεται στη λήψη μιας μη ιδανικής απόφασης. Η μεταμέλεια αυτή ή αλλιώς η απόκλιση από την ιδανική τιμή ονομάζεται κόστος ευκαιρίας (*opportunity loss*) και αποτυπώνει το κόστος που επιβαρύνεται η επιχείρηση από τη μη επιλογή κάποιας άλλης απόφασης. Η επιχείρηση που θα πρέπει να λάβει μια απόφαση θα πρέπει να αφαιρέσει το κέρδος που αντιστοιχεί σε κάθε συνδυασμό απόφασης και παράγοντα επιρροής από το μεγαλύτερο κέρδος όλων των ενδεχόμενων αποφάσεων. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται ο πίνακας κόστους ευκαιρίας (*opportunity loss table*).

Η γενική μαθηματική έκφραση υπολογισμού του κόστους ευκαιρίας για προβλήματα μεγιστοποίησης κερδών είναι:

$$R(d_i, s_j) = V^*(s_j) - V(d_i, s_j)$$

και για προβλήματα ελαχιστοποίησης κόστους διαμορφώνεται ως εξής:

$$R(d_i, s_j) = V(d_i, s_j) - V^*(s_j)$$

όπου:

- $R(d_i, s_j)$: το κόστος ευκαιρίας που σχετίζεται με την επιλογή της απόφασης d_i και τον παράγοντα s_j
- $V^*(s_j)$: η βέλτιστη ή ευνοϊκότερη απολαβή (payoff) όταν υπάρχει ο παράγοντας s_j .
- $V(d_i, s_j)$: η απολαβή που προκύπτει από τον συνδυασμό της απόφασης i και του παράγοντα s_j .

Αφού σχηματιστεί ο πίνακας κόστους ευκαιρίας, τότε πρώτα συγκεντρώνονται τα μεγαλύτερα της κάθε εναλλακτικής απόφασης και έπειτα επιλέγεται η απόφαση που αντιστοιχεί στο μικρότερο κόστος ευκαιρίας από αυτά.

Παράδειγμα εφαρμογής του κριτηρίου minimax regret

Έστω μια εταιρεία δύναται να ακολουθήσει δυο διαφορετικές στρατηγικές δεδομένου δυο διαφορετικών παραγόντων επιρροής. Στον πίνακα πληρωμών που ακολουθεί, αποτυπώνονται τα αποτελέσματα από όλους τους πιθανούς συνδυασμούς στρατηγικών και παραγόντων επιρροής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ (PAYOFF TABLE)

Παράγοντες	Στρατηγική d_1	Στρατηγική d_2
s₁	15	9
s₂	3	4

Με βάση τα παραπάνω λαμβάνεται ο πίνακας απώλειας ευκαιρίας αφαιρώντας κάθε αποτέλεσμα $R(d_i, s_j)$ από τη μέγιστη τιμή της γραμμής στην οποία ανήκει. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο κανόνας minimax στον πίνακα απώλειας ευκαιρίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΥΚΑΙΡΙΑΣ (REGRET MATRIX)

Παράγοντες	Στρατηγική d_1	Στρατηγική d_2
s₁	0	6
s₂	1	0
Minimax Regret	1 (minimax)	6

Μ' αυτόν τον τρόπο προκρίνεται η επιλογή της στρατηγικής d_1 η οποία αντιστοιχεί στο μικρότερο κόστος ευκαιρίας του πίνακα απωλειών.

3.3 BAYES RISK ANALYSIS

Σε πολλές αποφάσεις είναι απαραίτητο να γίνει σύγκριση μεταξύ του «κόστους» που θα προκύψει, εάν ληφθεί μια εσφαλμένη απόφαση, με τη δαπάνη συγκέντρωσης νέων πληροφοριών. Μια πολλή σημαντική προσέγγιση στο θέμα αυτό είναι αυτή της «θεωρίας αποφάσεων του Bayes» ή «ανάλυση του Bayes», που εισάγει μια διαδικασία, σύμφωνα με την οποία η διοίκηση μπορεί σταδιακά να βελτιώσει τις πληροφορίες που χρειάζεται, επομένως και τις πιθανότητες για τη λήψη αποφάσεων κάτω από τις συνθήκες κινδύνου αλλά και της αβεβαιότητας (Καρασαββίδου, 1986). Ακόμα και όταν αγνοούνται οι πιθανότητες, πάντα θα υπάρχει κάποια υπόνοια, υποψία ή διαίσθηση, τουλάχιστον ως προς το αν κάποιο ενδεχόμενο E_1 είναι πιο πιθανό από κάποιο άλλο ενδεχόμενο E_2 (Παναγιωτακόπουλος, 2008).

Η μέθοδος κατά Bayes αποτελεί μια συνεπή μέθοδο για την επικαιροποίηση παλαιότερων πεποιθήσεων και την συνεκτίμηση νέων πληροφοριών σε περιπτώσεις λήψης απόφασης υπό αβεβαιότητα. Είναι μια προσπάθεια ανάλυσης και αναθεώρησης των όποιον νέων στοιχείων προκύπτουν από διάφορες διαδικασίες, οι οποίες γίνονται με εντολή του αρμόδιου για τελική απόφαση (π.χ. δοκιμές, έλεγχοι) ή είναι νέες πληροφορίες που ανακαλύπτονται από τυχαία φαινόμενα. Με τη διαδικασία αυτή, οι αρχικές εκτιμήσεις για τις τιμές των πιθανοτήτων διαφόρων ενδεχομένων συνεχώς βελτιώνονται με την έννοια ότι στηρίζονται σε επιπρόσθετες πληροφορίες και αποκτούν επιπρόσθετη στατιστική αξιοπιστία.

Βασικό θεώρημα αυτής της ανάλυσης είναι το θεώρημα του Bayes, που αποσκοπεί στην αναπροσαρμογή των *a priori* (εκ των προτέρων) πιθανοτήτων, κάτω από το φως νέων πληροφοριών (π.χ. προβλέψεις βασιζόμενες σε υποκειμενική κρίση, η διενέργεια ενός πειράματος, έρευνας κ.λ.π.), σε *a posteriori* (εκ των υστέρων) πιθανότητες.

Σε σχέση με μια νέα πληροφορία z , που μπορεί να επηρεάζει κάποιο ενδεχόμενο E_i , διακρίνουμε τις εξής δυο πιθανότητες για το αν το ενδεχόμενο E_i θα γίνει γεγονός:

- την *a priori* (πρότερη) πιθανότητα $P(E_i)$, που θεωρούμε ως αποδεκτή πριν από την απόκτηση της νέας πληροφορίας z
- την *a posteriori* (ύστερη) πιθανότητα $P(E_i/z)$, που είναι η βελτίωση της *a priori* πιθανότητας, με βάση τη νέα πληροφορία.

Η *a posteriori* πιθανότητα ενός ενδεχομένου E_i υπολογίζεται με βάση τα θεωρήματα Bayes και Ολικής Πιθανότητας ως εξής:

$$P(E_i/z) = \frac{P(z/E_i) \times P(E_i)}{\sum_i [P(z/E_i) \times P(E_i)]}$$

Όπου $P(z/E_i)$: η πιθανότητα να ανακύψει η πληροφορία z όταν πράγματι συμβαίνει το E_i και

$P(z)$: η πιθανότητα να ανακύψει η πληροφορία $z = \sum_i P(z/E_i) \times P(E_i)$

Οι τιμές $P(z/E_i)$ εκφράζουν την αξιοπιστία της πληροφορίας z . Με άλλα λόγια, αναγνωρίζεται ως πιθανή η περίπτωση η νέα πληροφορία να είναι λανθασμένη. Ισχύει λοιπόν ότι:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Υστερη Πιθανότητα} \\ \text{του } E_i \text{ βάσει της} \\ \text{πληροφορίας } z \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Πρότερη} \\ \text{Πιθανότητα} \\ \text{του } E_i \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Αξιοπιστία} \\ \text{του } z \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{Σταθερά} \\ \text{Κανονικοποίησης} \end{array} \right\}$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η αξιοπιστία της νέας πληροφορίας z , τόσο περισσότερο βελτιώνεται η $P(E_i)$.

3.4 ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ- DECISION TREES

Στην Θεωρία Λήψης Αποφάσεων τα δεδομένα του κάθε προβλήματος ή περίπτωσης που απαιτείται η επιλογή κάποιας απόφασης, μπορούν να αναπαρασταθούν γραφικά. Αυτή η γραφική αναπαράσταση καθιερώθηκε να ονομάζεται Decision Tree (Δέντρο Αποφάσεων). Ένα decision tree είναι ένα υποστηρικτικό εργαλείο λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιεί μια γραφική απεικόνιση όμοια της μορφής δέντρου, συμπεριλαμβάνοντας όλες τις πιθανές αποφάσεις, όλους τους παράγοντες επιρροής και όλα τα πιθανά αποτελέσματα.

Τα δέντρα αποφάσεων έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν τους λήπτες αποφάσεων με ένα διαμήκη τρόπο λήψης αποφάσεων, για παράδειγμα, μια απόφαση μπορεί να ληφθεί, ένα πλήθος γεγονότων μπορεί να συμβούν, μια επακόλουθη- μεταγενέστερη απόφαση μπορεί να κριθεί απαραίτητη και ακόμα περισσότερα γεγονότα ίσως συμβούν. Τα δέντρα αποφάσεων με την μορφή της δομής τους παρέχουν στον λήπτη απόφασης την ευκαιρία, όταν διαγραφεί μια αρχική στρατηγική, να αναλογιστεί μια σειρά γεγονότων και επακόλουθων αποφάσεων που ίσως συμβούν ή είναι απαραίτητα. Ενθαρρύνει έτσι τον λήπτη να αναλογιστεί πέραν της αρχικής απόφασης και τις συνέπειες που την ακολουθούν.

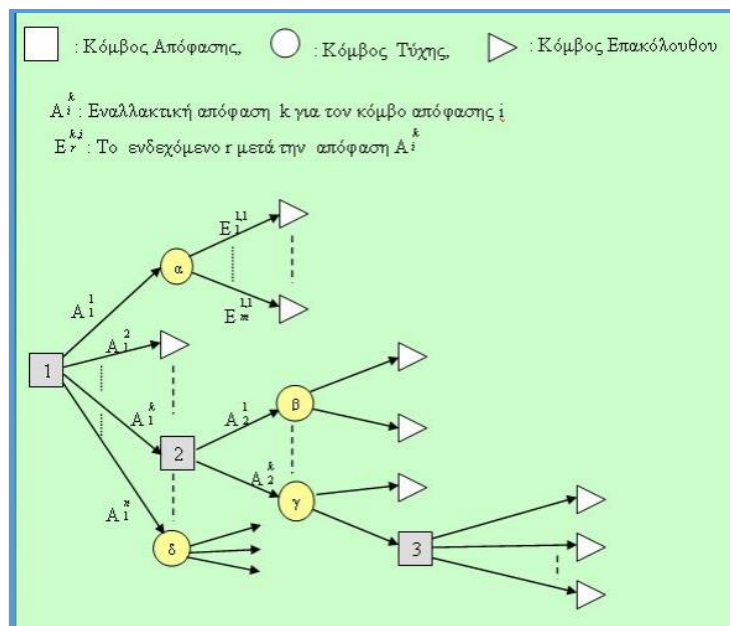
Επίσης η σειρά των γεγονότων αλλά και των αποφάσεων που ίσως λάβουν χώρα, μπορεί να συμβούν και να καλύψουν ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι τα δέντρα αποφάσεων μπορεί να φανούν χρήσιμα και για προβλέψεις. Όλες οι προβλέψεις γίνονται κάτω από τον παράγοντα της αβεβαιότητας ή αλλιώς χωρίς να είναι γνωστό τι πρόκειται να συμβεί.

Τα δέντρα αποφάσεων δομούνται με μια διαδικασία δύο βημάτων:

- Προς τα εμπρός πορεία, η οποία προϋποθέτει την ανάμιξη του λήπτη αποφάσεων στην ταυτοποίηση των αποφάσεων που πρέπει να ληφθούν, των γεγονότων που μπορεί να συμβούν καθώς και την σειρά αυτών των αποφάσεων και γεγονότων. Η προς τα εμπρός διάβαση αποκαλύπτει την δομή του προβλήματος καθώς επίσης στο στάδιο αυτό απαιτείται ο υπολογισμός των σχετικών απολαβών αλλά και των πιθανοτήτων που αφορούν τα μελλοντικά γεγονότα.
- Προς τα πίσω πορεία, η οποία σχετίζεται με την ανάλυση του προβλήματος απόφασης. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να υπολογισθούν οι προστιθέμενες αξίες (expected values) ξεκινώντας από πίσω και προχωρώντας προς τα εμπρός (η διαδικασία αυτή θα εξηγηθεί αναλυτικότερα παρακάτω) έως ότου οδηγηθούμε στην τελική απόφαση

Ένα δέντρο αποφάσεων αποτελείται από κόμβους και κλάδους. Υπάρχουν τρία είδη κόμβων:

- 1. Κόμβος απόφασης:** αντιστοιχεί σ' ένα πρόβλημα ή υπό-πρόβλημα απόφασης. Κάθε εναλλακτική απόφαση του αντίστοιχου προβλήματος παρουσιάζεται ως ένας κλάδος (κλάδος απόφασης) που εξερχόμενος από τον κόμβο αυτόν καταλήγει σε κόμβο τύχης ή σε άλλο κόμβο απόφασης ή σε κόμβο τελικού επακόλουθου
- 2. Κόμβος τύχης:** Στην περίπτωση που μετά από την λήψη μιας απόφασης (δηλαδή, την επιλογή μιας εναλλακτικής πορείας), ανακύπτουν τυχαία επακόλουθα ανάλογα με την έκβαση ενός τυχαίου φαινομένου, τότε ο κλάδος απόφασης καταλήγει σε ένα κόμβο τύχης. Από τον κόμβο τύχης εξέρχονται κλάδοι ενδεχομένων, ένας κλάδος για κάθε πιθανό ενδεχόμενο, οι οποίοι καταλήγουν σε ένα από τα τρία είδη κόμβων.
- 3. Κόμβος τελικού επακόλουθου:** Αυτός ο κόμβος δείχνει το τελικό επακόλουθο, το τέλος ή το αποτέλεσμα μιας σειράς αποφάσεων και μεσολαβούντων τυχαίων εκβάσεων ενός τυχαίου φαινομένου (Παναγιωτακόπουλος, 2008).



ΕΙΚΟΝΑ 5: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΕΝΤΡΟΥ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

(Πηγή εικόνας Παναγιωτακόπουλος, 2008)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η αύξηση των πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων, μέσω σχεδιασμού, υλοποίησης και βέλτιστης λειτουργίας έργων υποδομής και παρεμβάσεων διαχείρισης τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης, πχ. μέσω μέτρων εξοικονόμησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού.

Μια ορθολογική πολιτική ανάπτυξης οφείλει επίσης να λαμβάνει υπ' όψη της και τη διαχείριση ακραίων φαινομένων και κρίσεων όπως τα προβλήματα λειψυδρίας και πλημμυρών αλλά και πιο μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς στόχους, όπως η σε βάθος χρόνου προστασία των νερών και των σχετιζόμενων με αυτά οικοσυστημάτων, η βελτίωση της ποιότητας και της οικολογικής τους κατάστασης και βέβαια η σταδιακή μείωση απορριπτόντων ρυπαντικών ουσιών και η προοδευτική εξάλειψη τοξικών αποβλήτων. Ειδικότερα για την Ελλάδα αξίζει να σημειωθεί ότι η χώρα μας είναι μία σχετικά ευνοημένη υδρολογικά χώρα της Μεσογείου, αν και η αναντιστοιχία της χρονικής και κυρίως χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων με τις χρονικές και χωρικές κατανομές της ζήτησης έχουν δημιουργήσει στο παρελθόν και εξακολουθούν να δημιουργούν προβλήματα έλλειψης νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους ανομβρίας.

Ευρύτερα αποδεκτή είναι επίσης η διαπίστωση ότι, λόγω ευκολίας, η εκμετάλλευση των υπογείων νερών γίνεται με εντονότερο ρυθμό σε σύγκριση με την εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών καθώς στη δεύτερη περίπτωση είναι αναγκαίες σοβαρές και συχνά μακροχρόνιες επενδύσεις.

Αν και ο βαθμός ανάπτυξης των έργων αξιοποίησης των επιφανειακών νερών στη χώρα μας είναι σχετικά περιορισμένος και υπάρχουν πρόσθετες δυνατότητες θα πρέπει ωστόσο να γίνει κατανοητό ότι η γενικότερη τάση μείωσης των προς εκμετάλλευση πόρων είτε λόγω κλιματικών αλλαγών η/και λόγω της εντεινόμενης ρύπανσης των νερών σε συνδυασμό με τις υιοθετημένες και από τη χώρα μας αυστηρότερες Ευρωπαϊκές απαιτήσεις ως προς την προστασία των υδρόβιων οικοσυστημάτων, επιβάλλουν περιορισμούς και καθιστούν δαπανηρότερα τα αναπτυξιακά αυτά έργα. Κατά συνέπεια, είναι επιτακτική η ανάγκη να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στη διαχείριση της ζήτησης και να μην θεωρούνται πλέον ως δεδομένες οι παραδοσιακές καταναλώσεις, οι παραδοσιακές απώλειες, η αδιαφορία ως προς τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης καθώς και η παραδοσιακή μέθοδος κοστολόγησης και τιμολόγησης του νερού (ΥΠΕΚΑ).

4.1 ΘΕΩΡΙΑ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

4.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντιθέσεις και συγκρούσεις εμφανίζονται σε διάφορους τομείς στις διεθνείς σχέσεις, στην περιβαλλοντική διαχείριση και σε διαφορετικά επίπεδα από κρατικά έως ατομικά. Οι συγκρούσεις σε ζητήματα διάθεσης νερού δεν σχετίζονται μόνο με το κόστος και τα

αντικρουόμενα οφέλη, αλλά μπορούν να προκύψουν και από κοινωνικές και πολιτικές πτυχές του σχεδιασμού, της λειτουργίας και της διαχείρισης έργων ύδρευσης. Η εξομάλυνση των συγκρούσεων αυτών αποτελεί ένα πολύ σημαντικό θέμα προς λύση για την επίτευξη μιας βιώσιμης ανάπτυξης. Έτσι κατά την ανάλυση, λειτουργία ή σχεδιασμό ενός σύνθετου έργου, ο λήπτης της απόφασης πρέπει να διασφαλίσει ότι το έργο δεν είναι μόνο σωματικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά εφικτό αλλά επίσης κοινωνικά και πολιτικά αποδεκτό και αξιόπιστο.

Το ενδιαφέρον για την επίλυση των συγκρούσεων που προκύπτουν σε ζητήματα διαμοιρασμού υδάτινων πόρων έχει αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες και διάφορες μέθοδοι, ποσοτικές και ποιοτικές, έχουν προταθεί κατά καιρούς για την επίλυση των συγκρούσεων αυτών.

Η Θεωρία Παιγνίων έχει τη δυνατότητα να παρέχει ένα πλαίσιο για τη μελέτη στρατηγικών προς επίλυση συγκρούσεων τα οποία δεν λύνονται με συμβατικές μεθόδους όπως αυτές των υδάτινων πόρων. Όπως συμβαίνει και με άλλους επιστημονικούς χώρους (π.χ. οικονομία, πολιτικές επιστήμες, κοινωνικές επιστήμες) οι μελετητές που ασχολούνται με θέματα νερού θα εκτιμήσουν την χρησιμότητα της μεθόδου σε προβλήματα διαχείρισης υδάτων. Αυτό γιατί σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα της Θεωρίας Παιγνίων, είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, καθώς η μέθοδος αυτή αντικατοπτρίζει καλύτερα τις συμπεριφορές των εμπλεκόμενων φορέων, κάτι που συχνά παραμελείται από τις συμβατικές μεθόδους βελτιστοποίησης (Madani, 2010).

4.1.2 ΓΙΑΤΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ;

Συνήθως τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται με τη Θεωρία Παιγνίων είναι πολλαπλών κινήτρων ή πολλαπλής λήψης αποφάσεων. Τυπικά η τέλεια συνεργασία μεταξύ των φορέων για την επίτευξη βέλτιστης λύσης είναι δεδομένη. Ωστόσο, στη Θεωρία Παιγνίων, κάθε φορέας παίζει το παιχνίδι ώστε να επιτύχει τη βέλτιστη κατάσταση για τον εαυτό του, γνωρίζοντας ότι οι αποφάσεις των άλλων παικτών επηρεάζουν την αντικειμενική αξία του και ότι η απόφασή του επηρεάζει παράλληλα τις αποφάσεις και τα κέρδη των άλλων.

Το κύριο μέλημα των παικτών είναι να μεγιστοποιήσουν το δικό τους όφελος, γνωρίζοντας ότι το τελικό αποτέλεσμα είναι προϊόν όλων των αποφάσεων που έγιναν (Madani, 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

IRRIGANIA- ΕΝΑ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟ ΠΑΙΧΝΙΔΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΜΟ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο διαμοιρασμός των υδατικών πόρων συχνά συνεπάγεται ότι πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί μεταξύ διαφορετικών συμφερόντων. Το Irrigania είναι ένα παιχνίδι το οποίο δημιουργήθηκε γι' αυτό το σκοπό: να αυξήσει την επαγρύπνηση όσον αφορά θέματα διαμοιρασμού του νερού και να οξύνει τις δυνατότητες των χειριστών σε περιπτώσεις που εμπλέκονται χρήστες με διαφορετικά συμφέροντα και ανάγκες. Οι παίκτες άρα καλούνται να βρουν την ισορροπία ανάμεσα στο ατομικό και το συλλογικό συμφέρον μέσα από μια ζωντανή διαδικτυακή πλατφόρμα, με άμεση ανταπόκριση των χρηστών, καταχώρηση των κινήσεων των παικτών και προβολή των αποτελεσμάτων των τακτικών αμέσως μετά τη λήξη του παιχνιδιού.

5.2 Η ΙΔΕΑ ΤΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ

Το Irrigania είναι ένα διαδικτυακό παιχνίδι για την χρήση και τον διαμοιρασμό περιορισμένων υδατικών πόρων. Η ιδέα πάνω στην οποία χτίστηκε το παιχνίδι είναι ότι υπάρχουν διαφορετικά χωριά με κάποιο αριθμό αγροτών σε καθένα από αυτά. Ο κάθε αγρότης έχει στην κατοχή του 10 χωράφια τα οποία μπορεί να αποφασίσει πως θα τα χρησιμοποιήσει κάθε χρόνο. Υπάρχουν τρεις επιλογές: καλλιέργεια με νερό βροχής (rainfed agriculture), άρδευση με ποταμίσιο νερό (irrigation using river water) και άρδευση με υπόγειο νερό (irrigation using groundwater). Στόχος του κάθε αγρότη είναι να παράξει το μεγαλύτερο καθαρό εισόδημα. Αυτό θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες που μεταβάλλονται ανάλογα με τον τρόπο άρδευσης που έχει επιλέξει. Έτσι σημειώνονται διαφορετικά κόστη και έσοδα κάθε φορά, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1, τα οποία εξαρτώνται από έναν αριθμό μεταβλητών (λίστα παραμέτρων-πίνακας 5.2). Για παράδειγμα, η καλλιέργεια με νερό βροχής έχει πολύ χαμηλό κόστος (κανάλια διοχέτευσης των ομβρίων υδάτων στις περιοχές ενδιαφέροντος), αλλά αποδίδει τα λιγότερα έσοδα σε σχέση με τις άλλες επιλογές. Με την εφαρμογή της τακτικής άρδευσης η παραγωγή αυξάνεται τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, κάτι που αντανakλά σε υψηλότερα έσοδα, με ταυτόχρονα όμως υψηλότερα κόστη. Στην περίπτωση της άρδευσης με νερό από ανοιχτό αγωγό, το κόστος είναι σταθερό, αλλά το εισόδημα κυμαίνεται ανάλογα με την δυναμικότητα του αγωγού και τον αριθμό των εμπλεκόμενων χρηστών. Εάν δηλαδή ο αριθμός των αγροτών που αρδεύουν με νερό ποταμού είναι μεγάλος και το νερό θα πρέπει να διοχετευθεί σε πολλά χωράφια του χωριού, τότε αυτόματα μειώνεται η διαθεσιμότητά του καθώς και το κέρδος του κάθε παίκτη. Αυτό ισχύει δεδομένης της σταθερής ποσότητας νερού στον αγωγό. Στην περίπτωση της άρδευσης με υπόγειο νερό, τα έσοδα είναι σταθερά λόγω της σίγουρης διαθεσιμότητας του νερού σε σχέση με το ποτάμι. Ωστόσο το κόστος αυξάνεται ανάλογα με την πτώση στάθμης που σημειώνει ο υδροφορέας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΚΟΣΤΗ ΚΑΙ ΕΣΟΔΑ ΓΙΑ ΧΩΡΑΦΙΑ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΝΕΡΟΥ

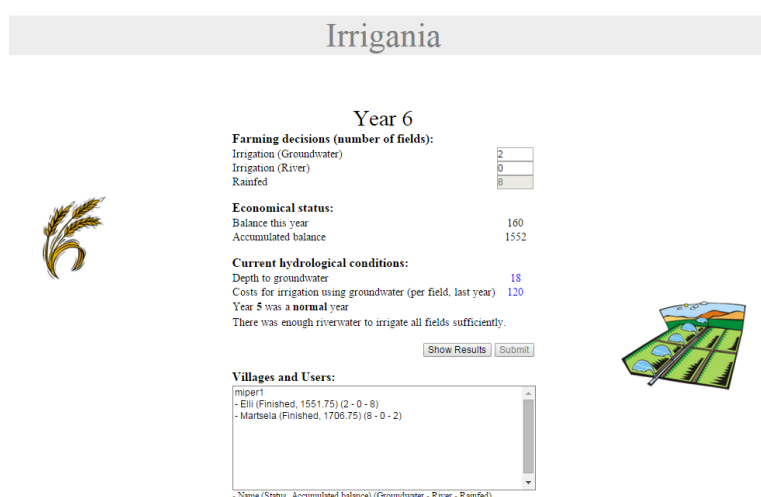
Type of water supply for field	Cost per field	Revenue per field
Rainfed	5	30 (normal year) 10(dry year) 40(wet year)
Irrigation with river water	20	100k
Irrigation with groundwater	$g < 8 : 20, g \geq 8 : 20 + (g - 8)$	100

$$\text{Όπου } k = \min \left[1, 1 - \frac{\frac{F_{river}}{n} - (1.5 + P)}{10 - (1.5 + P)} \right]$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 18 : ΕΞΗΓΗΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Μεταβλητές	Επεξήγηση
F_{River}	αριθμός χωραφιών αρδευόμενα με νερό ποταμού
F_{gw}	αριθμός χωραφιών αρδευόμενα με υπόγειο νερό
G	βάθος στάθμης υπόγειου υδροφορέα
N	αριθμός αγροτών ανά χωριό
P	Δείκτης βροχόπτωσης (normal year:1, dry year:0, wet year:2)

Ο παράγοντας μείωσης k αφορά στα έσοδα από χωράφια που αρδεύονται με νερό ποταμού. Περιορίζει την υπερβολική χρήση του νερού και υπολογίζεται με βάση τις συνθήκες βροχόπτωσης και τον αριθμό χωραφιών που αρδεύονται με νερό ποταμού (F_{river}). Αυτό υπονοεί ότι, σε ένα κανονικό χρόνο, τα έσοδα θα παρουσιάσουν τάσεις μείωσης αν υπάρχουν κατά μέσο όρο περισσότερα από 2,5 χωράφια αρδευόμενα με νερό από το ποτάμι, ανά αγρότη.



ΕΙΚΟΝΑ 6: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ IRRIGANIA

Η μείωση είναι γραμμική, πράγμα που σημαίνει ότι τα έσοδα θα μειώνονται με σταθερό ρυθμό αν το F_{river} είναι υπερβολικά μεγάλο. Για τον κάθε αγρότη χωριστά όμως, είναι

ωφέλιμο να αρδεύονται λίγο παραπάνω από 2,5 χωράφια με νερό ποταμού (μια κανονική χρονιά), αφού η γραμμική πτώση των εσόδων ανά χωράφι αντισταθμίζεται με τον μεγαλύτερο αριθμό χωραφιών συνολικά (άρα και περισσότερα έσοδα).

Όσον αφορά στο υπόγειο νερό, το όριο ασφαλείας που θέτει το πρόγραμμα είναι διαφορετικό από 2,5 χωράφια ανά αγρότη. Η στάθμη του υπογείου νερού g τον χρόνο t , εκφρασμένη ως βάθος μέχρι το υπόγειο νερό, ανανεώνεται με βάση τις συνθήκες βροχόπτωσης και τον αριθμό χωραφιών που αρδεύονται με υπόγειο νερό (F_{gw}).

$$g_t = \max \left[0, g_{t-1} - P - 0,5 + \frac{F_{gw}}{n} \right]$$

Η παραπάνω εξίσωση υποδεικνύει ότι, υπό φυσιολογικές συνθήκες βροχόπτωσης, η στάθμη του υπογείου νερού θα πέσει αν κατά μέσο όρο αρδεύονται περισσότερα από 1,5 χωράφια ανά αγρότη με υπόγειο νερό. Τα όρια αυτά δεν είναι απόλυτα, λαμβάνοντας υπόψιν ότι μια μικρή απόκλιση κατά ένα χωράφι, δεν δύναται να προκαλέσει ζημιогόνες επιπτώσεις στα κέρδη. Οποιαδήποτε υπερβολική χρήση νερού του ποταμού έχει άμεση περιβαλλοντική επίπτωση, αντίθετα με την υπεράντληση του υπογείου υδροφορέα κατά την οποία οι επιπτώσεις είναι ορατές μακροπρόθεσμα. Επιπλέον για το νερό του ποταμού μια κακή χρήση τη μια χρονιά δεν επιβαρύνει την επόμενη ως επίπτωση μνήμης, κάτι που ισχύει κατά κόρων στην άντληση υπογείου νερού.

Στην περίπτωση της άρδευσης με υπόγειο νερό, η υπερβολική χρήση των υδάτινων πόρων οδηγεί σε δύσκολα αναστρέψιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τις οποίες η στάθμη του υπογείου νερού μπορεί να πάρει αρκετά χρόνια για να επανέλθει. Έτσι λοιπόν θα πρέπει να καλλιεργηθεί η διάθεση συνεργασίας και περιβαλλοντικής συνείδησης προκειμένου να κερδίσει κανείς το παιχνίδι.

Στόχος του κάθε αγρότη είναι η νίκη, για την οποία θα πρέπει να έχει τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τους άλλους αγρότες του ίδιου χωριού. Επομένως ο κάθε παίκτης χρειάζεται να βρει μια ισορροπία ανάμεσα στις δυο του ιδιότητες. Ως μέλος μιας ομάδας (χωριό), με συνέπεια την στήριξή της και τον περιορισμό της υπερκατανάλωσης των πόρων της και ως άτομο το οποίο αποζητά τη νίκη και επομένως δεν διστάζει να ακολουθήσει τακτικές μη συμφέρουσες προς το "γενικό καλό" αν αυτές αυξήσουν τα δικά του έσοδα.

Με άλλα λόγια, οι αγρότες που θέλουν να κερδίσουν θα πρέπει να χτίσουν ένα γεφύρωμα μεταξύ των αισθημάτων συνεργασίας και ανταγωνισμού που προκύπτουν μέσα στην ομάδα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο παιχνίδι δεν υπάρχει άμεση αλληλεπίδραση μεταξύ των χωριών όσον αφορά στη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Το ενδιαφέρον στοιχείο με την ύπαρξη διαφορετικών χωριών είναι ότι προκειμένου να κερδίσει το παιχνίδι ένας αγρότης δεν αρκεί να είναι ο καλύτερος στο χωριό του. Θα πρέπει όμως να συνεργαστεί και με τους άλλους αγρότες του χωριού του προκειμένου να είναι καλύτεροι ως ομάδα, σε σχέση με τους αγρότες των άλλων χωριών. Έτσι τα διαφορετικά χωριά (ομάδες) μπαίνουν στη διαδικασία να διαχειριστούν τους πόρους όσο αποδοτικότερα γίνεται προάγοντας την βιωσιμότητα και την αειφορία τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ



Η πεδιάδα της Μεσσαράς, έκτασης 116 km², καλύπτει μια επιμήκη περιοχή με 50 km μήκος και πλάτος που δεν ξεπερνά τα 7 km, του νοτιοδυτικού μέρους του νομού Ηρακλείου

Κρήτης. Βόρεια συνορεύει με την οροσειρά του Ψηλορείτη με υψόμετρο που κυμαίνεται από τα 2.200-600m από τα δυτικά προς τα ανατολικά και νότια με την οροσειρά των Αστερουσίων με υψόμετρο που κυμαίνεται από 600-1200 m από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Αυτή η μεγάλη έκταση εδάφους αποτελούσε κάποτε ένα κομμάτι του Αιγαίου το οποίο μετατράπηκε σε μία Ιουρασική λεκάνη καθώς περιτειχίστηκε από βουνά στο βορρά και στο νότο, σχηματίζοντας ένα φυσικό λιμάνι. Έπειτα, μόλις 34 αιώνες πριν, το νερό άρχισε βαθμιαία να υποχωρεί, ισχυροί σεισμοί ανύψωσαν την τεκτονική πλάκα, για να σχηματιστεί η εύφορη κοιλάδα της Μεσσαράς, ο κήπος της Κρήτης. Οι υδατικές αρτηρίες της πεδιάδας είναι ο Γεροπόταμος, που την διασχίζει εκβάλλοντας στον κόλπο της Μεσσαράς καθώς και οι δυο παραπόταμοι Κουτσουλίδης και Μάγερας. Τα τελευταία χρόνια το κυριότερο πρόβλημα της περιοχής είναι η λειψυδρία, καθώς οι βροχές είναι περιορισμένες. Γι' αυτό κατασκευάστηκε το φράγμα της Φανερωμένης, δημιουργώντας μια τεχνητή λίμνη για τις ανάγκες της περιοχής σε άρδευση.

Η πεδιάδα είναι πολύ εύφορη και πάντοτε αποτελούσε τον κυριότερο σιτοβολώνα της Κρήτης. Το θερμό κλίμα σε συνδυασμό με το γόνιμο έδαφος, συνεισφέρουν στην καλλιέργεια πρώιμων κηπευτικών, ελιάς και εσπεριδοειδών.

Στην Μεσσαρά καλλιεργούνται κυρίως ελαιώνες 75%, λιγότερο αμπέλια 10% και κηπευτικά 15%. Οι ελαιώνες καταλαμβάνουν κατά κανόνα τις περιοχές επίπεδης γης, ενώ τα αμπέλια σε πολύ μικρότερη παραγωγή τοποθετούνται κυρίως νοτιοανατολικά των Μοιρών και βορειοανατολικά της λεκάνης απορροής. Μέρος των προϊόντων που παράγονται, διατίθενται στην εσωτερική αγορά ενώ γίνονται και εξαγωγές ελαιόλαδου, φρέσκων σταφυλιών και άλλων προϊόντων στις αγορές της Ευρώπης.

Υδρολογία -Υδρογραφία

Το ισχυρό ανάγλυφο του Υδατικού Διαμερίσματος της Κρήτης, οι μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η έκταση του νησιού και η πολύπλοκη γεωλογική δομή του δημιουργούν ποικιλία στη διακίνηση του νερού τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου. Ως αποτέλεσμα αυτών παρατηρείται η ανάπτυξη πολλών μικρών υδρολογικών λεκανών που η έκτασή τους όμως δεν ξεπερνά τα 600km². Το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, χειμαρρώδους χαρακτήρα παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση των παροχών του. Λίγα είναι τα ρέματα που διατηρούν ροή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου

(Γεροπόταμος, Πλατανιάς Χανίων και Κρουταλιώτης Ρεθύμνου) και τροφοδοτούνται κυρίως από πηγαία νερά.

Οι δυο μεγαλύτερες υδρολογικές λεκάνες του νησιού, του Γεροπόταμου και του Αναποδιάρη έκτασης 525 και 600,6 km² αντίστοιχα, βρίσκονται στην περιοχή της Μεσσαράς. Οι δυο λεκάνες αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο σε νεογενείς και σύγχρονες αποθέσεις. Εξ αιτίας του πεδινού τμήματος των εκτεταμένων καλλιεργειών, και των υψηλών θερμοκρασιών που συναντώνται εκτιμάται ως μικτή απορροή των δυο λεκανών το 10-12% των βροχοπτώσεων που σημαίνει περίπου 25×10^6 m³/ετησίως για τον Γεροπόταμο και 35×10^6 m³/ετησίως για τον Αναποδιάρη.

Οι ανώτατες χειμερινές παροχές των υδρορροών του Γεροπόταμου και του Αναποδιάρη είναι 10.000 m³/h και 10.000-12.000 m³/h αντίστοιχα.

Η πεδιάδα της δυτικής Μεσσαράς (υδρολογική λεκάνη Γεροπόταμου), η οποία εκτείνεται από το Ασήμι μέχρι τη Φαιστό, αποτελεί τη σημαντικότερη αγροτική περιοχή της Κρήτης. Όλη η αγροτική οικονομία σήμερα της περιοχής στηρίζεται στα υπόγεια νερά της. Ο υδροφορέας καταλαμβάνει το κεντρικό τμήμα της λεκάνης, έχει έκταση περίπου 100 km² και δέχεται μέσο ύψος βροχής 650 mm. Ο υπόγειος υδροφορέας άρχισε να εκμεταλλεύεται από το 1970 με την ανόρυξη των πρώτων γεωτρήσεων στα πλαίσια του προγράμματος FAO (Food and Agricultural Organization, 1972), μετατρέποντας την έως τότε ξηρή καλλιέργεια της ελιάς σε στάγδην αρδευόμενη καλλιέργεια (Donfa, 2006). Η εκμετάλλευσή του άρχισε βαθμιαία να αυξάνει και μετά το 1981 άρχισε η υπερεκμετάλλευσή του και η πτώση του υδροφόρου ορίζοντα σε συνδυασμό με την αύξηση της παραγωγής. Ο υδροφορέας αυτός διακρίνεται σε μικρότερες λεκάνες, οι οποίες όμως επικοινωνούν υδραυλικά μεταξύ τους. Λόγω της σπουδαιότητας του υδροφορέα έχουν εγκατασταθεί τρεις σταθμοί στις θέσεις Ασήμι, Μοίρες και Πόμπια.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική πτώση στάθμης των υδροφορέων ως αποτέλεσμα των αυξημένων αντλήσεων αλλά και της μειωμένης αναπλήρωσης.

Πιο συγκεκριμένα: (α) στη λεκάνη Ασημίου παρατηρείται η συνεχής πτώσης στάθμης του υδροφορέα της τάξης των 15 περίπου μέτρων από το 2005 έως το 2008, (β) στη λεκάνη Μοιρών έχει παρατηρηθεί σημαντική πτώση στάθμης τα τελευταία τέσσερα χρόνια και (γ) στη περιοχή της Πόμπιας παρατηρείται άνοδος της στάθμης κατά την διάρκεια του έτους 2009 κατά 10 περίπου μέτρα σε σχέση με το προηγούμενο, γεγονός που οφείλεται στο πρόγραμμα εμπλουτισμού που πραγματοποιείται στην περιοχή [39] (Κριτσωτάκης, 2013).

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται οι περιοχές για τις οποίες ισχύουν απαγορευτικά μέτρα αναφορικά με την αξιοποίηση των υδατικών πόρων της Κρήτης βάσει της αρ. 1595/30-06- 2009 απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας Κρήτης (ΦΕΚ 1333/Β' /3-07-2009), «Περιοριστικά και λοιπά ρυθμιστικά μέτρα, στις χρήσεις και τη λειτουργία των έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων, με στόχο την προστασία και τη διαχείριση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής της Κρήτης».



ΕΙΚΟΝΑ 7: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΑ ΙΣΧΥΟΝΤΑ ΑΠΑΓΟΡΕΥΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ¹

¹Περιφέρεια Κρήτης, Γενική Διεύθυνση Περιφέρειας, Διεύθυνση Υδάτων, Τμήμα Παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων, Κατάσταση υπογείων υδροφορέων Κρήτης, Νοέμβριος 2009

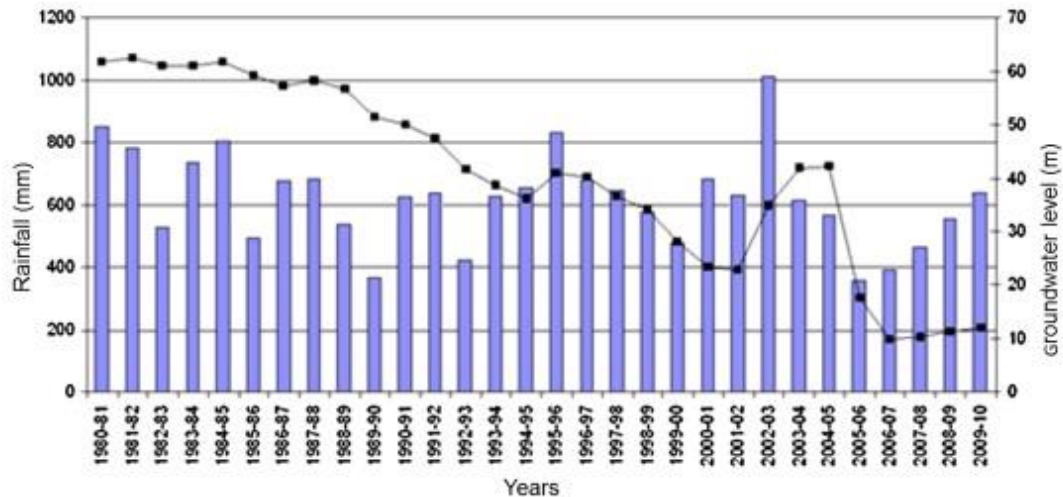
Η δυναμικότητα του υδροφορέα δεν μπορεί εύκολα να υπολογιστεί με ακρίβεια, αλλά σε μια προσπάθεια της Οργάνωσης των Ηνωμένων Εθνών για την Διατροφή και την Γεωργία (FAO, 1972), εκτιμήθηκε περίπου στα 86Mm³ με βάση τα δεδομένα γεώτρησης. Η παρούσα δυναμικότητα του υδροφορέα είναι σίγουρα μικρότερη (λόγω της σημαντικής άντλησης των υπογείων υδάτων) και εκτιμάται στα 55Mm³ περίπου (Κριτσωτάκης και Τσάνης 2009). Ο υδροφορέας τροφοδοτείται κατά κύριο λόγω από την κεντρική υδροφόρα αρτηρία του Γεροποτάμου και από μια δευτερεύουσα, τον Ληθαίο στο ανατολικό τμήμα.

Τα μέγιστα επίπεδα στάθμης του υπόγειου υδροφορέα σημειώνονται κατά την περίοδο Μαρτίου- Απριλίου, με σημαντικές πτώσεις στάθμης τους θερινούς μήνες έως ότου επανέλθει η χειμερινή τροφοδοσία.

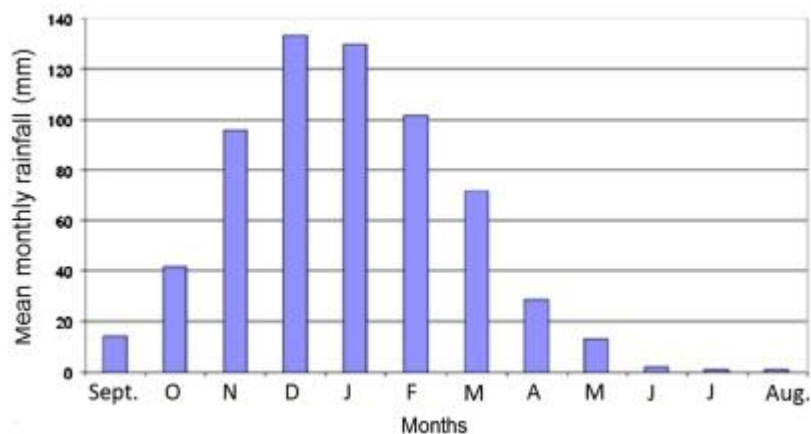
Μετεωρολογικά στοιχεία

Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην υδρολογική λεκάνη της Μεσσαράς ήταν περίπου 650mm μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, αλλά τα τελευταία χρόνια έχει σημειώσει μείωση στα 625mm (Varouchakis E., 2015). Περίπου το 65% των βροχοπτώσεων χάνεται στην εξατμισοδιαπνοή, το 10% απορρέει στη θάλασσα αφήνοντας το 25% της βροχόπτωσης για την ενίσχυση των αποθεμάτων του υπόγειου νερού (Croke, 2000).

Οι πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουν την μέση ετήσια βροχόπτωση για τα υδρολογικά έτη 1981-2010 και την μέση μηνιαία βροχόπτωση για την περιοχή της Μεσσαράς(Varouchakis E., 2015).



ΕΙΚΟΝΑ 8: ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ-ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΙΣΣΑΡΑΣ. 1980-2003 ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ 10 ΠΗΓΑΔΙΑ, 2003-2006 ΑΠΟ 6 ΠΗΓΑΔΙΑ ΚΑΙ ΤΟ 2006-2010 ΑΠΟ 2 ΠΗΓΑΔΙΑ(ΒΑΡΟΥΧΑΚΗΣ 2015)



ΕΙΚΟΝΑ 9:ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ-ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΙΣΣΑΡΑΣ (ΒΑΡΟΥΧΑΚΗΣ, 2015)

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι για την χρονική περίοδο 1980-2003 οι μετρήσεις λαμβάνονται από 10 πηγάδια παρατήρησης, για τη περίοδο 2003-2006 τα πηγάδια μειώνονται στα 6 ενώ για την περίοδο 2006-2010 λόγω έλλειψης καταρτισμένου προσωπικού τα πηγάδια παρατήρησης είναι μόλις 2 (Varouchakis E., 2015).

Υπολογισμός κρίσιμου ορίου στάθμης

Με σκοπό τον έλεγχο της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων της λεκάνης που μελετάμε, μπορεί να υπολογιστεί ένα κρίσιμο όριο στάθμης του υδροφορέα μέσω μιας στατιστικής και φυσικής προσέγγισης.

Από στατιστικής άποψης μας ενδιαφέρει το κατώτερο όριο του υδροφορέα το οποίο λαμβάνουμε στο 25^ο εκατοστημόριο των διαθέσιμων τιμών. Αυτό αντιστοιχεί στην τιμή των 25 m.

Η παραπάνω υπόθεση μπορεί να επαληθευτεί με την φυσική προσέγγιση υπολογισμού του ορίου. Η δυναμικότητα του υδροφορέα έχει εκτιμηθεί, όπως προαναφέραμε, στα 55 Mm³. Ο υδροφορέας καλύπτει περιοχή έκτασης 26,1 km² και το πορώδες του εδάφους είναι ίσο με 0,085.

Διαιρώντας την δυναμικότητα του υδροφορέα με την επιφάνεια κάλυψης έχουμε το εικονικό ύψος του υδροφορέα.

$$\frac{55 \text{ Mm}^3}{26,1 \text{ Km}^2} = 2,11 \text{ m}$$

Διαιρώντας αυτό το ύψος με το πορώδες για την εξαγωγή του πραγματικού ύψους στάθμης του υδροφορέα προκύπτει:

$$\frac{2,11 \text{ m}}{0,085} = 24.8 \text{ m}$$

Έτσι τα 25 m μπορούν να οριστούν ως το κατώφλι – το κατώτατο όριο του υδροφόρου ορίζοντα πάνω από το οποίο επιτυγχάνεται η αειφορία και η βιωσιμότητα του υδροφορέα.

Ακολουθεί ο πίνακας των ετήσιων τιμών ύψους στάθμης του υδροφορέα στην περιοχή της Μεσσαράς για τα έτη 1980-2010, από τον οποίο προέκυψε η στατιστική προσέγγιση του ορίου (Varouchakis, E., 2015).

Annual water table level variations at the Mires Aquifer of the Messara Valley.

Year	Water table level (m)	Year	Water table level (m)	Year	Water table level (m)
1980-81	61.83	1990-91	49.97	2000-01	23.29
1981-82	62.49	1991-92	47.17	2001-02	22.75
1982-83	60.86	1992-93	41.68	2002-03	34.75
1983-84	61.00	1993-94	38.70	2003-04	41.87
1984-85	61.68	1994-95	36.09	2004-05	42.10
1985-86	59.23	1995-96	40.87	2005-06	17.50
1986-87	57.10	1996-97	40.11	2006-07	09.75
1987-88	58.26	1997-98	36.66	2007-08	10.25
1988-89	56.77	1998-99	34.18	2008-09	11.40
1989-90	51.43	1999-00	27.98	2009-10	12.00

ΕΙΚΟΝΑ 10: ΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ

6.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ

6.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια της ελιάς αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αγροτικές δραστηριότητες στην Ελλάδα από οικονομική, κοινωνική και οικολογική άποψη. Η σύγχρονη ελαιοκομία συχνά περιλαμβάνει εντατική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων με δυσμενείς συνέπειες στο κόστος παραγωγής, στο περιβάλλον και στην ασφάλεια και ποιότητα των παραγόμενων τροφίμων. Σύμφωνα με την αναθεωρημένη Κοινή Αγροτική Πολιτική αποτελεί προτεραιότητα σε Ευρωπαϊκό αλλά και Εθνικό επίπεδο η εφαρμογή οικονομικά βιώσιμων φιλοπεριβαλλοντικών συστημάτων αγροτικής διαχείρισης και καλλιεργητικών πρακτικών.

6.2.2 ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η Ελιά αναπτύσσεται σε ποικιλία εδαφών και είναι γενικά δέντρο μειωμένων απαιτήσεων ως προς το έδαφος. Ελαφρώς όξινα έως αλκαλικά εδάφη την ευνοούν και μπορεί να ανεχθεί ακόμη και pH 8.5. Είναι ανθεκτική στην αλατότητα, το «πληρώνει» όμως αυτό με κάποια επίπτωση στις αποδόσεις. Οι βροχοπτώσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στην καρποφορία της πολύ περισσότερο εκεί όπου η καλλιέργεια δεν αρδεύεται. Από τα 250 στα 500 και στα 600 mm βροχής οι αποδόσεις είναι αύξουσες όταν βέβαια το έδαφος στραγγίζει κανονικά.

Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ελληνικών ελαιώνων είναι η μικρή έκταση. Ένα επιπλέον εμπόδιο για τον εκσυγχρονισμό και την εκμηχάνιση της καλλιέργειας αποτελεί το γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό των ελαιώνων βρίσκεται σε επικλινείς ή ορεινές περιοχές. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά φύτευσης, τις καλλιεργητικές πρακτικές και τους κοινωνικοοικονομικούς δείκτες της γεωργικής εκμετάλλευσης διακρίνονται τρία βασικά συστήματα ελαιώνων: παραδοσιακό, ημιεντατικό, και εντατικό σύστημα. Την τελευταία πενταετία ξεκίνησε η εγκατάσταση γραμμικών ελαιώνων σε υπέρπυκνη φύτευση, σύστημα που απαιτεί πεδινές εκτάσεις, άφθονο νερό άρδευσης και υψηλή επένδυση εγκατάστασης και εξοπλισμού συγκομιδής.

6.2.3 Η ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΗΜΕΡΑ

Στις μέρες μας, η ελαιοκαλλιέργεια αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες στην Ελλάδα, καλύπτοντας έκταση που υπερβαίνει τα 9 εκατομμύρια στρέμματα με 170 εκατομμύρια δένδρα. Η εν λόγω έκταση αποτελεί το 17% της συνολικής καλλιεργούμενης γης και το 75% της έκτασης που καλύπτεται από οπωρώνες. Η ελαιοκαλλιέργεια εντοπίζεται κυρίως στην Κρήτη, την Πελοπόννησο, τη Στερεά Ελλάδα αλλά και σε νησιά του Αιγαίου και Ιονίου Πελάγους.

Στην Κρήτη, η καλλιέργεια της ελιάς χρονολογείται από το 4.000 π.Χ., με παρουσία ήδη από το Μινωικό πολιτισμό. Η κυρίαρχη ποικιλία που λαμβάνει το 60% των καλλιεργειών είναι η Κορωνέϊκη, το ποσοστό ελαιόλαδου της οποίας μπορεί να ανέλθει στο 25%. Είναι ποικιλία μικρόκαρπη, χωρίς ιδιαίτερες εδαφοκλιματικές απαιτήσεις στο βαθμό που ανταγωνίζεται την αγριελιά. Χαρακτηρίζεται από την ανθεκτικότητά της στην ξηρασία και την υψηλή και σταθερή καρποφορία της. Θεωρείται λοιπόν μια αρκετά παραγωγική ποικιλία κατάλληλη για ζεστά- ξηρά κλίματα όπως αυτό της Κρήτης. Δεύτερη δημοφιλέστερη ποικιλία είναι η Τσουνάτη, μικρόκαρπη ή μεσόκαρπη, ποικιλία που

απαιτεί καλό έδαφος και καλλιεργητικές φροντίδες. Η απόδοση του ελαιόκαρπου κυμαίνεται μεταξύ του 20 και 22%.

6.2.4 ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η ελιά αναπτύσσεται και αποδίδει ικανοποιητικά στην εύκρατη και υποτροπική ζώνη (μεταξύ 30-40° στο νότιο και βόρειο ημισφαίριο). Το μεσογειακό κλίμα που χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ξηρά, θερμά καλοκαίρια είναι ιδανικό. Σε περιοχές με βόρεια έκθεση, που πλήττονται από ψυχρούς ανέμους, η ελιά δεν συστήνεται να καλλιεργείται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 300 μέτρα, ενώ σε περιοχές με ανατολική-μεσημβρινή έκθεση, προφυλαγμένες από ψυχρούς ανέμους, μπορεί να επεκταθεί μέχρι και τα 1000 μέτρα. η καλλιέργεια της ελιάς αποδίδει εμπορικά σε περιοχές όπου οι παράγοντες έδαφος και κλίμα συνδυάζονται ιδανικά, ιδιαίτερα όταν καλλιεργείται κάτω από ξερικές συνθήκες.

Θερμοκρασία

Ανάλογα με την εποχή και το στάδιο βλαστικής ανάπτυξης, η ελιά έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε θερμοκρασίες. Οι ιδανικές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της άνθησης είναι 18-20°C και κατά την καρπώδεση 20-22 °C. Αντίθετα, κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο είναι απαραίτητη μια χρονική περίοδος χαμηλών θερμοκρασιών (7-16 °C), για να διακοπεί ο λήθαργος των οφθαλμών. Η διάρκεια της περιόδου αυτής εξαρτάται από την ποικιλία. Οι παγετοί μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες για την καλλιέργεια, έτσι εμπορικοί ελαιώνες δεν πρέπει να εγκαθίστανται σε περιοχές, όπου το φαινόμενο αυτό είναι συχνό.

Υδατικές απαιτήσεις

Η ελιά είναι ένα δέντρο που αντέχει στην ξηρασία, αν και η αντοχή της διαφέρει από ποικιλία σε ποικιλία, όπως παρατηρήθηκε παραπάνω. Το ιδανικό ετήσιο ύψος βροχής για την ελαιοκαλλιέργεια είναι 400-600 mm. Σε περιοχές με χαμηλότερη βροχόπτωση συστήνεται συμπληρωματική άρδευση, όπως σε περιπτώσεις με ετήσια βροχόπτωση κάτω από 400mm, σε νέους εντατικούς ελαιώνες(25-40 φυτά/στρέμμα) και σε φτωχά εδάφη με μικρή υδατοικανότητα. Η ελιά είναι από τις πλέον ανθεκτικές φυτείες, σε ποιοτικά υποβαθμισμένα νερά. Κατατάσσεται στα φυτά που αντέχουν σε ψηλές συγκεντρώσεις αλάτων και βορίου στο νερό άρδευσης.

Σε δυο κυρίως περιόδους, οι βροχές ή οι συμπληρωματικές αρδεύσεις στην ελιά είναι περισσότερο ευεργετικές. Η μια είναι από τα τέλη Φεβρουαρίου μέχρι τις αρχές Απριλίου, τότε που αναπτύσσονται τα ανθικά μέρη στους οφθαλμούς, σχηματίζεται η νέα βλάστηση και πλησιάζει η ανθοφορία, και η δεύτερη το Φθινόπωρο, οπότε οι καρποί μεγαλώνουν και συσσωρεύουν μεγαλύτερο ποσοστό λαδιού και δημιουργούνται αποθέματα στα όργανα του φυτού για την προπαρασκευή της προσεχούς εσοδείας. Οι καλοκαιρινές αρδεύσεις δεν είναι λιγότερο ωφέλιμες, κυρίως στις επιτραπέζιες ποικιλίες, αφού αποφεύγεται η συρρίκνωση του καρπού και η καρπόπτωση.

Η άρδευση αυξάνει τον αριθμό και το μέγεθος των καρπών (συνήθως σε δέντρα με μικρή ή μέση παραγωγή) και τη συνολική παραγωγή καρπών, και τελικά την συνολική ποσότητα λαδιού ανά φυτό, ενώ η περιεκτικότητα σε λάδι των καρπών μειώνεται 0-10%. Η άρδευση της Κορωνέϊκης ποικιλίας αύξησε τη παραγωγή κατά 33-72% και οι ανάγκες

σε νερό κυμάνθηκαν από 200-250 m³ /στρέμμα. Για τις βρώσιμες ποικιλίες ελιάς «Καλαμών» και «Αμφίσσης», που αρδεύονται με σταγόνες, ποσότητες 300-350 m³ /στρέμμα θεωρείται ότι καλύπτουν ικανοποιητικά τις ανάγκες τους σε νερό. Η μέθοδος που σήμερα εφαρμόζεται κυρίως είναι η άρδευση με σταγόνες (στάγδην άρδευση) επειδή εξασφαλίζει οικονομία νερού, αξιοποιεί τις μικρές παροχές, εφαρμόζεται σε επικλινή εδάφη και δημιουργεί καλύτερες συνθήκες απορρόφησης νερού από το φυτό. Οι στόχοι της άρδευσης με σταγόνες είναι ή εφαρμογή νερού άμεσα στο ριζικό σύστημα κάτω από συνθήκες υψηλής διαθεσιμότητας, η αποφυγή των απωλειών νερού κατά τη διάρκεια ή μετά από την εφαρμογή της άρδευσης και η μείωση του κόστους εφαρμογής του νερού (μειωμένα εργατικά).

Έδαφος

Η ελιά καλλιεργείται σε όλους τους τύπους εδαφών, ακόμη και στα άγονα πετρώδη. Αποδίδει καλύτερα σε σχετικά γόνιμα εδάφη που συγκρατούν αρκετή υγρασία. Στα αμμώδη, ελαφρά εδάφη που δεν συγκρατούν υγρασία, η καλλιέργεια εξαρτάται από συμπληρωματικές επιφανειακές αρδεύσεις για ικανοποιητική παραγωγή. Προτιμώνται τα αμμοαργιλώδη εδάφη, μέσης σύστασης, που συγκρατούν αρκετή υγρασία, απορροφούν τις βροχές και επιτρέπουν την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου εδαφικού νερού από τις ρίζες.

Λίπανση

Όπως όλα τα δέντρα, έτσι και η ελιά, έχει ανάγκη από τη χρήση λιπασμάτων για μια ικανοποιητική καρποφορία και παραγωγή κάθε χρόνο. Οι ποσότητες του λιπάσματος που χρειάζονται, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η ηλικία των δέντρων, η γονιμότητα του εδάφους και από το αν αρδεύονται ή όχι.

Οι λιπάνσεις πρέπει να γίνονται έγκαιρα βοηθώντας τα δέντρα να βρίσκονται σε άριστη θρεπτική κατάσταση (απαραίτητες ποσότητες αζώτου, φωσφόρου, κάλι) προκειμένου να γίνεται σωστή διαμόρφωση των οφθαλμών και δημιουργία ικανοποιητικής άνθισης και καρποφορίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΑΙΓΝΙΟ ΔΙΑΜΟΙΡΑΣΜΟΥ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΣΤΗΣΙΜΟ ΠΑΙΓΝΙΟΥ

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί ένα παίγνιο διαχείρισης υδατικών πόρων στο οποίο οι παίκτες θα είναι αγρότες –καλλιεργητές ελιάς. Για την στελέχωση των παραδειγμάτων που θα αναλύσουμε παρακάτω υποθέτουμε ότι κάθε αγρότης έχει 10 χωράφια 5 στρεμμάτων το κάθε ένα. Σε κάθε στρέμμα είναι φυτεμένες 30 ρίζες ελιές (εντατική καλλιέργεια). Κάθε δέντρο το οποίο αρδεύεται κανονικά υποθέτουμε ότι έχει δυναμικότητα 60 kg ελιές.

Υπολογισμός κέρδους

Αν υποτεθεί ότι η απόδοση της Κορωνέϊκης ποικιλίας είναι 1:5, τότε για κάθε δέντρο θα παράγονται 12 kg ελαιόλαδο.

Επομένως $12 \text{ Kg/ δέντρο} \times 30 \text{ δέντρα/στρέμμα} = \mathbf{360 \text{ kg ελαιόλαδου/ στρέμμα}}$

Αν η τιμή του λαδιού είναι 2,5€/kg τότε **τα έσοδα του αγρότη** από την πώληση του ελαιόλαδου θα είναι $2,5\text{€/kg} \times 360 \text{ kg/στρέμμα} = \mathbf{900\text{€/ στρέμμα}}$

Αν υποθέσουμε ότι η προμήθεια του ελαιοτριβείου είναι 13%, την υπολογίζουμε ως:

$$900 \times 0,13 = 117\text{€/στρέμμα}$$

Άρα το **κέρδος του αγρότη** αφαιρώντας την προμήθεια θα είναι $900 - 117 = \mathbf{783\text{€/στρέμμα}}$

Υπολογισμός αναγκών σε νερό

Οι υδατικές ανάγκες της Κορωνέϊκης ελιάς, για την φύτευση του παραδείγματός μας , είναι 150 m³ νερό/στρέμμα.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η τιμή του αρδευτικού νερού είναι 0,08 €/m³ υπολογίζουμε το συνολικό **κόστος αρδευτικού νερού** που απαιτείται για την καλλιέργεια ανά στρέμμα.

$$0,08 \text{ €/m}^3 \times 150 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα} = \mathbf{12 \text{ € / στρέμμα}}$$

Υπολογισμός αναγκών σε λίπανση

Ας υποτεθεί ότι κάθε στρέμμα ελαιώνα χρειάζεται 25 kg λίπασμα με κόστος 15 €.

Το κόστος αυτό είναι σταθερό και ίδιο για όλους τους αγρότες αν υποτεθεί ότι όλοι λιπαίνουν τα χωράφια τους. Επομένως αργότερα στην εξίσωση κέρδους του κάθε αγρότη που θα παρουσιαστεί, τα έξοδα λίπανσης ίδια για όλους δεν λαμβάνονται υπόψιν.

Υπολογισμός κόστους εργασίας

Η καλλιέργεια της ελιάς εκτός από τα έξοδα για άρδευση και λίπανση παρουσιάζει και έξοδα απαραίτητων εργασιών όπως κλάδεμα, συγκομιδή του καρπού κλπ.

Ας υποθεθεί ότι ένας έμπειρος εργάτης συλλέγει 10 σακιά των 40 kg ανά εργάσιμη ημέρα (8 ώρες).

$10 \times 40 \text{ kg} = \mathbf{400 \text{ kg/ημέρα}}$ (η δυνατότητα συλλογής ενός εργάτη)

Αν σε κάθε στρέμμα είναι φυτεμένες 30 ρίζες ελιές με εκτιμημένη απόδοση 60 kg καρπώ η κάθε ρίζα τότε θα έχουμε:

$30 \text{ ρίζες} \times 60 \text{ kg/ρίζα} = \mathbf{1800 \text{ kg}}$ ελιές προς συλλογή

$1800 \text{ kg} / 400 \text{ kg ανά ημέρα} = \mathbf{4,5 \text{ ημέρες συγκομιδής}}$ ανά στρέμμα

Επομένως για κάθε αγρότη που έχει στην ιδιοκτησία του 10 στρέμματα ελιές θα χρειαστεί συνολικά 45 μέρες για την συγκομιδή από έναν εργάτη ή 23 μέρες με την πρόσληψη δυο εργατών είτε 11 μέρες με την πρόσληψη 4 εργατών.

Αν η αξία της ημερήσιας εργασίας είναι 35 € τότε το κόστος της συγκομιδής θα προκύψει:

$35 \text{ €/ημέρα} \times 45 \text{ ημέρες} = \mathbf{1.575 \text{ € ανά στρέμμα}}$

Όμοια με τα έξοδα της λίπανσης, τα εργατικά έξοδα μπορεί να υποθεθεί ότι είναι περίπου τα ίδια για όλους, επομένως μπορούν να μην ληφθούν υπόψιν στο οικονομικό ισοζύγιο του κάθε παίκτη.

7.1.1 ΘΕΩΡΙΑ ΠΑΙΓΝΙΩΝ – ΤΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ

Στην παρούσα εργασία θα στήσουμε ένα παίγνιο βασισμένο στη διαχείριση του αρδευτικού νερού, μελετώντας τις πιθανές κινήσεις των παικτών σε διαφορετικά σενάρια. Οι παίκτες στην προκειμένη είναι αγρότες οι οποίοι ασχολούνται με την καλλιέργεια της ελιάς. Θέτουμε άρα τα εξής δεδομένα:

- ο κάθε αγρότης έχει στην κατοχή του 10 ίδιου μεγέθους αγροτεμάχια, τα οποία είναι φυτεμένα με καλλιεργήσιμες ελιές
- αρχικά το παίγνιο διαδραματίζεται ανάμεσα σε 2 αγρότες (θα μπορούσε αντίστοιχα να εξελισσόταν ανάμεσα σε 2 ομάδες αγροτών)
- για την άρδευση των χωραφιών τους, οι παίκτες, έχουν στη διάθεσή τους υπόγειο νερό που το λαμβάνουν μέσω γεώτρησης καθώς και το νερό βροχής.
- το κόστος νερού που καλείται να καλύψει ο κάθε παίκτης αφορά στο καθαρό κόστος σε € ανά m^3 συμπεριλαμβανομένου του κόστους άντλησης
- τα λοιπά κόστη αφορούν τη λίπανση και γενικές εργασίες που απαιτεί η καλλιέργεια

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω δεδομένα το κέρδος του κάθε παίκτη διαμορφώνεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$Q = B - C - K \quad (7.1)$$

Όπου B: η πρόσοδος- καθαρά έσοδα του παίκτη- αγρότη από την πώληση των προϊόντων

C: το κόστος νερού για την ανάπτυξη της καλλιέργειας

K: λοιπά κόστη για τις ανάγκες της καλλιέργειας

Για να προσεγγιστεί το πρόβλημα και να στηθεί το παίγνιο, θα γίνει χρήση του διάσημου παιγνίου μη μηδενικού αθροίσματος «Το Δίλημμα του Φυλακισμένου».

Ο πίνακας πληρωμών του παιγνίου, ο οποίος αναλύθηκε και νωρίτερα στην εργασία, παρατίθεται παρακάτω με μεταφρασμένες τις αποδόσεις σε σχέσεις οφέλους και ζημίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΔΟΣΕΩΝ BENEFIT-LOSS

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	b , b	L , B
	μη συνεργασία	B , L	I , I

Όπου b: (benefit) μικρότερο όφελος

B: μεγαλύτερο όφελος

I: (loss) μικρότερη ζημία

L: μεγαλύτερη ζημία

Λαμβάνοντας υπόψιν την εξίσωση κέρδους (7.1) αντικαθιστούμε τις προηγούμενες εικονικές αποδόσεις πιο συγκεκριμένα, διαμορφώνοντας το εκάστοτε μικρό ή μεγάλο όφελος ή ζημία, σε μια εξίσωση εσόδων και εξόδων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΚΕΡΔΟΥΣ

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	b-c, b-c	b-C, B-c
	μη συνεργασία	B-c, b-C	b'-C, b'-C

Αν και εξετάζουμε ένα παίγνιο μη μηδενικού αθροίσματος όπου το κέρδος του ενός παίκτη δεν είναι απαραίτητα ζημία του άλλου, οι δυνατότητες κέρδους του καθενός εξαρτώνται από την στρατηγική που θα ακολουθήσει ο αντίπαλος.

Γι' αυτό το λόγο διαμορφώνονται διαφορετικοί δείκτες κέρδους b, ανάλογα με τις συνθήκες (στρατηγικές του αντιπάλου).

$b - c$: σ' αυτήν την περίπτωση και οι δύο παίκτες συνεργάζονται, αντλώντας περιορισμένες ποσότητες νερού. Επομένως έχουμε ένα ικανοποιητικό κέρδος(b) με μικρό κόστος νερού(c).

$b - C$: ο παίκτης II συνεχίζει να αντλεί συγκρατημένα αλλά το κόστος άντλησης και συνεπώς το συνολικό κόστος νερού(C), αυξάνεται λόγω της υπεράντλησης του παίκτη I.

$B - c$: ο παίκτης I αντλεί μεγάλες ποσότητες νερού και κατά συνέπεια αυξάνει το κέρδος του(B). Το κόστος άντλησης και γι' αυτόν θα είναι αυξημένο αλλά εδώ μας ενδιαφέρει ουσιαστικά η διαφορά των εσόδων- κόστους, δηλαδή το κέρδος. Η διαφορά αυτή για τον παίκτη II θα είναι αρκετά μικρή ενώ για τον παίκτη I μεγάλη.

$b' - c$: σ' αυτήν την περίπτωση και οι δυο παίκτες υπεραντλούν υποβαθμίζοντας τον υδροφορέα. Το κόστος άντλησης να μεγιστοποιείται και τα έσοδά τους μειώνονται λόγω έλλειψης νερού.

Θα γίνει μια προσπάθεια υπολογισμού των παραπάνω δεικτών χρησιμοποιώντας τις τα δεδομένα που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 5 όσον αφορά στην δυναμικότητα της παραγωγής, το κόστος αρδευτικού νερού και τις υδατικές απαιτήσεις της καλλιέργειας.

Ως έσοδα b ορίζεται η δυναμικότητα της καλλιέργειας ανά στρέμμα (υπολογισμένη σε λίτρα λαδιού) πολλαπλασιασμένη με την τιμή πώλησης του ελαιόλαδου ανά λίτρο.

Ως κόστος ορίζεται η τιμή του αρδευτικού νερού ανά m^3 πολλαπλασιασμένη με τις υδατικές απαιτήσεις τις καλλιέργειας. Όπως προαναφέραμε στο κεφάλαιο 5 τα λοιπά κόστη(λίπανσης και εργασίας) δεν θα συνυπολογιστούν στις αποδόσεις του παιγνίου ως κοινά για όλους.

Επομένως τα καθαρά έσοδα για κάθε περίπτωση συνεργασίας υπολογίζονται παρακάτω:

$$b - c = (300 \times 2,5) - (0,08 \times 150) = 738 \text{ €/στρέμμα}$$

$$b - C = (200 \times 2,5) - (0,20 \times 150) = 470 \text{ €/στρέμμα}$$

$$B - c = (360 \times 2,5) - (0,1 \times 150) = 885 \text{ €/στρέμμα}$$

$$b' - c = (250 \times 2,5) - (0,15 \times 150) = 602,5 \text{ €/στρέμμα}$$

Οι παραπάνω τιμές δεν είναι απόλυτες αλλά χρησιμοποιήθηκαν για να παρουσιαστεί η διαφορά που προκύπτει στα κέρδη του κάθε παίκτη αν συγκαταλεχθεί και το «κόστος» της μη συνεργασίας τους. Όπως προαναφέρθηκε μας ενδιαφέρει η διαφορά εσόδων-εξόδων και το πώς την αντιλαμβάνεται ο παίκτης σε σχέση με την διαφορά εσόδων-εξόδων του αντιπάλου του.

Αν αναχθούν οι παραπάνω τιμές του πίνακα σε κλίμακα δεικτών για ευκολότερη κατανόηση θα προκύψει ο παρακάτω πίνακας:

430-580 → 1

580-730 → 2

730-880 → 3

880-1030 → 4

ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΕΡΔΟΥΣ

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	3, 3	1, 4
	μη συνεργασία	4, 1	2, 2

Στον παραπάνω πίνακα εμφανίζονται δυο σημεία ισορροπίας, το “συνεργατικό” (3,3) και το “μη συνεργατικό” (2,2).

Η ορθολογιστική σκέψη θα έπρεπε να τους οδηγήσει στο βέλτιστο και για τους δυο παίκτες σημείο ισορροπίας, δηλαδή το (3,3). Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να εδραιωθεί με την επίτευξη μιας συμφωνίας ανάμεσά τους. Επειδή όμως ο κάθε παίκτης εκτός από ορθολογιστής είναι και “εγωιστής”, πάντα υπάρχει ο κίνδυνος κάποιος από τους δυο να αθετήσει τον λόγο του και να δράσει εκτός του προκαθορισμένου πλάνου. Έτσι λοιπόν η έλλειψη εμπιστοσύνης οδηγεί το παίγνιο στο “μη συνεργατικό” σημείο ισορροπίας (2,2).

Από την μεριά μας, ως μελετητές του παιγνίου μας ενδιαφέρει ο τρόπος με τον οποίο θα μπορούσαμε να μετακινήσουμε το σ.ι που οδηγείται το παίγνιο, από το (2,2) στο (3,3). Εδώ έρχεται να πάρει θέση το περιβαλλοντικό ζήτημα αφού στην περίπτωση του “μη συνεργατικού” σ.ι, οι παίκτες χαίρουν υψηλών πληρωμών βραχυπρόθεσμα, λόγω της εξασφαλισμένης πηγής νερού. Ωστόσο αν υπεραντλούν και οι δυο πλευρές, οι επιπτώσεις στο υδάτινο ισοζύγιο θα είναι σοβαρές αλλά θα γίνουν αισθητές μακροπρόθεσμα. Με το κόστος άντλησης να κυμαίνεται αρχικά σε φυσιολογικές τιμές, αλλά με την πάροδο του χρόνου και την ταχεία πτώση στάθμης του υδροφορέα, συνυπολογίζοντας τα μεγάλα κόστη άντλησης, θα αυξηθεί αρκετά.

Αυτή είναι μια συνήθης τακτική που ακολουθεί μια αρκετά μεγάλη μερίδα του κόσμου σήμερα, της ανάθεσης του προβλήματος στον "επόμενο". Αυτού του είδους τις τακτικές θα προσπαθήσουμε να τροποποιήσουμε, προσθέτοντας κίνητρα τα οποία θα ωθήσουν τους παίκτες προς μια πιο "περιβαλλοντική τακτική".

Στην παρούσα εργασία εξετάσαμε δυο περιπτώσεις επιβολής περιβαλλοντικής τακτικής από μεριάς της πολιτείας. Μέσω αυτών, ο εξωτερικός παράγοντας του παιγνίου και στην περίπτωση μας το διοικητικό όργανο της πολιτείας, θα μπορέσει ενεργοποιώντας διάφορους μηχανισμούς να παρακινήσει τους παίκτες προς μια κατεύθυνση περιβαλλοντικά ορθή και συμφέρουσα.

Η πολιτεία από μεριάς της δεν έχει τον εγωιστικό χαρακτήρα των παικτών, μιας και το συμφέρον της είναι η διαφύλαξη των φυσικών της πόρων και η διασφάλιση της σωστής τους διαχείρισης.

ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ

❖ ΕΠΙΒΟΛΗ ΠΡΟΣΤΙΜΟΥ

Στην πρώτη περίπτωση, οι μηχανισμοί της πολιτείας έχουν τη δυνατότητα να μετακινήσουν το σημείο ισορροπίας από το μη συνεργατικό στο συνεργατικό, μέσω ενός συστήματος επιβολής προστίμων. Έτσι όποιοι παίκτες δεν συμμορφώνονται με τα συμφωνηθέντα, προτάσσοντας τον εγωιστικό τους χαρακτήρα, ή προχωρούν σε αλόγιστη διαχείριση των υδάτινων πόρων, θα καλούνται να πληρώσουν ένα ειδικά διαμορφωμένο πρόστιμο.

Το πρόστιμο αυτό ή αλλιώς ποινή, είναι είτε χρηματικής φύσεως, ανάλογα με την διάθεση συνεργασίας ή μη του παίκτη, είτε απαγόρευση επιπλέον άντλησης. Η αποκοπή του παίκτη από την πηγή των απαραίτητων πόρων που χρειάζεται (στην περίπτωση μας το νερό), εφαρμόζεται για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ανάλογα με την στάση που έχει ακολουθήσει ο ίδιος.

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η τακτική επιβολής προστίμου:

ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ- ΕΠΙΒΟΛΗ ΠΡΟΣΤΙΜΟΥ

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	b - C, b - C	b - C , B - C
	μη συνεργασία	B - C , b-c	-B , -B

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω σχέσεις με δείκτες, αντιλαμβανόμαστε καλύτερα τις μεταβολές που έλαβαν χώρα στον πίνακα πληρωμών μετά την επιβολή προστίμου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ- ΕΠΙΒΟΛΗ ΠΡΟΣΤΙΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	3 , 3	1 , 2
	μη συνεργασία	2 , 1	-1 , -1

Στην πρώτη περίπτωση που συνεργάζονται και οι δυο πλευρές, δεν αλλάζει κάτι στις πληρωμές των παικτών. Όταν ο ένας παίκτης συνεργάζεται ενώ ο άλλος όχι, ο πρώτος παρατηρεί μείωση των κερδών του λόγω αυξημένου κόστους νερού από την υπεράντληση του δεύτερου. Ο τελευταίος μαζί με το αυξημένο κόστος νερού έχει και ταυτόχρονη επιβολή προστίμου η οποία οδηγεί τα τελικά του κέρδη σε ακόμη μεγαλύτερη μείωση. Και τέλος, στην περίπτωση που και οι δυο παίκτες υπεραντλούν τα κέρδη τους μειώνονται αισθητά αν στο γενικό κόστος νερού συνυπολογίσουμε με τα παραπάνω μια πιθανή απαγόρευση παροχής νερού ή ακόμη το περιβαλλοντικό κόστος της υποβάθμισης του υδροφορέα. Θα αναφερθούμε εκτενέστερα σ' αυτές τις παραδοχές στα συμπεράσματα της εργασίας.

Η έλλειψη εμπιστοσύνης που αναφέραμε πρωτύτερα, ως βασική αιτία της "μη συνεργατικής" κατάληξης του διλήμματος του φυλακισμένου, φαίνεται πως δεν είναι ο μόνος λόγος που κινεί τους παίκτες προς αυτή την κατεύθυνση. Στο δίλημμα του φυλακισμένου δεν υπάρχει καμιά επικοινωνία μεταξύ των παικτών κατά την διάρκεια της απόφασης. Αντίθετα, στο παίγνιο της διαχείρισης νερού που έχουμε στήσει, οι παίκτες-αγρότες μπορούν να συνδιαλλαγούν για το ποιες στρατηγικές θα ακολουθήσουν. Όμως και πάλι οι κινήσεις τους θα γίνουν γνωστές στους υπόλοιπους μόνο μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Οδηγούμαστε επομένως στο συμπέρασμα ότι ακόμα και αν υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των παικτών, θα οδηγηθούμε πάλι στο "μη συνεργατικό" σημείο ισορροπίας, λόγω έλλειψης "απειλής". And covenants, without the sword, are but words and of no strength to secure a man at all [Hobbes, 1651- *Leviathan*].

Όπως είδαμε παραπάνω, η απειλή μπορεί να μεταφραστεί ως πρόστιμο δίνοντας στην πολιτεία την εξουσία του "τιμωρού". Ο τελευταίος παρακολουθεί τις κινήσεις του παίκτη και τον επιπλήττει ανάλογα με το πόσο έχει παρελκύσει ο ίδιος από τα συμφωνηθέντα. Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα ωστόσο μιας αλόγιστης συμπεριφοράς υδάτινου πόρου, η οποία δύναται να υποβαθμίσει μια περιοχή, δεν μπορεί να ισοφαριστεί με κάποιο χρηματικό ποσό. Έτσι προκύπτει η ανάγκη εύρεσης άλλων μοχλών πίεσης από μεριάς πολιτείας. Μια δεύτερη εκδοχή λοιπόν είναι η παρέμβαση της πολιτείας μέσω χρηματικής επιβράβευσης.

❖ ΧΡΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΒΡΑΒΕΥΣΗ

Στρατηγικές επιβράβευσης σαν κι αυτήν, είναι προτιμότερες και κατά πολύ αποδοτικότερες από τις στρατηγικές τιμωρίας. Πέραν της φιλικότερης σχέσης που αναπτύσσεται μεταξύ πολιτείας και πολιτών, αφού η πρώτη δεν έχει χαρακτήρα τιμωρού, θέτεται σε λειτουργία και η έννοια της πρόληψης. Μ' αυτόν τον τρόπο δεν φτάνουμε στο σημείο της πλήρους υποβάθμισης ενός υδροφορέα, αλλά η πολιτεία επενεργεί δραστικά μέσω ισχυρών κινήτρων αλλάζοντας τα δεδομένα και χαράζοντας μια περιβαλλοντική πορεία στις κινήσεις των αγροτών. Με άλλα λόγια τους εξωθεί προς τη σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων σημειώνοντας το ίδιο τους το συμφέρον.

Ο πίνακας πληρωμών μετά την χρηματική επιβράβευση διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 24: ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΒΡΑΒΕΥΣΗ

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	$b - c + c'$, $b - c + c'$	$b - c + c'$, $B - C$
	μη συνεργασία	$B - C$, $b - c + c'$	$b' - C$, $b' - C$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις του παραπάνω πίνακα με δείκτες προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΜΑΤΙΚΗ ΕΠΙΒΡΑΒΕΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	4 , 4	3 , 4
	μη συνεργασία	4 , 3	2 , 2

Παρατηρείται ότι εφαρμόζοντας την τακτική των bonus, το μόνο που αλλάζει στον πίνακα πληρωμών είναι τα έσοδα των παικτών που διαχειρίστηκαν με σύνεση την πηγή νερού, δηλαδή αυτών που "συνεργάστηκαν".

Τα σημεία ισορροπίας παραμένουν τα ίδια μετατοπίζοντας όμως την ισορροπία του παιχνιδιού περισσότερο προς το "συνεργατικό" σ.ι (4,4).

❖ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΑΚΤΙΚΩΝ

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, θα μπορούσαν να συνδυαστούν οι δυο παρεμβατικές επιλογές δημιουργώντας ένα πιο ολοκληρωμένο σενάριο. Με ταυτόχρονη επιβολή προστίμου για τον παίκτη που δεν συνεργάστηκε και bonus για αυτόν που συνεργάστηκε, ορίζουμε μια νέα τακτική όπου το σ.ι του παιγνίου ωθείται ακόμα πιο εύκολα προς το επιθυμητό- "συνεργατικό".

Ο πίνακας πληρωμών με τον συνδυασμό των τακτικών διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 26: ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΤΑΚΤΙΚΩΝ

		Παίκτης I	
		συνεργασία	μη συνεργασία
Παίκτης II	συνεργασία	4 , 4	3 , 1
	μη συνεργασία	1 , 3	-1 , -1

Είναι ξεκάθαρο πλέον το σημείο ισορροπίας του παιγνίου, καθώς η παρέμβαση της πολιτείας λειτούργησε δραστικά στην μετατόπισή του στο σενάριο αμφοτέρης συνεργασίας. Έτσι ικανοποιείται η αρχική πρόθεση αυτής της τακτικής, της διαφύλαξης δηλαδή του υδροφορέα.

7.1.2 IRRIGANIA – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ

Το πρόγραμμα εισάγει μια εξίσωση για τον υπολογισμό του κέρδους του κάθε αγρότη.

$$B = (F_{gw} \times 100) + (F_{rain} \times 50) - (c \times F_{gw} + 5 \times F_{rain}) \quad (7.2)$$

$$\text{Όπου } C = \{ g < 8 : 20, g \geq 8 : 20 + (g - 8)^2 \}$$

$$\text{Και } g = \max \left[0, g_t - 1 - P - 0,5 + \frac{F_{gw}}{n} \right]$$

Το παιχνίδι στήθηκε με δυο παίκτες σε δυο σενάρια χρονικής διάρκειας 5 και 10 ετών αντίστοιχα. Οι παίκτες είχαν τη δυνατότητα επιλογής νερού από γεώτρηση ή φυσική άρδευση μέσω της βροχής. Και στα δυο σενάρια προτιμήθηκε η συνετή διαχείριση του νερού από τους παίκτες.

Έτσι θα μπορέσουν να μελετηθούν τα αποτελέσματα του προγράμματος χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις και έντονες συμπεριφορές.

- ΣΕΝΑΡΙΟ 1^ο

Επιλογή τυχαίας βροχόπτωσης

Χρονική περίοδος: 5 χρόνια

Σύνολο χωραφιών κάθε παίκτη : 10

Έτος 1^ο [ύψος στάθμης : 5m]

ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΣΕΝΑΡΙΟ 1^ο IRRIGANIA

	Gamer 1		Gamer 2		Depth to groundwater (m)	Cost per field	Precipitation
	number of fields irrigated						
	Ground water Irrigation	Rainfed	Ground water Irrigation	Rainfed			
1st year	3	7	2	8	6	20	normal
2nd	3	7	4	6	8	20	normal
3rd	4	6	4	6	9,5	22,3	wet
4th	4	6	3	7	10,5	26,3	wet
5th	3	7	4	6	11,5	32,3	wet

Στο παραπάνω σενάριο ακολουθήθηκε και από τους δυο παίκτες μια σχετικά συνετή διαχείριση. Έτσι έχουμε την ευκαιρία να παρατηρήσουμε πως μεταβάλλεται το βάθος της στάθμης του υδροφορέα καθώς και το κόστος άντλησης σε βάθος χρόνου 5 ετών. Η βροχόπτωση αφέθηκε τυχαίος παράγοντας και καθοριζόταν από το πρόγραμμα.

Μια πρώτη παρατήρηση είναι πως η στάθμη του υδροφορέα δεν επηρεάζεται τόσο εύκολα όσο το κόστος άντλησης. Το οποίο, με το που πέσει η στάθμη κάτω από τα 8 m βάθους, αυξάνεται σημαντικά. Ακόμη και η διαφορά του ενός μέτρου βάθους, από τα 10,5 πτώση στα 11,5 , επιφέρει αύξηση του κόστους άντλησης κατά 10 μονάδες. Αν λάβουμε υπόψιν τώρα ότι η συγκεκριμένη χρονιά του παραπάνω δείγματος ήταν υγρή, καταλαβαίνουμε ότι η αναπλήρωση του αντλημένου νερού πραγματοποιείται με πολύ αργούς ρυθμούς. Κατά συνέπεια δεν μπορούμε να τρέφουμε ελπίδες πως ακόμα και κάποιες καλές χρονιές σε επίπεδα βροχόπτωσης, θα καλύψουν τυχόν λάθη χειρισμού του αγαθού από μεριάς των παικτών.

- ΣΕΝΑΡΙΟ 2^ο

Χρονική περίοδος: 10 χρόνια

Επιλογή φυσιολογικής βροχόπτωσης

Έτος 1^ο [ύψος στάθμης : 5m]

ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΣΕΝΑΡΙΟ 2^ο IRRIGANIA

	Gamer 1		Gamer 2		Depth to groundwater (m)	Cost per field
	number of fields irrigated					
	Ground water Irrigation	Rainfed	Ground water Irrigation	Rainfed		
1st year	4	6	3	7	7	20
2nd	4	6	4	6	9,5	22,25
3rd	4	6	3	7	11,5	32,25
4th	3	7	3	7	13	45
5th	3	7	4	6	15	69
6th	3	7	4	6	16,5	92,25
7th	3	7	4	6	19	141
8th	3	7	2	8	20	164
9th	2	8	2	8	20,5	176,25
10th	2	8	3	7	21	189

Στο δεύτερο σενάριο επιλέχθηκε να τηρηθεί η βροχόπτωση σε φυσιολογικά επίπεδα καθ' όλη την διάρκεια του παιγνίου, χωρίς τυχαία επιλογή του προγράμματος ανάμεσα σε ξηρή, υγρή ή φυσιολογική χρονιά όπως έγινε στο σενάριο 1. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξαχθεί μια εικόνα για το πώς επηρεάζονται οι δείκτες στάθμης και κόστους άντλησης χωρίς την άμεση επιρροή των συνθηκών βροχόπτωσης της κάθε χρονιάς. Δίνεται έτσι η δυνατότητα στα αρμόδια όργανα διαχείρισης των υδάτινων πόρων να μπορέσουν να εφαρμόσουν τις κατάλληλες κυρώσεις και περιορισμούς, λαμβάνοντας υπόψιν αποτελέσματα χωρίς το «ελαφρυντικό» αντίκτυπο μιας υγρής χρονιάς.

Οι συγκριτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από το πρόγραμμα ακολουθούν στο Παράρτημα Ι.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ Α

Προκειμένου να προωθήσουμε την ιδέα της παρέμβασης της πολιτείας, με άμεσο αντίκτυπο των κινήσεων του κάθε παίκτη στον υπολογισμό του τελικού του κέρδους, συνθέτουμε ένα καινούριο όρο στην εξίσωση 7.2

$$B = (F_{gw} \times 100) + (F_{rain} \times 50) - (c \times F_{gw} + 5 \times F_{rain}) - (\alpha \times g) \quad (7.3)$$

α : συντελεστής περιβαλλοντικής πρακτικής

Ο όρος $\alpha \times g$, εισήχθη προκειμένου να δράσει ως κίνητρο επιβολής περιβαλλοντικής τακτικής, με τον παράγοντα α να λαμβάνει διαφορετικές τιμές ανάλογα με την περίπτωση.

Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι ο παίκτης ακολουθεί τακτικές υπεράντλησης και συνεπώς η πολιτεία θέλει να εφαρμόσει επιβολή προστίμων. Τότε ο συντελεστής α έχει θετικό πρόσημο και πολλαπλασιασμένος με το αυξημένο βάθος νερού λόγω της υπεράντλησης, συνιστά έναν όρο μείωσης των συνολικών κερδών του παίκτη.

Σε αντίθετη περίπτωση εάν ο παίκτης διαχειρίζεται με σύνεση τους υδατικούς πόρους, η πολιτεία μπορεί να τον επιβραβεύσει μέσω κάποιου μπόνους, ένα κίνητρο δηλαδή προκειμένου να συνεχίσει με την ίδια αν όχι καλύτερη τακτική και τα επόμενα έτη. Αυτό το μπόνους ορίζεται από τον όρο $\alpha \times g$, όπου αυτή την φορά το α λαμβάνει αρνητικές τιμές και πολλαπλασιασμένο με το βάθος νερού δίνει μια θετική προσαύξηση στο τελικό κέρδος του παίκτη.

Ενδεικτικά ο συντελεστής περιβαλλοντικής τακτικής α , λαμβάνει τις παρακάτω τιμές ανάλογα με το βάθος του υπογείου νερού g

Αν $g \leq 6$	τότε $\alpha = -10$
Αν $6 < g \leq 8$	τότε $\alpha = 0$
Αν $8 < g < 18$	τότε $\alpha = 10$
Αν $18 \leq g < 28$	τότε $\alpha = 10^2$

- ΣΕΝΑΡΙΟ 3^ο

Σ' αυτήν την περίπτωση τρέξαμε το πρόγραμμα για 5 χρόνια, αφήνοντας τους παίκτες να ακολουθήσουν διαφορετικές τακτικές. Ο πρώτος άντλησε μεγάλες ποσότητες νερού για να αρδεύσει όλα του σχεδόν τα αγροτεμάχια ενώ ο δεύτερος ακολούθησε μια πιο συνετή τακτική.

Στον πίνακα που ακολουθεί προστίθενται τα εκτιμημένα ετήσια κέρδη του κάθε παίκτη, όπως προκύπτουν από το πρόγραμμα καθώς και τα "διορθωμένα" κέρδη από την εμπλουτισμένη εξίσωση που αναδείξαμε πρωτύτερα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 29: ΣΕΝΑΡΙΟ 3^ο IRRIGANIA

	Gamer 1		Gamer 2		Depth to Gw (m)	Cost per field	Irrigania Balance		"Διορθωμένο" κέρδος	
	number of fields irrigated						Gamer 1	Gamer 2	Gamer 1	Gamer 2
	Gw	Rainfed	Gw	Rainfed						
1st	3	7	2	8	6	20	555	520	615	580
2nd	5	5	3	7	8,5	20,3	524	414	439	329
3rd	6	4	2	8	11	29	526	342	416	232
4th	8	2	2	8	14,5	62,3	352	276	207	131
5th	8	2	2	8	18	120	-110	160	-470	-200

Σε αυτό το σενάριο ακολουθούνται από τους δυο παίκτες εκ διαμέτρου αντίθετες τακτικές. Ο ένας κινείται πιο συνετά περιορίζοντας τα χωράφια που διαθέτει προς άντληση ενώ ο άλλος εκμεταλλεύεται τον αντίπαλό του και δεν συνεργάζεται ακολουθώντας τακτικές υπεράντλησης του υδροφορέα. Συγκρίνοντας τα υπολογισμένα κέρδη από το πρόγραμμα (Irrigania balance) με τα κέρδη που υπολογίστηκαν από την εξίσωση 7.3 (διορθωμένο κέρδος) παρατηρούμε πως ανεξάρτητα από το πώς έχει κινηθεί ο κάθε παίκτης, τα αποτελέσματα (εν προκειμένω η πτώση στάθμης του υδροφορέα) είναι αυτά που θα καθορίσουν την περιβαλλοντική τακτική που θα ακολουθήσει η Πολιτεία, είτε είναι επιβράβευσης είτε κύρωσης. Έτσι λοιπόν για την αλόγιστη συμπεριφορά του ενός παίκτη, καλούνται να λογοδοτήσουν όλοι, μοιράζοντας την επιβάρυνση ισόποσα. Κάτι τέτοιο βέβαια δίνει το κίνητρο αρχικά στον παίκτη που έχει την προδιάθεση να «εξαπατήσει» τον αντίπαλο και να αθετήσει τη συμφωνία να το κάνει, αναλογιζόμενος πως θα κληθούν όλοι να πληρώσουν για το δικό του «παραστράτημα» μειώνοντας έτσι αρκετά το μερίδιο ευθύνης του. Αντίστοιχα και για τους παίκτες που έχουν εξ αρχής μια περιβαλλοντική συνείδηση και έχουν σκοπό να διαχειριστούν σωστά τον υδάτινο πόρο που έχουν στα χέρια τους, η γνώση ότι η πιθανή αλόγιστη χρήση του αντιπάλου θα επιβαρύνει και τους ίδιους, αυτόματα τους οδηγεί στο να επαναπροσδιορίσουν την αρχική τους πρόθεση για να μην αισθανθούν εξαπατημένοι.

7.1.3 ΘΕΩΡΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ- DECISION MAKING

ΚΡΙΤΗΡΙΟ MINIMAX REGRET

Σ' αυτό το σημείο μελετάται η σχέση του οφέλους του κάθε αγρότη με την αναλογική υποβάθμιση του υδροφορέα.

Δημιουργούνται κάποια σενάρια υποβάθμισης, θέτοντας όρια ύψους στάθμης για μια ικανοποιητική, μια μέτρια και μια επιβαρυνμένη στάθμη υπόγειου νερού. Τα όρια αυτά τα ορίζει ο υπεύθυνος φορέας της πολιτείας, τα οποία έχουν προκύψει εμπειρικά και

ανάλογα τον εκάστοτε υδροφορέα αλλάζουν τιμές. Στον συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκαν όρια στάθμης που συμβαδίζουν με στο πρόγραμμα. Τέθηκε ως όριο ικανοποιητικής στάθμης τα 5 m βάθους από την επιφάνεια, ως μια μέτριας κατάστασης στάθμη τα 10m βάθους και τέλος μια επιβαρυνμένη στάθμη θεωρείτο τα 15 m βάθους.

Επίσης δόθηκαν τρεις επιλογές για το ποσοστό των χωραφιών που θα ποτιστούν με νερό γεώτρησης. Αν λοιπόν κάθε αγρότης έχει στην κατοχή του 10 αγροτεμάχια με ελιές καλλιέργειας, συνυπολογίζοντας το περιβαλλοντικό του σκεπτικό, δύναται να διαλέξει ανάμεσα σε περιορισμένη άρδευση των 2/10 χωραφιών, ημι-άρδευση των 4/10 και σε σχεδόν πλήρη άρδευση των 7/10 χωραφιών. Τα υπόλοιπα αγροτεμάχια αφήνονται χωρίς οργανωμένη άρδευση ως φυσική καλλιέργεια.

Το κριτήριο minimax έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών που οφείλονται στη λήψη μιας μη ιδανικής απόφασης, και κατά συνέπεια την εύρεση της βέλτιστης επιλογής.

Δημιουργείται ένας πίνακας πληρωμών που περιλαμβάνει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς στρατηγικών άρδευσης και εναλλακτικών υψών στάθμης. Οι πληρωμές υπολογίστηκαν με βάση την εξίσωση κέρδους (7.3) που παρουσιάστηκε προηγούμενα, προσθέτοντας έναν ακόμη όρο:

$$B = (F_{gw} \times 100) + (F_{rain} \times 50) - (c \times F_{gw} + 5 \times F_{rain}) - (\alpha \times g) - F_{gw} \times k \quad (7.4)$$

Όπου F_{gw} : ο αριθμός των χωραφιών που αρδεύτηκαν με νερό γεώτρησης

k : συντελεστής ανάλογος του N_{gw}

Ο όρος $- F_{gw} \times k$ αποτελεί ένα επιπλέον κίνητρο για τους παίκτες, ωθώντας τους σε καλύτερη διαχείριση του αγαθού. Λαμβάνοντας υπόψιν το όριο F_{gw} των 1,5 χωραφιών/αγρότη, που δεν επηρεάζει τον υδροφορέα και έχει τεθεί στο Irrigania, ορίζουμε τις παρακάτω περιπτώσεις μεταβολής του k

- **Αν $3 < F_{gw} \leq 6$ τότε $k=5$**
- **Αν $6 < F_{gw} \leq 10$ τότε $k=10$**

Ο πίνακας πληρωμών διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 30: : ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ

Depth to Gw (m)	N _{gw}		
	2/10	5/10	7/10
5	570	650	<u>675</u>
10	412	480	<u>497</u>
15	<u>272</u>	205	132

Ο πίνακας συμπληρώθηκε με βάση την εξίσωση (7.4):

$$B = (F_{gw} \times 100) + (F_{rain} \times 50) - (c \times F_{gw} + 5 \times F_{rain}) - (a \times g) - F_{gw} \times k$$

$$B_{1,1} = 200 + 400 - (40 + 40) - (-10 \times 5) - 0 = 570$$

$$B_{1,2} = 500 + 250 - (100 + 25) + 50 - 25 = 650$$

$$B_{1,3} = 700 + 150 - ((7 \times 20) + 15) + 50 - 70 = 675$$

Ομοίως υπολογίστηκαν και τα υπόλοιπα κελιά των αποτελεσμάτων.

Για να ληφθεί η βέλτιστη απόφαση θα πρέπει να αφαιρεθεί το κέρδος που αντιστοιχεί σε κάθε συνδυασμό απόφασης και παράγοντα επιρροής από το μεγαλύτερο κέρδος όλων των ενδεχόμενων αποφάσεων. Αφαιρείται δηλαδή το μέγιστο κάθε σειράς από όλη της σειρά και καταλήγουμε στον πίνακα κόστους ευκαιρίας (opportunity loss table).

ΠΙΝΑΚΑΣ 31: ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΥΚΑΙΡΙΑΣ

Depth to Gw (m)	NGW		
	2/10	5/10	7/10
5	<u>105</u>	25	0
10	85	17	0
15	0	<u>67</u>	<u>140</u>

Αφού έχουν συγκεντρωθεί τα μεγαλύτερα της κάθε απόφασης, επιλέγεται η απόφαση που αντιστοιχεί στο μικρότερο κόστος ευκαιρίας από αυτά.

Στην προκειμένη περίπτωση το κριτήριο μας οδηγεί στην δεύτερη απόφαση, άρδευσης των 5 χωραφιών με νερό γεώτρησης, ως την πιο συμφέρουσα. Ωστόσο ο παράγοντας επιρροής, σε αυτή την περίπτωση η στάθμη, φαίνεται να πέφτει στα 15m βάθος. Το όριο αυτό το τέθηκε πρωτύτερα ως όριο δύσκολα αναστρέψιμης στάθμης και κατά συνέπεια γίνεται προσπάθεια να αποφευχθεί.

Χρησιμοποιώντας το κριτήριο minimax regret και μεταβάλλοντας τον συντελεστή k κατά βούληση, μπορεί να οριστεί το πιο περιβαλλοντικά συμφέρον πλάνο που ταιριάζει στην κάθε περίπτωση κοινής διαχείρισης αγαθού.

7.1.4 BAYES RISK ANALYSIS

Η θεωρία λήψης αποφάσεων κατά Bayes χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της τύχης του υδροφορέα, δηλαδή του ύψους στάθμης του, θέτοντας το όριο των 25m. Για ύψος στάθμης άνω των 25m (μικρότερα βάθη), θεωρούμε ότι ο υδροφορέας βρίσκεται σε ανεκτά ή αναστρέψιμα επίπεδα. Ενώ για ύψος στάθμης κάτω των 25m (μεγαλύτερα βάθη), θεωρούμε τον υδροφορέα υποβαθμισμένο και σε δύσκολα αναστρέψιμη φάση.

Η πρόβλεψη γίνεται με χρήση προγενέστερης πληροφορίας με σκοπό την εξαγωγή μιας ανανεωμένης πληροφορίας με περισσότερες πιθανότητες επιτυχίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ως προγενέστερη πληροφορία λάβαμε τις καταγεγραμμένες τιμές στάθμης του υδροφορέα την περίοδο 2000-2009 (πίνακας 21- κεφάλαιο 6).

Καταστάσεις K_1, K_2

Ορίζουμε ως κατάσταση K_1 , την πιθανότητα το ύψος στάθμης του υδροφορέα να πέσει κάτω από το όριο των 25m (δύσκολα αναστρέψιμη κατάσταση).

Ως κατάσταση K_2 , την πιθανότητα το ύψος στάθμης του υδροφορέα να είναι άνω του ορίου των 25m (καλή ή αναστρέψιμη κατάσταση).

Παραδοχές Z_1, Z_2

Η παραδοχή Z_1 αφορά στη διαχείριση του υπογείου νερού με τρόπο που ευνοεί την υπονόμηση του υδροφορέα.

Η παραδοχή Z_2 αφορά στη διαχείριση του υπογείου νερού με τρόπο που ευνοεί την αειφορία του υδροφορέα.

Προγενέστερη πληροφορία

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, την χρονική περίοδο που μελετάμε, έγιναν 3 παραβιάσεις του ορίου των 25 m. Έτσι προκύπτει η προγενέστερη πληροφορία $P_{prior}(K_1)=0.3$ για περιπτώσεις παραβίασης του ορίου και $P_{prior}(K_2)=0.7$ για τις περιπτώσεις που δεν παραβιάστηκε το όριο.

Χρησιμοποιήθηκε ο νόμος του Bayes με τον τύπο που ακολουθεί:

$$P(K1/Z1) = \frac{P(Z1/K1) \times P_{prior}(K1)}{[P(Z1/K1) \times P_{prior}(K1)] + [P(Z1/K2) \times P_{prior}(K2)]} \quad (7.5)$$

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το θεώρημα Bayes και την προγενέστερη πληροφορία, καταστρώθηκε ένας πίνακας με τις αρχικές πιθανότητες προς ανανέωση, που αποτελούν ουσιαστικά την πρόθεση των παικτών:

ΠΙΝΑΚΑΣ 32: ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΘΕΣΗ ΠΑΙΚΤΩΝ

Παράμετροι	Καταστάσεις της πραγματικότητας	
	K1 Ύψος στάθμης κάτω του ορίου	K2 Ύψος στάθμης άνω του ορίου
Z1 ευνοείται η υποβάθμιση	$P(Z1/K1)=0,4$	$P(Z1/K2)=0,7$
Z2 ευνοείται η αειφορία	$P(Z2/K1)=0,6$	$P(Z2/K2)=0,3$

Οι τιμές του πίνακα αποτελούν μια ενδεικτική πληροφορία για την πρόθεση δράσης των χρηστών του υπόγειου υδροφορέα. Πηγή αυτής της πληροφορίας είναι το ΤΟΕΒ Δήμου Μοιρών, το οποίο παραχώρησε τις παραπάνω ενδεικτικές τιμές, ύστερα από την συλλογή ερωτηματολογίων που δόθηκαν σε παραγωγούς-μέλη του ΤΟΕΒ Μοιρών, αναφορικά με την πρόθεσή τους στη διαχείριση του υπόγειου νερού, τη χρήση λιπασμάτων κ.λ.π.

Με τον όρο $P(Z_1/K_1)=0,4$ εννοείται ότι 4 αγρότες στους 10 πρόκειται να ακολουθήσουν τακτική άρδευσης η οποία φαίνεται να υποβαθμίζει την ποιότητα του υδροφορέα, δεδομένου ότι η παρούσα στάθμη του είναι ήδη σε κάτω του ορίου επίπεδα. Με το ίδιο δεδομένο οι 6 στους 10 προτίθενται να ακολουθήσουν μια πιο συνετή τακτική διαχείρισης που θα ευνοήσει την αναβάθμιση του υδροφορέα $P(Z_2/K_1)=0,6$.

Αντίστοιχα συμβαίνει και στην περίπτωση που έχουμε ως δεδομένο ότι η υπάρχουσα στάθμη του υδροφορέα είναι άνω του επιτρεπτού ορίου.

Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο του Bayes θα ανανεωθεί ο αρχικός πίνακας με την χρήση των προγενέστερων πληροφοριών που αναφέρθηκαν προωτέρα.

Υπολογίζονται πρώτα της ανανεωμένες πιθανότητες για την παραδοχή **Z₁**:

$$P(K_1/Z_1) = \frac{P(Z_1/K_1) \times P_{prior}(K_1)}{[P(Z_1/K_1) \times P_{prior}(K_1)] + [P(Z_1/K_2) \times P_{prior}(K_2)]} =$$

$$= \frac{0,4 \times 0,3}{(0,4 \times 0,3) + (0,7 \times 0,7)} = 0,19 \text{ το ανανεωμένο } P_{prior}(K_1)$$

$$P(K_2/Z_1) = \frac{P(Z_1/K_2) \times P_{prior}(K_2)}{[P(Z_1/K_1) \times P_{prior}(K_1)] + [P(Z_1/K_2) \times P_{prior}(K_2)]} =$$

$$= \frac{0,7 \times 0,7}{(0,4 \times 0,3) + (0,7 \times 0,7)} = 0,81 \text{ το ανανεωμένο } P_{prior}(K_2)$$

Μετά την πρώτη ανανέωση, χρησιμοποιείται το νέο P_{prior} αντί για το αρχικό.

Οι ανανεωμένες πιθανότητες για την παραδοχή **Z₂**:

$$P(K_1/Z_2) = \frac{P(Z_2/K_1) \times P_{prior}(K_1)}{[P(Z_2/K_1) \times P_{prior}(K_1)] + [P(Z_2/K_2) \times P_{prior}(K_2)]} =$$

$$= \frac{0,6 \times 0,19}{(0,6 \times 0,19) + (0,3 \times 0,81)} = 0,32$$

$$P(K_2/Z_2) = \frac{P(Z_2/K_2) \times P_{prior}(K_2)}{[P(Z_2/K_1) \times P_{prior}(K_1)] + [P(Z_2/K_2) \times P_{prior}(K_2)]} =$$

$$= \frac{0,3 \times 0,81}{(0,6 \times 0,19) + (0,3 \times 0,81)} = 0,68$$

Έτσι δημιουργείται ο ανανεωμένος πίνακας πιθανοτήτων που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 33: ΑΝΑΝΕΩΜΕΝΗ ΠΡΟΘΕΣΗ ΠΑΙΚΤΩΝ

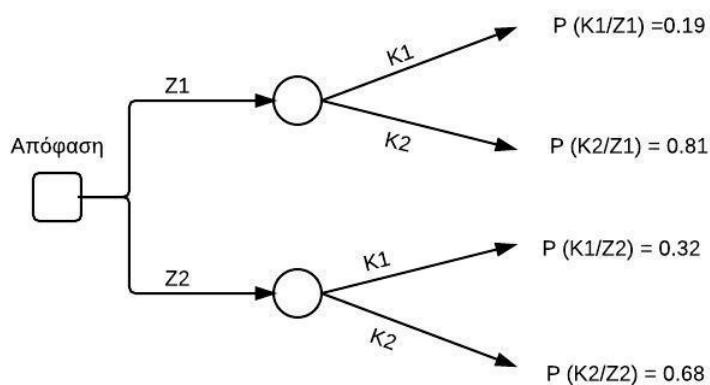
Καταστάσεις της πραγματικότητας	Παράμετροι	
	Z1 ευνοείται η υποβάθμιση	Z2 ευνοείται η αειφορία
K1 ύψος στάθμης κάτω του ορίου	0,19	0,32
K2 ύψος στάθμης άνω του ορίου	0,81	0,68

Χρησιμοποιώντας τον βελτιωτικό κανόνα του Bayes και με την χρήση των ενδεικτικών τιμών της πρόθεσης των αγροτών (πίνακας 35), ανανεώθηκε η πληροφορία για την πιθανότητα υπέρβασης του ορίου πτώσης στάθμης $P_{prior}(K)$. Επομένως η προγενέστερη πιθανότητα υπέρβασης του ορίου των 25m ($P_{prior}(K_1)=0,3$, δεδομένα από καταμέτρηση) θα μειωθεί στην $P_{posterior}(K_1)=0,19$, αν ακολουθηθούν τακτικές που ευνοούν την υποβάθμιση του υδροφορέα μόνο από το 40% των αγροτών. Σημειώνεται δηλαδή, μείωση της πιθανότητας να πέσει η στάθμη κάτω του ορίου αν μόνο 4 στους 10 υπεραντλήσουν. Αντίστοιχα η προγενέστερη πιθανότητα διατήρησης της στάθμης σε ανεκτά επίπεδα $P_{prior}(K_2)=0,7$, ανανεώνεται σε $P_{posterior}(K_2)=0,81$ αυξάνοντας το ποσοστό της πιθανότητας δεδομένου ότι το 60% των αγροτών θα ακολουθήσει τακτικές συνετής χρήσης του αρδευτικού νερού.

Για τον υπολογισμό των νέων $P_{posterior}(K)$ στην περίπτωση που επιλέγεται η διαχείριση που ευνοεί την αειφορία του υδροφορέα, θα χρησιμοποιηθούν ως προγενέστερες πιθανότητες οι ήδη ανανεωμένες $P_{prior}(K_1)=0,19$ και $P_{prior}(K_2)=0,81$. Η παρούσα πληροφορία είναι ότι το 70% των αγροτών έχει πρόθεση να προβεί σε υπεράντληση του υδροφορέα γνωρίζοντας ότι η στάθμη του είναι σε ανεκτά επίπεδα. Μέσω του bayes προκύπτει ότι η πιθανότητα να πέσει η στάθμη του υδροφορέα κάτω του ορίου αυξάνεται από 0,19 σε 0,32, κάτι που είναι ακόμη πιο πιθανό στην περίπτωση των ξηρών ετών. Τέλος δεδομένου ότι το 30% των αγροτών έχει την πρόθεση να διαχειριστεί τον υδροφορέα συνετά προωθώντας την αειφορία, το $P_{prior}(K_2)=0,81$ θα σημειώσει μείωση και άρα η πιθανότητα να παραμείνει η στάθμη σε ανεκτά όρια υπολογίζεται ως $P_{posterior}(K_2)=0,68$ αν μόνο 3 στους 10 δεν προβούν σε υπεραντλήσεις.

TREE DIAGRAMS

Εφαρμόζουμε την παραπάνω εφαρμογή του νόμου του Bayes σε δέντρα αποφάσεων. Πρόκειται για την εκτεταμένη μορφή του παιγνίου που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 2 και η οποία έχει την δυνατότητα να παρουσιάζει όλες τις δυνατές κινήσεις και αποτελέσματα χρονικά συσχετισμένα και διαδοχικά τοποθετημένα. Έτσι μπορεί να κατανοηθεί πολύ εύκολα η έννοια της βελτίωσης μιας πιθανότητας (K) δεδομένης της εγκυρότητας ενός ενδεχομένου (Z).



ΕΙΚΟΝΑ 11: : ΔΕΝΔΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ BAYES

Ξεκινώντας από μια απόφαση προκύπτουν τα εξής δυο ενδεχόμενα Z1 και Z2. Αν ληφθεί ως δεδομένο ότι ισχύει το ενδεχόμενο Z1 π.χ., τότε μέσω του κόμβου τύχης καταλήγουμε είτε στην πληροφορία K1 είτε στην πληροφορία K2. Μέσω του κανόνα του Bayes υπολογίστηκαν οι πιθανότητες βάσει των οποίων θα οδηγηθούμε στην εκάστοτε πληροφορία δεδομένης της ύπαρξης του ενδεχομένου Z1 ή Z2 ,ανάλογά με την περίπτωση.

Μπορεί να τεθεί ως απόφαση την επιβολή ή όχι κάποιου προστίμου παρότρυνσης για καλύτερη διαχείριση του υπογείου νερού. Στην περίπτωση αυτή, ο αρχικός πίνακας θα αλλάξει, αφού με την "απειλή" του προστίμου αλλάζουν και οι αρχικές διαθέσεις των παικτών. Έστω λοιπόν ότι ο αρχικός πίνακας για την περίπτωση του προστίμου είναι ο παρακάτω:

ΠΙΝΑΚΑΣ 34: ΑΡΧΙΚΗ ΠΡΟΘΕΣΗ ΠΑΙΚΤΩΝ ΜΕ ΕΠΙΒΟΛΗ ΠΡΟΣΤΙΜΟΥ

Παράμετροι	Καταστάσεις της πραγματικότητας	
	K1 Ύψος στάθμης κάτω του ορίου	K2 Ύψος στάθμης άνω του ορίου
Z1 ευνοείται η υποβάθμιση	0,3	0,6
Z2 ευνοείται η αειφορία	0,7	0,4

Οι προγενέστερες πιθανότητες παραμένουν ως έχουν:

$$P_{\text{prior}}(K_1) = 0.3$$

$$P_{\text{prior}}(K_2) = 0.7$$

Υπολογίζονται αρχικά οι ανανεωμένες πιθανότητες για την παραδοχή **Z₁**:

$$\begin{aligned} P(K_1/Z_1) &= \frac{P(Z_1/K_1) \times P_{\text{prior}}(K_1)}{[P(Z_1/K_1) \times P_{\text{prior}}(K_1)] + [P(Z_1/K_2) \times P_{\text{prior}}(K_2)]} = \\ &= \frac{0,3 \times 0,3}{(0,3 \times 0,3) + (0,6 \times 0,7)} = 0,18 \text{ το ανανεωμένο } P_{\text{prior}}(K_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(K_2/Z_1) &= \frac{P(Z_1/K_2) \times P_{\text{prior}}(K_2)}{[P(Z_1/K_1) \times P_{\text{prior}}(K_1)] + [P(Z_1/K_2) \times P_{\text{prior}}(K_2)]} = \\ &= \frac{0,6 \times 0,7}{(0,3 \times 0,3) + (0,6 \times 0,7)} = 0,82 \text{ το ανανεωμένο } P_{\text{prior}}(K_2) \end{aligned}$$

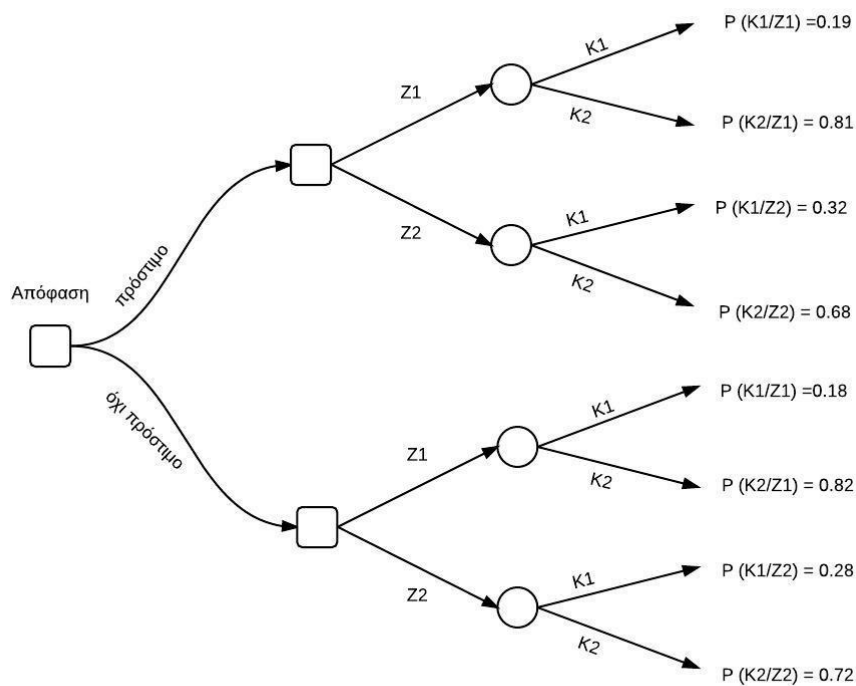
Όπως αναφέρθηκε και πρωτύτερα χρησιμοποιείται το ανανεωμένο P_{prior} αντί για το αρχικό:

Οι ανανεωμένες πιθανότητες για την παραδοχή **Z₂**:

$$\begin{aligned} P(K_1/Z_2) &= \frac{P(Z_2/K_1) \times P_{\text{prior}}(K_1)}{[P(Z_2/K_1) \times P_{\text{prior}}(K_1)] + [P(Z_2/K_2) \times P_{\text{prior}}(K_2)]} = \\ &= \frac{0,7 \times 0,18}{(0,7 \times 0,18) + (0,4 \times 0,82)} = 0,28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(K_2/Z_2) &= \frac{P(Z_2/K_2) \times P_{\text{prior}}(K_2)}{[P(Z_2/K_1) \times P_{\text{prior}}(K_1)] + [P(Z_2/K_2) \times P_{\text{prior}}(K_2)]} = \\ &= \frac{0,4 \times 0,82}{(0,7 \times 0,18) + (0,4 \times 0,82)} = 0,72 \end{aligned}$$

Επομένως το δέντρο αποφάσεων διαμορφώνεται ως εξής:



ΕΙΚΟΝΑ 12: ΔΕΝΤΡΟ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ- ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΠΙΒΟΛΗΣ ΠΡΟΣΤΙΜΟΥ

Σε αυτήν την περίπτωση το δένδρογραμμα ξεκινά από τον κόμβο απόφασης που ορίζει αν πρόκειται να εφαρμοστεί κάποιο πρόστιμο από μεριάς της πολιτείας ή όχι. Αν οι αρμόδιες αρχές δεν έχουν σκοπό να εισάγουν ρυθμιστικά μέτρα για την αναχαίτιση προβληματικών συμπεριφορών, τότε το δέντρο αποφάσεων παραμένει όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Στην περίπτωση όμως που υπάρχει αυτή η πρόθεση εφαρμογής οικονομικών μέτρων, ο αρχικός πίνακας πρόβλεψης των διαθέσεων των παικτών αλλάζει, αφού γνωρίζουν ότι υπάρχει περίπτωση να αναγκαστούν να πληρώσουν αν δεν συμμορφωθούν με τα συμφωνηθέντα.

Έτσι καταλήγουμε σε δυο διαφορετικούς κλάδους απόφασης από τους οποίους οι παίκτες καλούνται να αποφασίσουν ποια τακτική θα ακολουθήσουν, πληροφορία που λαμβάνεται από τους αρχικούς πίνακες πρόθεσης. Έπειτα ακολουθούν οι κόμβοι τύχης με τους οποίους καταλήγουμε στην τελική πληροφορία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΖΗΤΗΣΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Ο υπολογισμός της ωφέλειας

Στα παιχνίδια όπου μπορεί να καθοριστεί η «ωφέλεια» κάθε παίκτη μπορούν να βρεθούν πολύ συγκεκριμένες λύσεις. Ένα καλό παράδειγμα είναι η διαπραγμάτευση, την οποία μελέτησε ο Νας το 1950: δύο άτομα πρέπει να μοιραστούν ένα χρηματικό ποσό, ο ένας είναι πλούσιος ενώ ο άλλος όχι. Ενώ ο φτωχός, λόγω ανάγκης, θα ικανοποιηθεί ακόμα και με λίγα, ο πλούσιος, λόγω ισχύος, θα ευχαριστηθεί μόνο με πολλά χρήματα. Αυτό το μοντέλο οδηγεί σε ένα άνιστο αποτέλεσμα. Στην περίπτωση που έλυσε ο Νας, αν το ποσό είναι 500 ευρώ, ο πλούσιος θα πάρει 310 ενώ ο φτωχός μόλις 190. Ο Νας λαμβάνει υπόψη ένα θεμελιώδη παράγοντα: τα πράγματα, ακόμα και το χρήμα, έχουν διαφορετική αξία για κάθε άτομο και αυτό επηρεάζει το παιχνίδι.

Αυτό το συμπέρασμα μπορεί να μοιάζει κυνικό, όμως η ίδια θεωρία μπορεί να εκφράσει συναισθήματα αγάπης, αλtruισμού και φιλανθρωπίας. Ένα παράδειγμα είναι το παρακάτω. Ένας πατέρας παίζει μπουτζούρη με το μικρό γιο του και οι κανόνες είναι απλοί: χάνει όποιος μένει στο τέλος με το μπουτζούρη. Αν το παιδί με κάποιον τρόπο δώσει στο γονέα του να καταλάβει ποιο χαρτί είναι ο μπουτζούρης, παρ' όλο που οι κανόνες προβλέπουν ότι χάνει αυτός που μένει με το μπουτζούρη, ο πατέρας και πάλι θα το πάρει. Γιατί σε αυτή την περίπτωση η ωφέλειά του δεν είναι τόσο να νικήσει ο ίδιος όσο να δει το παιδί ευχαριστημένο. Ο αλtruισμός των παικτών είναι ένα στοιχείο του παιχνιδιού και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη προκειμένου η θεωρία να περιγράψει, έστω και τμηματικά, τη ζωή.

Πάνω σε αυτή την λογική του υπολογισμού της ωφέλειας βασίστηκε η παρούσα εργασία στο πρώτο της σκέλος, στο στήσιμο του παιγνίου και στον καθορισμό του πίνακα ωφέλειας. Εξηγήθηκε και στο κεφάλαιο 7 ότι οι τιμές που προκύπτουν στον πίνακα πληρωμών- ωφέλειας (b-c, B-c, b-C κ.ο.κ) δεν είναι απόλυτες ως προς το μέτρο τους αλλά αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η συσχέτιση μεταξύ τους. Αν τις δούμε χωριστά την κάθε μια δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα αλλά η αίσθηση που δίνεται στον κάθε παίκτη από σύγκριση των επιλογών του με τις επιλογές του αντιπάλου είναι εν τέλει η κινητήρια δύναμη που θα λειτουργήσει ως κίνητρο εφαρμογής ρυθμιστικών μέτρων. Χρειάζεται άρα να τονιστεί ότι στην τιμή ωφέλειας εκτός από το καθαρά οικονομικό, συγκαταλέγεται και συναισθηματικό στοιχείο ως απόρροια της ουσιαστικής αλληλεπίδρασης που έχουν οι παίκτες.

Κάθε παίκτη τον ενδιαφέρει μεν, να διατηρήσει την ευημερία του αλλά του είναι πιο σημαντικό να αισθάνεται δικαιοσύνη.

Όπως επισημάνθηκε και στο κεφάλαιο 7, στο σενάριο 3, η εφαρμογή κάποιου ρυθμιστικού μέτρου που πλήττει όλους τους δικαιούχους ενός πόρου, χωρίς να καταμερίζεται η ποινή ανάλογα με την διαχείριση που έχει κάνει ο κάθε παίκτης, προκαλεί

αίσθημα αδικίας στους παίκτες που επωμίζονται πρόστιμα παρά την ορθή διαχείριση που ακολουθούν, και αίσθηση κυριαρχίας σ' αυτούς που δρούσαν αλόγιστα.

Βασικό στοιχείο στη έκβαση ενός παιγνίου αποτελεί η συνεργασία και η εμπιστοσύνη ανάμεσα στους παίκτες. Στην περίπτωση των Bonnie και Clyde η σιωπή θα ήταν ο μόνος τρόπος να επιτύχουν το βέλτιστο και για τους δυο αποτέλεσμα.

Όμως ο νόμος της σιωπής δεν είναι πάντα η καλύτερη εναλλακτική λύση. Ίσως και εμείς οι άνθρωποι όπως και άλλοι ζωντανοί οργανισμοί να είμαστε γενετικά προγραμματισμένοι να συνεργαζόμαστε, πιθανόν με τη μορφή Μια Σου και Μια Μου. Ο Αμερικανός Edward O. Wilson (1929-), ο βιολόγος που το 1975 θεμελίωσε την Κοινωνιοβιολογία, υποστηρίζει πως όταν οι άνθρωποι συγκρότησαν κοινωνίες και δημιούργησαν πολιτισμό, η αλτρουιστική συμπεριφορά έγινε από ένστικτο κανόνας κοινωνικής συμπεριφοράς (social norm), μετά νομική επιταγή και τελικά ηθική αρχή. Οι κανόνες κοινωνικής συμπεριφοράς μας επιβάλλουν τη συνεργασία.

Στην περίπτωση άρα των Bonnie και Clyde, όπως επισημάνθηκε και παραπάνω, έχουμε δυο σημεία ισορροπίας: την ισορροπία Nash στο (3,3) (μη συνεργατικό) και την υποπαιγνιακή ισορροπία Nash στο (1,1) (συνεργατικό). Η προσπάθεια που έγινε να ωθηθεί το παίγνιο προς το συνεργατικό σημείο ισορροπίας μπορεί να αποφέρει καρπούς μόνο στην περίπτωση του επαναλαμβανόμενου παιγνίου. Διότι όπως αναλύθηκε στην περίπτωση του one shot game, η τήρηση της συμφωνίας δεν είναι εφικτή αφού το ατομικό συμφέρον υπερισχύει της πρόθεσης για συνεργασία. Η ισορροπία (3,3) αποτελεί κυρίαρχη στρατηγική και για τους δυο παίκτες χωρίς να τους αφήνει περιθώριο για άλλη επιλογή. Όπως προαναφέρθηκε οι Bonnie και Clyde, πρέπει να μάθουν να μην καρφώνουν ο ένας τον άλλο, και άρα να έχουν βρεθεί στην ανακριτική καρέκλα πολλές φορές.

Το επαναλαμβανόμενο παίγνιο του διλήμματος του φυλακισμένου δίνει λύση στην περίπτωση των αγροτών, οι οποίοι στο διάστημα των 5 ή 10 ετών που διαρκεί το παίγνιο, έχουν την δυνατότητα να αλλάξουν οι ίδιοι στρατηγική ή να ωθήσουν τους αντιπάλους τους προς μια πιο συνετή τακτική διαχείρισης, μέσω της επαναληψιμότητας των γύρων. Μόνο έτσι μπορεί να μετακινηθεί το σημείο ισορροπίας.

Ο ρόλος της πολιτείας είναι πολύ σημαντικός σ' αυτό το σημείο στο οποίο, όπως παρουσιάστηκε, μπορεί να επέμβει στο παιχνίδι σαν εξωτερικός παράγοντας και να «αναγκάσει» τους παίκτες να συνεργαστούν. Αρκετά ενδιαφέρουσα είναι η εκδοχή της επιβράβευσης ως μέσο διαμόρφωσης τακτικής από πλευράς της πολιτείας σε σχέση με την πολυεφαρμοσμένη επιβολή προστίμου. Διότι εν τέλει ο απώτερος σκοπός του αρμόδιου οργάνου – Πολιτείας, είναι η διαμόρφωση περιβαλλοντικής σκέψης και δράσης στους πολίτες της με την ταυτόχρονη διατήρηση της αειφορίας των φυσικών πόρων και όχι η εφαρμογή ενός εισπρακτικού συστήματος φόρων υπονομεύοντας κάθε αξία των κοινών αγαθών.

Για την κατανόηση της συμπεριφοράς των παικτών και για την προσπάθεια πρόβλεψής της είναι σημαντική η μελέτη της θεωρίας της «πραγωδίας των κοινών». Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, πρόκειται για μια αναλογία σύγκρουσης των ατομικών συμφερόντων και του κοινού καλού στην διεκδίκηση των πόρων. Στο ζήτημα της διαχείρισης του ηλεκτρικού ρεύματος οι Holden και Linnerud (2010) απέδειξαν ότι αν οι ιδιώτες δεν αντιλαμβάνονται ότι η συμπεριφορά τους έχει κάποιο αντίκτυπο, τότε δεν θα συνεχίσουν να εξοικονομούν ενέργεια, ακόμα και αν έχει θετικά περιβαλλοντικά

αποτελέσματα. Το ίδιο ισχύει και με τη διαχείριση του νερού κατά την οποία οι παίκτες επηρεάζονται από τις κινήσεις των αντιπάλων και πολύ εύκολα μπορούν να παρασυρθούν σε μια αλόγιστη χρήση του πόρου αν ο αντίπαλος κάνει το ίδιο. Είναι η αδυναμία τους που τους ωθεί στο να παραστρατήσουν και οι ίδιοι, προκειμένου να μην αισθανθούν εξαπατημένοι.

Όσον αφορά στη Θεωρία Παιγνίων ως εργαλείο της Θεωρίας Λήψης Αποφάσεων, μελετήθηκε η χρησιμότητα του κριτηρίου *minimax regret* και η ικανότητά του να ορίσει την έκβαση του παιχνιδιού. Χρησιμοποιήθηκε η εμπλουτισμένη εξίσωση του *Irrigania* (7.4) με τους όρους $a \times g$ και $F_{gw} \times k$. Ο πρώτος όρος, όπως σχολιάστηκε και παραπάνω, δεν είναι απόλυτα δίκαιος προς όλους τους παίκτες διότι αν και «διαφυλάσσει» τον υδροφορέα, ορίζοντας την στάθμη του ως κριτήριο αύξησης του προστίμου, δεν αποδίδει διαφορετικά πρόστιμα σε κάθε παίκτη ανάλογα με το ποσό του αντλούμενου νερού. Γι' αυτό το λόγο εισήχθει και ο όρος $F_{gw} \times k$ ο οποίος λαμβάνει υπόψιν, για τον κάθε παίκτη χωριστά, τον αριθμό των χωραφιών που έχει επιλέξει να αρδευτούν με υπόγειο νερό. Έτσι επιβάλλεται μείωση στα έσοδα του παίκτη (πρόστιμο) ο οποίος υπερέβει το όριο χωραφιών αρδευόμενων με υπόγειο νερό που θέτει ο εκάστοτε φορέας. Το παραπάνω κριτήριο εφαρμόστηκε για διάφορους συνδυασμούς προστίμων k στις δυο κλίμακες F_{gw} ($1^{\text{η}}$: $3 < F_{gw} \leq 6$ και $2^{\text{η}}$: $6 < F_{gw} \leq 10$).

Στο παράδειγμα που αναπτύχθηκε νωρίτερα, το κριτήριο πρόβαλε ως πιο συμφέρουσα την άρδευση 5 χωραφιών με ταυτόχρονη πτώση της στάθμης στα 15 μέτρα. Αν αλλάξουν οι παράγοντες προστίμου k όπως παρακάτω:

- **Αν $3 < F_{gw} \leq 6$ τότε $k=10$**
- **Αν $6 < F_{gw} \leq 10$ τότε $k=15$**

Τότε ο πίνακας πληρωμών διαμορφώνεται ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 35: ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΗΡΩΜΩΝ MINIMAX 2^ο

Depth to Gw (m)	NGW		
	2/10	5/10	7/10
5	570	625	<u>640</u>
10	412	455	<u>462</u>
15	<u>272</u>	180	97

και άρα ο πίνακας κόστους ευκαιρίας θα είναι:

ΠΙΝΑΚΑΣ 36: ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΥΚΑΙΡΙΑΣ 2^ο

Depth to Gw (m)	Ngw		
	2/10	5/10	7/10
5	70	15	0
10	50	7	0
15	0	92	175

Παρατηρούμε ότι με την αλλαγή του παράγοντα k , η βέλτιστη στρατηγική μετακινήθηκε στην άρδευση 2 χωραφιών και την ταυτόχρονη διατήρηση του υδροφορέα σε καλά επίπεδα στάθμης.

Ανάλογα λοιπόν με τις ανάγκες του εκάστοτε υδροφορέα και τις διαθέσεις του αρμόδιου φορέα, ο παράγοντας k αλλάζει τιμή και μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί.

Τέλος όσον αφορά στη χρήση της μεθόδου του Bayes, έγινε μια προσπάθεια πρόβλεψης της τύχης του υδροφορέα αναφορικά με τις προθέσεις των ιδίων των χρηστών του. Επιβεβαιώθηκε η εγωιστική συμπεριφορά ως κύριο χαρακτηριστικό των παικτών καθώς η επιθυμία για προσωπικό όφελος δεν μπορεί να ισοσταθμιστεί με την περιβαλλοντική συνείδηση. Πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι οι αποφάσεις που καλούνται να πάρουν οι παίκτες και η πρόθεση χρήσης νερού που παρουσιάζουν, οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα τις μετεωρολογικές συνθήκες. Αν μια μέτρια χρονιά διαδεχτεί μια ξηρή, τότε ο υδροφορέας δεν έχει χρόνο να ανακάμψει και αν οι προθέσεις των χρηστών δεν ακολουθήσουν τα νέα δεδομένα, τότε η υποβάθμισή του είναι αναπόφευκτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. A primer in game theory, Robert Gibbons, Harvester Whearsheaf, 1992
2. Benkler, Yochai (2006). *The wealth of networks: How social production transforms markets and freedom*. New Haven/London: Yale University Press.
3. Butler, David J, Victoria K Burbank, and James S Chisholm. 2011. "The Frames behind the Games : Player ' S Perceptions of Prisoners Dilemma , Chicken , Dictator , and Ultimatum Games." *Journal of Socio-Economics* 40(2): 103–14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socec.2010.12.009>.
4. Daskalakis Constantinos (2008), *The Complexity of Nash Equilibria*, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley
5. Donta, A. A., Lange, M. A., and Herrmann, A. (2006). "Water on Mediterranean islands: Current conditions and prospects for sustainable management." Project No. EVK1-CT-2001-00092, Centre for Environment Research (CER), Univ. of Muenster, Muenster, Germany.
6. Eleftheriadou, Eleni, and Yiannis A Mylopoulos. 2000. "CONFLICT RESOLUTION IN THE MANAGEMENT OF TRANSBOUNDARY CATCHMENTS : APPLICATION IN NESTOS RIVER." : 3–6.
7. Eliezer Yudkowsky, *An Intuitive Explanation of Bayes Theorem*, 2003
8. George Monbiot, *'The Tragedy of Enclosure'*, *Scientific American*, Ιούλιος 1994
9. Greenwood, Ashley J B, Gerrit Schoups, Edward P Campbell, and Patrick N J Lane. 2014. "Bayesian Scrutiny of Simple Rainfall – Runoff Models Used in Forest Water Management." *JOURNAL OF HYDROLOGY* 512: 344–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.074>.
10. Hardin, Garrett (1968). «The Tragedy of the Commons». *Science* **162**: 1243-1248
11. Hong, Thinh, and Ludmila Aleksandrovna. 2015. "Prediction Maps of Land Subsidence Caused by Groundwater Exploitation in." *Resource-Efficient Technologies* 1(2): 80–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.reffit.2015.09.001>.
12. Ioannou, Christos A, and Julian Romero. 2014. "Games and Economic Behavior A Generalized Approach to Belief Learning in Repeated Games." *Games and Economic Behavior* 87: 178–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geb.2014.05.007>.
13. Jones, Matthew, Michael Goldstein, Philip Jonathan, and David Randell. 2015. "Journal of Statistical Planning and Inference Bayes Linear Analysis for Bayesian Optimal Experimental Design." *Journal of Statistical Planning and Inference*: 1 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspi.2015.10.011>.

14. Kapellakis, I E, K P Tsagarakis, and Ch Avramaki. 2006. "Olive Mill Wastewater Management in River Basins : A Case Study in Greece." 82: 354–70.
15. Kritsotakis M., I.K. Tsanis, "An integrated approach for sustainable water resources management of Messara Basin, Crete, Greece", European Water Resources Association (EWRA), 27/28: 15-30, 2009
16. Latinopoulos D. and Mylopoulos Y., 2005, "Economic Valuation of Irrigation Water: A case of study in Loudias River Basin", Heleco Technical Chamber of Greece, Athens.
17. Lessig, Lawrence (2004). [*Free Culture*](#)
18. Madani, K. (2010). Game Theory and water resources. *Journal of Hydrology*, 381 (3-4), 225-238. <http://doi.org/10.1016/j.hydrol.2009.11.045>
19. Mylopoulos N., Kolokytha E., Loukas A., Mylopoulos Y., 2009, "Agricultural and water resources development in Thessaly, Greece in the framework of new European Union policies", *J. River Basin Management*, Vol. 7, No 1, 73-89.
20. Neumann J.V., 1928, " On the Theory of Games of Strategy", in A.W. Tucker and R.D. Luce, ed. 1959, *Contributions to the Theory of Games*, v. 4, pp. 13-42
21. Ohler, Adrienne M., and Sherrilyn M. Billger. 2014. "Does Environmental Concern Change the Tragedy of the Commons? Factors Affecting Energy Saving Behaviors and Electricity Usage." *Ecological Economics* 107: 1–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.031>.
22. Osborne J.Martin (2002), *An introduction to game theory*, Oxford University Press
23. *Strategies and Games, Theory and Practice*. Prajit K. Dutta. HB144.D88, 1999
24. Straffin D. Philip(1993), *Game Theory and Strategy*, The Mathematical Association of America
25. Tari, Ali Fuat. 2016. "The Effects of Different Deficit Irrigation Strategies on Yield , Quality , and Water-Use Efficiencies of Wheat under Semi-Arid Conditions." *Agricultural Water Management* 167: 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.023>.
26. Tsarouhas, P et al. 2015. "Life Cycle Assessment of Olive Oil Production in Greece." *Journal of Cleaner Production* 93: 75–83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.042>.
27. Turocy, T.L., Stengel, B. Von, & von Stengel, B. (2003). *Game Theory. Encyclopedia of information systems*, 403-420. <http://doi.org/10.3390/s111009327>

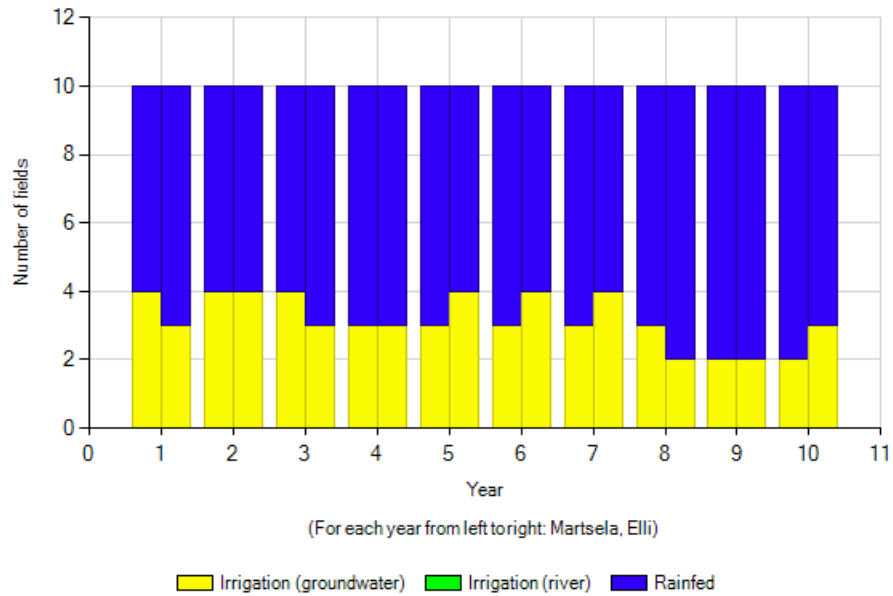
28. Tutzauer, Frank, Margaret K Chojnacki, and Pauline W Hoffmann. 2006. "Network Structure , Strategy Evolution , and the Game of Chicken &." 28(May 2005): 377–96.
29. Varouchakis, E. (2015). "Integrated Water Resources Analysis at Basin Scale: A Case Study in Greece." *J. Irrig. Drain Eng.*, 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000966, 05015012.
30. Varouchakis, E A, I Palogos, and G P Karatzas. 2016. "Application of Bayesian and Cost Benefit Risk Analysis in Water Resources Management." *JOURNAL OF HYDROLOGY* 534: 390–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.007>.
31. Young R.A., 1996, "Measuring economic benefits for water investments and policies", World Bank Technical Paper.
32. Wang, Z., Kokubo, S., Jusup, M., & Tanimoto, J. (2015). Universal scaling for the dilemma strength in evolutionary games. *Physics of Life Reviews*, 14, 1–30. <http://doi.org/10.1016/j.plev.2015.04.033>
33. Zhao, Ying et al. 2014. "Environmental Modelling & Software A Bayesian Method for Multi-Pollution Source Water Quality Model and Seasonal Water Quality Management in River Segments." *Environmental Modelling and Software* 57: 216–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.03.005>.
34. Zou, Jing et al. 2015. "Effects of Anthropogenic Groundwater Exploitation on Land Surface Processes: A Case Study of the Haihe River Basin , Northern China." *Journal of Hydrology* 524: 625–41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.026>.
35. Βαρβαρούσης Π., Στρατηγική των παιγνίων, εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.
36. Βαρουφάκης Γιάννης, Θεωρία Παιγνίων, η θεωρία που φιλοδοξεί να ενοποιήσει τις κοινωνικές επιστήμες, Gutenberg 2007
37. Βλαχοπούλου Αθανασία, Εμπειρική προσέγγιση της Nash Ισορροπίας, μεταπτυχιακή διατριβή, 2010
38. Ευρωπαϊκή Ένωση και Ελλάδα, and Margarita Chondrou-karavassili. 2005. "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΥΘΥΝΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΖΗΜΙΑΣ : Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ' Ο ΡΥΠΑΙΝΩΝ ΠΛΗΡΩΝΕΙ ' ENVIRONMENTAL LIABILITY FOR PREVENTION AND RESTORATION OF THE ENVIRONMENTAL DAMAGE : THE IMPLEMENTATION OF THE ' POLLUTER-PAYS ' PRINCIPLE IN THE EUROPEAN UNION AND GREECE ." : 3–6.
39. Έρευνα και Μελέτη για την Αναθεώρηση του περιφερειακού σχεδιασμού διαχείρισης στερεών αποβλήτων περιφέρειας Κρήτης, ΕΜΠ 2010 http://www.crete.gov.gr/attachments/article/1792/05.%20%CE%A0%CE%95%CE%A3%CE%94%CE%91%CE%9A%20-%20%CE%9A%CE%B5%CF%86%205_v07.15%20-%20FINAL.pdf

40. Κοτταρίδης Κ., Σιουρούνης Γ., Θεωρία Παιγνίων, Ευρασία
41. Κριτσωτάκης Μ., Παυλίδου Σ., Κατάσταση Υπογείων Υδροφόρων Κρήτης 2013
42. Κωστάκης, Βασίλης (2012). Το ομότιμο μανιφέστο. Ιωάννινα: Βορειοδυτικές εκδόσεις.
43. Λιβανίου Ιωάννα, Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην επιλογή Στρατηγικών Εξοικονόμησης Νερού στην Ελληνική Γεωργία, μεταπτυχιακή διατριβή, 2011
44. Παναγιωτακόπουλος Δημήτρης, Συστημική Μεθοδολογία και Τεχνική Οικοδομική, Ζυγός 2008
45. Παπαιωάννου Ε., Θέματα υπολογισμού στον πολιτισμό (2014-1015)
46. Πετράκης Ε. Σημειώσεις θεωρίας παιγνίων, Οικονομικό Κρήτης
http://www.soc.uoc.gr/petrakis/docs/8ewria/GT_simiwseis.pdf
47. Τσάντας Ν., Σημειώσεις Θεωρία Παιγνίων
http://www.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/OR_GameTheory.pdf

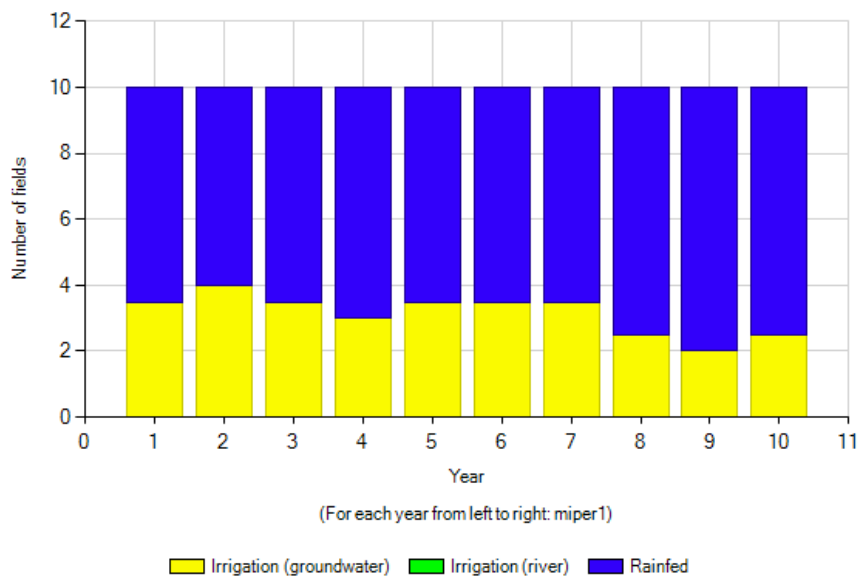
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακες που εξήχθησαν από την εφαρμογή του προγράμματος Irrigania

ΠΙΝΑΚΑΣ 37: ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΗΓΗΣ ΝΕΡΟΥ



ΠΙΝΑΚΑΣ 38: ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΠΗΓΗΣ ΝΕΡΟΥ



ΠΙΝΑΚΑΣ 39: ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΔΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΑΙΚΤΩΝ

