



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΧΑΝΙΩΝ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΟΒΟΛΟΥ ΑΦΡΟΔΙΤΗ

ΧΑΝΙΑ, Μάρτιος 2022

«Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή της προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.»



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΧΑΝΙΩΝ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΟΒΟΛΟΥ ΑΦΡΟΔΙΤΗ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δάρας Τρύφων (Επιβλέπων Καθηγητής)

Καρατζάς Γεώργιος

Βαρουχάκης Εμμανουήλ

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	8
Abstract.....	10
Ευχαριστίες	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο	13
1. Εισαγωγή.....	13
1.1 Νερό και παγκόσμια κρίση υδάτινων πόρων.....	13
1.2 Η λειψυδρία και ο δείκτης εκμετάλλευσης νερού WEI	14
1.3 Διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις.....	16
1.4 Μαζικός Τουρισμός σε καιρούς Κλιματικής Αλλαγής.....	16
1.5 Στόχος 6.4 - Χρήση νερού και έλλειψη.....	17
1.6 Το Νερό στις πόλεις.....	17
1.6.1 Εισαγωγή.....	17
1.6.2 Μορφές Νερού	18
1.6.2.1 Υγρό Απόβλητο.....	18
1.6.2.2 Μαύρο Νερό	19
1.6.2.3 Γκρίζο Νερό.....	19
1.6.2.4 Βρόχινο Νερό.....	19
1.7 Αντληση νερού που προορίζεται για δημόσια χρήση	20
1.8 Χρήσεις του νερού	22
1.8.1 Χρήση του νερού στη γεωργία.....	23
1.8.2 Χρήση του νερού στη βιομηχανία	23
1.8.3 Χρήση του νερού στο σπίτι	23
1.8.4 Χρήση του νερού στον τουρισμό	23
1.9 Χρήση πόρων γλυκού νερού.....	24
1.9.1 Διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων	25
1.9.2 Ποσοτικά στοιχεία γλυκού νερού σε Ευρώπη και Ελλάδα.....	25
1.9.2.1 Αντιμετώπιση διαρροών και «χαμένου» νερού	26
1.10 Οι υδατικοί πόροι της Ελλάδας	27
1.10.1 Το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης.....	28
1.10.2 Γεωγραφικά στοιχεία και διοικητική δομή	28
1.10.3 Γεωμορφολογικά- Γεωλογικά χαρακτηριστικά	28
1.10.4 Κλίμα	29
1.10.5 Υδρολογικό ισοζύγιο – Προσφορά νερού.....	31
1.10.6 Υδρολογικό ισοζύγιο	33
1.11 Τραγωδία των Κοινών	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο	36
2.1 Εισαγωγή	36
2.2 Ιστορική αναδρομή	36
2.3 Βασικά χαρακτηριστικά και έννοιες	38
2.4 Ταξινόμηση Παιγνίων	39
2.5 Τρόποι περιγραφής και ανάλυσης παιγνίων	41
2.6 Η αμιγής και η μικτή στρατηγική και το κριτήριο minimax-maxmin	43
2.7 Ισορροπία Nash	46
2.7.1 Η Ιστορία	46
2.8 Βασικά Στρατηγικά Παίγνια	48
2.8.1 Το Δίλημμα του Φυλακισμένου	48
2.8.2 Παίγνιο Γερακιού-Περιστεριού (CHICKEN GAME)	52
2.8.3 Κυνήγι Ελαφιού (STAG-HUNT GAME)	53
2.9 Σύνοψη των χαρακτηριστικών	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο	56
3.1. Εισαγωγή	56
3.1.1. Γιατί να γίνει χρήση της Θεωρίας Παιγνίων;	56
3.2. Εφαρμογές της θεωρίας παιγνίων σε συγκρούσεις υδατικών πόρων	57
3.2.1 Δίλημμα του Φυλακισμένου (Prisoners' Dilemma)	57
3.2.2 Chicken Game	59
3.2.3 Stag-Hunt Game	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο	63
Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο	78
5.1 Στήσιμο Παιγνίου	78
5.2 Σενάρια	82
5.2.1 Το Πάγιο F παραμένει ως έχει	82
5.2.2 Το Πάγιο F αλλάζει	84
5.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο	101
Συζήτηση και Προτάσεις	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ-ΕΙΚΟΝΩΝ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ-ΧΑΡΤΩΝ

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1 : Μηνιαίο ύψος νετού για το σταθμό της Σούδας Χανίων σε (mm)

Πίνακας 2.1 : Παίγνιο 2*2

Πίνακας 2.2 : Minimax-Maximin

Πίνακας 2.3 : Παίγνιο εφαρμογής μικτής στρατηγικής

Πίνακας 2.4 : Αμοιβές Παιγνίου της Δειλίας

Πίνακας 2.5 : Μήτρα του παιγνίου “Το Κυνήγι του Ελαφιού”

Πίνακας 2.6 : Χαρακτηριστικά των παιγνίων 2 επί 2

Πίνακας 3.1 : Παίγνιο υπόγειων υδάτων με τακτικές αποδόσεις

Πίνακας 3.2 : Παίγνιο διαμάχης Ιράν-Αφγανιστάν για τον ποταμό Helmand

Πίνακας 3.3 : Παίγνιο δύο γειτονικών κρατών με κοινό περιβαλλοντικό ζήτημα

Πίνακας 4.1: Κλάσεις κατανάλωσης

Πίνακας 4.2 : Κέρδος F' από το πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης για όλες τις κλάσεις

Πίνακας 4.3 : Μεταβολές στην κατανάλωση στην υπάρχουσα κατάσταση (F σταθερό)

Πίνακας 4.4 : Κέρδος στην υπάρχουσα κατάσταση (F σταθερό) για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση

Πίνακας 4.5 : Κέρδος στην υπάρχουσα κατάσταση (F σταθερό) για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση

Πίνακας 4.6 : Κέρδος στην υπάρχουσα κατάσταση (F σταθερό) για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση

Πίνακας 4.7 : Μεταβολές στην κατανάλωση για $F=0$

Πίνακας 4.8 : Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=0$

Πίνακας 4.9 : Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=0$

Πίνακας 4.10: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=0$

Πίνακας 4.11: Μεταβολές στην κατανάλωση για $F=F/3$

Πίνακας 4.12: Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/3$

Πίνακας 4.13: Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/3$

Πίνακας 4.14: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/3$

Πίνακας 4.15: Μεταβολές στην κατανάλωση για $F=F/2$

Πίνακας 4.16 Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/2$

Πίνακας 4.17: Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/2$

Πίνακας 4.18: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/2$

Πίνακας 19: Μεταβολές στην κατανάλωση για $F=2F/3$

Πίνακας 20: Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=2F/3$

Πίνακας 21: Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=2F/3$

Πίνακας 22: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=2F/3$

Πίνακας 23: Μήτρες του παιγνίου για το Σενάριο 1

Πίνακας 24 : Μήτρες του Παιγνίου για το Σενάριο 2

Πίνακας 25 : Μήτρες του Παιγνίου για το Σενάριο 3

Πίνακας 26 : Μήτρες του Παιγνίου για το Σενάριο 4

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Συνολική άντληση γλυκού νερού για δημόσια παροχή νερού, 2018(m^3 ανά κάτοικο)

Εικόνα 1.2: Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης

Εικόνα 2.1: Το δίλημμα του φυλακισμένου

ΧΑΡΤΕΣ

Χάρτης 1.1: Στοιχεία του δείκτη εκμετάλλευσης νερού (WEI) στην Ευρώπη

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1.1: Συνολική άντληση γλυκού νερού ανά κάτοικο για το διάστημα 1990-2018(m^3 ανά κάτοικο)

Διάγραμμα 1.2 Ποσοστιαία οικιακή κατανάλωση νερού.

Διάγραμμα 1.3: Μηνιαίο ύψος νετού για το σταθμό της Σούδας Χανίων σε (mm)

Περίληψη

Η όλο και αυξανόμενη εμφάνιση πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων που θα είναι βιώσιμες. Απαιτείται σχεδιασμός, υλοποίηση και βέλτιστη λειτουργία έργων υποδομής αλλά και παρεμβάσεις διαχείρισης τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης, παραδείγματος χάρι μέσω υιοθέτησης μέτρων που θα αποσκοπούν τόσο στην εξοικονόμηση όσο και στην επαναχρησιμοποίηση του νερού. Η διαχείριση των υδάτων και η χρήση τους με ορθολογικό τρόπο συχνά αποτελούν αιτία σύγκρουσης μεταξύ ομάδων οι οποίες καλούνται να τα μοιραστούν. Οι ομάδες αυτές που συγκρούονται μπορεί να είναι είτε μονάδες-ιδιώτες οι οποίοι βρίσκονται μπροστά σε ένα πρόβλημα διαχείρισης μιας κοινής γεώτρησης φερειπείν, είτε ακόμα και κράτη τα οποία αντιμετωπίζουν θέματα διαχείρισης των διασυνοριακών υδατικών πόρων. Η συνεργασία μεταξύ των καταναλωτών-χρηστών, η μελέτη και η λειτουργία ενός πλάνου σωστής διαχείρισης των πόρων και η συμβολή της Πολιτείας είναι οι βασικοί παράγοντες που θα εξομαλύνουν τις εν λόγω αντιθέσεις.

Η Θεωρία Παιγνίων είναι ένα εργαλείο μελέτης των αποφάσεων το οποίο οι εμπλεκόμενοι σε ζητήματα διαχείρισης πόρων ύδατος μπορούν να επιλέξουν στρατηγικές με στόχο να βελτιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Ωστόσο, τα κέρδη ενός εμπλεκόμενου μπορεί ταυτόχρονα να είναι η ζημία του άλλου οδηγώντας είτε σε κατάσταση ανταγωνισμού είτε σε κατάσταση συνεργασίας. Το τελευταίο ενδεχόμενο μπορεί να προκύψει όταν οι εμπλεκόμενοι παίκτες είναι περισσότεροι του αριθμού δύο. Για να μπορεί να υπάρξει ένα παίγνιο οι παίκτες που θα συμμετέχουν θα πρέπει έχουν αντικρουόμενα συμφέροντα, να είναι τουλάχιστον δύο σε αριθμό και οι στρατηγικές που θα έχουν στη διάθεσή τους να είναι, επίσης, τουλάχιστον δύο. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει ένας πίνακας αμοιβών στον οποίο παρουσιάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των διαθέσιμων στρατηγικών ο οποίος οδηγεί και στο τελικό αποτέλεσμα του παιγνίου. Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει λόγος για την έννοια της ισορροπίας του παιγνίου, μία έννοια βασική για τον καθορισμό της τελικής έκβασης και αποτελέσματος του παιγνίου. Πρόκειται για το σημείο όπου ο συνδυασμός των στρατηγικών των δύο παικτών δίνει ταυτόχρονα και για τους δύο τη βέλτιστη απόδοση, σημείο από το οποίο κανένας δε θέλει να μετακινηθεί και να αλλάξει στρατηγική.

Η παρούσα μελέτη περιστρέφεται γύρω από τη βέλτιστη πολιτική χρέωσης οικιακού νερού στο Δήμο Χανίων Κρήτης στα πλαίσια περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών προοπτικών. Όπως ορίζεται στην οδηγία πλαίσιο της ΕΕ για τα ύδατα, κάθε πολιτική χρέωσης νερού πρέπει να είναι δίκαιη απέναντι στους πελάτες, να παράγει νόμιμα έσοδα και να παρακινεί τους καταναλωτές να εξοικονομούν νερό και να εκλογικεύουν τη χρήση τους. Στο Δήμο Χανίων, ωστόσο, η τιμολόγηση του νερού οικιακής χρήσης δεν ακολουθεί αυτή την κατεύθυνση καθώς οι υπέρογκες πάγιες χρεώσεις κάθε άλλο παρά κίνητρο δίνουν στους κατοίκους να μειώσουν την άσκοπη και αλόγιστη χρήση του πολύτιμου αγαθού. Αυτό, άλλωστε, επιβεβαιώνεται και από τη στατιστική μελέτη που πραγματοποιήθηκε μεταξύ 203 κατοίκων της πόλης των Χανίων για τις ανάγκες της πτυχιακής εργασίας κατά την οποία προέκυψε ότι το 45,81% δηλώνει πως το ποσό που πληρώνει είναι υψηλό ενώ σε άλλο ερώτημα το 33,50% θεωρεί ότι είναι άδικη η τιμολογιακή πολιτική που ακολουθεί η Δ.Ε.Υ.Α.Χ ενώ στο ερώτημα εάν το ποσό που θα έπρεπε να πληρώνουν θα πρέπει να προκύπτει από μία σχέση αναλογίας με τον όγκο νερού που καταναλώνουν το συντριπτικό ποσοστό του 90,64% απάντησε καταφατικά.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθούν εναλλακτικά σενάρια τιμολόγησης του νερού τα

οποία θα είναι σύμφωνα τόσο με την οδηγία-πλαίσιο όσο και με την κοινή γνώμη των πολιτών.

Ως εκ τούτου, μέσα από μια παραλλαγή του διλήμματος του φυλακισμένου προτάθηκε ένα παίγνιο **μηδενικού** αθροίσματος με δύο παίκτες. Στο παίγνιο αυτό η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Χανίων (Δ.Ε.Υ.Α.Χ.) είναι ο Παίκτης 1 με τα συμφέροντά του να έρχονται σε σύγκρουση με αυτά των κατοίκων της πόλης των Χανίων, οι οποίοι αποτελούν τον Παίκτη 2. Αναπτύχθηκαν τέσσερα σενάρια για τη σταδιακή μείωση των πάγιων τελών από την πλευρά της Δ.Ε.Υ.Α.Χ κάνοντας ταυτόχρονα υποθέσεις και για διαφορετικό βαθμό αλλαγής της συμπεριφοράς των πολιτών ως προς την κατανάλωση του νερού οικιακής χρήσης για κάθε κλάση κατανάλωσης νερού. Από τη στιγμή που η Δ.Ε.Υ.Α.Χ είναι ένα Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου, με κοινωφελή – μη κερδοσκοπικό – χαρακτήρα θεωρείται ότι δεν στοχεύει στην αύξηση των κερδών της. Από την πλευρά της μάλιστα, οφείλει να μεριμνήσει σχετικά με το θέμα των διαρροών του δικτύου, στις οποίες οφείλεται μέρος της δυσαρμονίας της ογκομετρικής κατανάλωσης νερού και της οικονομικής χρέωσης των καταναλωτών.

Απώτερος σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η προσπάθεια για επικράτηση μιας περιβαλλοντικής πολιτικής, ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών προκειμένου να διαμορφωθεί το πλαίσιο αυτό όπου όλοι θα καταναλώνουν τα πολύτιμα φυσικά αγαθά με ευσυνείδητο τρόπο.

Abstract

The growing pressure on the aquatic environment necessitates the implementation of sustainable water resources development and management policies. Planning, implementation and optimal operation of infrastructure projects are required, as well as management interventions of both supply and demand, for example through the adoption of measures aimed at both saving and reusing water. Water management and its rational use are often the cause of conflict between groups that are called upon to share it. These conflicting groups may be from individual units facing a problem of managing a common well, or even states dealing with cross-border water management issues. Cooperation between consumers-users, the study and operation of a proper resource management plan and the contribution of the State are the key factors that will smooth out these contradictions.

Game Theory is a decision study tool that those involved in water resource management issues can choose strategies to optimize their profits. However, the profits of one stakeholder can simultaneously be the loss of the other leading either to a state of competition or to a state of cooperation. The latter can occur when the number of players involved is more than two. In order for there to be a game, the participating players must have conflicting interests, at least two in number, and the strategies at their disposal must also be at least two. In this way, a table of rewards is presented in which all the possible combinations of available strategies are presented, which leads to the final result of the game. At this point we must talk about the concept of game balance, a key concept for determining the final outcome and outcome of the game. This is the point where the combination of the two players' strategies gives both of them the best performance at the same time, a point from which no one wants to move and change strategy.

The present study revolves around the optimal household water billing policy in the Municipality of Chania, Crete in the context of environmental, social and economic perspectives. As set out in the EU Water Framework Directive, any water billing policy must be fair to customers, generate legitimate revenue and motivate consumers to save water and rationalize their use. In the Municipality of Chania, however, the pricing of domestic water does not follow this direction as the exorbitant fixed charges are anything but an incentive for the residents to reduce the pointless and reckless use of the valuable good. This, moreover, is confirmed by the statistical study carried out among 203 residents of the city of Chania for the needs of the dissertation, which showed that 45.81% state that the amount they pay is high, while in another question 33, 50% consider that the billing policy pursued by Municipal Enterprise for Water and Sewage of Chania (MEWS) is unfair, while the question of whether the amount they should pay should result from a ratio proportional to the volume of water consumed by the vast majority of 90.64% answered in the affirmative.

The purpose of this thesis is to study alternative water pricing scenarios that will be in line with both the framework directive and public opinion. Therefore, through a variation of the prisoner's dilemma, a zero-sum game with two players was proposed. In this game, the Municipal Water Supply and Sewerage Company of Chania (MEWS) is Player 1 with its interests in conflict with those of the residents of the city of Chania, who constitute Player 2. Four scenarios were developed for the gradual reduction of fixed fees on the part of MEWS while making assumptions about a different degree of change in the behavior of citizens regarding the consumption of domestic water for each class of water consumption. Since MEWS is a Legal Entity under Private Law, with a public benefit - non-profit - character, it is

considered that it does not aim at increasing its profits. For its part, in fact, it must take care of the issue of network leaks, which are due in part to the discrepancy between volumetric water consumption and the financial charging of consumers. The other purpose of this study is to try to prevail an environmental policy, information and awareness of the citizens in order to form this framework where everyone will consume valuable natural goods in a conscientious manner.

Ευχαριστίες

Κατά την επεξεργασία της παρούσας διπλωματικής εργασίας είχα δίπλα μου σημαντικούς ανθρώπους που με στήριξαν προκειμένου να ολοκληρώσω τόσο αυτή όσο και τις προπτυχιακές σπουδές μου στο τμήμα των Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Τρύφωνα Δάρα, τον επιβλέποντα καθηγητή μου, τόσο για την εκπόνηση του θέματος όσο και για την πολύτιμη βοήθειά του για την συγγραφή. Ομοίως, δεν θα μπορούσα να παραλείψω τον κ.Εμμανουήλ Βαρουχάκη για την έμπνευση, την καθοδήγηση και την στήριξή του σε οτιδήποτε χρειάστηκα και τον κ.Γιώργο Καρατζά, ο οποίος συμπληρώνει μαζί με τους προαναφερθέντες καθηγητές την Τριμελή Επιτροπή μου, για τις σημαντικές γνώσεις που αποκόμισα καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Από την πρώτη στιγμή της εγγραφής μου έως και την τελευταία μέρα της παρουσίας στάθηκαν δίπλα μου με αγάπη και πίστη. Τους ευγνωμονώ βαθιά. Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τη δεύτερη “οικογένεια”, αυτή που δημιούργησα στα Χανιά, τους φίλους μου καθώς σε αυτό το ταξίδι της σπουδής πορευτήκαμε μαζί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1. Εισαγωγή

1.1 Νερό και παγκόσμια κρίση υδάτινων πόρων

Το γλυκό νερό είναι ένας βασικός πόρος για την ανθρώπινη ζωή, την οικονομία και το περιβάλλον. Σχεδόν κάθε οικονομικός τομέας, από τη γεωργία, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κατασκευή έως τα ποτά, τα είδη ένδυσης και τον τουρισμό, βασίζεται στο γλυκό νερό προκειμένου να διατηρήσει τις δραστηριότητές του. Ωστόσο, το νερό γίνεται όλο και πιο σπάνιο σε παγκόσμιο επίπεδο και κάθε ένδειξη και μελέτη δείχνει ότι θα γίνεται ολοένα και περισσότερο δυσεύρετο στο μέλλον. Το νερό συνδέεται άρρηκτα με τη ζωή, με τους ανθρώπους και το φυσικό περιβάλλον. Όταν οι υδάτινοι πόροι υποβαθμίζονται τότε οι συνέπειες είναι σοβαρές και εμφανείς σε κάθε μορφή ζωής.

Η διαθεσιμότητα γλυκού νερού σε επαρκείς ποσότητες αποτελεί προϋπόθεση για τις ανθρώπινες κοινωνίες και τα φυσικά οικοσυστήματα. Τα οικοσυστήματα πρέπει να προστατεύονται και να διατηρούνται και ταυτόχρονα να αναγνωρίζονται οι απαιτήσεις που έχουν σε νερό. Τα συστήματα της ύδρευσης και της αποχέτευσης του νερού πρέπει να βελτιώνονται διαρκώς με στόχο τη μείωση ασθενειών και θανάτων που προέρχονται από την υποβάθμιση του νερού σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε πολλά μέρη του κόσμου, η υπερβολική κατανάλωση γλυκού νερού και η ρύπανση από ανθρώπινες δραστηριότητες ασκούν τεράστια πίεση σε αυτή τη διαθεσιμότητα, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την επισιτιστική ασφάλεια, την ποιότητα του περιβάλλοντος, την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία. Ο ανταγωνισμός για τους πόρους γλυκών υδάτων αυξάνεται τις τελευταίες δεκαετίες λόγω του αυξανόμενου οικονομικού πληθυσμού, την ανάπτυξη και την αυξημένη ζήτηση για γεωργικά προϊόντα τόσο για τρόφιμα όσο και για μη διατροφικά. Είναι πιθανό ότι τα σημερινά προβλήματα σχετίζονται με τη λειψυδρία του γλυκού νερού και η ρύπανση θα επιδεινωθεί στο μέλλον λόγω της σημαντικής αύξησης της ζήτησης νερού και της μείωσης της διαθεσιμότητας και της ποιότητας. Πολλοί επιστήμονες έχουν εκτιμήσει ότι η εξάρτησή μας από τους υδάτινους πόρους θα αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον και θα προκαλέσει προβλήματα που σχετίζονται με την επισιτιστική ασφάλεια και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.(National Geographic, 2018). Το νερό συνδέεται αναπόσπαστα με την ενέργεια και με τα φαινόμενα κλιματικής αλλαγής μέσα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο οικονομικής ανάπτυξης. Γι'αυτό το λόγο κρίνεται αναγκαία η υιοθέτηση πολιτικών που να σχετίζονται με όλους τους τομείς του νερού αποσκοπώντας στην αντιμετώπιση τόσο των υφιστάμενων όσο και των μελλοντικών αλλαγών που εκδηλώνονται μέσω των φαινομένων ξηρασίας ή πλημμυρών κατά κύριο λόγο.

Οι επιπτώσεις της παγκόσμιας λειψυδρίας έχουν αρχίσει να γίνονται ήδη εμφανείς. Η πρόσφατη κρίση των υδάτων στο Κέιπ Τάουν, καθώς και η κρίση στο Σάο Πάολο το 2015, ανάγκασε πολλές επιχειρήσεις και βιομηχανίες να κλείσουν. Υπολογίζεται ότι 14 στις 20 μεγαλουπόλεις στον κόσμο κινδυνεύουν να αντιμετωπίσουν σοβαρά ζητήματα λειψυδρίας, όπως ακριβώς συνέβη στο Κέιπ Τάουν και το Σάο Πάολο. (National Geographic, 2018)

Οι ξηρασίες έχουν, επίσης, γίνει πιο συχνές, πιο σοβαρές και επηρεάζουν περισσότερους ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Πρόσφατη μελέτη των Mekonnen και Hoekstra (2016), αποκαλύπτει ότι τέσσερα δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως ζουν κάτω από συνθήκες λειψυδρίας για τουλάχιστον ένα μήνα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Η έρευνά τους δείχνει ότι οι προηγούμενες εκτιμήσεις δεν κατέγραψαν τη μηνιαία μεταβλητότητα της λειψυδρίας και ότι το ο αριθμός των ατόμων που πλήττονται από σοβαρή λειψυδρία είναι πολύ υψηλότερος. Για παράδειγμα, ολόκληρος ο πληθυσμός 37 χωρών και το ήμισυ του πληθυσμού άλλων 97 χωρών ζει κάτω από σοβαρή λειψυδρία κατά τη διάρκεια τουλάχιστον ενός μήνα του έτους. Αυτές οι πληροφορίες είναι βασικές για την επίτευξη του Στόχου Αειφόρου Ανάπτυξης 6.4, που στοχεύει στη σημαντική μείωση του αριθμού των ατόμων που πάσχουν από λειψυδρία. (National Geographic, 2018) Επιπρόσθετα, η χαμηλής ποιότητας νερού οικιακής χρήσης είναι υπεύθυνη για πολλά ακόμα προβλήματα σε πολλές κοινωνίες αναπτυσσόμενων, κατά κύριο λόγο, χωρών. Μέσω του νερού μεταφέρονται ασθένειες οι οποίες προέρχονται από το μη ασφαλές πόσιμο νερό, την κακή υγιεινή και την ανεπαρκή αποχέτευση με αποτέλεσμα να οδηγούνται στο θάνατο 3,4 εκατομμύρια άνθρωποι ετησίως. Ένα ακόμα πρόβλημα που παρατηρείται είναι αυτό της υπεράντλησης των υδάτινων πόρων καθώς οδηγεί σταδιακά στον περιορισμό της γεωργικής παραγωγής και της βιοποικιλότητας ενώ, τέλος, οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι ή η διαχείριση αυτών αποτελούν συχνά αντικείμενο αντιπαράθεσης και πολέμου μεταξύ κρατών.

Με την αυξανόμενη αβεβαιότητα της διαθεσιμότητας νερού ενόψει της κλιματικής αλλαγής, οι κυβερνήσεις, οι επιχειρήσεις και οι κοινότητες είναι να γνωρίζει καλά ότι είναι ευάλωτα σε ένα ευρύ φάσμα θεμάτων που σχετίζονται με τους υδάτινους πόρους. Τόσο οι κυβερνήσεις όσο και οι οργανισμοί και οι ίδιοι οι πολίτες οφείλουν να συμβάλλουν στη διαχείριση των υδάτινων συστημάτων διαχείριση των συστημάτων νερού. Το νερό συνδέεται αναπόσπαστα με την ενέργεια και με τα φαινόμενα κλιματικής αλλαγής μέσα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο οικονομικής ανάπτυξης ενώ η συνεχώς αυξανόμενη τάση της ζήτησης νερού έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές επιπτώσεις στην ποσότητα και την ποιότητα του νερού που διατίθεται τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.2 Η λειψυδρία και ο δείκτης εκμετάλλευσης νερού WEI

Η λειψυδρία εμφανίζεται όταν δεν υπάρχουν επαρκείς υδάτινοι πόροι για την ικανοποίηση μακροπρόθεσμων μέσων απαιτήσεων. Αναφέρεται σε μακροπρόθεσμες ανισορροπίες νερού, συνδυάζοντας τη χαμηλή διαθεσιμότητα νερού με ένα επίπεδο ζήτησης νερού που υπερβαίνει την ικανότητα παροχής του φυσικού συστήματος.

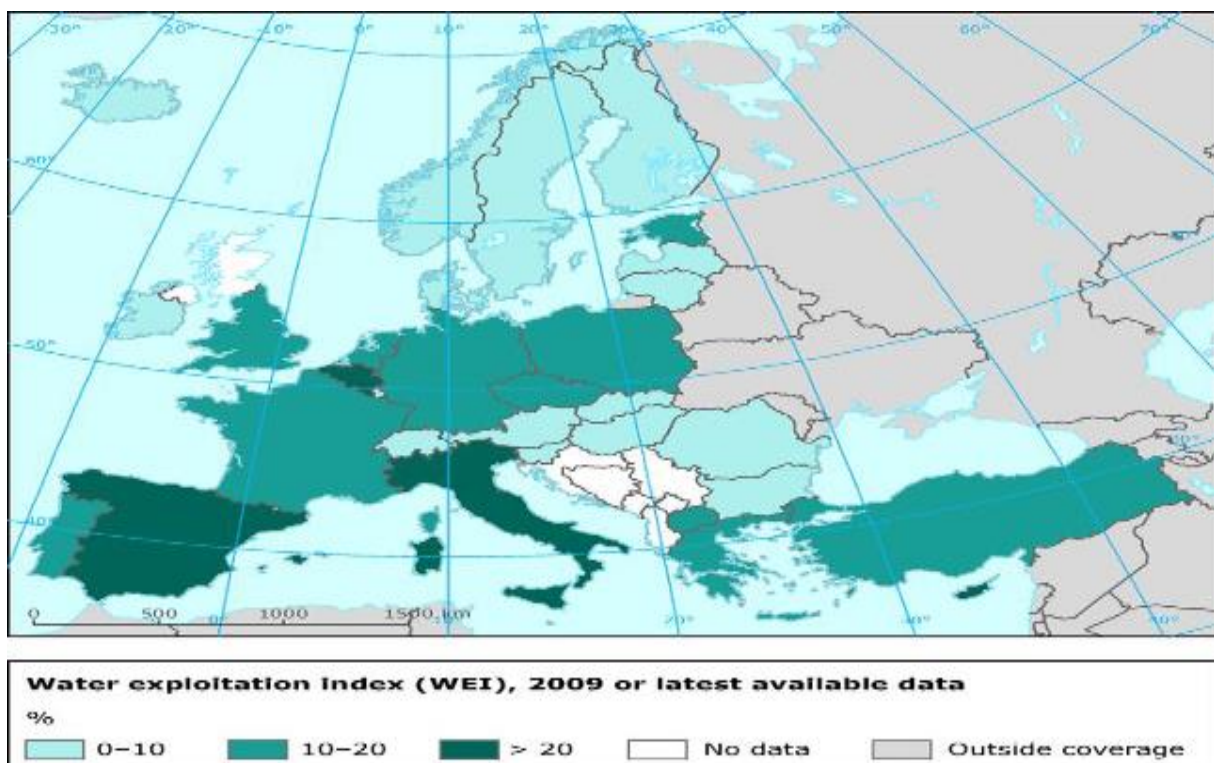
Η λειψυδρία οφείλεται κυρίως σε δύο παράγοντες:

- το κλίμα, το οποίο ελέγχει τη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πόρων γλυκού νερού και εποχικότητας στην παροχή νερού
- τη ζήτηση, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον πληθυσμό και σε συναφείς οικονομικές δραστηριότητες.

Αν και η λειψυδρία συμβαίνει συχνά σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις, οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνουν τα προβλήματα ιδίως σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα πληθυσμού, τουριστική εισροή, εντατική γεωργία και βιομηχανίες που απαιτούν νερό.

Η λειψυδρία επικρατεί σε αρκετές ευρωπαϊκές λεκάνες απορροής ποταμού, με διαφορετικά επίπεδα πίεσης του νερού, επηρεάζοντας περίπου το 15-25% της συνολικής ευρωπαϊκής επικράτειας. Η λειψυδρία παρατηρείται συχνά στα νότια και δυτικά μέρη της Ευρώπης. Πάνω από το ήμισυ της νότιας Ευρώπης ζει αδιάκοπα κάτω από συνθήκες λειψυδρίας, από τις οποίες η γεωργία και η δημόσια παροχή νερού, συμπεριλαμβανομένου του τουρισμού, είναι οι κύριοι παράγοντες. Ιδιαίτερα την άνοιξη και το καλοκαίρι, η λειψυδρία στη νότια Ευρώπη επικρατεί και τα εξωτερικά όρια αυτής της έλλειψης επεκτείνονται. Λόγω της πολύ εντατικής άρδευσης στα Middle Appenines και τη λεκάνη Po (Ιταλία), Guadiana (Πορτογαλία και Ισπανία), Segura (Ισπανία), παρατηρείται σοβαρή πίεση νερού σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ένας δείκτης για την πίεση που δέχονται τα οικοσυστήματα γλυκού νερού είναι ο δείκτης εκμετάλλευσης νερού (Water exploitation index, WEI), που εκφράζει την άντληση νερού ως ποσοστό του διαθέσιμου γλυκού νερού. Ο δείκτης δε λαμβάνει υπόψη άλλες πιέσεις, όπως είναι η ρύπανση. Όταν ο δείκτης WEI είναι πάνω από 20%, συνήθως υποδηλώνει πως το σώμα νερού είναι υπό πίεση λόγω υδροληψίας (Χάρτης 1.1). Βάση δεδομένων της Eurostat για την περίοδο 1985–2009, σε 5 χώρες θεωρείται πως το νερό δέχεται πίεση (Κύπρος, Βέλγιο, Ιταλία, Μάλτα, Ισπανία). Το πλεονέκτημα του δείκτη εκμετάλλευσης νερού είναι πως γίνεται εύκολα κατανοητός, ενώ το μειονέκτημα του είναι πως δεν απηχεί την έκταση και τη σοβαρότητα της υπερεκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων. Για παράδειγμα, δεν εκφράζει την ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται σε σχέση με την ποσότητα που αντλείται (αυτό ισχύει για παράδειγμα στην περίπτωση του Βελγίου, που αντλεί μεγάλες ποσότητες νερού, οι οποίες ωστόσο επιστρέφονται σε ποτάμια και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, καθώς το νερό χρησιμοποιείται για ψύξη). Επιπλέον, όταν ο δείκτης εκμετάλλευσης νερού υπολογίζεται σε εθνικό επίπεδο, θα μπορούσε να αποκρύψει διαφορές μεταξύ των περιφερειών της ίδιας χώρας (Eurostat, 2010).



Χάρτης 1.1: Στοιχεία του δείκτη εκμετάλλευσης νερού (WEI) στην Ευρώπη

1.3 Διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις

Παρά τις επενδύσεις σε υποδομές και τις βελτιώσεις στην τεχνολογία, η διαχείριση του νερού μιας πόλης- τόσο της εισροής όσο και της εκροής- παραμένει ένα έργο το ίδιο περίπλοκο όπως πριν, αλλά με κάποιες νέες προκλήσεις.

Σε πολλές πόλεις, η πρόκληση είναι ζήτημα τεράστιων αριθμών. Περισσότεροι άνθρωποι χρειάζονται και χρησιμοποιούν περισσότερο νερό. Σήμερα, περίπου τα τρία τέταρτα του πληθυσμού της Ευρώπης ζουν σε πόλεις και αστικές περιοχές. Ορισμένες από αυτές τις πόλεις έχουν εκατομμύρια κατοίκους σε μια σχετικά μικρή περιοχή. Στο παρελθόν, το μέγεθος μιας πόλης εξαρτιώταν κυρίως από τη διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων σε κοντινή απόσταση. Πολλές πόλεις στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης της Αθήνας, της Κωνσταντινούπολης και του Παρισιού, επί του παρόντος αξιοποιούν απομακρυσμένες πηγές νερού, μερικές φορές 100-200 χιλιόμετρα μακριά. Αυτή η εκτροπή του νερού μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα που εξαρτώνται από αυτόν τον ποταμό ή τη λίμνη.

Ανάλογα με το μέγεθος του δημόσιου δικτύου τροφοδοσίας, η αποστολή καθαρού νερού και η συλλογή λυμάτων απαιτεί ένα δίκτυο αντλιοστασίων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Εάν αυτή η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας και το πετρέλαιο, τα δημόσια δίκτυα νερού θα μπορούσαν να είναι υπεύθυνα για σημαντικές ποσότητες εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και συνεπώς να συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή.

Το νερό για το δημόσιο δίκτυο παροχής πρέπει να είναι υψηλότερης ποιότητας από αυτό για οποιονδήποτε άλλο τομέα, καθώς χρησιμοποιείται για πόσιμο, μαγείρεμα, ντους και καθαρισμό ρούχων ή πιάτων. Κατά μέσο όρο, 144 λίτρα γλυκού νερού ανά άτομο ανά ημέρα παρέχονται για κατανάλωση νοικοκυριού στην Ευρώπη, εκτός από ανακυκλωμένο, επαναχρησιμοποιημένο ή αφαλατωμένο νερό. Αυτό είναι σχεδόν τριπλάσιο της απαίτησης νερού που καθορίζεται για βασικές ανθρώπινες ανάγκες. Δυστυχώς, δεν χρησιμοποιείται όλο το παρεχόμενο νερό. (Eurostat)

1.4 Μαζικός Τουρισμός σε καιρούς Κλιματικής Αλλαγής

Υπάρχει, επίσης, το ζήτημα της διαχείρισης της επιπλέον ζήτησης. Πολλές ευρωπαϊκές πρωτεύουσες και παράκτιες πόλεις είναι δημοφιλείς τουριστικοί προορισμοί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το οποίο απεικονίζει το μέγεθος αυτής της πρόκλησης είναι το παράδειγμα της ευρύτερης περιοχής του Παρισιού. Το 2017, οι δημόσιες αρχές ανέλαβαν την παροχή καθαρού νερού και την επεξεργασία λυμάτων όχι μόνο για 12 εκατομμύρια ντόπιους, αλλά και για περίπου 34 εκατομμύρια τουρίστες. Στην πραγματικότητα, οι τουρίστες αντιπροσωπεύουν περίπου το 9% της συνολικής ετήσιας χρήσης νερού στην Ευρώπη.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να είναι ένας συνδυασμός παραγόντων. Η Βαρκελώνη είναι μια πόλη περίπου 1,6 εκατομμυρίων κατοίκων σε μια περιοχή με φυσικό νερό. Σύμφωνα με το Δημαρχείο της Βαρκελώνης, 14,5 εκατομμύρια τουρίστες επισκέφτηκαν την πόλη το 2017. Αρκετά συνεχόμενα χρόνια σοβαρής ξηρασίας προκάλεσαν μια άνευ προηγουμένου κρίση στο νερό το 2008. Πριν από τη θερινή περίοδο, οι δεξαμενές της πόλης ήταν μόνο 25% γεμάτες. Εκτός από τις εκστρατείες

ευαισθητοποίησης του κοινού και τις δραστικές περικοπές στην κατανάλωση, η Βαρκελώνη αναγκάστηκε να εισάγει νερό από άλλα μέρη της Ισπανίας και της Γαλλίας.

Έχουν ληφθεί πολλά μέτρα από τότε. Η πόλη έχει επενδύσει σε εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, επενδύει σε επαναχρησιμοποιούμενο νερό και έχει επινοήσει ένα σχέδιο εξοικονόμησης νερού. Παρά τα μέτρα αυτά, η έλλειψη νερού εξακολουθεί να απειλεί τη Βαρκελώνη και να προκαλεί δημόσια συζήτηση, και δικαίως. Οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή για την περιοχή της Μεσογείου προβλέπουν πιο ακραία θερμικά γεγονότα και αλλαγές στα επίπεδα υετού. Με άλλα λόγια, πολλές μεσογειακές πόλεις θα πρέπει να αντιμετωπίσουν περισσότερη θερμότητα και λιγότερο νερό. (Eurostat 2018-2020)

1.5 Στόχος 6.4 - Χρήση νερού και έλλειψη

Ο Στόχος της Αειφόρου Ανάπτυξης 6.4 ορίζει μέχρι το 2030 να έχει αυξηθεί ουσιαστικά η αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού σε όλους τους τομείς και να έχουν εξασφαλιστεί βιώσιμες αποσύρσεις και παροχή γλυκού νερού για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας και, τέλος, να έχει μειωθεί σημαντικά ο αριθμός των ατόμων που πάσχουν από λειψυδρία.

Ο Στόχος 6.4 αντιμετωπίζει τη λειψυδρία, στοχεύοντας να διασφαλίσει ότι υπάρχει αρκετό νερό για τον πληθυσμό, την οικονομία και το περιβάλλον, αυξάνοντας την αποδοτικότητα χρήσης νερού σε όλους τους τομείς της κοινωνίας. Η εξασφάλιση περιβαλλοντικών απαιτήσεων σε νερό είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της υγείας και της ανθεκτικότητας του οικοσυστήματος.

Ένα υψηλό επίπεδο πίεσης του νερού μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην οικονομική ανάπτυξη, να προκαλεί αυξανόμενο ανταγωνισμό και πιθανή σύγκρουση μεταξύ των χρηστών, πράγμα που απαιτεί αποτελεσματικές πολιτικές διαχείρισης της προσφοράς και της ζήτησης και αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης νερού.

Η αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού με την πάροδο του χρόνου σημαίνει αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης μιας χώρας από τη χρήση νερού, για παράδειγμα, με τη μείωση των απωλειών νερού στα δημοτικά δίκτυα διανομής και τη χρήση νερού στις διαδικασίες παραγωγής. Από αυτή την άποψη, ορισμένοι τομείς, για παράδειγμα, η γεωργία, η βιομηχανία, η ενέργεια και η δημοτική παροχή νερού είναι ιδιαίτερα σημαντικοί λόγω της υψηλής χρήσης τους σε νερό. (Sustainable Development Goals, United Nations)

1.6 Το Νερό στις πόλεις

1.6.1 Εισαγωγή

Σε όλη την ιστορία, οι άνθρωποι εγκαταστάθηκαν και έχτισαν πόλεις κοντά σε ποτάμια ή λίμνες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα ρεύματα έφεραν καθαρό νερό και εξάλειψαν τη ρύπανση. Καθώς μεγαλώνει μια πόλη, η συνολική ζήτηση για καθαρό νερό και απόρριψη μολυσμένου νερού αυξήθηκε μαζί με αυτήν. Κατά τον Μεσαίωνα, τα περισσότερα ευρωπαϊκά ποτάμια που διέτρεχαν μια πόλη χρησίμευαν ως φυσικό σύστημα αποχέτευσης. Μετά την εκβιομηχάνιση από τον 18ο αιώνα και μετά, τα ποτάμια άρχισαν επίσης να δέχονται ρύπους που εκλύονταν από τη βιομηχανία. Εκείνοι που δεν

είχαν πρόσβαση σε ένα πηγάδι έπρεπε να πάρουν νερό από το ποτάμι, μια δύσκολη καθημερινή εργασία που γινόταν κυρίως από γυναίκες και παιδιά.

Τα λύματα που έτρεχαν στους δρόμους και η υψηλότερη πυκνότητα πληθυσμού σήμαινε ότι οι ασθένειες εξαπλώθηκαν πολύ γρήγορα και θα μπορούσαν να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις σε μια πόλη - τόσο στον πληθυσμό όσο και στην οικονομία της. Μια υγιής πόλη σήμαινε ένα υγιές εργατικό δυναμικό, το οποίο ήταν απαραίτητο για την οικονομική ευημερία. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, η επένδυση σε ένα δημόσιο σύστημα υδάτων όχι μόνο αντιμετώπιζε προβλήματα υγείας που προέρχονταν από μόλυνση των υδάτων, αλλά και εξάλειψε τις οικονομικές απώλειες λόγω ασθένειας στο εργατικό δυναμικό - καθώς και απελευθέρωση του χρόνου που είχε αφιερωθεί στο παρελθόν για τη λήψη νερού.

Τέτοιες δημόσιες υπηρεσίες δεν είναι κάτι καινούργιο. Η αναγνώριση ότι η πρόσβαση σε καθαρό νερό είναι θεμελιώδης για τη δημόσια υγεία και την ποιότητα ζωής ανάγεται χιλιάδες χρόνια. Πριν από περίπου 4000 χρόνια, οι αρχαίοι Μινωίτες στην Κρήτη χρησιμοποιούσαν υπόγειους πήλινους σωλήνες για την παροχή νερού και αποχέτευσης, καθώς και μια τουαλέτα με έξαψη, όπως ανακαλύφθηκε κατά τις ανασκαφές στο παλάτι της Κνωσού. Άλλοι αρχαίοι πολιτισμοί σε όλο τον κόσμο έχτισαν παρόμοιες εγκαταστάσεις υγιεινής καθώς οι πόλεις τους μεγάλωσαν και αντιμετώπισαν παρόμοιες ανησυχίες.

Σήμερα η σημασία της πρόσβασης σε καθαρό νερό και την αποχέτευση ενσωματώνεται στους Στόχους Αειφόρου Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών και πιο συγκεκριμένα στο Στόχο 6 “Διασφάλιση διαθεσιμότητας και βιώσιμη διαχείριση του νερού και της αποχέτευσης για όλους”. Οι ευρωπαϊκές χώρες είναι σχετικά καλά σε αυτόν τον τομέα. Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, περισσότερο από το 80% του συνολικού πληθυσμού συνδέεται με το δημόσιο σύστημα ύδρευσης.

1.6.2 Μορφές Νερού

Το νερό στις πόλεις το συναντάμε σε διάφορες μορφές. Αρχικά, ως *πόσιμο νερό* το οποίο προορίζεται σε καθημερινή βάση για την κάλυψη βιολογικών αναγκών του ανθρώπου όπως η πόση ή άλλων συνηθειών απαραίτητων για τη ζωή του όπως η υγιεινή, το μαγείρεμα, η καθαριότητα των οικιών κλπ. Τα νερά τα οποία αποστραγγίζονται από τους δρόμους, τις στέγες των σπιτιών και άλλες σκληρές επιφάνειες αποτελούν μια άλλη μορφή των νερών τα οποία καλούνται *όμβρια ύδατα*. Τα ακάθαρτα υγρά που περιέχουν τα υπολείμματα της ανθρώπινης δραστηριότητας ονομάζονται *λύματα* και καταλήγουν μαζί με τα *απόνερα* μέσω των δικτύων αποχέτευσης σε μονάδες επεξεργασίας. Τέλος, το νερό μέσα στον αστικό χώρο εμφανίζεται είτε ως *φυσικό υδάτινο σώμα*, όπως ποτάμια και λίμνες, είτε ως *τεχνητό* όπως συντριβάνια ή τεχνητές λίμνες σε πλατείες και πάρκα για λόγους αναψυχής.

1.6.2.1 Υγρό Απόβλητο

Το υγρό απόβλητο είναι οποιοδήποτε «νερό» το οποίο παρουσιάζει αρνητική ποιότητα εξαιτίας ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Περιλαμβάνει τα υγρά απόβλητα από κατοικίες, εμπορικές ιδιοκτησίες, βιομηχανία, γεωργία και μπορεί να περιέχει ένα ευρύ φάσμα πιθανών μολυσματικών παραγόντων και συγκεντρώσεων (Makenzie, 2005). (Λύτρα, 2013)

1.6.2.2 Μαύρο Νερό

Με τον όρο μαύρο νερό χαρακτηρίζονται τα υγρά απόβλητα της τουαλέτας ενός σπιτιού. Ο συγκεκριμένος τύπος εκροής νερού αποτελεί την πιο επιβαρυνμένη μορφή αστικών αποβλήτων, δεδομένου ότι περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς, οργανικό φορτίο και άζωτο σε υψηλές συγκεντρώσεις. Επίσης, πέραν των αποβλήτων των ανθρώπινων 14 οργανισμών σε αυτή την κατηγορία συγκαταλέγονται και άλλες ουσίες, όπως φαρμακευτικές και χημικά καθαριστικά οικιακής χρήσης (Eriksson et al., 2002) (Λύτρα 2013)

1.6.2.3 Γκρίζο Νερό

Το γκρίζο νερό αφορά στο σύνολο των εκροών που προέρχονται από τη χρήση νιπτήρων μπάνιου, πλυντηρίων ρούχων, πλυντηρίων πιάτων, μπανιέρας, ντουζιέρων και νεροχυτών κουζίνας . Το γκρίζο νερό παράγεται ως αποτέλεσμα του τρόπου ζωής των ατόμων που ζουν σε μια κατοικία, των προϊόντων που χρησιμοποιούνται και της φύσης των εγκαταστάσεων και των συσκευών. Έτσι, η ποιότητα του γκρίζου νερού μεταξύ διαφόρων κατοικιών μπορεί να παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα. Το γκρίζο νερό είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθεί, καθώς είναι λιγότερο επιβαρυνμένο σε σχέση με το μαύρο. Συγκεκριμένα, κρίνεται σκόπιμη η επαναχρησιμοποίηση του στις τουαλέτες (‘καζανάκι’) καθώς στις περισσότερες χώρες καταναλώνεται πόσιμο νερό για αυτή τη χρήση (Eriksson et al., 2002) (Λύτρα 2013)

1.6.2.4 Βρόχινο Νερό

Βρόχινο είναι το νερό που προέρχεται από τις βροχοπτώσεις και το οποίο πρέπει να συλλέγεται και χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς . Το βρόχινο νερό διακρίνεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο συλλογής του:

- Την απορροή που προέρχεται από πλακόστρωτους ή καλυμμένους από αδιαπέρατα υλικά χώρους (πεζοδρόμια, οδοστρώματα, αυλές, εξωτερικούς διαδρόμους),
- Την απορροή που προέρχεται από την καλυμμένη έκταση της κατοικίας και συγκεκριμένα από την οροφή (στέγη, δώμα)-

Το νερό της δεύτερης κατηγορίας είναι πιο καθαρό από αυτό της πρώτης και μπορεί ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο.

Η ποιότητα του συλλεγόμενου βρόχινου νερού εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Το περιβάλλον στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι κατακρημνίσεις,
- Την επιφάνεια στην οποία συλλέγεται το βρόχινο νερό,
- Τον χώρο στον οποίο αποθηκεύεται το βρόχινο νερό (EPA US, Water Recycling and Reuse- 2008)

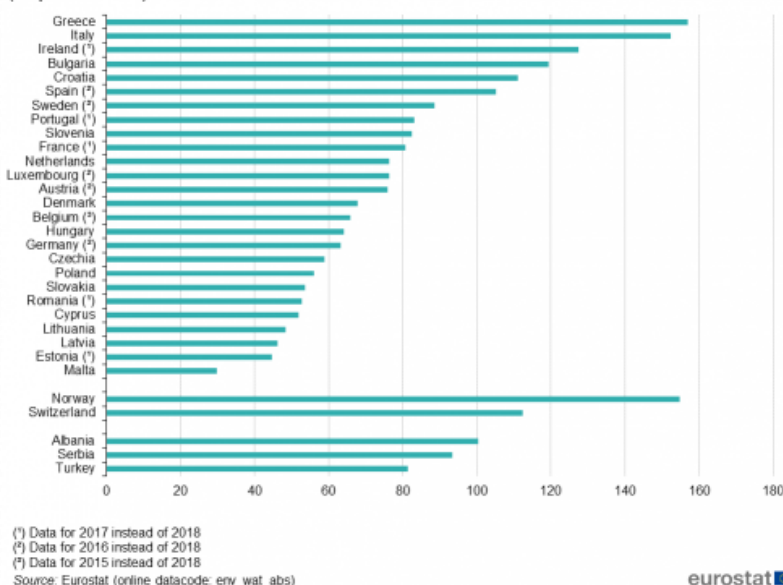
1.7 Άντληση νερού που προορίζεται για δημόσια χρήση

Υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στα διάφορα κράτη μέλη της ΕΕ ως προς την ποσότητα γλυκού νερού η οποία προέρχεται από το δημόσιο εφοδιασμό. Το ποσό που αντλείται σε κάθε χώρα εξαρτάται από τους διαθέσιμους υδάτινους πόρους, τη ζήτηση, τις πρακτικές άντλησης, το κλίμα και τη βιομηχανική και γεωργική δομή. Ειδικές εθνικές συνθήκες μπορούν επίσης να επηρεάσουν τους όγκους, όπως η κλίμακα διαρροών και άλλες απώλειες από το δίκτυο ύδρευσης και το κόστος χρήσης νερού από τη δημόσια παροχή.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις ποσότητες γλυκού νερού που αφαιρούνται σε κάθε κράτος μέλος της ΕΕ, αντικατοπτρίζοντας εν μέρει το μέγεθος κάθε χώρας και τους διαθέσιμους πόρους, αλλά και τις πρακτικές άντλησης, το κλίμα και τη βιομηχανική και γεωργική δομή κάθε χώρας. Μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ, η συνολική άντληση γλυκού νερού κυμαινόταν μεταξύ 41 εκατομμυρίων m³ στη Μάλτα (στοιχεία 2018) και 31260 εκατομμυρίων m³ στην Ισπανία (στοιχεία 2016). Η Τουρκία σημείωσε ακόμη μεγαλύτερο συνολικό ποσό, δηλαδή 61 094 εκατομμύρια m³ (2018) Μεταξύ 2008 και 2018 – όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 για την ακριβή περίοδο αναφοράς που καλύπτεται για κάθε κράτος μέλος της ΕΕ - ο συνολικός όγκος των γλυκών υδάτων που αντλήθηκαν αυξήθηκε με τον ταχύτερο ρυθμό στη Δανία (+54%) και στην Τουρκία (+45%). Οι μεγαλύτερες μειώσεις σημειώθηκαν στη Λιθουανία (-87%, λόγω της μείωσης των αναγκών ψύξης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), της Γερμανίας (-25% από το 2007 έως το 2017) και των Κάτω Χωρών (-24%).

Ο Πίνακας 1.1 δείχνει επίσης τις σημαντικές διαφορές μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ όσον αφορά την αναλογία μεταξύ των αντλήσεων υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων πόρων. Στη Φινλανδία (στοιχεία 2006), η άντληση επιφανειακών υδάτων αντιπροσώπευε περίπου 24 φορές τον όγκο του νερού που αφαιρέθηκε από τους υπόγειους υδάτινους πόρους, ενώ ο λόγος επιφανειακών και υπόγειων υδάτων ήταν μεταξύ 8 και 9 προς 1 στη Ρουμανία και τη Βουλγαρία (στοιχεία 2018). Πέρα από την ΕΕ, το Κοσσυφοπέδιο (ο ορισμός αυτός δεν θίγει τις θέσεις σχετικά με το καθεστώς και είναι σύμφωνος με την UNSCR 1244/1999 και η γνώμη του ICJ σχετικά με τη δήλωση ανεξαρτησίας του Κοσσυφοπεδίου) κατέγραψε αναλογία περίπου. 15: 1. Στο άλλο άκρο του εύρους, ο όγκος του νερού που αφαιρέθηκε από τους υπόγειους πόρους ήταν περίπου 15 φορές υψηλότερος από τον όγκο της άντλησης επιφανειακών υδάτων στη Μάλτα (στοιχεία 2018, εκτιμώμενα) και 4,3 φορές στη Δανία (στοιχεία 2018).

Total freshwater abstraction for public water supply, 2018
(m³ per inhabitant)

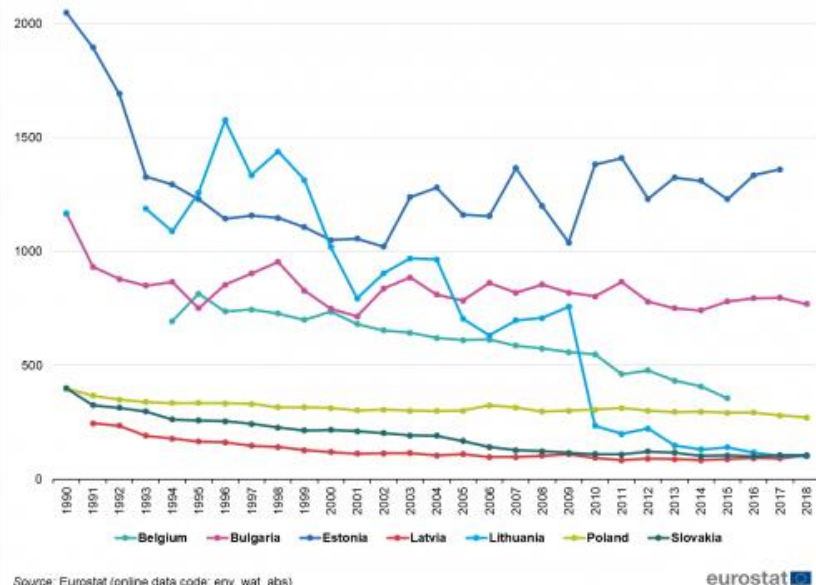


Εικόνα 1.1: Συνολική άντληση γλυκού νερού για δημόσια παροχή νερού, 2018(m³ ανά κάτοικο)
Πηγή: Eurostat

Το 2018, η άντληση γλυκού νερού για δημόσια παροχή νερού κυμαινόταν μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ μεταξύ ενός υψηλού 157 m³ νερού ανά κάτοικο στην Ελλάδα (στοιχεία 2017) και χαμηλό των 30 m³ ανά κάτοικο στη Μάλτα – στοιχεία που παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.1. Μερικά από τα πρότυπα της άντλησης γλυκού νερού για δημόσια προμήθεια αντικατοπτρίζουν συγκεκριμένες συνθήκες στα κράτη μέλη της ΕΕ: για παράδειγμα, στην Ιρλανδία (127 m³ ανά κάτοικο, στοιχεία 2017), η χρήση νερού από τη δημόσια παροχή ήταν ακόμη δωρεάν για πολλά νοικοκυριά, ενώ στη Βουλγαρία (119 m³ ανά κάτοικο, δεδομένα 2018) υπήρξαν ιδιαίτερα υψηλές απώλειες από το δημόσιο δίκτυο. Τα ποσοστά άντλησης ήταν επίσης υψηλά σε ορισμένα κράτη μέλη εκτός ΕΕ, ιδίως στη Νορβηγία (155 m³ ανά κάτοικο) και στην Ελβετία (112 m³ ανά κάτοικο, και τα δύο στοιχεία του 2018).

Η μακροπρόθεσμη ανάπτυξη της συνολικής άντλησης γλυκού νερού ανά κάτοικο παρουσιάζεται για επιλεγμένα κράτη μέλη της ΕΕ στο Διάγραμμα 1.1. Η σύγκριση των παλαιότερων και πιο πρόσφατων διαθέσιμων ετήσιων δεδομένων μεταξύ 1990 και 2017 δείχνει ότι υπήρξε σημαντική μείωση της άντλησης σε πολλά από τα κράτη μέλη κράτη, ιδίως εκείνα που προσχώρησαν στην ΕΕ το 2004 ή το 2007. Είναι πιθανό ότι η μείωση της άντλησης που παρατηρείται σε πολλά κράτη μέλη της ΕΕ είναι αποτέλεσμα διαφόρων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης των απωλειών νερού μέσω της βελτιωμένης συντήρησης των δικτύων, της εισαγωγής οικιακών συσκευών εξοικονόμησης νερού και του αυξανόμενου επιπέδου ευαισθητοποίησης σχετικά με το κόστος ή την αξία του νερού και των περιβαλλοντικών συνεπειών της σπατάλης του. Σε μικρότερες χώρες, κινήσεις όπως το κλείσιμο του πυρηνικού σταθμού Ignalina στη Λιθουανία στα τέλη του 2009, μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην καμπύλη της ολικής αφαίρεσης. Το επίπεδο άντλησης ανά κάτοικο καθορίζεται κυρίως από την κυριαρχία τομέων που απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού, όπως άρδευση στη γεωργία ή ψύξη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Total abstraction of fresh water per inhabitant, 1990-2018
(m³ per year)



Διάγραμμα 1.1:Συνολική άντληση γλυκού νερού ανά κάτοικο για το διάστημα 1990-2018(m³ ανά κάτοικο)

1.8 Χρήσεις του νερού

Το νερό είναι μέρος όλων όσων κάνουμε. Χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια τροφίμων, για να παράγει ενέργεια, για βιομηχανική χρήση, για την κατασκευή όλων των προϊόντων από ρούχα ως αυτοκίνητα, για δημόσια προμήθεια, για οικιακή χρήση, στις μεταφορές και για αναψυχή, μεταξύ άλλων. Καθώς ο πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, αυξάνεται και η απαιτούμενη ποσότητα νερού. Ως εκ τούτου, η βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων απαιτεί μια ευρύτερη πολιτική, που θα απευθύνεται σε όλους τους κύριους χρήστες και θα καλύπτει τις αλληλεπιδράσεις του νερού με άλλους πόρους.

Για τις περισσότερες χρήσεις, εξάγουμε νερό από μια πηγή, το χρησιμοποιούμε και στη συνέχεια επιστρέφεται ένα μέρος του σε ένα σώμα νερού. Το νερό που επιστρέφεται είναι διαφορετικής ποιότητας από το νερό που αντλείται. Οι αλλαγές στα σώματα νερού (για παράδειγμα, η υπερβολική άντληση, η απόρριψη ζεστού ή ρυπασμένου νερού), μπορούν να επηρεάσουν το σύνολο της λεκάνης και όλα τα έμβια όντα, μαζί με τους ανθρώπους, που εξαρτώνται από το νερό.

Το νερό χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο για διάφορες δραστηριότητες και σε διάφορους τομείς.

1.8.1 Χρήση του νερού στη γεωργία

Ο τομέας της γεωργίας θεωρείται ένας από τους πιο σπάταλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας καθώς καταναλώνει σε χρήση ποσότητα νερού της τάξεως του 70-80% καθώς εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με το είδος της καλλιέργειας να αποτελεί ίσως τον πιο σημαντικό. Παραδείγματος χάρη, το βαμβάκι απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού προκειμένου να καλλιεργηθεί σε αντίθεση με τα σιτηρά και πλέον το σύνολο των γεωργών προτιμά συγκεκριμένα είδη καλλιέργειας ανάλογα με την περιοχή στην οποία διαμένουν προκειμένου και οι καρποί να ευδοκιμήσουν και η σοδειά τους να μην τεθεί σε κίνδυνο και ο υδάτινος πόρος να προστατεύεται.

1.8.2 Χρήση του νερού στη βιομηχανία

Ο τομέας της βιομηχανίας θεωρείται πολύ σημαντικός «καταναλωτής» του νερού είτε άμεσα για την παρασκευή των προϊόντων καθεαυτών που εξάγει ανάλογα την παραγωγική διαδικασία είτε έμμεσα μέσω της συντήρησης των διαφόρων μηχανών στα πλαίσια ψύξης που ορισμένα από αυτά απαιτούν.

1.8.3 Χρήση του νερού στο σπίτι

Ο άνθρωπος βρίσκεται σε μία σχέση εξάρτησης με το νερό καθημερινά σε ό,τι αφορά την οικιακή χρήση. Στις οικίες των ανθρώπων το νερό χρησιμοποιείται συνεχώς και για πολλές και διαφορετικές χρήσεις. Είναι το μέσο με το οποίο οι άνθρωποι καθαρίζουν, φροντίζουν την υγιεινή τους, μαγειρεύουν, πλένουν λαχανικά και φρούτα κ.λπ.

1.8.4 Χρήση του νερού στον τουρισμό

Ο τουρισμός μπορεί να αποτελεί έναν βασικό ή ακόμα και τον βασικότερο πόρο της οικονομίας για ένα μέρος, όπως ακριβώς συμβαίνει για τα ελληνικά νησιά και την Ελλάδα γενικότερα. Είναι εύλογο ο τουρισμός να θεωρηθεί ένας επιπρόσθετος και εξίσου σημαντικός παράγοντας κατανάλωσης νερού για πολλά μέρη του κόσμου. Ιδιαίτερα για μέρη στα οποία τους καλοκαιρινούς μήνες ο προσωρινός πληθυσμός τους πολλαπλασιάζεται λόγω αυξημένης προσέλευσης τουριστών, οι ανάγκες για χρήση αυξάνεται με ανάλογο βαθμό συνυπολογίζοντας παράλληλα και τα θερμοκρασιακά δεδομένα τα οποία οδηγούν ούτως ή άλλως σε μεγαλύτερη ζήτηση τόσο για την οικιακή χρήση όσο και για την ξενοδοχειακή και τη γεωργική.

Η κατανομή, ωστόσο, του νερού στις τέσσερις αυτές δραστηριότητες εξαρτάται το είδος της οικονομικής ανάπτυξης μιας χώρας και σε τι βαθμό αυτή γίνεται. Στην Ελλάδα, παραδείγματος χάρη, η οικονομία στηρίζεται στον τομέα της γεωργίας και του τουρισμού και κατ'επέκταση το περισσότερο νερό προορίζεται στις δραστηριότητες που αυτά συνεπάγονται. Σε αντίθεση με κάποιες βιομηχανικές χώρες, όπως η Γερμανία, που το μεγαλύτερο ποσοστό του διαθέσιμου νερού διοχετεύεται στη βιομηχανία.

Οικιακή κατανάλωση και εξοικονόμηση

Παρόλο που η οικιακή χρήση νερού δεν αποτελεί την κυριότερη μορφή κατανάλωσης, συγκριτικά με τη βιομηχανία και τη γεωργία, η προσπάθεια εξοικονόμησης του νερού στο σπίτι αποτελεί το πιο σημαντικό βήμα για τη δημιουργία μιας νέας στάσης απέναντι στη χρήση και διαχείριση του νερού. Το πρώτο βήμα είναι η υιοθέτηση οικολογικής νοοτροπίας με ευαισθησία και ευσυνειδησία σε ό,τι αφορά τη χρήση του νερού καθημερινά. Σε συνδυασμό, όμως, με την υιοθέτηση μέτρων και φόρων(ή παγίων στο λογαριασμό της εκάστοτε ΔΕΥΑ) από την πλευρά της Πολιτείας και την αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών αυτή η αλλαγή καθίσταται δυνατή οδηγώντας στην επιθυμητή μείωση.

1.9 Χρήση πόρων γλυκού νερού

Παρά το γεγονός ότι τα ανανεώσιμα ύδατα είναι άφθονα στην Ευρώπη, σήματα από μακροχρόνιες κλιματικές και υδρολογικές εκτιμήσεις, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής του πληθυσμού, δείχνουν ότι υπήρχε 24% μείωση των ανανεώσιμων υδάτινων πόρων κατά κεφαλήν σε όλη την Ευρώπη μεταξύ 1960 και 2010, ιδίως στη νότια Ευρώπη .

Οι πυκνοκατοικημένες λεκάνες απορροής ποταμών σε διάφορα μέρη της Ευρώπης, που αντιστοιχούν στο 11% της συνολικής έκτασης της Ευρώπης, εξακολουθούν να αποτελούν σημεία εστίασης για τις συνθήκες πίεσης του νερού και, το καλοκαίρι του 2014, υπήρχαν 86 εκατομμύρια κάτοικοι σε αυτές τις περιοχές.

Περίπου το 40% των κατοίκων στην περιοχή της Μεσογείου ζούσαν υπό συνθήκες πίεσης του νερού το καλοκαίρι του 2014.

Οι πόροι και τα υπόγεια ύδατα εξακολουθούν να επηρεάζονται από την υπερεκμετάλλευση σε πολλά μέρη της Ευρώπης, ιδίως στις λεκάνες της Δυτικής και Ανατολικής Ευρώπης. Μια θετική εξέλιξη είναι ότι η άντληση νερού μειώθηκε κατά περίπου 7% μεταξύ του 2002 και του 2014.

Η γεωργία εξακολουθεί να είναι η κύρια πίεση στους ανανεώσιμους υδάτινους πόρους. Την άνοιξη του 2014, ο τομέας αυτός χρησιμοποίησε το 66% του συνολικού νερού που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη. Περίπου το 80% της συνολικής άντλησης νερού για τη γεωργία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Μεσογείου. Η συνολική αρδευόμενη περιοχή στη νότια Ευρώπη αυξήθηκε κατά 12% μεταξύ του 2002 και του 2014, αλλά η συνολική συγκομιδή γεωργικής παραγωγής μειώθηκε κατά 36% την ίδια περίοδο σε αυτήν την περιοχή.

Κατά μέσο όρο, η παροχή νερού για τα νοικοκυριά κατά κεφαλή είναι περίπου 102 L / άτομο ανά ημέρα στην Ευρώπη, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει «πίεση νερού». Ωστόσο, οι συνθήκες λειψυδρίας που δημιουργούνται από την αύξηση του πληθυσμού και την αστικοποίηση, συμπεριλαμβανομένου του τουρισμού, έχουν επηρεάσει ιδιαίτερα τα μικρά νησιά της Μεσογείου και τις πολυπληθείς περιοχές τα τελευταία χρόνια. Λόγω των τεράστιων όγκων νερού που αντλούνται για υδροηλεκτρική ενέργεια και ψύξη, η υδρομορφολογία και τα φυσικά υδρολογικά καθεστώτα ποταμών και λιμνών συνεχίζουν να αλλάζουν.

1.9.1 Διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων

Τα υδατικά αποθέματα αναφέρονται σε συγκεκριμένη περιοχή και χρονική στιγμή ή, κατά μέσο όρο, σε μια συγκεκριμένη περίοδο του υδρολογικού έτους. Τα αποθέματα αυτά προσδιορίζονται είτε ως επιφανειακά (δίκτυο επιφανειακής απορροής-ποτάμια, ρυάκια κ.λπ., λίμνες, παγετώνες, χιονοκάλυψη), είτε ως υποεπιφανειακά, δηλαδή εδαφικά (υγρασία ακόρεστης ζώνης) και υπεδαφικά (αποθέματα υδροφόρων οριζόντων). Τα αποθέματα, κυρίως τα υπόγεια, μεταβάλλονται στο χρόνο, γεγονός που ενδιαφέρει άμεσα τη διαχείρισή τους (εκμετάλλευση, ποιοτική προστασία, ποσοτική ανανέωση). Οι μεταβολές αυτές προκύπτουν από τις διαφορές ανάμεσα στις εισροές και εκροές (αφίξεις και απώλειες ή τροφοδοσίες και καταναλώσεις). Η μεταβλητότητα των αποθεμάτων μπορεί να εκφραστεί με το ποσοστό του μεταβαλλόμενου τμήματός τους σε σχέση με το σταθερό τμήμα τους. Είναι το φαινόμενο που συχνά αναφέρεται ως “ρυθμιστικά και μόνιμα αποθέματα”, διατύπωση όχι πολύ σωστή από υδρογεωλογικής πλευράς, και η οποία είχε οδηγήσει παλαιότερα σε κατευθύνσεις ατυχούς χρήσης υδατικών πόρων.

Η σχέση ανάμεσα στο απόθεμα μιας συγκεκριμένης - επιφανειακής ή υπόγειας - υδατικής δεξαμενής και στη μέση ροή που τη διασχίζει, αποτελεί την ανανέωση των αποθεμάτων. Το γεγονός ότι μια υδατική δεξαμενή ανανεώνεται λίγο-πολύ αστραπιαίως, δεν πρέπει να συγχέεται με την έννοια της ανανεωσιμότητας ενός υδατικού πόρου. Η περίπτωση των στατικών υδατικών δεξαμενών, πολύ λίγο ανανεώσιμων, αναφέρεται, επίσης ως υδατικό απόθεμα. Η ανανεωσιμότητα και ο βαθμός ή ρυθμός ανανέωσης ενός υδατικού πόρου πρέπει να αξιολογείται σε συνδυασμό με το βαθμό ή ρυθμό αξιοποίησης του πόρου αυτού, τόσο στην κατεύθυνση της κάλυψης των υδατικών αναγκών για διάφορες χρήσεις νερού, όσο και στη διατήρηση της υδατικής πλευράς του περιβάλλοντος.

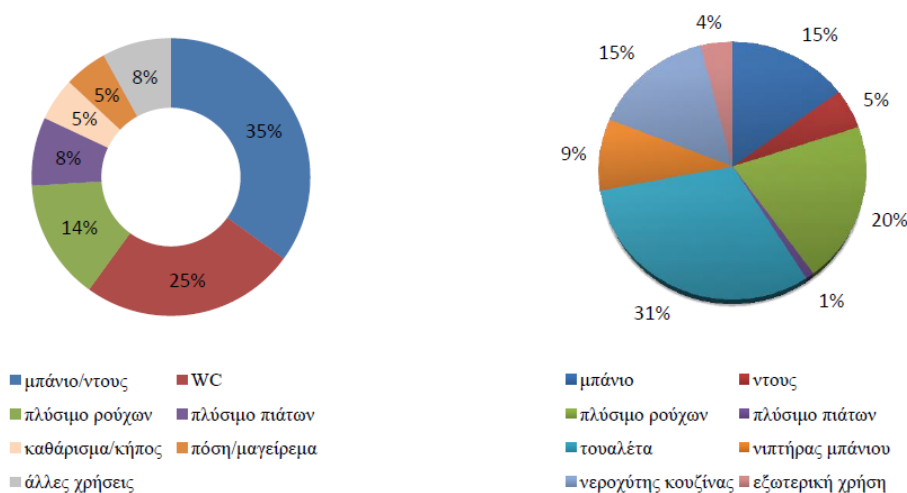
Πρέπει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τις νέες ισχύουσες αρχές υδατικής διαχείρισης, πρέπει να προσδιορίζεται μια ελάχιστη οικολογική παροχή ποταμού, μια ελάχιστη στάθμη λίμνης και μια ελάχιστη στάθμη υδροφόρου ορίζοντα, οι οποίες χαρακτηρίζονται και αντιμετωπίζονται ως χρήσεις νερού. Οι χρήσεις αυτές κρίνονται αναγκαίες για να εξασφαλιστούν οι οικολογικές ανάγκες των συστημάτων και οι λεγόμενες οικολογικές υπηρεσίες τους (ecological services). (Τράπεζα της Ελλάδος 2011)

1.9.2 Ποσοτικά στοιχεία γλυκού νερού σε Ευρώπη και Ελλάδα

Η συνολική ανανεώσιμη ποσότητα γλυκού νερού στην Ευρώπη ανέρχεται σε περίπου 3500 km³ ανά έτος και τα αποθέματα περιλαμβάνουν νερό από ποτάμια, υπόγεια ύδατα, νερό που αποθηκεύεται σε λίμνες, ταμιευτήρες και πάγους. Οι περισσότερες χώρες του νότου έχουν ετήσια αποθέματα που αντιστοιχούν σε λιγότερο από 4.000 m³ ανά κάτοικο. Τα μεσογειακά νησιά Μάλτα και Κύπρος και οι πυκνοκατοικημένες χώρες της Ευρώπης (Γερμανία, Πολωνία, Ισπανία, Αγγλία, Ουαλία) έχουν το λιγότερο διαθέσιμο νερό ανά κάτοικο. Οι κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας έχουν σαν αποτέλεσμα να συμπεριληφθεί η Ελλάδα ανάμεσα στις χώρες με χαμηλό αλλά υπαρκτό κίνδυνο ξηρασίας.

Η οικιακή κατανάλωση αποτελεί το 5 έως 20% της συνολικής κατανάλωσης. Αν και το ποσοστό είναι μικρό, η έντονη οικιστική ανάπτυξη ορισμένων περιοχών μπορεί να ασκήσει σημαντική πίεση στα υδατικά αποθέματα.

Η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού στην Ευρώπη κυμαίνεται από 123 έως 210 λίτρα ανά κάτοικο, ενώ μεταξύ των χωρών παρατηρούνται διαφορές όπως άλλωστε είναι αναμενόμενο.



Διάγραμμα 1.2 Ποσοστιαία οικιακή κατανάλωση νερού στην Ευρώπη.
Πηγή: Eurostat

Σημαντική δυνατότητα εξοικονόμησης νερού προσφέρεται στον τομέα των κατοικιών, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 73% του συνόλου του κτιριακού δυναμικού στην Ελλάδα. Τα περιθώρια για εξοικονόμηση νερού στις κατοικίες είναι μεγάλα και εξαρτώνται όχι μόνο από τις τεχνολογίες εξοικονόμησης και ανακύκλωσης νερού αλλά και από τη συμπεριφορά του καταναλωτή, από αλλαγές στην τιμολόγηση του νερού, με τη βελτιστοποίηση των μεθόδων καταμέτρησης του νερού που καταναλώνεται και άλλα.

1.9.2.1 Αντιμετώπιση διαρροών και «χαμένου» νερού

Το νερό σπαταλάται επίσης στο άκρο του σωλήνα. Οι αρχές και οι εταιρείες νερού μπορούν να υιοθετήσουν διάφορες προσεγγίσεις, όπως πολιτικές τιμολόγησης νερού (π.χ. επιβολή εισφορών ή τιμολογίων στη χρήση νερού), ενθάρρυνση της χρήσης συσκευών εξοικονόμησης νερού (π.χ. σε κεφαλές ντους ή βρύσες, σε εκροές τουαλέτας) ή εκστρατείες εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης.

Ένας συνδυασμός μέτρων - πολιτικές τιμολόγησης για εξοικονόμηση νερού, μείωση διαρροών, εγκατάσταση συσκευών εξοικονόμησης νερού και αποδοτικότερες οικιακές συσκευές - θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξοικονόμηση έως και το 50% του νερού που αφαιρείται. Η κατανάλωση θα μπορούσε να μειωθεί στα 80 λίτρα ανά άτομο ανά ημέρα σε όλη την Ευρώπη.

Αυτά τα πιθανά κέρδη δεν περιορίζονται στην ποσότητα του διαθέσιμου νερού. Το πιο σημαντικό, η εξοικονόμηση νερού εξοικονομεί επίσης την ενέργεια και άλλους πόρους που χρησιμοποιούνται στην εξαγωγή, άντληση, μεταφορά και επεξεργασία του νερού.

1.10 Οι υδατικοί πόροι της Ελλάδας

Το ολικό υδατικό δυναμικό της Ελλάδας υπερκαλύπτει την ποσότητα νερού που διατίθεται στις χρήσεις. Ωστόσο, μικρό μέρος από αυτό το δυναμικό είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη προβλημάτων ανεπάρκειας νερού σε διάφορες περιοχές και για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Η διαθέσιμη ποσότητα νερού συνεχώς ελαττώνεται, έτσι ώστε σημαντικές περιοχές είναι ή τείνουν να γίνουν ελλειμματικές σε νερό, ενώ οι σοβαρότερες συλλογικές ανάγκες καλύπτονται από έργα μεταφοράς, με σημαντικά αυξημένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

Οι κυριότεροι φυσικοί λόγοι που προκαλούν προβλήματα στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων της χώρας είναι:

- η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και στο χρόνο
- η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χώρο και το χρόνο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς
- η γεωμορφολογία της χώρας
- η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη
- το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών
- τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας.

Η ετήσια ζήτηση νερού ύδρευσης της χώρας εκτιμάται σε 1046 hm³. Η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά κάτοικο είναι περίπου 200 ως 250 λίτρα. Οι ημερήσιες καταναλώσεις νερού σε μερικές πρωτεύουσες της Μεσογείου είναι: Ρώμη 329 λίτρα ανά κάτοικο, Δαμασκός 175 λίτρα ανά κάτοικο, Τύνιδα 129 λίτρα ανά κάτοικο, Αλγέρι 128 λίτρα ανά κάτοικο (Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, 2008).

Η Ελλάδα αποτελείται από 14 υδατικά διαμερίσματα όπως παρουσιάζεται στον χάρτη που ακολουθεί.



Χάρτης 1.2: Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας

1.10.1 Το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης

1.10.2 Γεωγραφικά στοιχεία και διοικητική δομή

Το Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης είναι το νοτιότερο διαμέρισμα της χώρας και αποτελείται από την ομώνυμη μεγαλόνησο μαζί με τα μικρά νησιά που βρίσκονται γύρω από αυτήν, με κυριότερα τη Γαύδο και το Δία. Περιλαμβάνει τους Νομούς Χανίων, Ρεθύμνης, Ηρακλείου και Λασιθίου. Η συνολική έκτασή του είναι 8336 km².

Το σύνολο του πληθυσμού διακρίνεται σε αστικό κατά 41.5%, ημιαστικό κατά 12.3%, και αγροτικό κατά 46.2%.

1.10.3 Γεωμορφολογικά- Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού (3/4 της επιφάνειας περίπου) είναι ορεινό. Τα βασικά ορεινά συγκροτήματα του υδατικού διαμερίσματος είναι προς τα δυτικά τα Λευκά Όρη (2.454 m), στο

κεντρικό τμήμα ο Ψηλορείτης ή Ίδη (2.456 m) και προς τα ανατολικά το όρος Δίκη (2.147 m) και τα όρη Σητείας (1.476 m). Προς τα δυτικά και νότια οι υπώρειες των ορέων είναι απότομες και φτάνουν με μεγάλη κλίση προς τη θάλασσα, ενώ προς τα βόρεια του νησιού το ανάγλυφο είναι πιο ήπιο και λοφώδες (πεδιάδες Χανίων, Ρεθύμνου και Μαλίων). Η μεγαλύτερη πεδιάδα είναι η πεδιάδα Μεσσαράς στο νότιο-κεντρικό τμήμα του, ενώ στο νοτιοανατολικό βρίσκεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας. Υπάρχουν τέλος αρκετά οροπέδια, τα κυριότερα από τα οποία είναι του Λασιθίου και του Ομαλού. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πυκνό στο δυτικό τμήμα του νησιού, ενώ στο ανατολικό δεν είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένο. Το απότομο ανάγλυφο και η συχνή εναλλαγή διαπερατών και αδιαπεράτων γεωλογικών σχηματισμών, σε συνδυασμό με το μικρό εύρος του νησιού, έχει ευνοήσει το σχηματισμό χειμάρρων και την εμφάνιση πηγών και όχι το σχηματισμό μεγάλων ποταμών.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που καλύπτουν το υδατικό διαμέρισμα παρουσιάζουν μεγάλη πολυμορφία. Συγκεκριμένα, συναντώνται οι παρακάτω γεωτεκτονικές ενότητες:

Ενότητα Κρήτης-Μάνης. Πρόκειται για αυτόχθονα σχηματισμό, αντίστοιχο της σειράς Plattenkalk, που αποτελεί το υπόβαθρο του νησιού. Αποτελείται από πετρώματα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης, όπως ασβεστόλιθους (βιτουμενιούχους και κλαστικούς) και δολομίτες του Περμίου, εναλλαγές σχιστολιθικών-ασβεστολιθικών πετρωμάτων, πλακώδεις ασβεστόλιθους-μάρμαρα τεφρού χρώματος με κερατολιθικές ενδιαστρώσεις και φλύσχη (μεταφλύσχη). Η ενότητα αυτή αναπτύσσεται δυτικά του Ηρακλείου και στο μεγαλύτερο τμήμα του Νομού Χανίων.

Ενότητα Τρυπαλίου. Είναι αλλόχθων σχηματισμός, επωθήμενος στην ενότητα πλακωδών ασβεστόλιθων ή του μεταφλύσχη. Αποτελείται από παχυστρωματώδεις ή άστρωτους ασβεστόλιθους και δολομίτες με ελάχιστες κερατολιθικές παρεμβολές (Λευκά Όρη).

Ενότητα φυλλιτών-χαλαζιτών. Είναι επωθημένη στην ενότητα Τρυπαλίου, και αποτελείται από επάλληλους ορίζοντες φυλλιτών, χαλαζιτών, κροκαλοπαγών, φυλλιτικών ασβεστόλιθων, δολομιτών και γύψου (σε όλη την Κρήτη).

Ενότητα Τριπόλεως. Αλλόχθων σχηματισμός που αποτελείται από τρεις βασικούς ορίζοντες: τον κατώτερο αργιλοσχιστολιθικό ορίζοντα, το μέσο ορίζοντα των ασβεστόλιθων και δολομιτών Τριπόλεως, και τον ανώτερο φλυσχικό ορίζοντα (κυρίως δυτική Κρήτη).

Ενότητα Ολωνού-Πίνδου. Είναι επωθημένη στην ενότητα Τριπόλεως ή στην ενότητα των φυλλιτών-χαλαζιτών, παρουσιάζει μικρή εξάπλωση και αποτελείται από εναλλαγές φλύσχη, ασβεστόλιθων και ψαμμιτών (σε όλη την Κρήτη).

Ενότητα οφιόλιθων και κρυσταλλοσχιστωδών. Αλλόχθων σχηματισμός με μικρή εξάπλωση, που αποτελείται από οφιόλιθους, ασβεστόλιθους, κερατόλιθους, μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους κλπ. (κυρίως στην κεντρική Κρήτη).

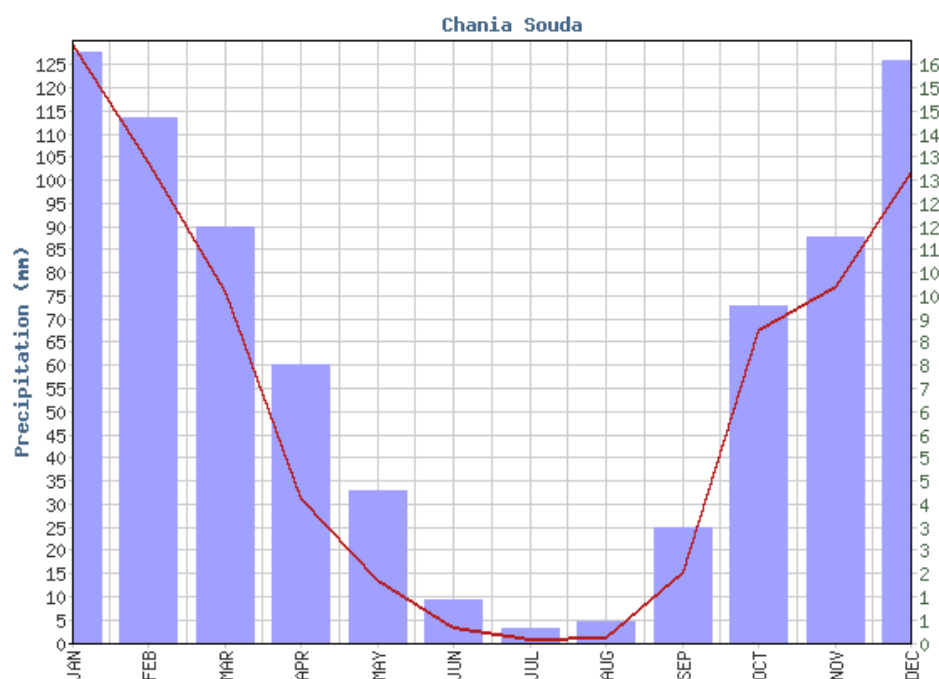
1.10.4 Κλίμα

Το κλίμα του διαμερίσματος χαρακτηρίζεται εύκρατο έως μεσογειακό θερμό-ημιυγρό. Στις ορεινές περιοχές ειδικά του δυτικού τμήματος εμφανίζεται και το ορεινό κλίμα. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο σύνολο του διαμερίσματος σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΗ (1980) είναι περίπου 930 mm. Στο δυτικό τμήμα (Λευκά Όρη), το ύψος βροχής είναι πολύ μεγαλύτερο (1 700 mm) σε σχέση με το

ανατολικό. Οι μήνες από Μάρτιο έως Σεπτέμβριο είναι συνήθως ξηροί. Η μέση ετήσια θερμοκρασία του διαμερίσματος κυμαίνεται από 18.5°C στο δυτικό τμήμα ως 20°C στο νότιο (Ιεράπετρα). Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος έχει τιμές από 14°C έως 15°C. Τα νότια και νοτιοανατολικά παράλια της Κρήτης είναι από τις θερμότερες περιοχές της χώρας. Ο παγετός είναι φαινόμενο ανύπαρκτο στο νοτιοανατολικό τμήμα του διαμερίσματος και σπανιότατο στις υπόλοιπες περιοχές. Η μέση ετήσια νέφωση κυμαίνεται μεταξύ 3.5 και 4.5 βαθμίδων. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία του διαμερίσματος είναι χαμηλή και κυμαίνεται μεταξύ 65% και 68%. Οι άνεμοι που κυριαρχούν είναι οι βόρειοι και οι βορειοδυτικοί και ακολουθούν οι νότιοι και οι νοτιοδυτικοί.

Περίοδος Κλιματικών Δεδομένων: 1958-2010

Γ. Μήκος (Lon): 24.15 Γ.Πλάτος (Lat): 35.53 Ύψος (Alt): 148m, Περιφέρεια:Κρήτη



Διάγραμμα 1.3: Μηνιαίο ύψος νετού για το σταθμό της Σούδας Χανίων σε (mm)
Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥ Ν	ΙΟΥ Λ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέσο Μηνιαίο Ύψος Νερού	129,5	104,0	76,0	31,5	13,5	3,4	1,0	1,4	15,4	67,7	77,0	101,9

Πίνακας 1.1: Μηνιαίο ύψος νετού για το σταθμό της Σούδας Χανίων σε (mm) Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

1.10.5 Υδρολογικό ισοζύγιο – Προσφορά νερού

Κύριες υδρολογικές λεκάνες

Το ισχυρό ανάγλυφο του υδατικού διαμερίσματος, 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. Αποτέλεσμα αυτών είναι η ανάπτυξη πολλών μικρών υδρολογικών λεκανών, που η έκταση τους δεν ξεπερνά τα 600 km². 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 Κουρταλιώτης Ρεθύμνης), και τροφοδοτούνται κυρίως από πηγαιά νερά. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠΓΕ, οι συνολικές απορροές των ρεμάτων στα οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις ανέρχονται σε 300 hm³ ετησίως. Εκτιμάται ότι η ποσότητα που διακινούν τα υπόλοιπα ρέματα προς τη θάλασσα είναι 1.300 hm³.

Ως «Λεκάνη Απορροής Ποταμού» ορίζεται η εδαφική έκταση από την οποία αποστραγγίζεται το σύνολο της απορροής (βροχόπτωση ή/και χιονόπτωση) μιας περιοχής, μέσω του υδρογραφικού δικτύου της (διαδοχικών ρευμάτων, χειμάρρων, ποταμών, και πιθανώς λιμνών) και παροχετεύεται στη θάλασσα μέσω της εκβολής (ή δέλτα) ποταμού.



Εικόνα 1.2: Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης

Στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης περιλαμβάνονται οι ακόλουθες τρεις (3) Λεκάνες Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ):

Λεκάνη απορροής ρεμάτων Βόρειου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39) συνολικής έκτασης 3676 km² που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρους του βόρειου τμήματος του νησιού. Περιλαμβάνει εκτάσεις των νομών Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου και Λασιθίου. Οριοθετείται κατά τον άξονα Δύση-Ανατολή από τις κορυφογραμμές των Λευκών Ορέων και του Ψηλορείτη ενώ περιλαμβάνει και το οροπέδιο Λασιθίου στο ανατολικότερό της τμήμα. Το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύσσεται στον άξονα Νότος-Βορράς αφού τα διάφορα ρέματα και ποτάμια πηγάζουν από τους ορεινούς όγκους στο κέντρο του νησιού και καταλήγουν στις πεδινές περιοχές των βόρειων ακτών, από την περιοχή των Χανίων (Καστέλι) έως την περιοχή του Ηρακλείου. Σημαντικά υδατορεύματα στην

περιοχή των Χανίων είναι ο Ταυρωνίτης, ο Ντεριανός, ο Πλατανιάς, ο Κερίτης και ο Κλαδισός. Στην Περιοχή του Ηρακλείου ο Γαζανός, ο Ξηροπόταμος, ο Σιλαμιανός και ο Γιόφυρος.

Λεκάνη απορροής ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40) συνολικής έκτασης 2798 km² που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του νότιου τμήματος του νησιού. Περιλαμβάνει εκτάσεις των Περιφερειακών Ενοτήτων Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου και μικρό τμήμα της Περιφερειακής Ενότητας (Π.Ε.) Λασιθίου. Οριοθετείται από τις κορυφογραμμές των Λευκών Ορέων, του Ψηλορείτη και της Δίκτης. Οι δυτικές ακτές της περιοχής προς τον νότο είναι απόκρημνες με μεγάλες κλίσεις και φαράγγια. Στα ανατολικά περιλαμβάνεται η πεδιάδα της Μεσσαράς Ηρακλείου. Επίσης περιλαμβάνεται το οροπέδιο Ομαλού Χανίων. Το υδρογραφικό δίκτυο στο ανατολικό τμήμα της ΛΑΠ (GR40) αποτελείται από ρέματα και χειμάρρους που καταλήγουν στις απόκρημνες νότιες ακτές ενώ στο δυτικότερο τμήμα της περιλαμβάνονται οι μεγάλες υδρολογικές λεκάνες των ποταμών Αναποδάρη και Γεροπόταμου που διασχίζουν την Πεδιάδα της Μεσσαράς. Άλλα σημαντικά υδατορεύματα είναι το ρ. Κληματιανός, το ρ. Μάγειρος, το ρ. Κουτσουλίδης, το ρ. Γριά Σαΐτα, το ρ. Κατάρτου, το ρ. Ληθαίος, το ρ. Λειβαδίτη και το ρ. Χανυά.

Λεκάνη απορροής ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41), συνολικής έκτασης 1870 km² που καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα του νησιού. Περιλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό της Π.Ε. Λασιθίου. Οριοθετείται από τις κορυφογραμμές του όρους Δίκτη. Νότια της Δίκτης, αναπτύσσεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας και ανατολικά της η πεδιάδα του Αγίου Νικολάου ενώ βόρεια και ανατολικά από τα Λασιθιώτικα Όρη η πεδιάδα της Σητείας και του Παλαίκαστρου αντίστοιχα. Το υδρογραφικό δίκτυο στη ΛΑΠ (GR41) δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο και αποτελείται από ρέματα που καταλήγουν στις βόρειες Ανατολικές και νότιες ακτές. Σημαντικά υδατορεύματα είναι ο Ξηροπόταμος, ο Καλός Ποταμός, το ρ. Κοτοβανού ο π. Μπραμιανός, το ρ. Καλαμαυκιανός και ο π. Μύρτος. (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, 2017)

Στο υδατικό διαμέρισμα αναπτύσσονται τέσσερα κύρια καρστικά συστήματα με μεγάλα αποθέματα: των Λευκών Ορέων, του Ψηλορείτη-Ταλαιών, της Δίκτης-Σελένας-Ελούντας, και της Σητείας στα ανατολικά.

Το καρστικό σύστημα Λευκών Ορέων.

Περιλαμβάνει το ομώνυμο βουνό, υψομέτρου 2.454 m, με ανάπτυξη ανθρακικών σχηματισμών σε έκταση 850 km² (Υδροέρευνα, 1990). Η κύρια υπόγεια αποστράγγιση του συστήματος γίνεται προς τα βόρεια και κατά δεύτερο λόγο προς το Λιβυκό Πέλαγος. Προς τα βόρεια η γεωλογική δομή επιτρέπει την ανακοπή της υπόγειας ροής πριν τις ακτές και προστατεύει τους υδροφορείς από υφαλμύριση. Τρεις είναι οι κύριες ομάδες πηγών στο βόρειο τμήμα που αποστραγγίζουν το καρστικό σύστημα: οι πηγές Αγκιάς και Μεσκλών, με ετήσιες εκφορτίσεις περί τα 40 hm³, οι πηγές Στύλου-Αρμένων, με ετήσιες μετρημένες εκφορτίσεις περί τα 115 hm³, και οι πηγές Γεωργούπολης – Λίμνης Κουρνά, που παρουσιάζουν στοιχεία υφαλμύρισης και ετήσιες εκφορτίσεις περί τα 180 hm³. Προς νότο το σύστημα εκφορτίζεται μέσω διαφόρων πηγών στις απόκρημνες ακτές (Σφακιά, Άγιος Παύλος, Γλυκά Νερά), με εκτιμώμενες ποσότητες περί τα 30 hm³ ετησίως. Η μέση ετήσια βροχόπτωση που δέχεται το ορεινό συγκρότημα υπερβαίνει τα 1.500 mm (1.700 κατά ΙΓΜΕ, 1.600 κατά Υδροέρευνα). Οι συνολικές διακινούμενες ποσότητες ετησίως των υπόγειων νερών εκτιμώνται από το ΙΓΜΕ σε περίπου 722 hm³ ετησίως, δηλαδή περί τα 23 m³/s. Αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί σε κατείσδυση 1 m³/s ανά 37 km²

ανθρακικών σχηματισμών του καρστικού συστήματος. Από αυτές τις εκτιμώμενες ποσότητες, ποσότητα ίση με $10,8 \text{ m}^3/\text{s}$ εκφορτίζεται από τις κυριότερες πηγές του συστήματος (Υδροέρευνα, 1990).

1.10.6 Υδρολογικό ισοζύγιο

Με βάση την έκταση του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης, που ανέρχεται σε 8.336 km^2 , και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, που ανέρχεται σε 900 mm (ΔΕΗ, 1980), ο ετήσιος όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται το διαμέρισμα ανέρχεται σε 7.500 hm^3 . Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή εκτιμάται στο 65% των βροχοπτώσεων, δηλαδή ανέρχεται σε 4.874 hm^3 ετησίως. Η ενεργός βροχόπτωση, που προκαλεί επιφανειακή και υπόγεια απορροή, εκτιμάται ότι αποτελεί το 35% της συνολικής βροχόπτωσης, δηλαδή ποσότητα ίση με 2.625 hm^3 ετησίως. Η μέση κατείσδυση εκτιμάται σε ποσοστά 98, 15 και 3% της ενεργού βροχόπτωσης αντίστοιχα για τους καρστικούς, προσχωματικούς, αδιαπέρατους και ημιπερατούς σχηματισμούς. Η ποσότητα αυτή υπερβαίνει τα 1000 hm^3 ετησίως, που κατανέμεται ανά σχηματισμό σε 990 hm^3 στους καρστικούς, 34 hm^3 στους προσχωματικούς, και 42 hm^3 στους αδιαπέρατους και ημιπερατούς σχηματισμούς. Ειδικότερα για τους καρστικούς σχηματισμούς η παραπάνω κατείσδυση είναι χαμηλότερη από τις εκτιμήσεις του ΙΓΜΕ, που είναι 1.627 hm^3 . Από τις ποσότητες hm^3 αυτές των κατεισδύσεων εξέρχεται από τις κυριότερες πηγές του νησιού ποσότητα ίση με $22.6 \text{ m}^3/\text{s}$, δηλαδή περί τα 700 hm^3 ετησίως. Κατά την Υδροέρευνα (1990) η ποσότητα που μετράται στις πηγές ανέρχεται σε 800 hm^3 , από τα οποία 470 hm^3 αφ' hm^3 ύν σε γλυκά νερά και 330 hm^3 σε υφάλμυρα. Η επιφανειακή απορροή εκτιμάται σε 97, 85 και 2% της ενεργού βροχόπτωσης για τους αδιαπέρατους-ημιπερατούς, προσχωματικούς και καρστικούς σχηματισμούς αντίστοιχα. Η ποσότητα αυτή ανέρχεται σε 1.558 hm^3 ετησίως, που κατανέμεται ανά σχηματισμό σε 21 hm^3 για τους καρστικούς, 193 hm^3 για τους προσχωματικούς και 1.344 hm^3 για τους αδιαπέρατους-ημιπερατούς. (Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, 2008).

1.11 Τραγωδία των Κοινών

Η τραγωδία των κοινών, ή η τραγωδία των κοινόκτητων πόρων, αναφέρεται σε μια κατηγορία πόρων, τα κοινά. Σε αυτήν την κατηγορία πόρων έχει πρόσβαση μεγάλος αριθμός χρηστών. Ο κάθε χρήστης μπορεί να εκμεταλλευτεί τον πόρο στον βαθμό που αυτός επιθυμεί. Τα οφέλη από τη χρήση τα καρπώνεται ο ίδιος, ενώ το κόστος μοιράζεται σε όλους. (Δημογιάννη Σ., 2010)

Η τραγωδία των κοινών είναι ένα οικονομικό πρόβλημα στο οποίο κάθε άτομο έχει ένα κίνητρο να καταναλώσει έναν πόρο, αλλά σε βάρος κάθε άλλου ατόμου χωρίς, ταυτόχρονα, να υπάρχει κανένας τρόπος να αποκλείσει κανέναν από την κατανάλωση. Αυτός που έκανε παγκόσμια γνωστό το φαινόμενο της τραγωδίας των κοινών ήταν ο Αμερικανός επιστήμονας Garrett Hardin. Ο Garrett Hardin, ένας εξελικτικός βιολόγος, έγραψε μια επιστημονική εργασία με τίτλο "The Tragedy of the Commons" στο επιστημονικό περιοδικό Science το 1968. Το έγγραφο ασχολήθηκε με την αυξανόμενη ανησυχία του υπερπληθυσμού και ο Hardin χρησιμοποίησε ένα παράδειγμα βοσκής προβάτων, ένα παράδειγμα που αντλήθηκε από τον Άγγλο οικονομολόγο William Forster Lloyd όταν περιέγραψε τις δυσμενείς επιπτώσεις του υπερπληθυσμού. Στο παράδειγμα του Lloyd, τα βοσκοτόπια που διατηρούνται ως ιδιωτική ιδιοκτησία θα περιορίσουν τη χρήση τους από τη σύνεση του ιδιοκτήτη γης,

προκειμένου να διατηρηθεί η αξία της γης και η υγεία του κοπαδιού. Τα κοινά εδάφη βοσκής θα υπερκορεστούν με ζώα επειδή η τροφή που καταναλώνουν τα ζώα μοιράζεται σε όλους τους κτηνοτρόφους.

Το θέμα του Hardin ήταν ότι αν οι άνθρωποι αντιμετωπίζουν το ίδιο πρόβλημα όπως στο παράδειγμα με τα ζώα αγέλης, κάθε άτομο θα ενεργούσε για το δικό του συμφέρον και θα καταλάωνε όσο το δυνατόν περισσότερο από τους κοινά προσβάσιμους σπάνιους πόρους, καθιστώντας τον πόρο ακόμη πιο δύσκολο να βρεθεί. (American Association for the Advancement of Science)

Αρχικά διατυπώθηκε ρωτώντας τι θα συνέβαινε εάν κάθε βοσκός, ενεργώντας για το δικό του συμφέρον, επέτρεπε στο ποίμνιό του να βόσκει στο κοινό χωράφι. Εάν ο καθένας πράττει προς το συμφέρον του τότε αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβλαβή υπερκατανάλωση (όλο το γρασίδι τρώγεται, εις βάρος όλων). Λόγω απουσίας επιβεβλημένων ορίων στη χρήση της γης, ο Hardin προειδοποιεί ότι οι χωρικοί αναμένεται να συνεχίσουν να προσθέτουν ζώα ακόμα και αφού γίνει φανερό ότι ο κοινός τους πόρος θα έχει υποστεί σοβαρή υπερβόσκηση. Κάθε μέλος της κοινότητας ενεργεί με βάση την ορθολογική εκτίμηση ότι θα καρπωθεί όλο το εισόδημα από κάθε ζώο που προσθέτει ενώ το κόστος που δημιουργείται από το πρόσθετο ζώο θα επιμερίζεται στην κοινότητα. Η ελευθερία του κάθε χωρικού να προσθέτει ζώα στο τέλος θα οδηγήσει στην πλήρη καταστροφή του πόρου. (Μυλωνάς 2018)

Το πρόβλημα μπορεί επίσης να οδηγήσει σε υπο-επενδύσεις καθώς τίθεται το ερώτημα “ποιος θα πληρώσει για να φυτέψει νέους σπόρους;”, και τελικά να φέρει την πλήρη εξάντληση του πόρου. Καθώς η ζήτηση για τον πόρο υπερκαλύπτει την προσφορά, κάθε άτομο που καταναλώνει μια πρόσθετη μονάδα βλάπτει άμεσα τους άλλους - και τον εαυτό τους επίσης - που δεν μπορούν πλέον να απολαύσουν τα οφέλη. Γενικά, ο πόρος ενδιαφέροντος είναι εύκολα διαθέσιμος σε όλα τα άτομα χωρίς εμπόδια (δηλαδή τα «κοινά»).

Από οικονομική άποψη, η τραγωδία των κοινών μπορεί να συμβεί όταν ένα οικονομικό αγαθό είναι ανταγωνιστικό στην κατανάλωση. Αυτοί οι τύποι αγαθών ονομάζονται αγαθά κοινής χρήσης (σε αντίθεση με ιδιωτικά αγαθά, αγαθά συλλόγου ή δημόσια αγαθά).

Όταν ένα αγαθό είναι ανταγωνιστικό σημαίνει ότι μόνο ένα άτομο μπορεί να καταναλώσει μια μονάδα αγαθού (δηλαδή δεν μπορεί να το μοιραστεί όπως είναι η περίπτωση να παρακολουθεί, παραδείγματος χάρη, μια τηλεοπτική εκπομπή μόνος του έναντι της επιλογής να την παρακολουθεί με φίλους) ή ότι κάποιος καταναλώνει μια μονάδα αγαθού, η οποία μονάδα δεν είναι πλέον διαθέσιμη για άλλους να την καταναλώσουν. Με άλλα λόγια, όλοι οι καταναλωτές ανταγωνίζονται για τη μονάδα του αγαθού και η κατανάλωση κάθε ατόμου αφαιρεί από το συνολικό απόθεμα του διαθέσιμου αγαθού. Σημειώνεται ότι για να συμβεί μια τραγωδία των κοινών το αγαθό πρέπει επίσης να είναι λιγοστό, αφού ένα μη σπάνιο αγαθό δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό στην κατανάλωση.

Στη μελέτη της τραγωδίας των κοινών μπορεί να εφαρμοστεί η έννοια της ισορροπίας Nash. Ως κοινά θεωρούνται οι πόροι ή τα αγαθά τα οποία είναι προσβάσιμα σε όλους και η τωρινή ή μελλοντική διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από τη χρήση. Το πρόβλημα σχετίζεται με τη 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. (Κατσανεβάκη Στυλιανή, 2016)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Γενικά Χαρακτηριστικά της Θεωρίας Παιγνίων

2.1 Εισαγωγή

Η Θεωρία Παιγνίων είναι ένα σύνολο αναλυτικών εργαλείων τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε φαινόμενα που παρατηρούμε όταν αλληλεπιδράσουν οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων.(Osborne, Rubinstwin 1994) Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορεί να είναι άτομα, ομάδες, επιχειρήσεις ή οποιοσδήποτε συνδυασμός αυτών. Η Θεωρία ασχολείται με αποφάσεις, υπό αβέβαιες συνθήκες συνθήκες, όπου εμπλέκονται δύο 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. Οι βασικές παραδοχές στις οποίες βασίζεται η Θεωρία είναι ότι οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων είναι λογικοί ακολουθώντας καλά καθορισμένους εξωγενείς στόχους και σκέφτονται στρατηγικά, δηλαδή λαμβάνουν υπόψη τις γνώσεις τους ή τις προσδοκίες τους για τη συμπεριφορά των άλλων αντιπάλων-υπευθύνων λήψης αποφάσεων. (Osborne,Rubinstein 1994).

Οι έννοιες ατομικισμός, ορθολογικότητα και αλληλεξάρτηση είναι έννοιες βασικές στη Θεωρία. (Romp,1997). Ο κάθε παίκτης έχει σκοπό να εξυπηρετήσει τα ατομικά του συμφέροντα και να μη συνεργαστεί με τους αντίπαλους παίκτες εκτός και αν είναι επιλογή του να το πράξει αυτό σύμφωνα με το προσωπικό του όφελος (ατομικισμός). Οι παίκτες προσδιορίζοντας τα πιθανά αποτελέσματα των δράσεών τους και ταξινομώντας τα σε σειρά προτίμησης επιδεικνύουν ορθολογικότητα. Τέλος, σε περιπτώσεις στις οποίες το κέρδος του κάθε παίκτη εξαρτάται έστω και σε ένα βαθμό από τις δράσεις των αντιπάλων τότε εμφανίζεται και η έννοια της αλληλεξάρτησης, οι πράξεις είναι αμοιβαία εξαρτημένες.

Είναι μια επιστημονική διαδικασία κατά την οποία κάνοντας 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.

Ο τομέας εφαρμογής της Θεωρίας εκτείνεται πολύ πέρα από τα παιχνίδια με τη συνήθη έννοια. Περιλαμβάνει , για παράδειγμα οικονομικά, πολιτική, πόλεμο. Με τον όρο “game” εννοούμε οποιαδήποτε τέτοια κατάσταση η οποία καθορίζεται από ένα σύνολο “κανόνων”.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη γνωστή αναφορά της θεωρίας παιγνίων παρουσιάστηκε το 1713 σε μια επιστολή που γράφτηκε από τον James Waldegrave , δηλαδή πολύ πριν την ανάπτυξη της σύγχρονης μαθηματικής θεωρίας παιγνίων, κατά την οποία ο Waldegrave δίνει μια λύση σε μια έκδοση δύο παικτών του παιχνιδιού καρτών le Her, η οποία βασιζόταν σε μια minimax μκτική στρατηγική. Το 1913 ο Ernst

Zermelo 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 ο John von Neuman απέδειξε ότι υπάρχει πάντα λύση για παίγνια μηδενικού αθροίσματος κάνοντας τη Θεωρία Παιγνίων να θεωρείται ένας ξεχωριστός επιστημονικός τομέας. (Neumann, 1928). Το 1944 ο Neumann μαζί με τον Oskar Morgenster εκδίδουν το βιβλίο του “Theory of Games and Economic Behavior” περιέχοντας τη θεωρία της χρησιμότητας με έναν αξιωματικό τρόπο. Η έρευνά τους διαιρέθηκε σε δύο μέρη στα συνεργατικά και στα μη συνεργατικά παίγνια. Κατά το ήμισυ αναπτύσσουν τη μη συνεργατική θεωρία παιγνίων στην οποία αναλύουν περιπτώσεις που βασίζονται στην υπόθεση ότι κάθε παίκτης μεγιστοποιεί τη δική του λειτουργία χρησιμότητας ενώ αντιμετωπίζει τις αναμενόμενες στρατηγικές απαντήσεις άλλων παικτών ως περιορισμούς. Το συγκεκριμένο παιχνίδι στο οποίο εφάρμοσαν τα μοντέλα ήταν το πόκερ, το οποίο είναι ένα παιχνίδι μηδενικού αθροίσματος.

Οι von Neumann και Morgenster ήταν αυτοί που εισήγαγαν μια νέα για τα χρονικά τους κατηγορία, αυτά των συνεργατικών παιγνίων. Όρισαν αξιωματικά την θεωρία της χρησιμότητας, ανέλυσαν διεξοδικά τις βέλτιστες λύσεις στα παιχνίδια μηδενικού αθροίσματος και εισήγαγαν μια νέα κατηγορία παιχνιδιών, τα συνεργατικά παίγνια.

Ήταν η δεκαετία του 1950 καθώς τότε η Θεωρία Παιγνίων γνώρισε μια έντονη δραστηριότητα, με την ανάπτυξη εννοιών όπως αναπτύχθηκαν οι έννοιες του πυρήνα, του εκτεταμένου παιχνιδιού φόρμας, του εικονικού παιχνιδιού, των επαναλαμβανόμενων παιχνιδιών και της Τιμής Shapley. Η δεκαετία του 1950 είδε επίσης τις πρώτες εφαρμογές της θεωρίας παιχνιδιών στη φιλοσοφία και την πολιτική επιστήμη.

Το 1950 το πείραμα των μαθηματικών Merrill M.Flood και Melvin Dresher οδηγεί σε μία πρώτη συζήτηση των μαθηματικών γύρω από το «δίλημμα του φυλακισμένου». Χρονιά-ορόσημο για την ιστορία της Θεωρίας Παιγνίων είναι το 1950 καθώς ο John Nash ασχολείται με παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος, στα οποία οι παίκτες μπορούν να κερδίζουν ή να χάνουν ταυτόχρονα και εισαγάγει την έννοια της ισορροπίας. Ο Nash το 1953 υποστήριξε ότι οι λύσεις στα συνεταιριστικά παιχνίδια πρέπει πάντα να επαληθεύονται δείχνοντας ότι είναι επίσης λύσεις σε επίσημα ισοδύναμα μη συνεργατικά παιχνίδια. Είναι αυτός που θα ισχυριστεί και θα αποδείξει ότι πάντα υπάρχει ένα σημείο ισορροπίας για τα πεπερασμένα παίγνια στο οποίο όλοι οι παίκτες γνωρίζοντας τις επιλογές των αντιπάλων τους επιλέγουν με τη σειρά τους τις ενέργειες εκείνες που είναι οι καλύτερες για το συμφέρον τους, σημείο γνωστό ως ισορροπία Nash. Αυτή η κεντρική ιδέα της θεωρίας για μη-συνεργατικά παίγνια εφαρμόζεται ευρέως στη σύγχρονη Θεωρία Παιγνίων. Η ιδέα αυτή που ανέπτυξε του δίνει το 1994 το βραβείο Nobel το οποίο μοιράστηκε με τον μαθηματικό Reinhard Selten και τον οικονομολόγο John C. Harsanyi (ανέπτυξε τις έννοιες complete information και Bayesian games) οι οποίοι γενίκευσαν τη θεωρία περί σημείου ισορροπίας και σε άλλες κατηγορίες παιγνίων, όπως τα δυναμικά και τα παίγνια με ελλιπή πληροφόρηση (incomplete information), τα οποία εφαρμόζονται ευρέως στην επιστήμη των Οικονομικών. (Rasmussen, 1994).

Το 1957 οι Duncan Luce και ο Howard Raiffa θα εκδώσουν ένα πολύ σημαντικό σύγγραμμα με τίτλο “Games and Decisions: Introduction & Critical Survey” προσφέροντας την έννοια των

επαναλαμβανόμενων παιγνίων η οποία μέχρι και τη σύγχρονη εποχή αποτελεί τη βασική πηγή πληροφόρησης για τη Θεωρία.

Το 1971 ο Lloyd Shapley είναι αυτός που θα εισαγάγει την ομώνυμη Τιμή Shapley (Shapley Value) για παίγνια με τη δυνατότητα δημιουργίας συνασπισμών. Για κάθε συνεργατικό παίγνιο υπάρχει και μια μοναδική δίκαιη κατανομή τόσο των κερδών όσο και των δαπανών, του συνολικού πλεονάσματος δηλαδή, το οποίο προκύπτει από τη συνασπισμό όλων των παικτών. Η τιμή Shapley διασφαλίζει ότι κάθε παίκτης κερδίζει όσα περισσότερα (ή και περισσότερα) θα μπορούσε να κερδίσει από αυτά που θα αποκτούσε εάν ενεργούσε ανεξάρτητα. Η τιμή αυτή είναι κρίσιμη καθώς σε κάθε άλλη περίπτωση δεν υπάρχει κίνητρο για συνεργασία μεταξύ των παικτών και εφαρμόζεται ευρέως όπως σε επιχειρήσεις ή διαδικτυακό μάρκετινγκ.

Στη δεκαετία του 1970 η θεωρία θα εφαρμοστεί κυρίως στον τομέα της Βιολογίας. Το 1979 ο Robert Axelrod στην προσπάθειά του να δημιουργήσει προγράμματα στα οποία οι παίκτες ήταν υπολογιστές διαπίστωσε ότι στους “αγώνες” μεταξύ τους ο νικητής ήταν συχνά ένα απλό πρόγραμμα το οποίο είχε δημιουργήσει ο Anatol Rapoport και λέγεται “tit-for-tat”. Το πρόγραμμα αυτό στην πρώτη ενέργεια επιλέγει τη συνεργασία και στις επόμενες ενέργειες επιλέγει να κάνει αυτό που έκανε ο αντίπαλός του στις δικές του προηγούμενες ενέργειες.

Τη δεκαετία του '90, θεωρητικοί επιστήμονες των Παιγνίων συμμετείχαν στο σχεδιασμό των δημοπρασιών για τη χορήγηση δικαιωμάτων χρήσης των ζωνών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για τον τομέα της κινητής τηλεφωνίας. Οι περισσότερες περιπτώσεις των δημοπρασιών σχεδιάστηκαν τότε προκειμένου να είναι αποτελεσματικότερες των παραδοσιακών κυβερνητικών πρακτικών κατανομής θέτοντας δισεκατομμύρια δολάρια σε Ευρώπη και Η.Π.Α. (Turocy & Stengel, 2001).

Τέλος, σημαντική εξέλιξη πραγματοποιείται και με τη νέα χιλιετία. Το 2005 βραβεύτηκαν με Νόμπελ για την Οικονομική Επιστήμη ο Thomas Schelling ο οποίος ασχολήθηκε με δυναμικά μοντέλα και ο Robert Aumann για το έργο του σχετικά με τη σύγκρουση και τη συνεργασία των παικτών ενώ το 2007 οι Leonid Hurwicz, Eric Maskin και Roger Myerson τιμήθηκαν με το ίδιο βραβείο με τον Hurwicz να εισάγει την έννοια incentive compatibility (συμβατότητα κινήτρων) και τον Myerson να πραγματοποιεί μια σημαντική πτυχιακή διατριβή του με τίτλο “Game Theory, Analysis of Conflict” και να κάνει λόγο για την έννοια “proper equilibrium”.

2.3 Βασικά χαρακτηριστικά και έννοιες

Η μεθοδολογία της θεωρίας παιγνίων χρησιμοποιείται στη λήψη αποφάσεων για να περιγράψει καταστάσεις ανταγωνιστικής αλληλεξάρτησης και να δώσει απάντηση στα αντίστοιχα προβλήματα όπου εμπλέκονται περισσότεροι από ένας λήπτες αποφάσεων ταυτόχρονα. Ως **παίγνιο** (game) χαρακτηρίζεται αυτή η κατάσταση λήψης απόφασης κατά την οποία δύο ή περισσότεροι ορθολογικοί παίκτες με ενδιαφέροντα που αντικρούονται σε συνθήκες ανταγωνιστικής αλληλεξάρτησης επιλέγουν τρόπους δράσεις.

Οι παίκτες είναι αυτοί που ορίζουν όλα όσα συνθέτουν ένα παίγνιο, δηλαδή οι πληροφορίες, οι μεταβλητές και τα στοιχεία που το διέπουν καθώς και η αξιολόγηση των διάφορων αποτελεσμάτων ενώ όλα αυτά θεωρούνται ταυτόχρονα κοινά και δεδομένα σε όλες τις ανταγωνιστικές καταστάσεις που λαμβάνουν χώρα.

Ο *παίκτης* θεωρείται ως αυτόνομη μονάδα λήψης της απόφασης, που γνωρίζει αλλά δεν μπορεί να ελέγξει πλήρως τους παράγοντες που επιδρούν στο παιχνίδι και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτό γίνεται και συνεπώς δεν μπορούν να ελέγξουν πλήρως και το αποτέλεσμα.

Στρατηγική (S) ενός παίκτη είναι το σύνολο των κανόνων που ορίζουν τις δυνατές επιλογές που οφείλει να ακολουθεί σε κάθε κίνησή του μέχρι το τέλος και αφού γνωρίζει αντίστοιχα τις κινήσεις του αντιπάλου. Αναζητούμε τις στρατηγικές που βελτιστοποιούν το στόχο του κάθε παίκτη. Οι στρατηγικές μπορούν να έχουν οποιαδήποτε μορφή, αριθμητική ή μη. Θα μπορούσε, λόγου χάρη, να αφορά ακόμα και την απόφαση αν θα πρέπει να ταξιδέψω με αυτοκίνητο ή αεροπλάνο με τη μορφή $S_i = \{\text{αυτοκίνητο, αεροπλάνο}\}$ ή την απόφαση ενός μικροπαραγωγού για την ποσότητα του αγαθού που θα επιλέξει να παράξει. Στην τελευταία περίπτωση, το σύνολο των στρατηγικών θα είναι το συνεχές διάστημα $S_i = \{1, 2, \dots, C\}$ όπου C η παραγωγική ικανότητα του μικροπαραγωγού. (Λιβανίου, 2011). Η Στρατηγική μπορεί να είναι αμιγής ή μικτή. Στην αμιγή ή καθαρή στρατηγική κάθε παίκτης επιλέγει μία μόνο από τις δυνατές στρατηγικές του με πιθανότητα ίση με τη μονάδα.

Η μικτή στρατηγική περιλαμβάνει συνδυασμό στρατηγικών οι οποίες επιλέγονται με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας. (Τσάντας)

Άρρηκτα με τη στρατηγική συνδέεται το *αποτέλεσμα* του παιγνίου, το οποίο εξαρτάται για κάθε παίκτη τόσο από τη στρατηγική που αυτός θα ακολουθήσει όσο και από τις στρατηγικές των αντίπαλων παικτών του. Η λύση και το τέλος του παιγνίου έρχονται όταν προσδιοριστεί η βέλτιστη-άριστη στρατηγική όλων των παικτών.

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

1. Η *Αρχή της Κοινής Γνώσης-Common knowledge*. Σύμφωνα με αυτή, κάθε παίκτης γνωρίζει πολύ καλά το παιχνίδι. Γνωρίζει τον πίνακα πληρωμών, όλες τις κινήσεις και αποδόσεις του παιχνιδιού και ταυτόχρονα γνωρίζει ότι και ο αντίπαλος παίκτης τα γνωρίζει αυτά κ.ο.κ.
2. Οι παίκτες είναι *ορθολογιστές*, πράττουν με τη λογική και όχι με συναισθηματισμούς. Ανάλογα με τα δεδομένα και τις επιλογές που έχουν στη διάθεσή τους θα ακολουθήσουν τη στρατηγική αυτή που στοχεύει στην προσωπική τους ευημερία.
3. Ο κάθε παίκτης πρέπει να επιλέξει τη στρατηγική του ταυτόχρονα με τον αντίπαλο χωρίς επικοινωνία, συνεργασία και γνώση της αντίστοιχης επιλογής στρατηγικής που έκανε ο άλλος παίκτης.
4. Το παίγνιο παίζεται μόνο μια φορά.

2.4 Ταξινόμηση Παιγνίων

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

1. Ο αριθμός των παικτών (Παίγνια 2...n παικτών)

Στην περίπτωση που στο παίγνιο συμμετέχουν δύο παίκτες το παίγνιο ονομάζεται «παίγνιο δύο παικτών» ενώ στην περίπτωση που συμμετέχουν n παίκτες με $n > 2$ το παίγνιο ονομάζεται «παίγνια n παικτών».

2. Συνεργατικά και μη συνεργατικά παίγνια

Για να έχουμε σχέσεις συνεργασίας ή ανταγωνισμού απαιτείται η παρουσία τουλάχιστον δύο παικτών. Η παρουσία παικτών σε αριθμό ίσο και μεγαλύτερο του τρία δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας συνθηκών συνασπισμού κατά τις οποίες σχηματίζονται ομάδες από δύο ή περισσότερους παίκτες με σκοπό αφενός να ενώσουν τα ενδιαφέροντά τους και αφετέρου οι στρατηγικές τους να συμφωνούν μεταξύ τους. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτουν παίγνια συνεργατικά (cooperative games) και μη συνεργατικά (non-cooperative games). Ο διαχωρισμός τους σε συνεργατικά και μη συνεργατικά παίγνια αφορά τους κανόνες που διέπουν το παίξιμο και όχι την ταυτόχρονη ύπαρξη ανταγωνιστικών ή συνεργατικών στοιχείων. (Λιβανίου 2011)

3. Δυναμικά ή στατικά παίγνια

Στα «δυναμικά» παίγνια η σειρά με την οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις παίζει ρόλο (ο ένας παίκτης είναι ηγέτης καθορίζοντας το παιχνίδι με πρωτοβουλία κίνησης και ο άλλος είναι ο επακόλουθος και στην ουσία παίζει δεύτερος) στα «στατικά» παίγνια, στα οποία η σειρά με την οποία ο παίκτης παίρνει τις αποφάσεις, δεν έχει σημασία ενώ η επιλογή της στρατηγικής είναι ταυτόχρονη και από τους δύο παίκτες δίχως να γνωρίζει ο ένας την πρόθεση του άλλου.

4. Πεπερασμένα και μη πεπερασμένα παίγνια

Ανάλογα με τον αριθμό των στρατηγικών τα παίγνια μπορούν να ταξινομηθούν σε πεπερασμένα ή σε μη πεπερασμένα (ή αλλιώς απειροπαίγνια). Τα παίγνια με πεπερασμένο αριθμό στρατηγικών μπορούμε να τα συναντήσουμε και με τον χαρακτηρισμό μητρικά ή πινακοπαίγνια και αυτό συμβαίνει γιατί οι αμοιβές ή οι απώλειες των παικτών μπορούν να διαταχθούν σε μήτρες ή πίνακες.

5. Παίγνια μηδενικού και μη μηδενικού αθροίσματος

Το ζήτημα της αμοιβής ή της απώλειας αποτελεί ένα βασικό κριτήριο ταξινόμησης των παιγνίων. Συγκεκριμένα, έχουμε παίγνια «μηδενικού αθροίσματος» στα οποία η αμοιβή του ενός παίκτη προέρχεται από την απώλεια του αντιπάλου του και είναι ίση με αυτή (άθροισμα αμοιβών ίσο με το μηδέν) ενώ το ενδεχόμενο της συνεργασίας μεταξύ των παικτών σε αυτή την περίπτωση είναι ανέφικτο. Στην αντίθετη περίπτωση, αυτή των παιγνίων μη μηδενικού αθροίσματος, έχουμε δύο εκ διαμέτρου διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη, οι παίκτες βρίσκονται σε κατάσταση σύγκρουσης και οι αμοιβές του ενός συνεπάγεται απώλεια για τον άλλον και στη δεύτερη, στα παίγνια σταθερής διαφοράς (constant difference) οι παίκτες πρέπει να συνεργαστούν κερδίζοντας ή χάνοντας μαζί ορίζοντας, με αυτόν τον τρόπο, τα όρια εμπιστοσύνης που μπορεί να δείξει ο ένας απέναντι στον άλλο.

6. Παίγνια καθαρής ή μικτής στρατηγικής

Όταν ένας παίκτης δύναται να επιλέξει παραπάνω από μία στρατηγική και μάλιστα να συνδυάσει τις διάφορες στρατηγικές που έχει στη διάθεσή του τότε οδηγούμαστε σε παίγνια «μικτής στρατηγικής» ενώ όταν ο παίκτης επιλέγει μία και μόνο διακριτή στρατηγική μέχρι το τέλος του παιγνίου τότε λέμε ότι ο παίκτης ακολουθεί και παίζει με καθαρή στρατηγική.

2.5 Τρόποι περιγραφής και ανάλυσης παιγνίων

Υπάρχουν δύο τρόποι για την περιγραφή ενός παιγνίου. Η πιο συνηθισμένη μορφή είναι αυτή με τη χρήση μητρών ενώ ακόμα μπορεί το παίγνιο να αναπαρασταθεί σε μία πιο εκτεταμένη μορφή, με δέντρα.

Αναλυτικότερα:

Στην *εκτεταμένη μορφή* το παίγνιο αναλύεται με τη χρήση ενός δένδρου, του δένδρου παιγνίου (game tree), με τις κινήσεις των παικτών να αναλύονται μέσω κλάδων και αποκαλύπτονται πλήρως το πώς αλληλεπιδρούν οι παίκτες μέσα από διαδοχικές κινήσεις και εναλλακτικές επιλογές σε όλη τη διάρκεια του παιγνίου. Ο παίκτης που πρόκειται να κάνει την επόμενη κίνηση δηλώνεται με κόμβο ή κορυφή. Οι παίκτες παράλληλα γνωρίζουν τις επιλογές των αντιπάλων τους σε προγενέστερες κινήσεις ακόμα και αν αυτές ήταν τυχαίες. Τα συστατικά μέρη ενός παιγνίου που αναπαριστάται με τη μορφή δένδρου είναι τέσσερα: ο κόμβος αφετηρίας-έναρξης (initial node) το σημείο από το οποίο ξεκινά το παίγνιο, οι κλάδοι (branches) οι οποίοι ξεκινούν από έναν κόμβο και είναι οι πιθανές κινήσεις-αποφάσεις που πρέπει να κάνει ο παίκτης, οι κόμβοι απόφασης (decision nodes) που είναι σημεία στα οποία ο παίκτης θα καλείται να πάρει μια απόφαση και από τον οποίο ξεκινούν δύο κλάδοι αλλά πάντα καταλήγει σε αυτόν προηγουμένως μόνο ένας κλάδος (Πετράκης) και, τέλος, ο τερματικός κόμβος (terminal node) που είναι το τέλος του δένδρου και στον οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα της κάθε στρατηγικής.

Αυτή η μορφή ανάλυσης είναι πολύ σημαντική στην ανάπτυξη προγραμμάτων υπολογιστών που σχετίζονται με επιτραπέζια παιχνίδια (παραδείγματος χάρι τάβλι ή σκάκι). Ένα παίγνιο που αναλύεται σε εκτεταμένη μορφή μπορεί να μετατραπεί εύκολα και άμεσα σε ισοδύναμο παίγνιο κανονικής μορφής. (Fudenberg & Tirole, 1991).

Στην *κανονική μορφή*, η οποία αποτελεί και το βασικό τρόπο περιγραφής ενός παιγνίου όπου οι παίκτες δε συνεργάζονται, οι διάφορες στρατηγικές που μπορούν να ακολουθηθούν παρουσιάζονται με τη χρήση μήτρας ενώ το αποτέλεσμα προκύπτει από όλους του δυνατούς συνδυασμούς του κάθε παίκτη. Διαμορφώνεται, λοιπόν, ένας πίνακας στον οποίο οι στρατηγικές που αφορούν τον Παίκτη I εμφανίζονται σε κάθε γραμμή ενώ αντίστοιχα για τον Παίκτη II οι στρατηγικές που τον αφορούν του βρίσκονται σε κάθε στήλη. Το ζητούμενο αποτέλεσμα δίνεται μέσω ενός όφελους (payoff), το οποίο είναι ένας αριθμός και διαφέρει για κάθε παίκτη δηλώνοντας το πόσο συμφέρουσα ή μη είναι μία συγκεκριμένη στρατηγική σε περίπτωση που αυτή επιλεγεί.

Το παράδειγμα που ακολουθεί θα βοηθήσει στην κατανόηση ενός παιγνίου το οποίο παρουσιάζεται σε κανονική μορφή.

Έστω ότι έχουμε το παρακάτω παίγνιο είναι ένα παίγνιο της μορφής 2×2 , δηλαδή έχουμε δύο γραμμές και δύο στήλες με δύο παίκτες, τον Παίκτη Α και τον Παίκτη Β. Ο Παίκτης Α (παίκτης γραμμής) έχει στην επιλογή του τις στρατηγικές Α1 και Α2 ενώ οι τιμές που του αντιστοιχούν είναι οι πρώτες που αναγράφονται σε κάθε κελί. Αντίστοιχα, ο Παίκτης Β (παίκτης στήλης) έχει στη διάθεση του τις στρατηγικές Β1 και Β2 και οι τιμές που τον αφορούν είναι αυτές που αναγράφονται δεύτερες σε κάθε ένα από τα κελιά. Οι τιμές αυτές δηλώνουν το όφελος (payoff) που έχει ο κάθε παίκτης όταν συνδυαστεί η στρατηγική της γραμμής του Παίκτη Α στην οποία παρουσιάζεται με την αντίστοιχη στρατηγική της στήλης του Παίκτη Β, πρόκειται με λίγα λόγια για το σημείο τομής των δύο επιλογών.

Αναλυτικότερα οι τιμές του παραδείγματος στον κάτωθι πίνακα:

	B1	B2
A1	6 , 5	4 , -3
A2	2 , 1	1 , 1

Πίνακας 2.1: Παίγνιο 2×2

Οι παίκτες, όπως έχει ήδη προαναφερθεί γνωρίζουν όλα τα στοιχεία του παιχνιδιού και είναι ορθολογιστές, δηλαδή θα εξετάσουν με ποια στρατηγική από τις δύο διαθέσιμες θα είναι περισσότερο κερδισμένοι ή θα έχουν το μικρότερο δυνατό κόστος. Το παιχνίδι ξεκινά με την ταυτόχρονη επιλογή στρατηγικής η οποία, συνηθέστερα, είναι αυτή που κυριαρχεί για τον καθένα. Η στρατηγική που κυριαρχεί (dominant) είναι αυτή που σε οποιονδήποτε πιθανό συνδυασμό στρατηγικών από τους παίκτες αυτή θα φέρει τη μεγαλύτερη αμοιβή και δεν τίθεται καμία περίπτωση μη χρήσης ή αλλαγής της. Στον αντίποδα, η στρατηγική η οποία χαρακτηρίζεται ως κυριαρχούμενη (dominated) είναι αυτή η οποία θα είναι η λιγότερο συμφέρουσα ό,τι και να επιλέξει ο αντίπαλος παίκτης.

Στο δικό μας παράδειγμα, είναι φανερό πως υπάρχει κυρίαρχη στρατηγική (ή αλλιώς υπερέχουσα) και αυτή είναι η Α1 του Παίκτη Α καθώς όποια κι αν είναι η επιλογή του παίκτη Β η Α1 στρατηγική είναι σταθερά η πιο συμφέρουσα και κερδοφόρα. Αντίθετα, ο παίκτης Β δεν έχει κάποια κυρίαρχη στρατηγική στη διάθεσή του καθώς εξαρτάται κάθε φορά από την επιλογή που θα κάνει ο παίκτης Α. Συνεπώς, στην περίπτωση που ο παίκτης Β γνωρίζει ότι ο Α θα επιλέξει τη στρατηγική Α1 τότε αυτός θα προτιμήσει την Β1 δίνοντάς του μάλιστα ένα καλό κέρδος. Στην περίπτωση, όμως, που γνωρίζει ότι θα επιλέξει την Α2 στρατηγική τότε και αυτός θα επιλέξει την Β2 στρατηγική δίνοντας την καλύτερη δυνατή αμοιβή ως αποτέλεσμα. Εν τέλει, η λύση είναι το σημείο τομής των πιο κερδοφόρων στρατηγικών, δηλαδή, πρόκειται για το σημείο Α1,Β1 με όφελος 6 και 5 αντίστοιχα.

Στο συγκεκριμένο παίγνιο η Α1 στρατηγική είναι η υπερέχουσα η οποία ακολουθείται από την αρχή και τότε το παίγνιο έχει λύση κυρίαρχης στρατηγικής, όμως είναι συνηθέστερες οι περιπτώσεις παιχνιδιών ασθενούς κυριαρχίας (μία στρατηγική ενός παίκτη είναι συγκριτικά με τις υπόλοιπες διαθέσιμες πιο συμφέρουσα σε μικρό βαθμό).

2.6 Η αμιγής και η μικτή στρατηγική και το κριτήριο minimax-maximin

Αμιγή στρατηγική έχουμε όταν ο κάθε παίκτης επιλέγει μόνο μία από τις δυνατές στρατηγικές που έχει στη διάθεσή του με πιθανότητα ίση με τη μονάδα.

Μικτή στρατηγική έχουμε όταν επιλέγονται διάφορες από τις διαθέσιμες στρατηγικές και με πιθανότητα μικρότερη της μονάδας.

Σε κάθε μία από τις δύο περιπτώσεις, ο παίκτης δρα με ένα βασικό κριτήριο, αυτό της μεγαλύτερης ανταμοιβής και μικρότερης απώλειας με δεδομένο ότι ο αντίπαλος παίκτης έχει γνώση της δομής του παιγνίου και της στρατηγικής που ακολουθεί.

Το κριτήριο minimax-maximin χρησιμοποιείται ευρέως στις περιπτώσεις παιγνίων μηδενικού αθροίσματος και θεωρείται ένας συντηρητικός τρόπος λήψης αποφάσεων.

Παράδειγμα Αμιγούς Στρατηγικής

Έστω ο κάτωθι πίνακας όπου στο κάθε κελί παρουσιάζεται το κέρδος και το κόστος που θα έχει ο παίκτης A και ο παίκτης B αντίστοιχα. Ειδικότερα, οι τιμές του πίνακα αφορούν τις ανταμοιβές του παίκτη A στην περίπτωση που αυτός ξεκινήσει πρώτος να παίζει και προκύπτει αναλογικά από την απάντηση του αντιπάλου του. Ο παίκτης A έχει στη διάθεσή του τις στρατηγικές A1,A2,A3 και ο παίκτης B τις στρατηγικές B1,B2,B3. Στόχος για τον κάθε ένα παίκτη είναι να επιλέξει την καταλληλότερη στρατηγική ώστε να επιτύχει το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος ή το μικρότερο δυνατό κόστος έχοντας ως δεδομένο την επιλογή του αντιπάλου.

	B1	B2	B3	Row Min
A1	1	6	4	1
A2	2	4	3	2 (maxmin σημείο)
A3	-4	-5	2	-5
Column Max	2 (minimax σημείο)	6	4	V=2

Πίνακας 2.2: minimax-maximin

Για κάθε σειρά βρίσκουμε τη μικρότερη τιμή από αυτές που δίνονται καθώς ο παίκτης B προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει την απώλειά του ενώ για κάθε στήλη βρίσκουμε τη μέγιστη τιμή που συναντάμε καθώς ο παίκτης A έχει σκοπό να μεγιστοποιήσει το κέρδος του. Στην περίπτωση που ο παίκτης A διαλέξει την στρατηγική A1, τότε ο παίκτης B θα επιλέξει την στρατηγική B1 κρατώντας όσο το δυνατόν πιο μειωμένο το κέρδος του αντιπάλου του. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο(της μικρότερης ανταμοιβής), αν ο παίκτης A κινηθεί προς την κατεύθυνση της A2 στρατηγικής τότε ο παίκτης B θα παραμείνει στην επιλογή της B1. Τέλος, αν η A3 στρατηγική είναι αυτή με την οποία θα παίζει ο A παίκτης, τότε η B2 στρατηγική θα είναι η απάντηση του B παίκτη, γεγονός που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς θα είναι η πρώτη φορά που ο B θα έχει κέρδος και όχι απώλεια ενώ ο A θα έχει ένα κόστος της τάξεως των 5 μονάδων και όχι όφελος όπως ακριβώς συνέβαινε με τις άλλες στρατηγικές.

Ο αντικειμενικός σκοπός του παίκτη A είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους και για τον B παίκτη η ελαχιστοποίηση της απώλειας. Οι δύο άριστες αμιγείς στρατηγικές συνθέτουν τη λύση του παιγνίου σύμφωνα με την οποία ο A το καλύτερο που μπορεί να πετύχει ο A είναι να κερδίσει 2 μονάδες επιλέγοντας την A2 στρατηγική και ο B να χάσει δύο μονάδες απαντώντας με τη στρατηγική B1. Το σημείο ισορροπίας (ή αλλιώς οριακό σημείο) ονομάζεται τιμή του παιγνίου και συμβολίζεται με V (value of the game) και παρατηρούμε ότι είναι το μεγαλύτερο στη στήλη του και το μικρότερο στη σειρά του (saddle point, σαγματικό σημείο). Για τον A είναι η μέγιστη δυνατή ανταμοιβή από τις ελάχιστες των σειρών, πρόκειται δηλαδή για τη maximin τιμή ενώ για τον B είναι η μικρότερη τιμή στην οποία αφενός περιορίζεται ο αντίπαλος παίκτης και αφετέρου το μικρότερο κόστος που θα του αναλογεί, πρόκειται δηλαδή για τη minimax τιμή. Με λίγα λόγια, ισορροπούν στο σημείο όπου και οι δύο ελαχιστοποιούν τη μέγιστη ζημιά που μπορούν να υποστούν. Επιπρόσθετα, παρατηρούμε ότι οι δύο τιμές αυτές ταυτίζονται και συνεπώς οδηγούμαστε σε παίγνιο με αμιγείς στρατηγικές, η λύση του οποίου είναι σταθερή (stable) , δηλαδή υπάρχει ένα μοναδικό σημείο ισορροπίας που δίνει την τιμή του παιγνίου. Τα παίγνια αυτά των οποίων η έκβαση είναι “προκαθορισμένη” χαρακτηρίζονται ως αυστηρώς προσδιορισμένα Η πιθανή εφαρμογή άλλης στρατηγικής πέρα από το σημείο ισορροπίας, έχει απάντηση από τον αντίπαλο η οποία δυσχεραίνει τη θέση του. (Τσάντας) Στα παίγνια μηδενικού αθροίσματος, όπου το κέρδος του ενός είναι ίσο με την απώλεια του άλλου, συνήθως λαμβάνουμε αποφάσεις στηριζόμενοι στο κριτήριο αυτό. Κάθε παίκτης επιλέγει τη στρατηγική που θα του επιφέρει την καλύτερη δυνατή έκβαση από το σύνολο των χειρότερων αποτελεσμάτων(Βολιώτης).

Παράδειγμα Μικτής Στρατηγικής

Στην περίπτωση της μικτής στρατηγικής ο κάθε παίκτης επιλέγει τις στρατηγικές του ανεξάρτητα από τις στρατηγικές του αντιπάλου και σύμφωνα με κάποια κατανομή πιθανοτήτων με σκοπό να επιτύχει μεγιστοποίηση του ελάχιστου προσδοκώμενου κέρδους ή, διαφορετικά, ελαχιστοποίηση της μέγιστης προσδοκώμενης απώλειας.

Έστω ο κάτωθι πίνακας όπου στο κάθε κελί παρουσιάζεται το κέρδος και το κόστος που θα έχει ο παίκτης A και ο παίκτης B αντίστοιχα.

	B1	B2	B3	Row Min
A1	1	0	3	0
A2	6	7	5	5 (maxmin σημείο)
A3	8	4	9	4
Column Max	8	7 (minimax σημείο)	9	7≠5

Πίνακας 2.3 : Παίγνιο εφαρμογής μικτής στρατηγικής

Στην περίπτωση που ο παίκτης A διαλέξει την στρατηγική A1, τότε ο παίκτης B θα επιλέξει την στρατηγική B2 κρατώντας όσο το δυνατόν πιο μειωμένο το κέρδος του αντιπάλου του. Με παρόμοιο τρόπο, αν ο παίκτης A κινηθεί προς την κατεύθυνση της A2 στρατηγικής τότε ο παίκτης B θα επιλέξει τη B3 στρατηγική καθώς αυτή είναι η πλέον συμφέρουσα σε αυτό το ενδεχόμενο. Τέλος, αν η A3 στρατηγική είναι αυτή με την οποία θα παίξει ο A παίκτης, τότε ο παίκτης B θα απαντήσει επιλέγοντας τη B2 στρατηγική.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές minimax και maximin είναι διαφορετικές και δεν συμπίπτουν. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε ασταθή λύση καθώς δεν υπάρχει σημείο ισορροπίας για το συγκεκριμένο παίγνιο, οι παίκτες δηλαδή αδυνατούν να ισορροπήσουν σε ένα σημείο που θα είναι και για τους δύο κοινό, σημείο στο οποίο ταυτόχρονα μεγιστοποιούν το προσδοκώμενο κέρδος τους.

Ο κάθε παίκτης ξέροντας καλά τις τιμές του πίνακα παρατηρεί ότι έχει πάντα μια καλύτερη απάντηση για κάθε πιθανή επιλογή που μπορεί να κάνει ο αντίπαλός του. Αυτό που ισχύει για τις περιπτώσεις στις οποίες οι παίκτες ακολουθούν μικτές στρατηγικές είναι ότι πάντα υπάρχει μια άριστη μικτή στρατηγική η οποία οδηγεί σε σημείο όπου έχουμε τη ζητούμενη σταθερή λύση και από το οποίο κανένας παίκτης δε θέλει να μετακινηθεί καθώς δεν μπορεί να βελτιώσει τη θέση του περαιτέρω.

2.7 Ισορροπία Nash

2.7.1 Η Ιστορία

Το 1928, ο John von Neumann, επεκτείνοντας τη δουλειά του Emile Borel, έδειξε ότι οποιοδήποτε παιχνίδι μηδενικού αθροίσματος δύο παικτών - δηλαδή, ένα παιχνίδι στο οποίο κάθε αποτέλεσμα έχει μηδενικό κέρδος - έχει μικτή ισορροπία. Δύο δεκαετίες μετά το αποτέλεσμα του von Neumann έγινε κατανοητό ότι η ύπαρξη ισορροπίας στα παιχνίδια μηδενικού αθροίσματος ισοδυναμεί με τη δυαδικότητα του γραμμικού προγραμματισμού και, όπως διαπιστώθηκε άλλες τρεις δεκαετίες αργότερα, η ισορροπία είναι υπολογιστικά ανιχνεύσιμη.

Ωστόσο, καθώς έγινε σαφές με το βιβλίο των von Neumann και Morgenstern, τα παιχνίδια μηδενικού αθροίσματος είναι πολύ εξειδικευμένα και δεν καταγράφουν πιο ενδιαφέρουσες καταστάσεις όπου συγκρούονται λογικοί παίκτες ακολουθώντας στρατηγικές.

Στο ερώτημα τι γίνεται με τα παίγνια μηδενικού αθροίσματος στα οποία συμμετέχουν πολλοί παίκτες θα απαντήσει το 1951 ο John Nash δίνοντας ένα βαθύτατα σημαντικό αποτέλεσμα: κάθε παιχνίδι ανεξάρτητα από τον αριθμό των παικτών και τις στρατηγικές που έχουν στη διάθεσή τους(υπό την προϋπόθεση μόνο ότι αυτοί οι αριθμοί είναι πεπερασμένοι) και ανεξάρτητα από τις ιδιότητες των αποδόσεων των παικτών, έχει ισορροπία σε τυχαιοποιημένες στρατηγικές η οποία στο εξής ονομάζεται ισορροπία Nash.(Δασκαλάκης 2008)

Η ευρέως διαδεδομένη έννοια λύσης στη θεωρία παιγνίων είναι αυτή της ισορροπίας Nash. Αυτή η θεμελιώδης έννοια συλλαμβάνει μια σταθερή κατάσταση του παιχνιδιού σε ένα στρατηγικό παιχνίδι στο οποίο κάθε παίκτης έχει τη σωστή προσδοκία για τη συμπεριφορά των άλλων παικτών και ενεργεί ορθολογικά. (Martin J. Osborne and Ariel Rubinstein) Σε ένα παίγνιο, η καλύτερη ενέργεια για ένα παίκτη εξαρτάται γενικά από τις ενέργειες των άλλων παικτών, δηλαδή κάθε παίκτης θα πρέπει να σχηματίσει μια πεποίθηση σχετικά με τις ενέργειες των άλλων παικτών (Rasmusen, 2001). Οι παίκτες σκεπτόμενοι τι μπορεί να επιλέξουν οι αντίπαλοί τους προσπαθούν να καταλάβουν την συμπεριφορά των άλλων και επιλέγουν τη 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 δύο 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).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί να επιλεγεί απλώς μια ενέργεια, οι παίκτες ενδέχεται να έχουν τη δυνατότητα επιλογής κατανομών πιθανότητας για το σύνολο των ενεργειών που έχουν στη διάθεσή τους. Τέτοιες τυχαιοποιήσεις από το σύνολο των δράσεων αναφέρονται ως μικτές στρατηγικές. Κάθε προφίλ μικτών στρατηγικών επιφέρει μια κατανομή πιθανότητας στο προφίλ των ενεργειών-στρατηγικών του παιγνίου. Μια ισορροπία Nash με μικτή στρατηγική προκύπτει όταν σε ένα μικτό προφίλ στρατηγικής υπάρχει η ιδιότητα ότι κανένας από τους παίκτες δεν μπορεί να αποκτήσει υψηλότερη αξία-κέρδος από την αναμενόμενη χρησιμότητα, αποκλίνοντας μονομερώς από αυτό προφίλ.

Ο Αμερικανός μαθηματικός John Nash (1950) έδειξε ότι κάθε παιχνίδι στο οποίο υπάρχει ένα σύνολο διαθέσιμων ενεργειών για κάθε παίκτη, το οποίο είναι πεπερασμένο, έχει τουλάχιστον μία μικτή στρατηγική που οδηγεί σε ισορροπία. Στο παίγνιο κατά την αντιστοίχιση και αλληλεπίδραση των «μετοχών» του κάθε παίκτη υπάρχει μια μικτή στρατηγική που φέρνει το σημείο ισορροπίας στο οποίο κάθε ένας από τους παίκτες επιλέγει κίνηση-ενέργεια με πιθανότητα ίση με $\frac{1}{2}$. (International Encyclopedia of the social of the Sciences, 2nd edition)

Ένα ζεύγος στρατηγικών καλείται “ατομικώς ασταθές” αν είναι μη-συνεργατικό σημείο ισορροπίας ενώ ένα ζεύγος στρατηγικών καλείται “συλλογικά ασταθές” εάν δεν κυριαρχείται από κάποιο άλλο ζεύγος στρατηγικών. Τα συλλογικά ευσταθή ζεύγη στρατηγικών είναι “Pareto βέλτιστα” ή “Pareto σημεία”.

Έτσι, τα ζεύγη αμοιβής ενός πίνακα [A,B] τα οποία δεν κυριαρχούνται από κανένα άλλο ζεύγος αμοιβής ονομάζονται “Pareto μέγιστα” ενώ τα ζεύγη απώλειας ενός πίνακα [A,B] τα οποία δεν κυριαρχούνται από κανένα άλλο ζεύγος απώλειας λέγονται “Pareto ελάχιστα”.

Ένα σημείο ισορροπίας Nash το οποίο ταυτόχρονα είναι και Pareto ελάχιστο ονομάζεται “αποδεκτό”. Έχουμε, όμως, και μια ιδιόμορφη περίπτωση όπου ένα δι-μητρικό παίγνιο επιδέχεται ένα μοναδικό μη-συνεργατικό σημείο ισορροπίας, το οποίο ταυτόχρονα είναι και Pareto βέλτιστο. Σε μια τέτοια περίπτωση, έστω και αν οι παίκτες δεν έχουν κάνει μια εκ των προτέρων συμφωνία είναι λογικό να υποθέσουμε ότι όλοι, οι παίκτες, τείνουν να επιλέξουν το ζεύγος στρατηγικών που απευθύνεται σε αυτό το σημείο. Έστω και αν υπάρχουν περισσότερα από ένα μη -συνεργατικά σημεία ισορροπίας, όταν υπάρχει μεταξύ αυτών μοναδικό Pareto βέλτιστο, όλοι οι παίκτες τείνουν να το επιλέξουν. Αντίθετα, μια πολύ συνηθισμένη περίπτωση που συναντούμε στα δι-μητρικά παίγνια είναι όταν το παίγνιο δεν έχει ένα μοναδικό αποδεκτό σημείο ισορροπίας Nash. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει κίνδυνος το πραγματικό αποτέλεσμα του παιγνίου να αντιστοιχεί σε ένα σημείο ισορροπίας κατά Nash. Ο κίνδυνος αυτός ορισμένες φορές αποφεύγεται αν υπάρχει κάποιο είδος συνεργασίας ή επικοινωνίας μεταξύ των παικτών. Κάτι τέτοιο δεν αποτελεί εγγύηση, αφού παρά την επικοινωνία των παικτών η επιλογή του καλύτερου σημείου μη-συνεργατικής ισορροπίας μπορεί να μην είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Όταν λέμε ότι ένα σημείο είναι σημείο ισορροπίας κατά Nash εννοούμε ότι στην προσπάθεια του κάθε παίκτη να επιβάλλει ένα σημείο ισορροπίας Nash στους συμπαίκτες του, οι παίκτες καταλήγουμε σε ένα ζεύγος στρατηγικών που δεν αντιστοιχεί σε κάποιο σημείο ισορροπίας Nash από τα πολλά που υπάρχουν. (Λιβανίου 2011)

Η ισορροπία Nash μπορεί μερικές φορές να αντιστοιχεί σε αποτελέσματα τα οποία είναι αναποτελεσματικά, υπό την έννοια ότι υπάρχουν εναλλακτικά αποτελέσματα που είναι και εφικτά και προτιμώμενα από όλους τους παίκτες. Ένα εντυπωσιακό χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ευρέως γνωστό δίλημμα του φυλακισμένου, στο οποίο ο κάθε παίκτης μπορεί να "συνεργαστεί" ή να έχει απώλεια (International Encyclopedia of the social of the Sciences, 2nd edition)

2.8 Βασικά Στρατηγικά Παίγνια

2.8.1 Το Δίλημμα του Φυλακισμένου

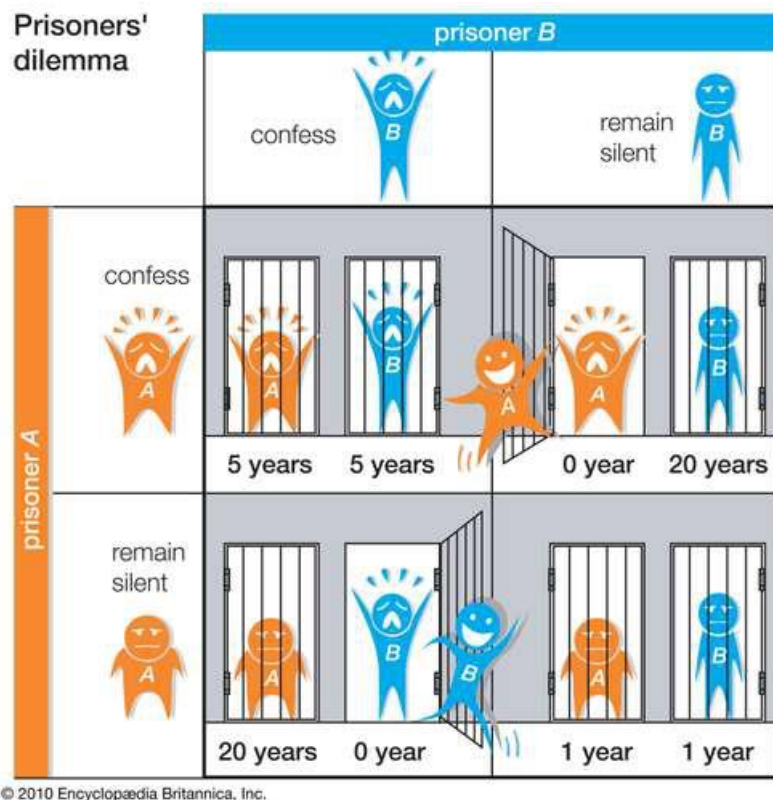
Το δίλημμα των φυλακισμένων είναι το πιο γνωστό παιχνίδι στρατηγικής στην κοινωνική επιστήμη. Μας βοηθά να κατανοήσουμε τι διέπει την ισορροπία μεταξύ συνεργασίας και ανταγωνισμού στις επιχειρήσεις, στην πολιτική και στα κοινωνικά περιβάλλοντα.

Την εποχή του Ψυχρού Πολέμου, το 1950, επινοήθηκε από τους Melvin Dresher και Merrill Flood ένα απλό μαθηματικό μοντέλο που είχε τη μορφή παιχνιδιού όπου παίκτες μπορούν να επιλέξουν είτε τη συνεργασία μεταξύ τους είτε το ενδεχόμενο προδοσίας ο ένας για τον άλλο. Η ονομασία, όμως, καθώς και τα σενάρια με τις ποινές σύμφωνα με τις αποφάσεις των παικτών οφείλονται στον μαθηματικό Albert William Tucker (καθηγητής του νομπελίστα John Nash).

Με αυτόν τον τρόπο, λοιπόν, έχουμε ένα από τα πιο γνωστά παραδείγματα παιχνιδιών και είναι αυτό του *διλήμματος του φυλακισμένου*: δύο εγκληματίες σε ξεχωριστά σωφρονιστικά κελιά αντιμετωπίζουν την ίδια προσφορά από τον εισαγγελέα. Αν και οι δύο ομολογήσουν για μία αιματηρή δολοφονία, κάθε ένας από αυτούς θα αντιμετωπίσει δέκα χρόνια φυλάκισης. Εάν κάποιος σιωπήσει ενώ ο άλλος ομολογήσει τότε το «καρφί» θα αφεθεί ελεύθερος ενώ ο άλλος θα περάσει όλη του τη ζωή στη φυλακή. Στην περίπτωση που κανένας δεν ομολογήσει τότε και οι δύο θα αντιμετωπίσουν μία μικρή κατηγορία και θα περάσουν μόνο ένα χρόνο στη φυλακή. Σε συλλογικό πλαίσιο και τους δύο θα τους συνέφερε να μην ομολογήσουν αλλά δεδομένης της παγίδας κάποιος γνώστης της θεωρίας και της ισορροπίας του Nash θα προβλέψει το αντίθετο, ότι δηλαδή το μόνο σταθερό αποτέλεσμα θα και για τους δύο είναι η ομολογία.

Σε μια ισορροπία Nash, κάθε άτομο σε μια ομάδα παίρνει την καλύτερη απόφαση για τον εαυτό του, με βάση αυτό που σκέφτεται ότι θα πράξουν οι άλλοι ενώ, παράλληλα, κανείς δεν μπορεί να αποζημιωθεί καλύτερα και υψηλότερα αλλάζοντας στρατηγική, το κάθε μέλος της ομάδας ενεργεί όσο καλύτερα μπορεί. Στην περίπτωση του διλήμματος των κρατουμένων, η διατήρηση της σιωπής και μη ομολογίας δεν είναι ποτέ καλή ιδέα, ό, τι κι αν επιλέξει ο αντίπαλος παίκτης.

Δεδομένου ότι ο ένας ύποπτος μπορεί να τα μαρτυρήσει όλα, με την ομολογία μπορεί να αποφευχθεί για τον άλλο ύποπτο το σενάριο να περάσει μια ζωή στη φυλακή. Αν ο ένας πάλι παραμείνει σιωπηλός, τότε η ομολογία για τον δεύτερο θα τον αφήσει ελεύθερο. Οι παίκτες στο συγκεκριμένο παιχνίδι τα θέλουν όλα για τον εαυτό τους, να κερδίσουν, δηλαδή, όσο το δυνατόν περισσότερα με το να αφεθούν ελεύθεροι ή στη χειρότερη να υποστούν όσο δυνατόν λιγότερη απώλεια έχοντας ταυτόχρονα έλλειψη εμπιστοσύνης καθώς θα μπορούσαν να φυλακιστούν μόνο ένα χρόνο σιωπώντας και οι δύο (η απουσία επικοινωνίας τους οδηγεί σε έλλειψη εμπιστοσύνης και σε μη συνεργασία τελικά).



Εικόνα 2.1: Το δίλημμα του φυλακισμένου

Στην εφαρμογή στον πραγματικό κόσμο, οι οικονομολόγοι χρησιμοποιούν την ισορροπία Nash για να προβλέψουν πώς οι εταιρείες θα ανταποκριθούν στις τιμές των ανταγωνιστών τους. Η ισορροπία του Nash βοηθά τους οικονομολόγους να καταλάβουν πώς οι αποφάσεις οι οποίες είναι καλές για ένα άτομο μπορεί να είναι καταστροφικές για μία ομάδα. Η τραγωδία των κοινών εξηγεί το λόγο για τον οποίο υπεραλιεύουμε τις θάλασσες ή εκπέμπουμε πολύ άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Για τον καθένα θα ήταν καλύτερα εάν συμφωνούσαμε να δείξουμε κάποια σχετική συγκράτηση, αλλά, δεδομένου όσων κάνουν οι άλλοι η αλιεία ή η καύση του φυσικού αερίου αποκτούν ατομικιστικό χαρακτήρα και νόημα. Πέρα, όμως, από την ύπαρξη της και συμβολή της καταπίεσης και της ματαιοδοξίας, βοηθά επίσης τους υπεύθυνους που ασχολούνται με τη διαμόρφωση πολιτικών να λύσουν δύσκολα προβλήματα.

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 τη βιολογία κάτι που κάνει εντύπωση για ένα απλό μαθηματικό παίγνιο

Όταν το δίλημμα του φυλακισμένου αφορά από δύο πρόσωπα ονομάζεται *δίλημμα free rider problem* ή διαφορετικά, πρόβλημα των τζαμπατζήδων. Η δομή του είναι ίδια με αυτή του διλήμματος του φυλακισμένου καθώς 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. (Εύη Παπαϊωάννου 2014-2015)

Η ιστορία που ανέπτυξε ο Tucker έχει ως εξής:

Η αστυνομία συνέλαβε δύο εγκληματίες με το αδίκημα της ένοπλης ληστείας και τους φυλάσσει σε διαφορετικούς χώρους δίχως να μπορούν να επικοινωνήσουν εν αναμονή της δίκης του για το αδίκημα που έχουν διαπράξει. Η αστυνομική αρχή είναι σίγουρη για την ενοχή τους ωστόσο δε διαθέτουν αποδεικτικά στοιχεία για αυτή για το λόγο αυτό τους πλησιάζει χωριστά με την εξής πρόταση: “Εάν έστω και ένας από εσάς ομολογήσει την ενοχή και μαρτυρήσει εναντίον του άλλου τότε αυτός που θα παραδεχθεί την το έγκλημα θα αφεθεί ελεύθερος σε αντίθεση με τον άλλο που θα σιωπήσει και θα περάσει 20 χρόνια στη φυλακή. Στην περίπτωση που ομολογήσετε και οι δύο θα καταδικασθείτε σε ποινή φυλάκισης 5 ετών και οι δύο ενώ στην περίπτωση που παραμείνετε σιωπηλοί και δεν ομολογήσετε η παραμονή στη φυλακή θα είναι και για τους δύο θα διαρκέσει 1 χρόνο.” Χωρίς τη δυνατότητα της επικοινωνίας και της συνεργασίας αλλά με τον ίδιο κοινό στόχο, αυτόν της ελαχιστοποίησης του χρόνου παραμονής τους στη φυλακή, έχουν στη διάθεση τους από μία μέγιστη τιμή των 20 χρόνων και το ελάχιστο του ενός χρόνου. Πρόκειται, συνεπώς, για ένα παίγνιο μη σταθερού αθροίσματος.

Για κάθε φυλακισμένο υπάρχουν δύο στρατηγικές, μία κυρίαρχη και μία κυριαρχούμενη. Η στρατηγική της παραδοχής του εγκλήματος κυριαρχεί έναντι της στρατηγικής της μη παραδοχής. Ωστόσο, στην περίπτωση που ο κάθε φυλακισμένος ακολουθήσει την κυρίαρχη στρατηγική του και ομολογήσει τότε και οι δυο θα παραμείνουν στη φυλακή για 5 χρόνια ενώ στην αντίθετη περίπτωση, αυτή στην οποία ακολουθούν την κυριαρχούμενη στρατηγική τους παρατηρούμε ότι η απώλειά τους, η ποινή τους δηλαδή, είναι εμφανώς μικρότερη και θα αναγκαστούν να εκτίσουν ένα έτος μόνο φυλάκισης. Η επιλογή της κυριαρχούμενης στρατηγικής φαίνεται να είναι περισσότερο συμφέρουσα από αυτή της κυρίαρχης, σε αντίθεση με τα παίγνια μηδενικού αθροίσματος. Αυτό, βέβαια, προϋποθέτει την επικοινωνία και συνεργασία των δύο. Με την υπάρχουσα συνθήκη να βρίσκονται σε διαφορετικά κελιά οι φυλακισμένοι οφείλουν να δείξουν δεσμευτική αλληλοεμπιστοσύνη.

Εάν ομολογήσουν και οι δύο το ζεύγος ποινών είναι (5,5) και είναι το σημείο ισορροπίας του παιγνίου καθώς στην περίπτωση που ο ένας από τους δύο αλλάξει τη στρατηγική του μονομερώς και ο άλλος επιμένει στην ομολογία του τότε η ποινή του θα αυξηθεί από τα 5 χρόνια στα 20. Κατά συνέπεια, η επιλογή της στρατηγικής της ομολογίας είναι η αυτή που προτιμάται από τους φυλακισμένους και δεν υπάρχει κίνητρο για μονομερή αλλαγή της.

Το ζεύγος ποινών (1,1), η στρατηγική της μη ομολογίας, αν και φαίνεται να αντιστοιχεί στο πιο ευνοϊκό αποτέλεσμα και για τους δύο δεν μπορεί να αποτελέσει σημείο ισορροπίας και αυτό γιατί ελλοχεύει ο κίνδυνος ο ένας από τους δύο να δελεαστεί από το ενδεχόμενο μείωσης της ποινής του και να τον οδηγήσει στην εξαπάτηση εις βάρος του άλλου και με επακόλουθο την αύξηση της ποινής για τον άλλο από 1 σε 20 χρόνια και τη μείωση των ποινών γι' αυτόν από το ένα έτος σε απελευθέρωση. Γνωρίζοντας αυτό το δεδομένο ο δεύτερος και όντας ορθολογιστής θα επιλέξει εξίσου να ομολογήσει το έγκλημα οδηγώντας, με αυτόν τον τρόπο, στο ζεύγος ποινών (5,5) για τον κάθε ένα. Με λίγα λόγια, το ζεύγος (5,5) αποτελεί το μοναδικό μη συνεργατικό σημείο ισορροπίας για το συγκεκριμένο παίγνιο.

Η στρατηγική της “ομολογίας” είναι η κυρίαρχη στρατηγική και για τους δύο και είναι αυτή στην οποία καταλήγουν οι δύο φυλακισμένοι. Στο συγκεκριμένο παίγνιο οι δύο παίκτες (οι φυλακισμένοι) καταλήγουν σε μία έκβαση η οποία μπορεί να φαντάζει για έναν μέσο ουδέτερο παρατηρητή ως η μη

βέλτιστη καθώς μπορεί να θεωρούν ότι η επιλογή να παραμείνουν σιωπηλοί είναι η ευνοϊκότερη. Ωστόσο, αγνοούν ότι με την επιλογή αυτή τους δίνεται ισχυρό κίνητρο για αλλαγή και να καταλήξει ο ένας από τους δύο ή και οι δύο στην ομολογία τελικά. Ό,τι και να επιλέξει ο αντίπαλος παίκτης η επιλογή της ομολογίας είναι αυτή που προτιμάει σε κάθε περίπτωση. Έτσι, το παίγνιο αυτό έχει μία μοναδική Nash ισορροπία, μία κυρίαρχη στρατηγική, η οποία είναι η από κοινού ομολογία, η λύση (Ομολογία, Ομολογία)=(5,5). (Martin and Rubinstein, 1998)

Ως σημείο ισορροπίας Nash μπορούν να ονομαστούν και τα μη συνεργατικά σημεία ισορροπίας.

Το παίγνιο που προκύπτει από το δίλημμα του φυλακισμένου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αυτό γιατί μπορούμε να καταλάβουμε τον λόγο για τον οποίο δύο αντίπαλοι παίκτες δεν καταφέρνουν να συνεργασθούν ακόμα και εάν αυτό θα ήταν επικερδές για αυτούς.

Μόνο εάν οι δύο φυλακισμένοι έχουν ξαναπεράσει αυτή τη διαδικασία και έχουν μάθει να μην καρφώνουν ο ένας τον άλλο μπορούμε να οδηγηθούμε με σιγουριά στο ζεύγος ποινών (1,1), ένα σημείο στο οποίο συναντάμε ισορροπία Nash η οποία ονομάζεται “υπο-παιγνική τέλεια ισορροπία Nash”, σημείο όπου ελαχιστοποιούν την ποινή τους συλλογικά.

Το επαναλαμβανόμενο δίλημμα του φυλακισμένου

Προκειμένου να διερευνηθεί υπό ποιες προϋποθέσεις δύο αντίπαλοι θα μπορούσαν να συνεργαστούν ο Robert Axelrod, Αμερικανός μαθηματικός και πολιτικός επιστήμονας, εφάρμοσε το παίγνιο που προκύπτει από το δίλημμα του φυλακισμένου σε μια επαναληπτική διαδικασία.

Το συγκεκριμένο παίγνιο με τους δύο φυλακισμένους παίζεται μία φορά χωρίς δυνατότητα επικοινωνίας και συνεργασίας. Μέσα από την επαναληπτική διαδικασία οι αντίπαλοι παίκτες έχοντας κάνει λάθη σε προηγούμενους “γύρους” και έχοντας μάθει από αυτά μπορούν να επανορθώσουν και να συνεργαστούν.

Το 1979 σημαντικοί θεωρητικοί επιστήμονες από τους χώρους των μαθηματικών, της ψυχολογίας, της πολιτικής και της κοινωνιολογίας καλούνται να υποβάλουν στρατηγικές σε μορφή προγραμμάτων για ηλεκτρονικούς υπολογιστές σε ένα παίγνιο όπου επαναλαμβάνεται το δίλημμα του φυλακισμένου. Τις στρατηγικές που υποβάλλονται ο Axelrod τις βάζει να αναμετρηθούν μεταξύ τους μια “μάχη” που θα κερδηθεί από τον Anatol Rapoport, έναν Αμερικανοεβραίο μαθηματικό και ψυχολόγο, ο οποίος εμπνεύστηκε τον πιο απλό αλγόριθμο με την ονομασία “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 τη 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 τη στρατηγική του αντιπάλου. Η “σοφία” αυτής της στρατηγικής έχει να κάνει με τον συνδυασμό αυστηρότητας απέναντι στους 2 αποστάτες(αφού τους τιμωρεί 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 τη 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).

2.8.2 Παίγνιο Γερακιού-Περιστεριού (CHICKEN GAME)

Πρόκειται για ένα από τα πιο θεμελιώδη και χαρακτηριστικά παίγνια στο οποίο παρουσιάζεται ένα μοντέλο σύγκρουσης ή συνεργασίας μεταξύ των παικτών.

Το *παίγνιο του Γερακιού- Περιστεριού* ή αλλιώς *Παίγνιο του κοτόπουλου* (Chicken Game) ή αλλιώς *Παίγνιο της Δειλίας* είναι ένας συνδυασμός συνεργασίας και σύγκρουσης. Και οι δύο αντίπαλοι παίκτες παίζουν γνωρίζοντας ότι μια κατά μέτωπο σύγκρουση θα φέρει και τη χειρότερη έκβαση για αυτούς. Δύο οδηγοί από δύο αντίθετα ρεύματα κατευθύνονται προς μία στενή γέφυρα. Αυτός που πρώτος θα αφήσει τη γέφυρα για τον άλλο οδηγό παρεκκλίνοντας της πορείας του θα θεωρείται ως ο δειλός παίκτης ή αλλιώς η «κότα». Αν, ωστόσο, κανένας από τους δύο οδηγούς δεν αποφασίσει να σταματήσει και να αλλάξει πορεία τότε αναπόφευκτα θα προκύψει σύγκρουση μεταξύ των δύο οχημάτων δίνοντας το χειρότερο αποτέλεσμα και για τις δύο πλευρές με μεγάλο κόστος. Από την άλλη πλευρά, όμως, η ένδειξη αδυναμίας και η στέρηση του κύρους για τον παίκτη που θα σταματήσει είναι εξίσου μία απώλεια ιδιαίτερα αξιολογήσιμη.

	D2: SWERVE	D2: DON'T SWERVE
D1: SWERVE	4,4	3,5
D1: DON'T SWERVE	5,3	1,1

Πίνακας 2.4: Αμοιβές Παγνίου της Δελίας

Εάν ο D2 (driver 2) δεν υποχωρήσει τότε θα συμφέρει τον D1 να υποχωρήσει καθώς το αντίθετο σενάριο θα επιφέρει καταστροφικές συνέπειες γι' αυτόν ενώ αν υποχωρήσει (ο D2) τότε η επιλογή που συμφέρει περισσότερο τον D1 είναι να παραμείνει στην ίδια κατεύθυνση και να κερδίσει. Ωστόσο, επειδή υπάρχει αβεβαιότητα για το εάν υποχωρήσει ή όχι ο D2 τότε για τον D1 η πιο συμφέρουσα στρατηγική είναι η λιγότερο καταστροφική, να υποχωρήσει, δηλαδή ούτως ή άλλως.

Με την ίδια ακριβώς τακτική θα ενεργήσει και ο D2. Συνεπώς, το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η βέλτιστη επιλογή στρατηγικής είναι η αμοιβαία υποχώρηση στην περίπτωση μη συνεννόησης. Με αυτόν τον τρόπο, και οι δύο οδηγοί ωφελούνται το ίδιο αποφεύγοντας το χειρότερο αποτέλεσμα που θα έφερνε μία σύγκρουση. Προκύπτουν, δηλαδή, οφέλη από κάποιο είδος συνεργασίας ή τουλάχιστον ενός συντονισμού που τους απομακρύνει από τη σύγκρουση. Η επιλογή αυτή δεν αποτελεί, ωστόσο, σημείο ισορροπίας Nash, παρότι είναι η βέλτιστη (Pareto), αφού ο ένας παίκτης υποχωρεί («κότα»).

Στον αντίποδα, το κίνητρο είναι ισχυρό για να δράσει κάποιος επιθετικά οδηγώντας στη σύγκρουση. Αυτό εξαρτάται, βέβαια, και από την πιθανότητα πρόβλεψης των κινήσεων του αντιπάλου από μεριάς του εκάστοτε παίκτη. Πρόκειται, λοιπόν, για ένα παίγνιο με δύο ισορροπίες Nash σε καθαρές στρατηγικές που είναι τα ζεύγη (Υποχώρηση, Μη Υποχώρηση) και (Μη Υποχώρηση, Υποχώρηση), υπο την έννοια ότι κανένας εκ των δύο παικτών δεν έχει λόγο να μετατοπιστεί από αυτά προκειμένου να βελτιώσει τη θέση του και να αποκομίσει μεγαλύτερο κέρδος. (Βαρουχάκης 2016)

2.8.3 Κυνήγι Ελαφιού (STAG-HUNT GAME)

Η εκδοχή που δίνεται από το “Κυνήγι του Ελαφιού” παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αυτό γιατί για να επιτευχθεί η βέλτιστη ισορροπία σημαντικό ρόλο παίζουν η εμπιστοσύνη και η αφοσίωση μεταξύ των παικτών. Η ιστορία προέρχεται από την ιδέα του φιλόσοφου του Διαφωτισμού Jean Jacques Rousseau για το κοινωνικό συμβόλαιο. Συγκεκριμένα, ασχολήθηκε τόσο με το τι συμβαίνει σε μία κοινωνία παραγωγών στην οποία κάθε μέλος καλείται να επιλέξει σε ποιο βαθμό αφοσίωσης θα ανήκει όταν πρόκειται για ένα κοινό αγαθό όσο και με την τελική αξία του αγαθού αυτού το οποίο μοιράζεται μεταξύ των παραγωγών και θα είναι ανάλογη της συμμετοχής και της προσπάθειας των ελάχιστα αφοσιωμένων μελών της κοινωνίας.

Στη θεωρία του υπάρχουν δύο κυνηγοί. Εάν και οι δύο συνεργαστούν και ενώσουν τις δυνάμεις τους δημιουργώντας έναν κλοιό γύρω από το ελάφι τότε μπορούν να το πιάσουν και αυτό θα τους αποδώσει άφθονο κρέας. Το ελάφι δεν μπορεί να κυνηγηθεί με επιτυχία μόνο του. Το κυνήγι του ελαφιού είναι μια δύσκολη διαδικασία καθώς απαιτεί υπομονή, καρτέρι και διατήρηση συγκεκριμένων θέσεων και αρκεί να απέχει ένας κυνηγός για να ξεφύγει το ελάφι. Ο κοινός στόχος απαιτεί την προσήλωση όλων

όσων συμμετέχουν στο κυνήγι(στο εκάστοτε παίγνιο με αυτά τα χαρακτηριστικά δηλαδή) και η ολιγωρία των λίγων είναι αρκετή για να ζημιωθούν όλοι.

Ωστόσο, κάποιος κυνηγός έχει την επιλογή να απέχει από τη συλλογική προσπάθεια και να πορευθεί μόνος κυνηγώντας με ευκολία και επιτυχία ένα μικρότερο θήραμα το οποίο είναι ο λαγός ο οποίος με τη σειρά του αποδίδει λιγότερο κρέας και υπάρχει περιορισμένος αριθμός από αυτούς στο δάσος. Εάν και οι δύο κυνηγήσουν το λαγό τότε θα χωρίσουν το διαθέσιμο παιχνίδι, αλλά εάν ο ένας αποφασίσει να κυνηγήσει το λαγό(επιλέγει ουσιαστικά τη μη συνεργασία) ενώ ο άλλος ακολουθήσει το ελάφι(ουσιαστικά επιλέγει τη συνεργασία), τότε ο πρώτος δεν θα έχει ανταγωνισμό και θα μπορεί να κυνηγήσει με επιτυχία όλα τα κουνέλια της περιοχής. Ο κάθε κυνηγός προτιμά το ελάφι από τον λαγό και τον λαγό από το τίποτα.

Προκύπτει ο κάτωθι πίνακας με τα ζεύγη τιμών για κάθε επιλογή των κυνηγών Α και Β. Οι αμοιβές αντιστοιχούν στην προτίμηση του κάθε κυνηγού για να κυνηγήσει ελάφι ή λαγό.

	Κυνηγός Β		
		Ελάφι	Λαγός
Κυνηγός Α	Ελάφι	3,3	1,2
	Λαγός	2,1	2,2

Πίνακας 2.5: Μήτρα του παιγνίου “Το Κυνήγι του Ελαφιού”

Παρατηρούμε ότι εάν επιλέξουν και οι δύο να κυνηγήσουν το Ελάφι διατηρώντας τις θέσεις τους τότε θα οδηγηθούμε σε ισορροπία Nash. Από την άλλη, σημείο ισορροπίας έχουμε και στο ζεύγος τιμών (Λαγός, Λαγός), σημείο όπου και οι δύο παίκτες αποστατούν, αλλά σε αυτή την περίπτωση οι αμοιβές τους είναι μικρότερες από αυτές που δίνει η έκβαση (Ελάφι, Ελάφι) στην οποία επιτυγχάνουν το μεγαλύτερο κέρδος. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η έκβαση (Ελάφι, Ελάφι) είναι ουσιαστικά η μοναδική ορθολογική έκβαση που μπορεί να έχει αυτό το παίγνιο και κατά κάποιο τρόπο αυτό επιβάλλεται και δεν τίθεται πρόβλημα από την ύπαρξη δύο σημείων ισορροπίας Nash . Ισχυρό κίνητρο για αποστασία εμφανίζεται μόνο στην περίπτωση που κάποιος παίκτης έχει βάσιμες υποψίες ότι ο αντίπαλος παίκτης πρόκειται να αποστατήσει και, συνεπώς, τίθεται υπό αμφισβήτηση ο ορθολογισμός του. Εν ολίγοις, εάν εμπιστεύονται ο ένας τον άλλο έχουν ελπίδες να βγουν όλοι κερδισμένοι.

2.9 Σύνοψη των χαρακτηριστικών

Στη συνέχεια ακολουθούν απλά παίγνια της θεωρίας παιγνίων στη διαχείριση υδατικών πόρων, τα οποία έχουν τη δομή των βασικών εφαρμογών που έχουν παρουσιαστεί ήδη στο Κεφάλαιο 2.

Στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των τριών παιγνίων για τα οποία έχει γίνει λόγος στην εργασία. Τόσο το παίγνιο του διλήμματος του φυλακισμένου όσο και αυτό της ελαφοθηρίας είναι παίγνια συνεργασίας. Και στα δύο παίγνια, η επιλογή της συνεργασίας είναι Pareto-optimal και η μη-συνεργασία Pareto-inferior είναι ισορροπία Nash. Ωστόσο, τα δύο παίγνια αυτά διαφέρουν ως προς την κυρίαρχη στρατηγική και αυτό γιατί σε ένα παίγνιο διλήμματος του φυλακισμένου υπάρχει αυστηρά στρατηγική που κυριαρχεί ενώ σε ένα παίγνιο ελαφοθηρίας δε συμβαίνει το ίδιο και, μάλιστα, μπορούμε να έχουμε παραπάνω από ένα σημείο ισορροπίας Nash.

Στα παίγνια ελαφοθηρίας ο κάθε παίκτης θέλει να ακολουθήσει την ίδια στρατηγική που θα ακολουθήσει και ο αντίπαλός του, κάτι που δε συμβαίνει στο παίγνιο δειλίας καθώς οι παίκτες σε αυτή την περίπτωση επιλέγουν την αντίθετη στρατηγική από αυτή που επιλέγουν οι αντίπαλοί τους.

Παρόλο που στο παίγνιο ελαφοθηρίας δεν μοιάζει να υπάρχει δίλημμα, σύμφωνα με τη θεωρία παιγνίων υπάρχει δίλημμα και προβλέπει ότι οι παίκτες δεν συνεργάζονται πάντα ώστε να επιτευχθεί η μοναδική Pareto-optimal λύση(Σ,Σ). Στην πραγματικότητα, πιθανότατα λόγω έλλειψης εμπιστοσύνης μερικές φορές, οι παίκτες μπορεί να επιλέξουν να μην συνεργαστούν, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο στη λύση Pareto-inferior(H,H). Επομένως, το παίγνιο μπορεί να αποκαλείται επίσης και “Παίγνιο Εμπιστοσύνης” (Grim et al, 1999)

	Prisoner's Dilemma	Stug-Hunt	Chicken
Classification	Coordination Game	Coordination Game	Anti-Coordination Game
Dominant Strategy	Non-Cooperative	-	-
Strictly Dominant Strategy	Non-Cooperative	-	-
Nash Equilibrium	Non-Cooperative	Cooperative	Non-Cooperative
Dominant Strategy Equilibrium	Non-Cooperative	-	-
Pareto Optimal Outcome	Cooperative	Cooperative	Cooperative Non-Cooperative

Πίνακας 2.6 : Χαρακτηριστικά των παιγνίων 2 επί 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Εφαρμογές της Θεωρίας Παιγνίων στη διαχείριση υδατικών πόρων

3.1. Εισαγωγή

Σε οτιδήποτε αφορά ζητήματα διάθεσης υδάτων, τα αντικρουόμενα κέρδη και το κόστος δεν είναι οι μόνοι παράγοντες που οδηγούν σε συγκρούσεις αλλά πολλές φορές οι αιτίες δημιουργίας τους είναι και κοινωνικοπολιτικού χαρακτήρα σε ό,τι έχει να κάνει με το σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη διαχείριση ενός έργου ύδρευσης. Όταν ένα έργο βρίσκεται σε διαδικασία σχεδιασμού ή λειτουργίας οι υπεύθυνοι για τη λήψη των αποφάσεων πρέπει να διασφαλίσουν ότι αυτό πρέπει να είναι και κοινωνικοπολιτικά αξιόπιστο εκτός από οικονομικά πραγματοποιήσιμο και περιβαλλοντικά εφικτό. Ο δυναμικός και ο γραμμικός προγραμματισμός είναι δύο τεχνικές βελτιστοποίησης που βοηθούν στην εύρεση βέλτιστων τιμών των μεταβλητών απόφασης όταν ένα έργο σύνθετο πρόκειται να υλοποιηθεί. Τις τελευταίες δεκαετίες το ενδιαφέρον γύρω από τις συγκρούσεις πάνω σε ζητήματα διαχείρισης νερού και πόρων έχει αυξηθεί και έχουν αναπτυχθεί τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές μέθοδοι για την επίλυσή τους.

Η θεωρία Παιγνίων μπορεί να προσφέρει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορούν να μελετηθούν στρατηγικές μεμονωμένων φορέων με σκοπό να αναπτυχθούν γενικότερα αποδεκτές λύσεις, αλλά, στον αντίποδα η θεωρία ακόμα δεν έχει ενσωματωθεί σε γενικά συστήματα για τη διαχείριση των υδατινών πόρων. Επιπρόσθετα, η έλλειψη κατανόησης των βασικών εννοιών που διέπουν τη θεωρία Παιγνίων έχει ως αποτέλεσμα να παραμένει ασαφής και η αξία της στον τομέα των υδατικών πόρων. Η χρησιμότητα της εφαρμογής της μεθόδου αυτής σε θέματα διαχείρισης νερού (όπως, επίσης, και σε άλλους επιστημονικούς τομείς) μπορεί να εκτιμηθεί από τους ερευνητές στις περιπτώσεις αυτές όπου ένα πρόβλημα δεν μπορεί να λυθεί με τις συμβατικές μεθόδους. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της θεωρίας είναι σε γενικές γραμμές πιο αντιπροσωπευτικά της πραγματικότητας και αυτό γιατί μπορεί να αντικατοπτρίζει καλύτερα τις συμπεριφορές όλων όσων εμπλέκονται σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους βελτιστοποίησης οι οποίες το παραμελούν (Madani, 2020)

3.1.1. Γιατί να γίνει χρήση της Θεωρίας Παιγνίων;

Για τη λύση των στρατηγικών συγκρούσεων μπορούμε να συναντήσουμε μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων. Μερικές από αυτές είναι η χρήση γραφικού μοντέλου για την ανάλυση συγκρούσεων GMCR (Kilgour et al., 1987, Fang et al., 1993), η metagame και hypergame ανάλυση (Howard 1971 και Bennet, 1980, Wang et al., 1988 αντίστοιχα) και η θεωρία κινήσεων (theory of moves, Brams, 1994).

Προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων και πολλαπλής λήψης αποφάσεων είναι αυτά τα προβλήματα που συνήθως αντιμετωπίζουμε χρησιμοποιώντας τη θεωρία Παιγνίων. Παρόλο που η τέλεια συνεργασία μεταξύ των φορέων προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση, τυπικά, θεωρείται δεδομένη στο παιχνίδι ο κάθε φορέας μεμονωμένα παίζει με τέτοιο τρόπο ώστε να καταφέρει για τον εαυτό του το καλύτερο αποτέλεσμα γνωρίζοντας πως οι επιλογές των αντιπάλων θα επηρεάσουν την αντικειμενική

του αξία και πως αυτό συμβαίνει αμφίδρομα, επηρεάζει, δηλαδή, και αυτός με τις επιλογές του τα οφέλη των αντιπάλων του.

Η θεωρία Παιγνίων προβλέπει σταθερά αποτελέσματα τα οποία δεν είναι απαραίτητα και Pareto βέλτιστα. Η κύρια προτεραιότητα του κάθε παίκτη είναι να μεγιστοποιήσει το προσωπικό του κέρδος γνωρίζοντας ταυτόχρονα πως η τελική έκβαση θα προκύψει από το σύνολο των αποφάσεων που έγιναν κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού.

3.2. Εφαρμογές της θεωρίας παιγνίων σε συγκρούσεις υδατικών πόρων

Όταν έχουμε μια σύγκρουση η οποία σχετίζεται με τους υδάτινους πόρους τότε όσοι φορείς εμπλέκονται μπορούν να μοντελοποιηθούν και να αποτελέσουν τους Παίκτες. Ο κάθε ένας Παίκτης έχει διάφορες στρατηγικές στη διάθεσή του, επιλέγει μονομερώς και ο συνδυασμός όλων των επιλογών από όλους τους παίκτες είναι αυτός που θα καθορίσει την έκβαση της σύγκρουσης. Οι Παίκτης έχουν την επιλογή να κινηθούν είτε μονομερώς είτε να επιλέξουν να συνεργαστούν ή να συμμαχήσουν, κάτι που θα οδηγήσει και σε Pareto βέλτιστες λύσεις.

Παραδείγματα Διαχείρισης Νερού

3.2.1 Δίλημμα του Φυλακισμένου (Prisoners' Dilemma)

Το παράδειγμα που ακολουθεί βασίζεται στη δομή του διλήμματος του φυλακισμένου και είναι στα πλαίσια της διαχείρισης υπόγειου ύδατος.

Για περίπου 25 χρόνια δύο αγρότες μοιράζονται έναν υδροφορέα. Το κέρδος του κάθε αγρότη προκύπτει από τη διαφορά των εσόδων από τις πωλήσεις των προϊόντων που καλλιεργεί με το κόστος της άντλησης του νερού. Σε αυτό το παράδειγμα, ο κάθε αγρότης-παίκτης καλείται να επιλέξει εάν συνεργαστεί ή δε συνεργαστεί ως προς τα ποσοστά άντλησης, με το ποσοστό της μη-συνεργασίας, το οποίο είναι το ποσοστό άντλησης 2, να υπερβαίνει το ποσοστό συνεργασίας, το οποίο είναι το ποσοστό άντλησης 1. Εάν και οι δύο αγρότες αποφασίσουν να αντλούν νερό με χαμηλό ποσοστό τότε η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα δεν θα πέσει και οι αγρότες θα μπορούν να απολαύσουν μακροπρόθεσμα το χαμηλό κόστος άντλησης. Ωστόσο, εάν και οι δύο επιλέξουν να αντλούν με το μέγιστο ποσοστό, η στάθμη του υδροφορέα θα πέσει και κατά συνέπεια, το κόστος άντλησης θα αυξηθεί ενώ το κέρδος θα μειωθεί. Η άντληση γίνεται, με λίγα λόγια, οικονομικά ανέφικτη και ταυτόχρονα σταματάει τόσο η άρδευση όσο και τα κέρδη. Η συνεργασία στην άντληση αυξάνει τα κέρδη και για τους δύο αγρότες. Το καλύτερο αποτέλεσμα θα το είχαν εάν άφηναν άλλους να συνεισφέρουν και οι ίδιοι να επωφεληθούν από τη συνεισφορά αυτή χωρίς να πληρώσουν τίποτα, να γίνουν δηλαδή “τζαμπατζήδες”(free ride). Σε αυτή την περίπτωση, ο ένας αγρότης αντλεί με το ελάχιστο ποσοστό ενώ ο άλλος με το μέγιστο.

Ο αγρότης-τζαμπατζής κερδίζει την υψηλότερη αμοιβή λόγω του χαμηλού κόστους άντλησης σε σχέση με την περίπτωση στην οποία αντλούν χωρίς να συνεργάζονται(non-cooperative rate), αλλά ταυτόχρονα έχει και έσοδα από την πώληση των προϊόντων που καλλιεργεί στο κτήμα του, έσοδα τα οποία είναι περισσότερα από αυτά που θα είχε εάν συνεργαζόταν με τον άλλο αγρότη-παίκτη(cooperative rate).

Στον αντίποδα, εάν επιλέξει ένας αγρότης τη στρατηγική της συνεργασίας ενώ ο άλλος δεν είναι πρόθυμος να συνεργαστεί τότε το αποτέλεσμα θα είναι να κερδίσει στο τέλος την ελάχιστη αμοιβή λόγω του υψηλού κόστους άντλησης και των χαμηλών εσόδων από τα προϊόντα που καλλιεργεί.(Madani, 2010)

ΑΓΡΟΤΗΣ I	ΑΓΡΟΤΗΣ II	
	Ποσοστό Άντλησης 1 (ΠΑ1)	Ποσοστό Άντλησης 1 (ΠΑ1)
Ποσοστό Άντλησης 1 (ΠΑ1)	(3,3)	(1,4)
Ποσοστό Άντλησης 1 (ΠΑ1)	(4,1)	(2,2)

Πίνακας 3.1 : Παίγνιο υπόγειων υδάτων με τακτικές αποδόσεις

Όταν και οι δύο αγρότες-παίκτες επιλέξουν το Ποσοστό Άντλησης 1, έχουμε δηλαδή το ζεύγος (ΠΑ1,ΠΑ1) και αντλούν, συνεπώς, με χαμηλό ποσοστό τότε θα έχουν και τη βέλτιστη αμοιβή. Παρόλα αυτά, από τη θεωρία Παιγνίων η αυστηρά κυρίαρχη στρατηγική που παρουσιάζεται να έχουν στη διάθεσή τους οι αγρότες μεμονωμένα είναι η κατώτερη επιλογή ΠΑ2 και κατά αυτόν τον τρόπο, το ζεύγος (ΠΑ2,ΠΑ2) είναι η αναμενόμενη αμοιβή για το παίγνιο μη-συνεργασίας. Το γεγονός ότι οι αγρότες από τη μια δεν μπορούν να εμπιστευτούν ο ένας τον άλλο και από την άλλη τους επιβάλλεται η στρατηγική της συνεργασίας(με τον έλεγχο του ποσοστού άντλησης κλπ) έχει ως αποτέλεσμα την επιλογή της άντλησης με υψηλά ποσοστά προκειμένου να αυξήσουν τις απολαβές τους στο άμεσο μέλλον. Όσο περισσότεροι αγρότες συμμετέχουν στο παίγνιο, αντλούν δηλαδή από τον υδροφορέα, τόσο πιο δύσκολη γίνεται και η συνεργασία μεταξύ τους.

Σε πολλές παρόμοιες περιπτώσεις διαχείρισης του νερού παρόλο που υπάρχει Pareto-optimal, οι παίκτες επιδεικνύουν διάθεση να μη συνεργαστούν οδηγώντας σε “τραγωδία των κοινών” αμοιβή.Η θεωρία των Παιγνίων προβλέπει και εξηγεί παρόμοιες περιπτώσεις ακόμα και εάν δεν υπάρχουν ακριβή ποσοτικά στοιχεία. Στο παίγνιο του διλήμματος του φυλακισμένου η πρόβλεψη ήταν η ίδια τόσο με τις ποσοτικές όσο και με τις ποιοτικές τιμές που δίνονται. Στα παίγνια μη-συνεργασίας μεγαλύτερη σημασία δίνεται στην ιεραρχία των αποτελεσμάτων παρά στις πραγματικές τιμές αμοιβής γι αυτό και τα αποτελέσματα και γενικότερα, το ίδιο το πρόβλημα διαχείρισης νερού που έχει την ίδια δομή θα παραμένει το ίδιο.

Εάν ένα παίγνιο διλήμματος του φυλακισμένου επαναληφθεί για περισσότερες από μία φορές, οι κρατούμενοι έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν μεταξύ τους και εμπιστευτούν ο ένας τον άλλο τότε μπορεί να επιτευχθεί συνεργασία η οποία με τη σειρά της θα οδηγήσει σε Pareto-optimal λύση του παιγνίου. Το ίδιο θα συμβεί και στις περιπτώσεις συγκρούσεων σε θέματα διαχείρισης νερού που έχουν τη δομή του διλήμματος του φυλακισμένου. Η κατανόηση του προβλήματος, η δέσμευση και η εμπιστοσύνη μεταξύ των παικτών είναι αυτά που θα τους οδηγήσουν ταυτόχρονα σε συνεργασία και καλύτερη έκβαση. Οι κρατούμενοι στο παίγνιο του διλήμματος υπο την απειλή της ομολογίας του εγκλήματος από τους άλλους, ακολουθούν τη στρατηγική της μη-συνεργασίας

Η στρατηγική της μη-συνεργασίας σταματάει να είναι η κυρίαρχη στρατηγική εάν και οι δύο αγρότες-παίκτες γνωρίζουν πως σίγουρα η άντληση του νερού εποπτεύεται από μία ανώτερη αρχή και σε περίπτωση μη τήρησης της συμφωνίας ως προς τα ποσοστά άντλησης θα επιβληθεί κάποια αντίστοιχη ποινή σε αυτούς που θα παρεκκλίνουν.

Πολλές συγκρούσεις γύρω από θέματα διαχείρισης φυσικών πόρων παρουσιάζουν χαρακτηριστικά της δομής ενός παιγνίου του διλήμματος του φυλακισμένου. Η μη-συνεργασία είναι η κυρίαρχη στρατηγική ενώ η ισορροπία που προκύπτει δεν είναι η Pareto-optimal. (Carraro et al., 2005)

3.2.2 Chicken Game

Ζητήματα διαχείρισης νερού σπάνια έχουν τη δομή του παιγνίου δειλίας (Chicken Game) και αυτό γιατί συνηθέστερα αντιμετωπίζονται σαν παίγνια συνεργασίας και παίρνουν τη δομή του διλήμματος του φυλακισμένου. Παρακάτω θα ακολουθήσει ένα παράδειγμα παιγνίου μη-συνεργασίας το οποίο είναι η διαμάχη Ιράν-Αφγανιστάν.

Η διαμάχη που λαμβάνει χώρα μεταξύ των κρατών Αφγανιστάν και Ιράν για τον ποταμό Helmand την περίοδο καθεστώτος Ταλιμπάν στο Αφγανιστάν είναι ένα παράδειγμα παιγνίου μη συνεργασίας. Ο ποταμός αυτός, που έχει ροή από το Αφγανιστάν προς το Ιράν, είναι πολύ σημαντικός τόσο για τη γεωργία των δύο χωρών όσο και για την επιβίωση της λίμνης Hamoun η οποία διεθνώς αναγνωρίζεται ως μια ελώδης περιοχή στο Ιράν. Συνεπώς, και οι δύο χώρες μοιράζονται πορώδη σύνορα. Όταν το καθεστώς των Ταλιμπάν ήταν στην εξουσία, οι τελευταίοι ήταν απρόθυμοι να πληρώσουν τα έξοδα για τις απαραίτητες εργασίες και για τη συντήρηση, κυρίως την αφαίρεση του ιζήματος-από τον ταμιευτήρα Kajaki που βρίσκεται στο έδαφος του Αφγανιστάν.Σαν συνέπεια,αφενός ο ποταμός Helmand στέρεψε κάτω από το φράγμα επηρεάζοντας με τη σειρά του τόσο τη γεωργία όσο και την αστική υδροδότηση και στις δύο πλευρές των συνόρων και αφετέρου η λίμνη Hamoun με το οικοσύστημά άρχισαν να ξεραίνονται.

Βλέποντας οι Ιρανοί τους Αφγανούς, και ιδίως τους Ταλιμπάν, να μην συντηρούν τον ταμιευτήρα, όπως είχαν ακριβώς την ευθύνη να πράξουν, και να μη διασφαλίζουν το μερίδιο τους αποφάσισαν να φτιάξουν το σύστημα από την πλευρά των δικών τους συνόρων.

Οι απαιτούμενες εργασίες συντήρησης μπορούν να ωφελήσουν και τις δύο πλευρές. Οι αμοιβές για κάθε χώρα ήταν ίσες με τα αστικά, γεωργικά και περιβαλλοντικά οφέλη αφαιρουμένων του κόστους συντήρησης. Προφανώς κάθε πλευρά ήταν διατεθειμένη να έχει free-ride να ξοδέψει λίγα αλλά να κερδίσει πολλά. (Βαρουχάκης 2016)

IPAN	ΑΦΓΑΝΙΣΤΑΝ	
	PAY (P)	DON'T PAY (DP)
PAY (P)	(3,3)	(2,4)
DON'T PAY(DP)	(4,2)	(1,1)

Πίνακας 3.2 : Παίγνιο διαμάχης Ιράν-Αφγανιστάν για τον ποταμό Helmand

Πιθανά Σενάρια

(DP,DP): και το Ιράν και το Αφγανιστάν δεν πληρώνουν για τη συντήρηση. Η επιλογή αυτής της στρατηγικής οδηγεί στο χειρότερο αποτέλεσμα, καθώς οι απώλειες από τις αστικές, γεωργικές, περιβαλλοντολογικές εργασίες είναι πολύ μεγάλες.

(P,P): και το Ιράν και το Αφγανιστάν πληρώνουν για τη συντήρηση. Η επιλογή αυτής της στρατηγικής οδηγεί στο βέλτιστο συλλογικό αποτέλεσμα, καθώς και οι δυο χώρες θα έχουν θετικές αστικές, γεωργικές και περιβαλλοντολογικές συνέπειες και ταυτόχρονα θα διατηρήσουν καλές σχέσεις μεταξύ τους.

(P,DP): το Ιράν επιλέγει να πληρώσει το κόστος συντήρησης ενώ το Αφγανιστάν επιλέγει να μην πληρώσει το μερίδιό του. Με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιήσει το κέρδος του, με το ελάχιστο κόστος (free ride). Κατά συνέπεια, από το παιχνίδι βγαίνει χαμένος εκείνος που πράττει σωστά και πληρώνει το κόστος για τη συντήρηση.

(DP,P): το Αφγανιστάν επιλέγει να πληρώσει το κόστος συντήρησης ενώ το Ιράν επιλέγει να μην πληρώσει το μερίδιό του. Με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιήσει το κέρδος του, με το ελάχιστο κόστος (free ride). Κατά συνέπεια, από το παιχνίδι βγαίνει χαμένος εκείνος που πράττει σωστά και πληρώνει το κόστος για τη συντήρηση.

Αν εξετάσουμε τα πιθανά σενάρια από την πλευρά του Ιράν τότε έχουμε δύο περιπτώσεις σε κάθε μία από τις δύο επιλογές του αντίπαλου παίκτη, το Αφγανιστάν. Στην περίπτωση που το Αφγανιστάν δεν πληρώσει για τα έργα συντήρησης συμφέρει το Ιράν να πληρώσει καθώς με αυτόν τον τρόπο θα αποφύγει καταστροφικές συνέπειες όπως η ξηρασία, γεγονός το οποίο θα πρέπει να αντιμετωπίσει εάν επιλέξει να μην πληρώσει ούτε αυτό. Στην αντίθετη περίπτωση στην οποία το Αφγανιστάν επιλέγει να πληρώσει το κόστος για τα έργα συντήρησης τότε το Ιράν θα κερδίσει περισσότερα ελαχιστοποιώντας το κόστος του εάν αποφασίσει να μην πληρώσει αλλά επειδή δεν γνωρίζει με απόλυτη σιγουριά την πιθανή επιλογή του αντιπάλου του τότε θα προχωρήσει σε πληρωμές για τα έργα που χρειάζονται αποτρέποντας με έτσι την καταστροφική συνέπεια της ξηρασίας.

Ομοίως θα σκεφτεί και θα λειτουργήσει και το Αφγανιστάν. Συνεπώς, το τελικό συμπέρασμα είναι ότι σε περίπτωση μη συνεννόησης, η βέλτιστη επιλογή είναι κι οι δύο να πληρώσουν αποφεύγοντας τις αρνητικές συνέπειες.

Είναι εμφανές ότι η λύση που συμφέρει και τις δύο χώρες είναι αυτή της αμοιβαίας πληρωμής του κόστους συντήρησης, μία λύση που ωφελεί και τους δύο παίκτες οι οποίοι αποφεύγουν ταυτόχρονα τις αρνητικές συνέπειες της ξηρασίας. Με λίγα λόγια, προκύπτουν οφέλη δηλαδή από κάποιο είδος συνεργασίας ή τουλάχιστον ενός συντονισμού που τους απομακρύνει από τη σύγκρουση. Η επιλογή αυτή όμως δεν αποτελεί σημείο ισορροπίας Nash, παρότι είναι η κοινωνικά βέλτιστη (Pareto), αφού οι Ιρακινοί στην προκειμένη περίπτωση πλήρωσαν (κότες) και έκαναν την συντήρηση.

Στον αντίποδα, δίνεται ισχυρό κίνητρο να δράσει κανείς επιθετικά και να οδηγηθούν στη σύγκρουση κάτι που εξαρτάται, όμως, και από την πιθανότητα να προβλέψει ο εκάστοτε παίκτης τις κινήσεις του αντιπάλου του. Στο παίγνιο αυτό, λοιπόν, έχουμε δυο ισορροπίες Nash σε καθαρές στρατηγικές που είναι τα ζεύγη (Μη πληρωμή, Πληρωμή) και (Πληρωμή, Μη πληρωμή), υπό την έννοια ότι καμία εκ των δύο χωρών δεν έχει λόγο να μετατοπιστεί από αυτά, προκειμένου να βελτιώσει τη θέση της και να αποκομίσει μεγαλύτερο όφελος. (Βαρουχάκης 2016)

3.2.3 Stag-Hunt Game

Ένα παίγνιο στο οποίο τίθεται ζήτημα διαχείρισης νερού και έχει τη δομή ενός παιγνίου ελαφοθηρίας είναι αυτό που προκύπτει από το παίγνιο που διαμορφώνεται όταν, παραδείγματος χάρη, δύο κράτη μοιράζονται μία λίμνη. Κάθε ένα από τα κράτη έχει ένα ποτάμι το οποίο ρέει μέσα στη λίμνη. Η υψηλή εξάτμιση και η μείωση της εποχιακής ροής των δύο ποταμών οδηγεί στη μείωση των πόρων της λίμνης, στην αύξηση της αλατότητας και εν τέλει, στην εμφάνιση κινδύνου για το περιβαλλοντικό οικοσύστημα. Η μόνη λύση που μπορεί να δοθεί προκειμένου να σωθεί η λίμνη και το οικοσύστημά της είναι και τα δύο κράτη να προχωρήσουν σε αύξηση της ποσότητας του νερού που απελευθερώνεται κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό της τάξεως του 40%. Η αύξηση της ροής μόνο από το ένα κράτος δεν επαρκεί για να λυθεί το ζήτημα εξαιτίας της αυξημένης εξάτμισης που πραγματοποιείται. Η αμοιβή για κάθε κράτος προκύπτει από τη διαφορά της αύξησης των εισροών στη λίμνη και των εσόδων που χάνονται από τη μείωση της κατανάλωσης του νερού έναντι της λίμνης. Παρόλο που δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό όφελος χρηματικά, και οι δύο πλευρές μπορούν να ταξινομήσουν τα πιθανά αποτελέσματα. Εάν και τα δύο κράτη προβούν σε μείωση της κατανάλωσης του νερού και σε αύξηση της ποσότητας που απελευθερώνουν, ποσότητα η οποία καταλήγει στη λίμνη, τότε τα περιβαλλοντικά κέρδη θα είναι ελάχιστα και το όφελος του κάθε κράτους θα μειωθεί από τις απώλειες των εσόδων λόγω της περιορισμένης κατανάλωσης του νερού.

ΚΡΑΤΟΣ Ι	ΚΡΑΤΟΣ ΙΙ	
	ΑΥΞΗΣΗ(A)	ΜΗ ΑΥΞΗΣΗ(MA)
ΑΥΞΗΣΗ (A)	(3,3)	(1,2)
ΜΗ ΑΥΞΗΣΗ(MA)	(2,1)	(2,2)

Πίνακας 3.3 : Παίγνιο δύο γειτονικών κρατών με κοινό περιβαλλοντικό ζήτημα

Το παίγνιο που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4 έχει δύο ισορροπίες, τη συνεργασία (A,A) και τη μη-συνεργασία(MA,MA).

Εάν σε ένα παίγνιο εμπιστοσύνης οι παίκτες εμπιστεύονται ο ένας τον άλλον τότε θα καταλήξουν να συνεργαστούν χωρίς να ελλοχεύει ο κίνδυνος αποτυχίας της συνεργασίας αυτής. Στην πραγματικότητα, βέβαια, η επιλογή της μη-συνεργασίας αποτελεί μία ακίνδυνη στρατηγική η οποία μπορεί από τη μια πλευρά να μην οδηγεί στο βέλτιστο αποτέλεσμα αλλά από την άλλη δίνει μία έκβαση η οποία είναι καλύτερη από τη χειρότερη που θα μπορούσε να επιτευχθεί σε συνθήκες έλλειψης εμπιστοσύνης μεταξύ των παικτών. Σε ένα παίγνιο με τη δομή της ελαφοθηρίας δεν εμφανίζεται διάθεση για free ride κάποιον παίκτη και αυτό γιατί το κέρδος για τη μη-συνεργασία είναι ευαίσθητο όποια απόφαση και αν πάρει ο αντίπαλος. Κατ'αυτόν τον τρόπο, εάν ο ένας παίκτης έχει ενδείξεις ότι ο αντίπαλός του έχει την πρόθεση να συνεργαστεί τότε και ο ίδιος, ομοίως, θα επιλέξει τη στρατηγική της συνεργασίας. Όπως συμβαίνει και σε ένα παίγνιο με τη δομή του διλήμματος του φυλακισμένου έτσι κι εδώ η επανάληψη του παιχνιδιού μπορεί να οδηγήσει στην ενίσχυση του αισθήματος της εμπιστοσύνης μεταξύ των παικτών και η λύση που θα προκύψει να είναι η Pareto-optimal.

Στο συγκεκριμένο ζήτημα διαχείρισης του νερού μεταξύ των δύο κρατών που αναπτύχθηκε προηγουμένως, ενδέχεται οι δύο πλευρές να μην έχουν τη δυνατότητα επανάληψης του παιγνίου πολλές φορές και, συνεπώς, να μην μπορούν να αντιληφθούν εάν ο άλλος παίκτης είναι αξιόπιστος. Αντ' αυτού, διαπραγματεύσεις και καθαρά σημάδια συνεργασίας θα είναι χρήσιμα ώστε να επιτευχθεί η Pareto-optimal λύση (A,A). (Λιβανίου,2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου

Για την παρούσα εργασία, η οποία μελετά την τιμολόγηση του νερού οικιακής χρήσης κάνοντας χρήση της θεωρίας Παιγνίων με παίκτες από τη μια τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ και από την άλλη τους ίδιους τους καταναλωτές, κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια στατιστική μελέτη προκειμένου να διερευνηθεί:

- η ενημέρωσή τους
- η ικανοποίηση ή μη από τις υπηρεσίες της Δημοτικής Επιχείρησης
- η τάση των καταναλωτών σε περίπτωση οικονομικής επιβάρυνσής τους και τέλος,
- η ευαισθητοποίηση σε θέματα που αφορούν την μείωση της κατανάλωσης στοχεύοντας αφενός σε έναν οικονομικότερο τριμηνιαίο λογαριασμό νερού και αφετέρου στην καλύτερη διαχείριση και εξοικονόμηση των υδάτινων πόρων.

Ο σχεδιασμός του ερωτηματολογίου έγινε με ιδιαίτερη προσοχή καθώς θεωρήθηκε το βασικότερο κομμάτι της έρευνάς μας. Καθορίστηκαν οι ερωτήσεις που έπρεπε να συμπεριληφθούν ώστε να διερευνηθεί το θέμα και οι στόχοι του. Οι ερωτήσεις αυτές έπρεπε να είναι σαφείς ως προς τη διατύπωσή τους, σύντομες και να γίνονται εύκολες κατανοητές ενώ οι προτεινόμενες απαντήσεις έπρεπε να χαρακτηρίζονται από ακρίβεια προκειμένου να καλυφθεί όλο το φάσμα των πιθανών σκέψεων και διαθέσεων των καταναλωτών. Τέλος, έγιναν κλειστού τύπου ερωτήσεις καθώς θεωρήθηκε ότι με αυτό τον τρόπο θα κωδικοποιηθούν πιο εύκολα και πιο γρήγορα τα δεδομένα οδηγώντας παράλληλα και σε λιγότερα σφάλματα.

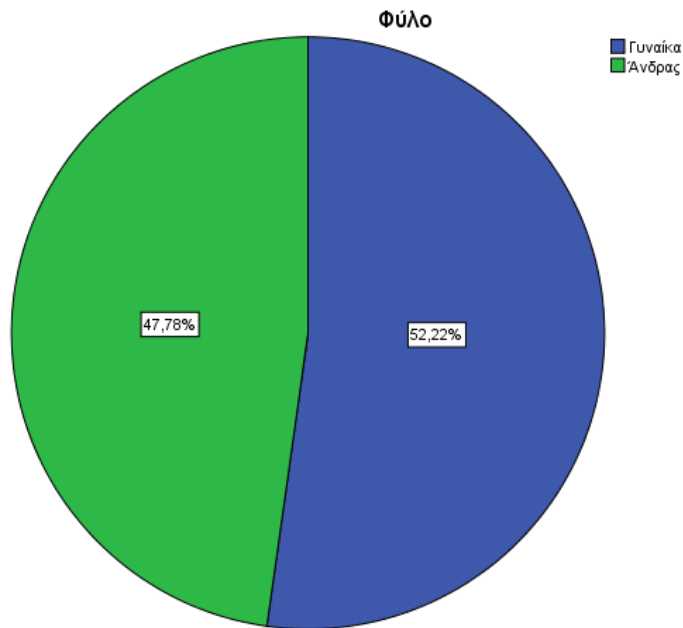
Στην αρχή του ερωτηματολογίου τοποθετήθηκαν ερωτήσεις σχετικά με τα δημογραφικά χαρακτηριστικά που έφερε ο ερωτώμενος. Έπρεπε να προσδιοριστεί το φύλο, η ηλικία, η οικογενειακή κατάσταση ενώ το κοινωνικό και οικονομικό υπόβαθρο των ατόμων προκύπτει από ερωτήσεις που αφορούν το επάγγελμα, το εκπαιδευτικό επίπεδο και το μηνιαίο εισόδημα, ερωτήσεις που σε συνδυασμό με διερευνητικές ερωτήσεις όπως “μια πιθανή αύξηση στο κόστος του νερού θα επηρέαζε τις καταναλωτικές σας συνήθειες;” μας δίνουν στοιχεία απαραίτητα για να εξάγουμε συμπεράσματα πάνω σε θέματα ευαισθητοποίησης, να προβλέψουμε και να υποθέσουμε πάνω σε μία πραγματική βάση δεδομένων.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν και ερωτήσεις τύπου rated responses. Πρόκειται για ερωτήσεις που δίνουν τη δυνατότητα για κλιμακωτή απόκριση από την πλευρά των ερωτηθέντων με κάθε μία από τις προτεινόμενες απαντήσεις να παίρνει κωδικό 1-3 κατόπιν στην επεξεργασία. Τέτοιες ερωτήσεις ήταν οι ερωτήσεις (6), (7), (8) και (9).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται σε μια σειρά από διαγράμματα και πίνακες που ακολουθούν.

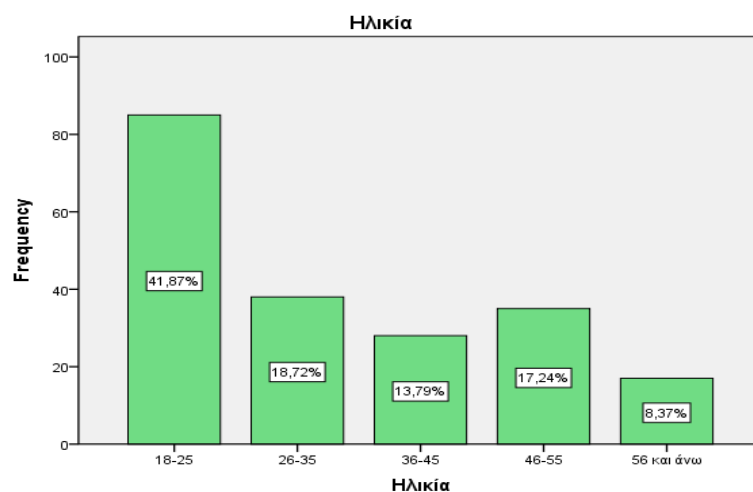
Αποτελέσματα Ερωτηματολογίου και Σχολιασμός

1) Φύλο



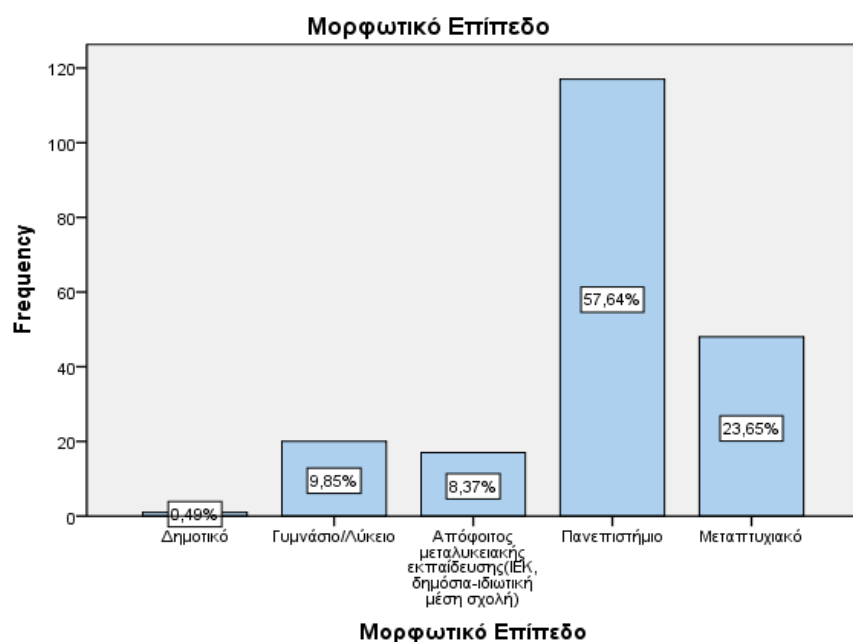
Στην έρευνα συμμετείχαν 203 άτομα, όλοι κάτοικοι του Δήμου Χανίων. Το 52,22% του δείγματος αποτελείται από γυναίκες. Ουσιαστικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι συμμετείχαν εξίσου το ίδιο τόσο ο γυναικείος όσο και ο ανδρικός πληθυσμός.

2) Ηλικία



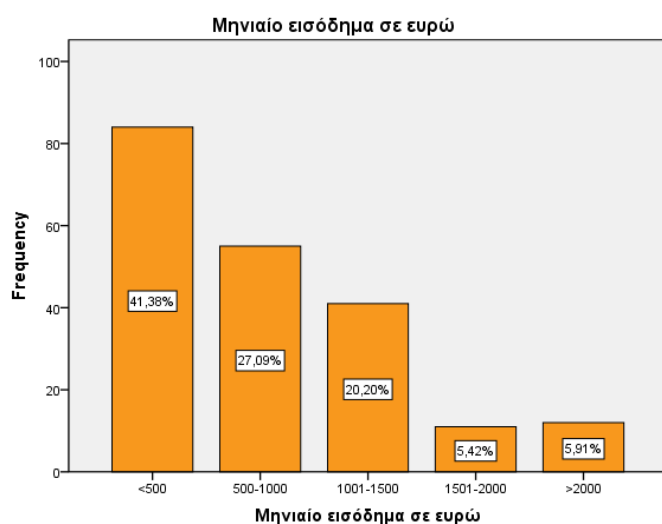
Το ηλικιακό εύρος του δείγματος είναι μεταξύ 18 και άνω των 56 χρόνων. Είναι ικανοποιητικό καθώς καλύπτει τις ανάγκες για γνώση των καταναλωτικών συνθηκών και των τάσεων όλων των ηλικιών που απαρτίζουν μια κοινωνία. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση του δείγματος βρίσκεται μεταξύ 18-25 ετών με ποσοστό 41,87%. Ωστόσο, αθροιστικά το μεγαλύτερο ποσοστό συναντάται σε ηλικίες 26 έως και πάνω από 56 ετών με τιμή που φτάνει στο 58,12%. Τέλος, παρατηρούμε ότι τα ποσοστά στις ηλικιακές ομάδες 26-35, 36-45 και 46-55 έχουν ίση συμμετοχή στην έρευνα.

3) Μορφωτικό Επίπεδο



Το συντριπτικό σύνολο των ερωτηθέντων έχει ολοκληρώσει την Τριτοβάθμια Παιδεία (μάλιστα σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 23,65% έχει μεταπτυχιακό υπόβαθρο) είτε έχοντας εκπαιδευτεί πάνω σε μια τέχνη-επάγγελμα.

4) Ποιο είναι το μηνιαίο εισόδημά σας σε ευρώ;



Το μηνιαίο εισόδημα των πολιτών που συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο κυμαίνεται σε όλες τις πιθανές τιμές που τους δόθηκαν ως απαντήσεις. Σημαντικό μέρος του δείγματος, συγκεκριμένα το 41,38%, ανήκει στην πρώτη κλάση που φτάνει έως τα 500 ευρώ, κάτι που είναι λογικό εάν λάβουμε υπόψη το αντίστοιχο 41,87% του δείγματος που δήλωσε ηλικία 18-25 ετών, στην πλειονότητά τους φοιτητές των οποίων οι οικονομικοί πόροι είναι μειωμένοι. Στον αντίποδα, αθροιστικά το ποσοστό των επόμενων δύο κλάσεων μηνιαίου εισοδήματος 500-1000 ευρώ και 1001-1500 ευρώ αγγίζει το 47,29% ενώ, τέλος, το 11% του δείγματος ανήκει σε υψηλότερες οικονομικές βαθμίδες με 1.500 ευρώ και άνω των 2000 ευρώ μηνιαίο εισόδημα.

5) Πόσα μέλη οικογένειας κατοικείτε στην ίδια οικία;



Στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρατηρείται ότι πάλι το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων μένει μόνο του, γεγονός αναμενόμενο εάν ληφθεί υπόψη ότι οι περισσότεροι που απάντησαν ήταν φοιτητές του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ωστόσο, σημαντικά ποσοστά συναντάμε και για τις περιπτώσεις των 2, των 3 και των 4 ατόμων να ζουν στην ίδια οικία. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε σχεδόν ίδια ποσοστά μεγαλύτερα του 16% του δείγματος για τις επιλογές των 2 και των 3 ατόμων, ενώ η περίπτωση των τεσσάρων ατόμων είναι η δεύτερη συνηθέστερη απάντηση που επιλέχθηκε.

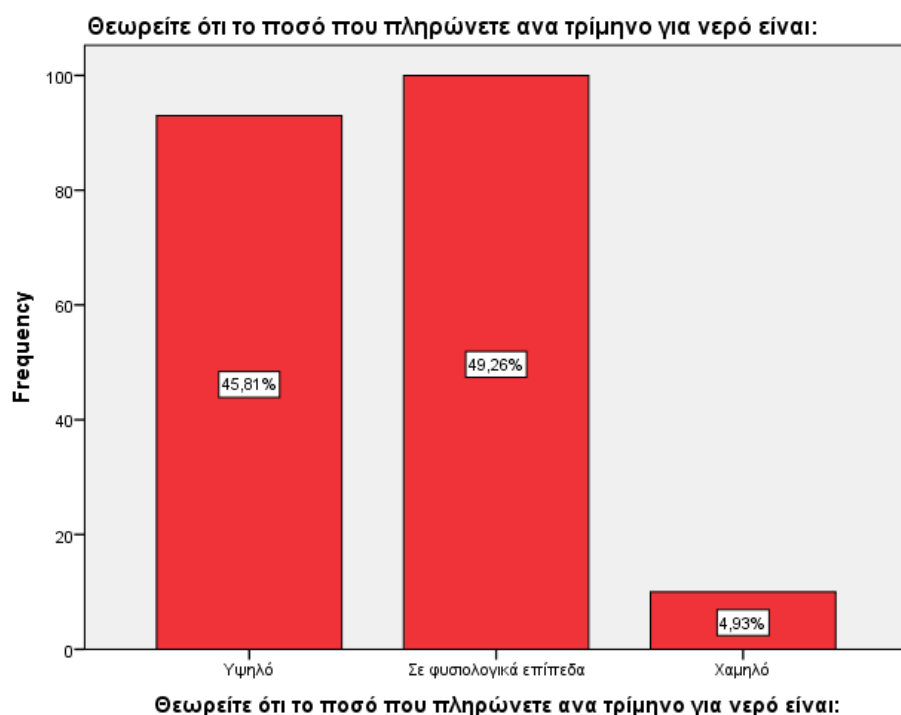
Συνοψίζοντας, οι πρώτες αυτές ερωτήσεις μας βοηθούν στον δημογραφικό προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του δείγματος. Το δείγμα θεωρείται μάλλον ικανοποιητικό καθώς μας δίνει μια ποικιλία από άτομα διαφόρων ηλικιών, οικονομικών και κοινωνικών τάξεων και οικογενειακών καταστάσεων, γεγονός που ίσως θα δώσει αξιοπιστία στα δεδομένα/αποτελέσματα των καταναλωτικών συνηθειών του συνολικού δείγματος. Στη συνέχεια θα διερευνηθεί και ο συνδυασμός αυτών των

χαρακτηριστικών με άλλες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου για να βγουν συμπεράσματα σημαντικά για το θέμα που μελετάται και τους στόχους του.

6) Πόσο ευχαριστημένοι είστε με την υπηρεσία παροχής νερού για οικιακή χρήση στα Χανιά (Δ.Ε.Υ.Α.Χ.)

Στο ερώτημα αυτό τουλάχιστον 1 στους 2 ανθρώπους που έλαβαν μέρος στην έρευνα,συγκεκριμένα το 53,7%, δηλώνουν ικανοποιημένοι από τις υπηρεσίες της Δ.Ε.Υ.Α.Χ ενώ σχεδόν οι 2 στους 10(18,7) δεν είναι ευχαριστημένοι. Σημαντικό ποσοστό, όμως, καταλαμβάνουν όσοι απάντησαν πως είναι αδιάφοροι από την ποιότητα των υπηρεσιών παροχής νερού με τιμή που αγγίζει το 27,6%.

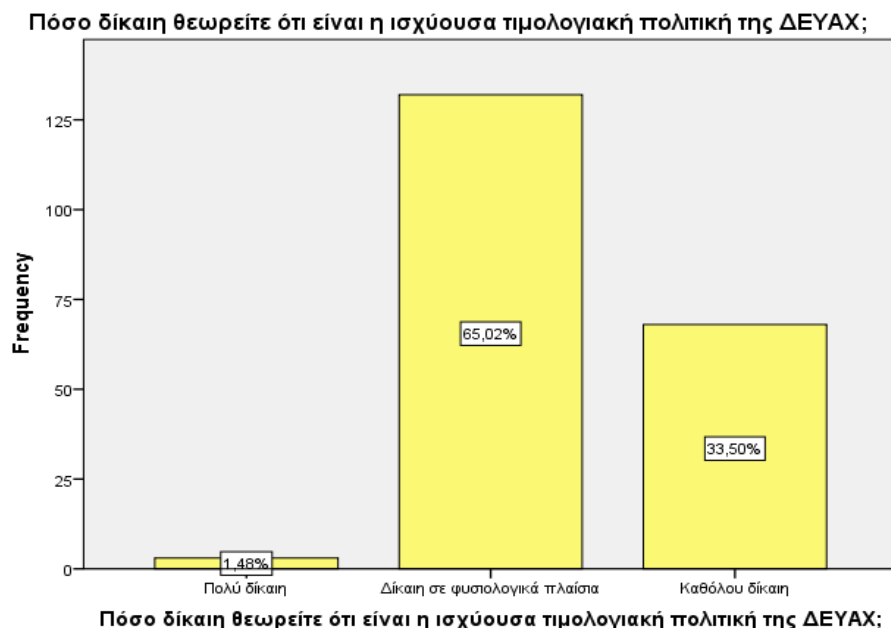
7) Θεωρείτε ότι το ποσό που πληρώνετε ανά τρίμηνο για νερό είναι υψηλό,σε φυσιολογικά επίπεδα ή χαμηλό;



Ενδιαφέροντα αποτελέσματα παρουσιάζει το συγκεκριμένο ερώτημα καθώς είναι σχεδόν ίσα τα ποσοστά αυτών που θεωρούν ότι ο λογαριασμός που πληρώνουν είναι φυσιολογικός,

συγκεκριμένα το 49,26% του δείγματος, με αυτούς που δηλώνουν ότι το ποσό είναι υψηλό με ποσοστό 45,81% αφήνοντας κατά πολύ πίσω την τρίτη επιλογή , η οποία ήταν για όσους θεωρούσαν πως είναι μικρό το ποσό που δίνουν σε τρίμηνη βάση στη Δ.Ε.Υ.Α.Χ για τις υπηρεσίες της.

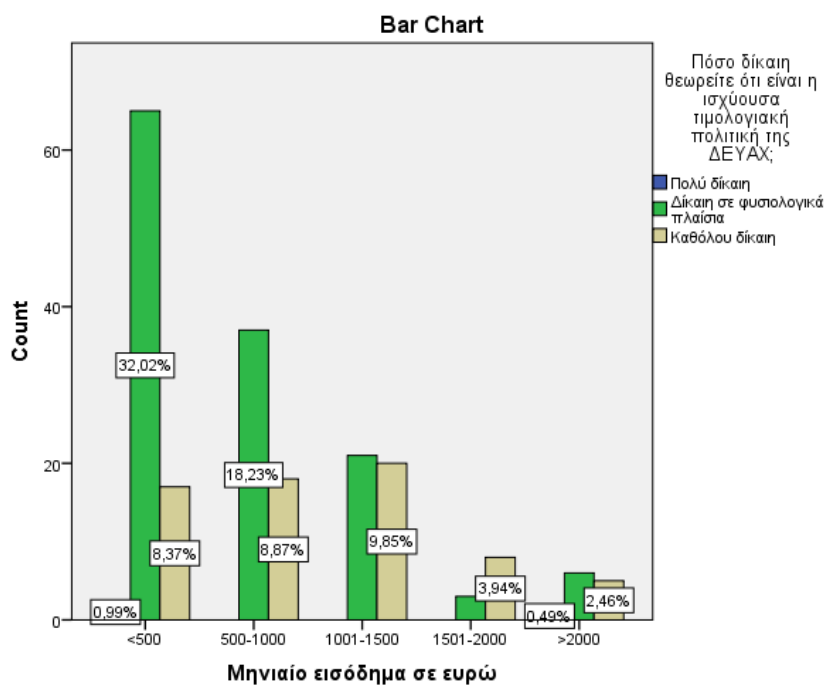
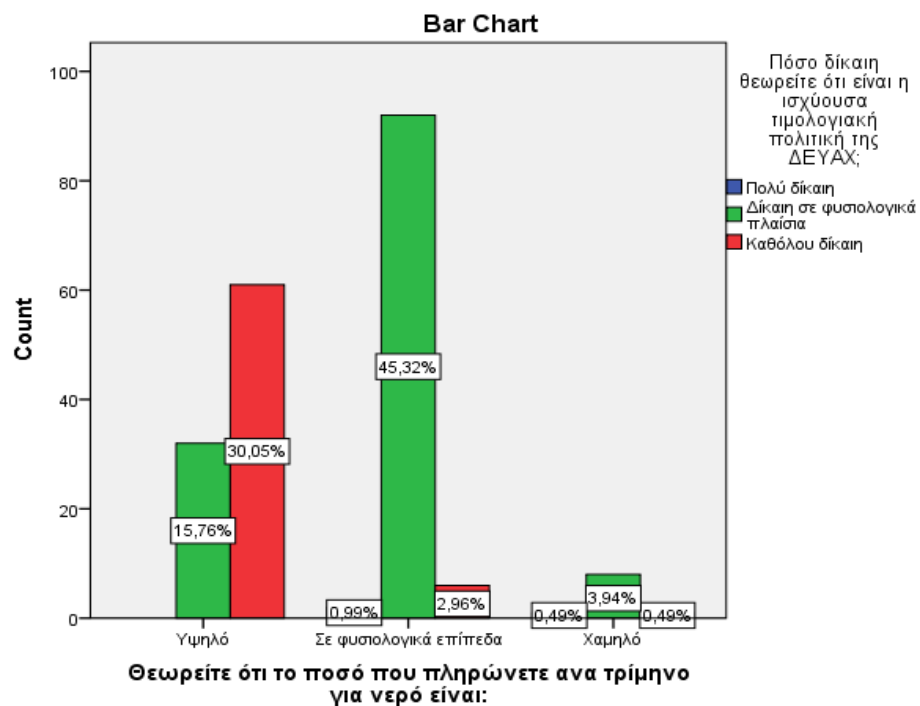
8) Πόσο δίκαιη θεωρείτε ότι είναι η ισχύουσα τιμολογιακή πολιτική της Δ.Ε.Υ.Α.Χ. ;



Στη συγκεκριμένη ερώτηση το συντριπτικό ποσοστό του 65,02% των πολιτών απάντησε ότι η ισχύουσα πολιτική χρέωσης που ακολουθεί η Δ.Ε.Υ.Α.Χ κυμαίνεται σε φυσιολογικά πλαίσια ενώ 3 στους 10 απάντησε πως δεν είναι καθόλου δίκαιη δείχνοντας την τάση που κυριαρχεί αμέσως μετά την ουδετερότητα γεγονός που το ενισχύει το μόλις 1,48% του δείγματος που τη θεωρεί πολύ δίκαιη.

Από τα γραφήματα που παρατίθενται αμέσως μετά μπορούμε να δούμε πώς κατανέμονται αυτοί που θεωρούν “πολύ δίκαιη” , “δίκαιη σε φυσιολογικά επίπεδα” και “καθόλου δίκαιη” την ισχύουσα τιμολογιακή πολιτική με βάση την κατηγορία μηνιαίου εισοδήματος το οποίο δήλωσαν και με βάση το τι πιστεύουν για το ποσό που πληρώνουν κάθε τρεις μήνες στη Δ.Ε.Υ.Α.Χ. (υψηλό, σε φυσιολογικά πλαίσια, χαμηλό). Κυριαρχεί η αντίληψη ότι είναι δίκαιη σε φυσιολογικά πλαίσια η πολιτική χρέωσης.

Το 30,05% από το συνολικό 45,81% του δείγματος που θεωρούν ότι είναι υψηλό το ποσό που πληρώνουν ανά τρίμηνο θεωρεί ότι η πολιτική που ακολουθείται είναι άδικη. Από το δεύτερο γράφημα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το μηνιαίο εισόδημα τόσο πιο πολύ ενισχύεται η άποψη ότι η πολιτική βάσει της οποίας προκύπτει το κόστος του νερού είναι άδικη. Παρουσιάζεται οριακή διαφορά με την επιλογή “δίκαιη σε φυσιολογικά πλαίσια” υπέρ της τελευταίας για μηνιαίο μισθό εύρους 1001-1500 ευρώ και ξεκάθαρη διαφορά υπέρ της επιλογής “καθόλου δίκαιη” για όσους δήλωσαν ότι αμείβονται μηνιαίως από 1501 μέχρι 2000 ευρώ.



9) Όσον αφορά την τρίμηνη κατανάλωση του νερού, θεωρείτε τον εαυτό σας ότι:

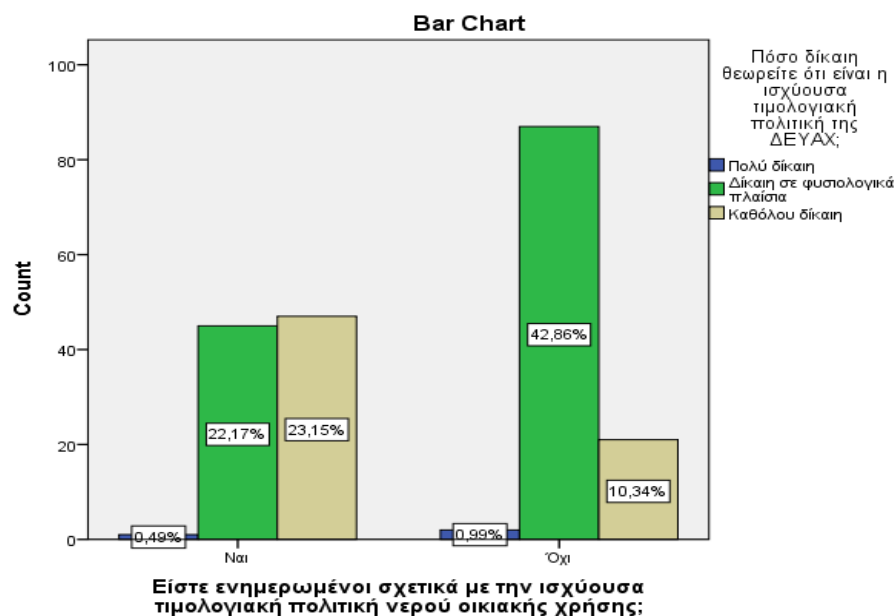


Το 72,41% των ερωτηθέντων θεωρεί πως η κατανάλωση του νερού οικιακής χρήσης που κάνει είναι σε φυσιολογικά επίπεδα ενώ οι πολίτες που πιστεύουν πως καταναλώνουν πολλά ή και λίγα κυβικά μέτρα νερού για τις ανάγκες τους φαίνεται να είναι ισάριθμοι.

10) Είστε ενημερωμένοι σχετικά με την ισχύουσα τιμολογιακή πολιτική νερού οικιακής χρήσης;

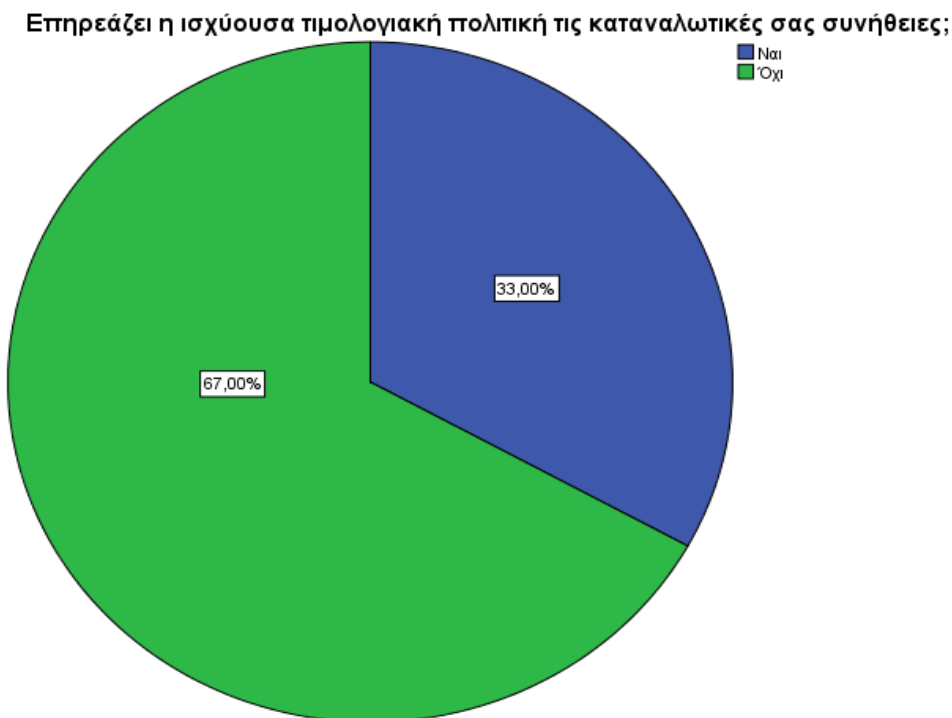


Στη συγκεκριμένη ερώτηση παρατηρείται ότι από το σύνολο των 203 ατόμων που έλαβαν μέρος στην έρευνα οι 93 απάντησαν ότι γνωρίζουν τον τρόπο με τον οποίο τιμολογείται το νερό που καταναλώνουν (45,81%) ενώ οι υπόλοιποι απάντησαν αρνητικά (54,19%). Τα δύο ποσοστά είναι σχετικά κοντά, ωστόσο οι περισσότεροι φαίνεται πως αγνοούν την ισχύουσα πολιτική της Δ.Ε.Υ.Α.Χ.



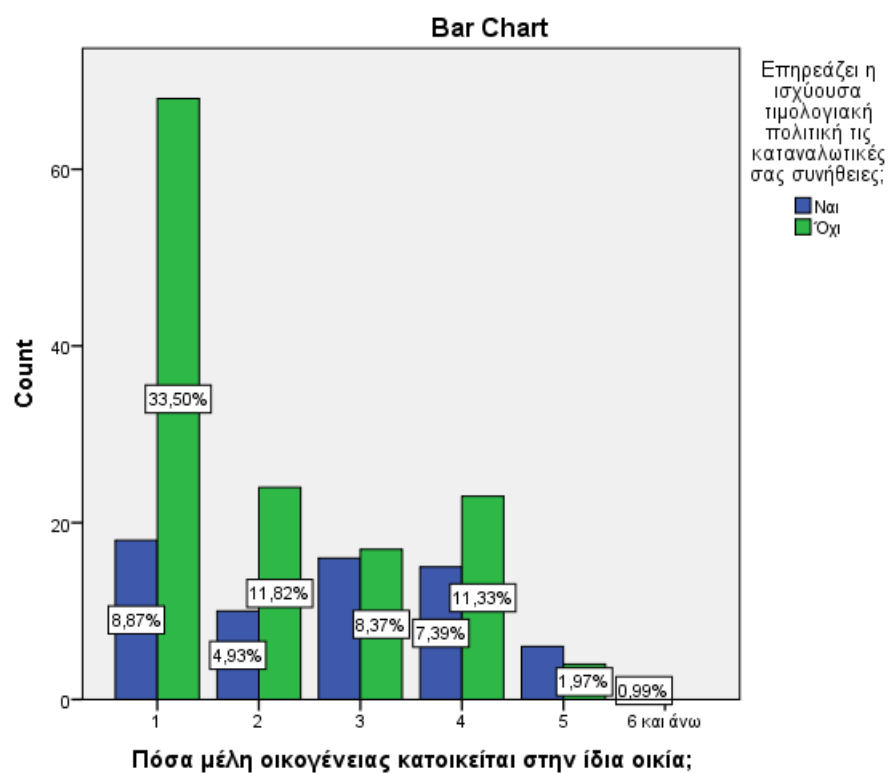
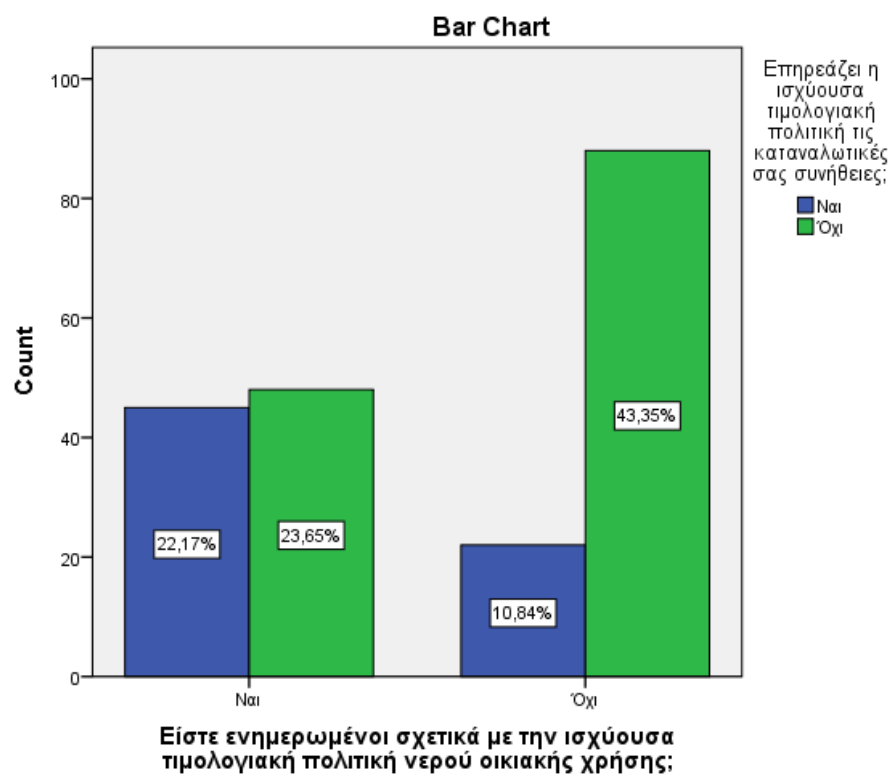
Συνδυάζοντας παραπέρα την ανάλυση προκύπτει ότι ερωτηθέντες που αγνοούν την ισχύουσα πολιτική χρέωσης που εφαρμόζει η Δ.Ε.Υ.Α.Χ είναι ταυτόχρονα και αυτοί που έδωσαν το μεγαλύτερο ποσοστό στην επιλογή “δίκαιη σε φυσιολογικά πλαίσια”, ένα ποσοστό της τάξεως του 42,86% ενώ όσοι δήλωσαν πως γνωρίζουν την πολιτική αυτή προτίμησαν τον χαρακτηρισμό “καθόλου δίκαιη”(23,15%)με οριακή διαφορά από το “δίκαιη σε φυσιολογικά πλαίσια”(22,17%).

11) Επηρεάζει η ισχύουσα τιμολογιακή πολιτική τις καταναλωτικές σας συνήθειες;



Το συντριπτικό ποσοστό 67% των ερωτηθέντων δηλώνει ότι οι καταναλωτικές του συνήθειες δεν επηρεάζονται από την πολιτική χρέωσης που ακολουθεί η Δ.Ε.Υ.Α.Χ έναντι ενός μικρότερου αλλά σημαντικού ποσοστού της τάξεως του 33% το οποίο προσαρμόζει τις ανάγκες του για νερό και τη χρήση του σύμφωνα με τον τρόπο που κοστολογείται το νερό.

Εάν συνδυάσουμε τις δύο τελευταίες ερωτήσεις θα δούμε πως η πλειονότητα όσων δεν γνωρίζουν την τιμολογιακή πολιτική που ακολουθεί η Δ.Ε.Υ.Α.Χ (43,35%) δεν επηρεάζεται, κατά συνέπεια, και για θέματα που αφορούν την κατανάλωση του νερού. Ωστόσο, ένα 10,84% αν και αγνοεί τον ακριβή τρόπο που προκύπτει η χρέωση φαίνεται πως επηρεάζεται από το σύνολο που βλέπει στο λογαριασμό που λαμβάνει κάθε τρεις μήνες. Όσοι πάλι γνωρίζουν τον τρόπο με τον οποίο τους κοστολογείται το νερό που καταναλώνουν δηλώνουν σχεδόν το ίδιο ότι επηρεάζονται και ότι δεν επηρεάζονται οι καταναλωτικές τους συνήθειες.

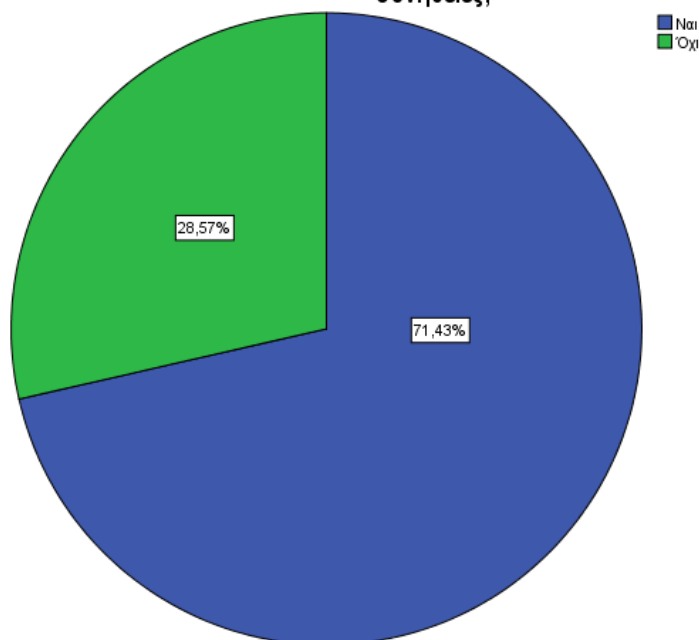


Από τα δύο τελευταία γραφήματα παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική σχέση

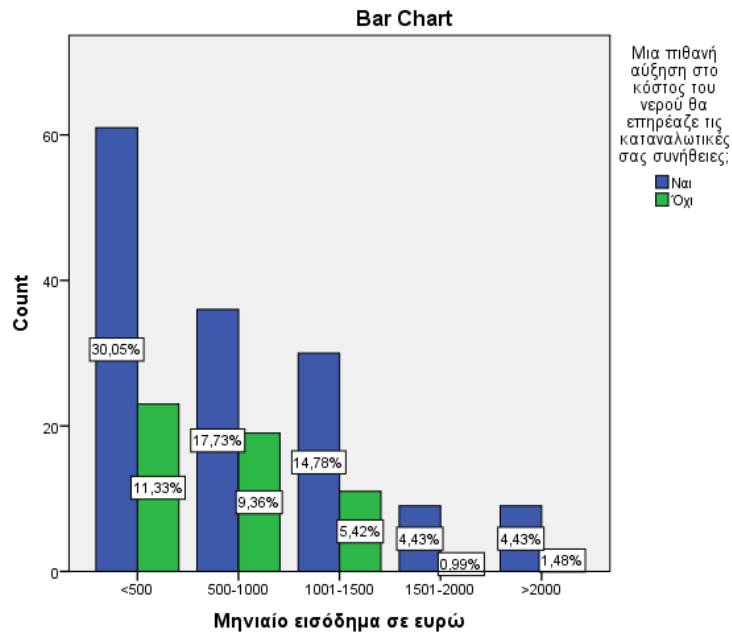
εξάρτησης σε καμία των περιπτώσεων μεταξύ των μεταβλητών, δηλαδή το μηνιαίο εισόδημα και ο αριθμός των μελών της οικογένειας που κατοικούν στο ίδιο σπίτι δε φαίνεται να επηρεάζει την κατανάλωση για την οποία ισχύει μια συγκεκριμένη πολιτική χρέωσης. Σχεδόν αποκλειστικά σε όλες τις περιπτώσεις υπερτερεί η αρνητική απάντηση πλην αυτής των ατόμων που έχουν μηνιαίο 1001-1500 ευρώ μισθό οι περισσότεροι των οποίων απάντησαν πως υπάρχει επίδραση στις καταναλωτικές τους συνήθειες από την πολιτική κοστολόγησης του νερού. Ωστόσο, όσο αυξάνεται το μηνιαίο εισόδημα και ο αριθμός των ατόμων που μένουν στην ίδια οικία τόσο περισσότερο οι ερωτηθέντες τείνουν να επηρεάζονται και να λαμβάνουν υπόψη την πολιτική που εφαρμόζει η Δ.Ε.Υ.Α.Χ.. Στην περίπτωση μάλιστα που στο ίδιο σπίτι μένουν τρεις άνθρωποι η διαφορά μεταξύ των δύο απαντήσεων είναι οριακή.

12) Μια πιθανή αύξηση στο κόστους του νερού θα επηρέαζε τις καταναλωτικές σας συνήθειες;

Μια πιθανή αύξηση στο κόστος του νερού θα επηρέαζε τις καταναλωτικές σας συνήθειες;



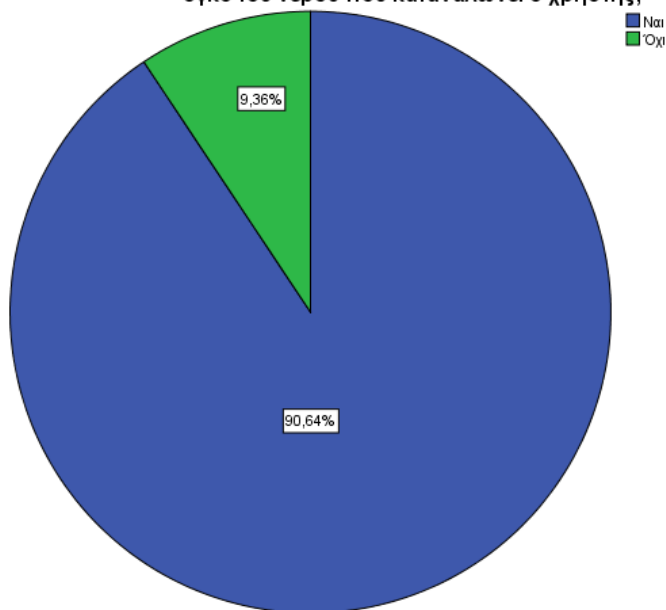
Στο ενδεχόμενο η Δ.Ε.Υ.Α.Χ να επιχειρούσε να αλλάξει την κοστολόγηση του νερού οικιακής χρήσης πραγματοποιώντας μάλιστα αύξηση στις τιμές χρέωσης το σημαντικότερο ποσοστό του 71,43% του δείγματος δήλωσε πως αυτή η αύξηση θα έφερνε και αλλαγές στην κατανάλωση του νερού ενώ το 28,57% δεν προτίθεται να αλλάξει συνήθειες.



Από το συγκεκριμένο γράφημα μπορούμε να ερμηνεύσουμε πως όσο μικρότερο είναι το μηνιαίο εισόδημα τόσο πιο έντονη είναι η ανάγκη για αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών και η ανάγκη για εξοικονόμηση πόσο μάλλον εάν πραγματεύεται ενδεχόμενο αύξησης του κόστους του νερού από την επιχείρηση της Δ.Ε.Υ.Α.Χ..

13) Θα έπρεπε, κατά τη γνώμη σας, η οικονομική χρέωση να είναι ανάλογη με τον όγκο του νερού που καταναλώνει ο χρήστης;

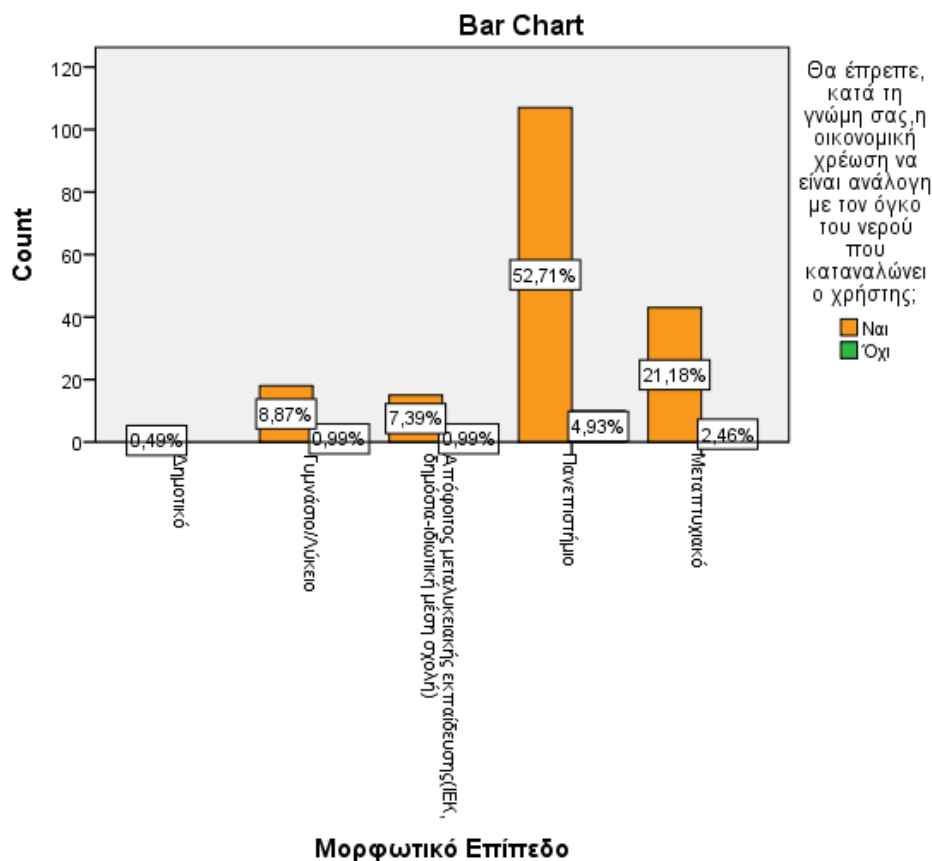
Θα έπρεπε, κατά τη γνώμη σας, η οικονομική χρέωση να είναι ανάλογη με τον όγκο του νερού που καταναλώνει ο χρήστης;

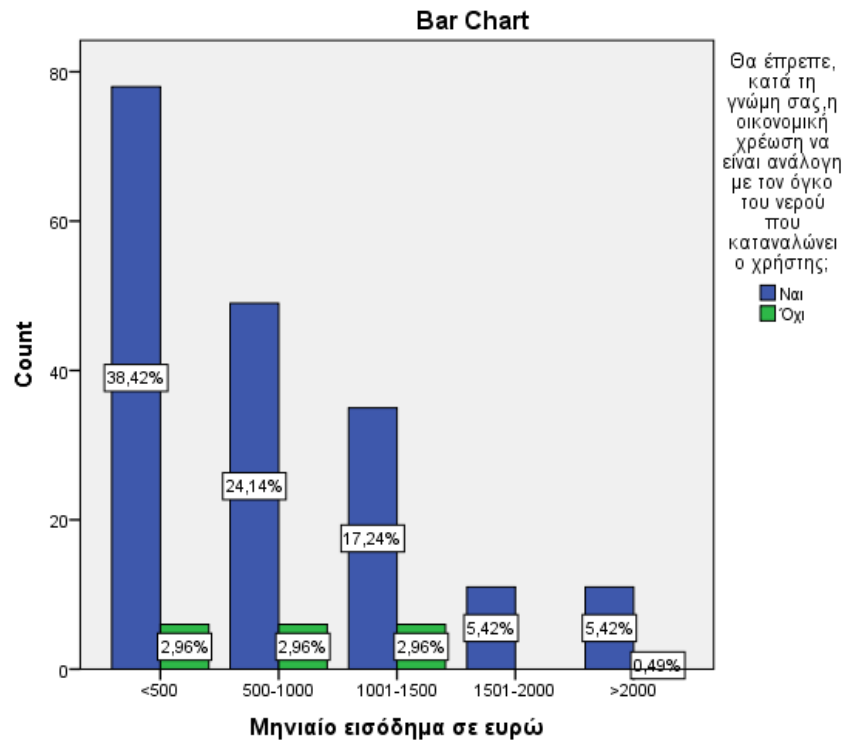


Το συντριπτικό 90,64% των ερωτηθέντων θεωρεί ότι η χρέωση του νερού οικιακής χρήσης θα έπρεπε να προκύπτει μόνο από την κοστολόγηση των κυβικών μέτρων που καταναλώνει, δηλαδή να μην υπάρχουν πάγια, ενώ μόλις το 9,36% έχει αντίθετη άποψη.

Ακολουθούν δύο γραφήματα που απεικονίζουν το πως διαμορφώνεται αυτή η άποψη σε όλα τα άτομα που έλαβαν μέρος στην έρευνα συνδυαστικά με το εκπαιδευτικό τους υπόβαθρο αλλά και το μηνιαίο εισόδημα που διαθέτουν.

Αξίζει να αναφερθεί ότι όσο μικρότερες είναι οι μηνιαίες απολαβές του ερωτηθέντα τόσο περισσότερο παρατηρείται η ανάγκη η οικονομική χρέωση να είναι ανάλογη του όγκου νερού που καταναλώνει κάποιος χωρίς την προσθήκη παγίων στο λογαριασμό. Τέλος, η ανάγκη αυτή να περιοριστεί η χρέωση μόνο στα κυβικά μέτρα νερού που καταναλώνονται και όχι να προστίθενται επιπλέον χρεώσεις είναι επιθυμητή σε όλους, ανεξαρτήτως μορφωτικού υπόβαθρου.





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

5.1 Στήσιμο Παιγνίου

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί ένα παίγνιο στο οποίο αντίπαλοι παίκτες θα είναι από τη μια πλευρά η ΔΕΥΑΧ με την ευχέρεια να καθορίζει τη διάρθρωση του τιμολογίου και από την άλλη οι καταναλωτές με τη δυνατότητα να μειώνουν τη χρήση του νερού. Τα **τέσσερα** σενάρια απάντησης που αναπτύχθηκαν βασίστηκαν στα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου το οποίο βοήθησε στην κατανόηση της κοινής γνώμης και ως εκ τούτου στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς των καταναλωτών.

Στην ανάλυση των τελών ύδρευσης και αποχέτευσης της Δ.Ε.Υ.Α.Χ. διακρίνεται η κατανάλωση κυβικών μέτρων νερού ανά τρίμηνο σε κλάσεις. Αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Κλάσεις Δ.Ε.Υ.Α.Χ.
0-15
16-30
31-60
61-120
121-180
181 και άνω

Πίνακας 4.1: Κλάσεις κατανάλωσης

Για κάθε μία κλάση κατανάλωσης νερού, η Δ.Ε.Υ.Α.Χ. ορίζει μία τιμή χρέωσης για Νερό, Αποχέτευση, Τέλη Σύνδεσης κ.λ.π. σύμφωνα με την υπ'αριθμό 2/2019 Απόφαση Δ.Σ.

Η χρέωση που καθορίζεται για την ύδρευση και καλύπτει τα κόστη για την άντληση, τη λειτουργία και τη συντήρηση αυξάνεται κλιμακωτά βάσει των κυβικών μέτρων κατανάλωσης νερού. Για την πρώτη κλάση 0-15m³, η χρέωση αυτή ορίζεται στα 0,30 ευρώ ανά κυβικό μέτρο νερού που καταναλώνεται. Το ίδιο κλιμακωτά αυξάνεται και ο συντελεστής χρέωσης για την αποχέτευση. Το τέλος αυτό χρεώνεται ανά μονάδα κυβικού νερού που καταναλώνεται, καλύπτοντας ανάγκες λειτουργίας και συντήρησης του οριστικού δικτύου. Σύμφωνα με αυτή την απόφαση του Δ.Σ. για την πρώτη κλάση η χρέωση ανέρχεται στα 0,2250=0,23 ευρώ ανά m³ νερού.

Εκφράζοντας τον συντελεστή χρέωσης για την ύδρευση ανά μονάδα νερού ως a , και τον αντίστοιχο συντελεστή χρέωσης για την αποχέτευση ως b και την κατανάλωση νερού ως Q εκφρασμένο σε m^3 , τότε η συνολική αξία του νερού προκύπτει από τη σχέση:

$$G = Q * a + Q * b$$

Για εύκολη χρήση των συντελεστών θεωρούμε ένα ενιαίο συντελεστή $a' = a + b$

Συνεπώς,

$$G = Q * a'$$

Ωστόσο, στην εξίσωση πρέπει να προστεθεί και το συνολικό πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης, το οποίο επίσης καθορίζεται από την Δ.Ε.Υ.Α.Χ. Η τιμή για το πάγιο ύδρευσης φτάνει στο ύψος των 9 ευρώ , ενώ η αντίστοιχη για το πάγιο αποχέτευσης είναι στα 6,90 ευρώ. Άρα, προκύπτει το συνολικό πάγιο F (Flat rate)

$$F = 15,90 = 16 \text{ euro}$$

Συνεπώς, η συνολική τιμή του νερού υπολογίζεται από την εξίσωση ,

$$G = F + (Q * a') \quad (1)$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι το συνολικό ποσό πληρωμής των καταναλωτών δεν προκύπτει από την εξίσωση (1) καθώς δεν περιλαμβάνονται στον υπολογισμό αυτό ο Φόρος Προστιθέμενης Αξίας(Φ.Π.Α), το ενοίκιο του υδρομέτρου και τα Τέλη για την χρήση της αποχέτευσης. Αυτό συμβαίνει γιατί πρόκειται για παραμέτρους που δεν ελέγχει το Διοικητικό Συμβούλιο της Δ.Ε.Υ.Α.Χ και δεν μπορεί να τις καθορίσει γι' αυτό το λόγο δεν λαμβάνονται υπόψη για την επεξεργασία των τιμών στην παρούσα εργασία.

Σύμφωνα με την τελευταία Αναλυτική Απογραφή Δημοτικών και Τοπικών Κοινοτήτων-Κατοικιών που πραγματοποιήθηκε το 2011 ο μόνιμος πληθυσμός του Δήμου Χανίων ανέρχεται στους 108.642 κατοίκους. Η μέτρηση του όγκου νερού που καταναλώνεται γίνεται ανά υδρόμετρο. Εμείς για λόγους ευκολίας θα θεωρήσουμε έναν συνολικό αριθμό 109.000 κατοίκους. Τέλος, για τους υπολογισμούς μας θα χρησιμοποιούμε τη μέγιστη τιμή της κλάσης, δηλαδή όλο το εύρος της για να βρούμε το μέγιστο κέρδος που μπορεί να έχει η επιχείρηση κάθε φορά.

Σύμφωνα με δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ., εκδίδονται προσεγγιστικά τέσσερις τριμηνιαίοι λογαριασμοί, από 67.000 περίπου κάθε τρίμηνο ενώ οι χρήστες που αντιστοιχούν σε ένα υδρόμετρο είναι δύο. Από τα δεδομένα αυτά που δόθηκαν σε τριμηνιαία βάση για την παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος καθώς η κατανάλωση ανά τρίμηνο παρουσιάζει αυξομειώσεις ανάλογες των καιρικών συνθηκών και των αναγκών των κατοίκων (παραδείγματος χάρη μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση νερού το καλοκαίρι).

Με το F' θα συμβολίσουμε το συνολικό κέρδος από το πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης για το σύνολο των υδρομέτρων του Νομού, ένα ποσό το οποίο είναι σταθερό. Η τιμή που μας δίνει με την παρούσα τιμολογιακή πολιτική είναι:

$$F' = 67.000 \text{ υδρόμετρα} * 16 \text{ ευρώ/υδρόμετρο} = 1.072.000 \text{ euro}$$

Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων (n)	Κέρδος P euro/3months
0-15	15	0,52	4.500	35.100
16-30	30	0,70	35.400	647.820
31-60	60	1,2	21.700	1.178.310
61-90	90	2,1	3.750	439.875
91-120	120	2,8	1.650	332.145

SUM= 2.633.250

Πίνακας 4.2: Κέρδος F' από το πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης για όλες τις κλάσεις

Το συνολικό κέρδος P που δίνει η κάθε μία κλάση προκύπτει με τον πολλαπλασιασμό τριών παραγόντων, του ανώτερου εύρους κλάσης, του αντίστοιχου συντελεστή α' και του αριθμού υδρομέτρων που αντιστοιχούν σε κάθε μία από αυτές. Συνεπώς, δημιουργείται η κάτωθι σχέση:

$$P = \text{εύρος κλάσης} * \alpha' * n \quad (2)$$

Αυτό που ισχύει για τη χρέωση κατανάλωσης νερού που εμπίπτει σε κλάσεις μεγαλύτερης της πρώτης είναι να γίνεται και αυτή κλιμακωτά μέχρι την τελική τιμή της ένδειξης. Συγκεκριμένα, για κατανάλωση, παραδείγματος χάρη, 25 m³ νερού, τιμή που ανήκει στο εύρος της δεύτερης κλάσης η χρέωση θα διαμορφωθεί ως εξής: 15m³ * 0,52euro/m³ , που είναι η χρέωση για την πρώτη κλάση συν το γινόμενο 10 m³ * 0,7 euro/m³ , που είναι τα κυβικά μέτρα που μένουν επί τον αντίστοιχο συντελεστή α' της δεύτερης κλάσης.

Παίρνοντας τη μέγιστη τιμή από κάθε κλάση βρίσκουμε και το αντίστοιχο μέγιστο κέρδος.

Έτσι, για τη δεύτερη κλάση προκύπτει μέγιστο κέρδος για 30.883 υδρόμετρα

$$P = ((15 \text{ m}^3 * 0,52 \text{ euro/m}^3) + (15 \text{ m}^3 * 0,7 \text{ euro/m}^3)) * 35.400 \text{ υδρόμετρα} = 647.820 \text{ euro}$$

Ομοίως για την τρίτη, τέταρτη και πέμπτη κλάση κατανάλωσης,

$$P = ((15 \text{ m}^3 * 0,52 \text{ euro/m}^3) + (15 \text{ m}^3 * 0,7 \text{ euro/m}^3) + (30 \text{ m}^3 * 1,2 \text{ euro/m}^3)) * 21.700 \text{ υδρόμετρα} = 1.178.310 \text{ euro}$$

$$P = ((15 \text{ m}^3 * 0,52 \text{ euro/m}^3) + (15 \text{ m}^3 * 0,7 \text{ euro/m}^3) + (30 \text{ m}^3 * 1,2 \text{ euro/m}^3) + (30 \text{ m}^3 * 2,1 \text{ euro/m}^3)) * 3.750 \text{ υδρόμετρα} = 439.875 \text{ euro}$$

και

$$P = ((15 \text{ m}^3 * 0,52 \text{ euro/m}^3) + (15 \text{ m}^3 * 0,7 \text{ euro/m}^3) + (30 \text{ m}^3 * 1,2 \text{ euro/m}^3) + (30 \text{ m}^3 * 2,1 \text{ euro/m}^3) + (30 \text{ m}^3 * 2,8 \text{ euro/m}^3)) * 1.650 \text{ υδρόμετρα} = 332.145 \text{ euro}$$

Το τελικό κέρδος που έχει η Δ.Ε.Υ.Α.Χ κάθε τρίμηνο από τους λογαριασμούς προκύπτει προσθέτοντας στο συνολικό κέρδος P το σταθερό κέρδος από το πάγιο F'.

$$T.P. = 2.633.250 \text{ euro} + 1.072.000 \text{ euro} = \mathbf{3.705.250 \text{ euro}}$$

Τα συνολικά κυβικά μέτρα που καταναλώνονται από τους χρήστες σε όλες τις κλάσεις είναι της τάξεως των **1.411.500m³** και η τιμή προκύπτει από το άθροισμα όλων των γινομένων των κυβικών που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση με το σύνολο των υδρομέτρων που εμπίπτουν στην ίδια κλάση.

5.2 Σενάρια

5.2.1 Το Πάγιο F παραμένει ως έχει

Το πρώτο σενάριο που θα μελετήσουμε είναι η περίπτωση που η Δ.Ε.Υ.Α.Χ δεν αλλάζει την πολιτική τιμολόγησης του νερού, δηλαδή παραμένει η χρέωση του παγίου F. Θα διερευνηθεί πώς μπορεί να διαμορφωθεί η κατανάλωση του νερού και κατ' επέκταση τα κέρδη της Δ.Ε.Υ.Α.Χ εάν οι πολίτες αποφάσιζαν από μόνοι τους να μειώσουν την κατανάλωση ως αποτέλεσμα δράσεων ευαισθητοποίησης και εξοικονόμησης. Θα υποθέσουμε ότι υπάρχουν τρεις υποθετικές αλλαγές-μειώσεις στην κατανάλωση. Στην πρώτη υπόθεση, η αλλαγή που κάνουν οι καταναλωτές είναι μικρή, στη δεύτερη είναι μεσαία και στην τρίτη είναι μεγάλη. Ακόμα κι αν η ΔΕΥΑΧ διατηρήσει την τρέχουσα πολιτική χρέωσης, υπάρχει πιθανότητα οι χρήστες να μειώσουν την κατανάλωση νερού.

Στην προηγούμενη ισχύουσα συνθήκη κάναμε παραδοχή ότι οι καταναλωτές έκαναν τη μέγιστη χρήση των κυβικών μέτρων νερού της κλάσης στην οποία ανήκαν. Συγκεκριμένα, εάν ένας καταναλωτής ανήκει στην πρώτη κλάση 0-15m³ θεωρήσαμε ότι καταναλώνει 15 m³, ένας που ανήκει στη δεύτερη κλάση 16-30m³ καταναλώνει 15m³, ένας χρήστης που ανήκει στην τρίτη κλάση 31-60m³ καταναλώνει 30m³, τιμή μέγιστη και για την τέταρτη και πέμπτη κλάση κατανάλωσης.

Στην παρούσα συνθήκη θα θεωρήσουμε ότι η προηγούμενη μέγιστη κατανάλωση αλλάζει εθελοντικά και η αλλαγή αυτή είναι, όπως αναφέρθηκε λίγο πιο πάνω, είτε μικρή είτε μεσαία είτε μεγάλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η αλλαγή που θα πρέπει να κάνουν οι καταναλωτές τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η δυσκολία να συμμετέχουν όλοι σε αυτή χωρίς να έχουν να περιμένουν ως αντάλλαγμα κάποια σχετική επιβράβευση ή διευκόλυνση από τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ..

Στις πρώτες δύο κλάσεις η μείωση που πραγματοποιείται είναι μικρότερη συγκριτικά με αυτή των υπολοίπων που ακολουθούν και αυτό γιατί ένας χρήστης που καταναλώνει λίγα κυβικά μέτρα νερού είναι δύσκολο να αλλάξει και να μειώσει δραματικά την υπάρχουσα κατανάλωση. Καθώς αυξάνεται η κατανάλωση σε όγκο είναι πιο εφικτή μια μεγαλύτερη εξοικονόμηση συνολικά. Επιπρόσθετα, όσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση τόσο μεγαλύτερο είναι και το κόστος που πρέπει να πληρώσει ο καταναλωτής γεγονός που ενισχύει την ανάγκη για μεγαλύτερη αλλαγή και, συνεπώς, μεγαλύτερη εξοικονόμηση.

Οι αλλαγές στην κατανάλωση παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα.

Υπάρχουσα Κατάσταση Μικρή Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14,75	0,52	4.500	34.515
16-30	29	0,70	35.400	994.740
31-60	59	1,2	21.700	1.152.270
61-90	88,5	2,1	3.750	428.063
91-120	117,5	2,8	1.650	320.595

SUM=2.930.183

Πίνακας 4: Κέρδος στην υπάρχουσα κατάσταση (F σταθερό) για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση

T.P.= 2.930.183 + 1.072.000 = 4.002.183 euro

Υπάρχουσα Κατάσταση Μεσαία Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14,5	0,52	4.500	33.930
16-30	28,75	0,70	35.400	988.545
31-60	58,5	1,2	21.700	1.139.250
61-90	88	2,1	3.750	424.125
91-120	117	2,8	1.650	318.285

SUM=2.904.135

Πίνακας 4.5: Κέρδος στην υπάρχουσα κατάσταση (F σταθερό) για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση

T.P.= 2.904.135 + 1.072.000 = 3.976.135 euro

Υπάρχουσα Κατάσταση Μεγάλη Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14	0,52	4.500	32.760
16-30	28	0,70	35.400	969.960
31-60	57,5	1,2	21.700	1.113.210
61-90	87	2,1	3.750	416.250
91-120	116,5	2,8	1.650	315.975

SUM=2.848.155

Πίνακας 4.6: Κέρδος στην υπάρχουσα κατάσταση (F σταθερό) για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση

$$T.P.= 2.848.155 + 1.072.000 = 3.920.155 \text{ euro}$$

5.2.2 Το Πάγιο F αλλάζει

Δουλεύοντας τώρα τα Σενάρια αλλαγής της πολιτικής της ΔΕΥΑΧ διαμορφώνεται ο κάτωθι πίνακας με τις νέες τιμές του συντελεστή α' που δημιουργούνται. Η σκέψη πίσω από αυτή την αλλαγή των τιμών για κάθε κλάση είναι ότι η ΔΕΥΑΧ, αν και επιχείρηση με κοινωφελή- μη κερδοσκοπικό χαρακτήρα πρέπει να κρατήσει μειωμένες απώλειες από τις χρεώσεις της κατανάλωσης και όχι να ρισκάρει τη βιωσιμότητά της ως επιχείρηση. Κατά αυτόν τον τρόπο, θα μελετηθούν σενάρια μείωσης του Παγίου και αύξησης της ογκομετρικής χρέωσης από πλευράς ΔΕΥΑΧ.

Κλάση	Υπάρχουσα Χρέωση ανά κυβικό Συντελεστής α'	Προτεινόμενη τιμή για Συντελεστή α' όταν $F=0$	Προτεινόμενη τιμή για Συντελεστή α' όταν $F=F/3$	Προτεινόμενη τιμή για Συντελεστή α' όταν $F=F/2$	Προτεινόμενη τιμή για Συντελεστή α' όταν $F=2F/3$
0-15	0,52	0,70	0,65	0,60	0,58
16-30	0,70	1	0,98	0,86	0,78
31-60	1,2	1,6	1,4	1,3	1,25
61-90	2,1	2,5	2,4	2,2	2,15
91-120	2,8	3,2	3	2,9	2,85

Πίνακας 4.7 : Αλλαγές τιμών του συντελεστή α' για όλες τις κλάσεις και τα πιθανά σενάρια

Σενάριο 1ο

F=0

Στην περίπτωση που η Δ.Ε.Υ.Α.Χ αποφασίσει να μη χρεώνει με πάγιο τους καταναλωτές τότε η μείωση της κατανάλωσης που αναμένεται να συμβεί θα είναι η μεγαλύτερη δυνατή και αυτό γιατί οι καταναλωτές σε αυτή την περίπτωση έχουν ένα ισχυρό κίνητρο και την ευκαιρία για να επιτύχουν τη μέγιστη οικονομική εξοικονόμηση που μπορούν.

Για κάθε κλάση διαμορφώνεται ένας πίνακας που παρουσιάζει τη μείωση της κατανάλωσης για κάθε πιθανή αλλαγή.

F=0	Κατανάλωση (m³)		
Κλάση	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
0-15	14	13,5	12,75
16-30	27,5	27	26,75
31-60	55	54,5	53
61-90	83	80	78
91-120	110	105	100

Πίνακας 4.8 : Μεταβολές στην κατανάλωση για F=0

Στην περίπτωση που το πάγιο είναι μηδενικό το κέρδος που προκύπτει για τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ προέρχεται αποκλειστικά από την κοστολόγηση του όγκου νερού που καταναλώνεται από τους δημότες. Το κέρδος αυτό για τις τρεις διαφορετικού μεγέθους μειώσεις υπολογίζεται στους κάτωθι πίνακες.

F=0 Μικρή Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14	0,52 / 0,70	4.500	44.100
16-30	27,5	0,70 / 1	35.400	718.620
31-60	55	1,2 / 1,6	21.700	1.265.110
61-90	83	2,1 / 2,5	3.750	419.250
91-120	110	2,8 / 3,2	1.650	315.145

SUM=2.746.225

Πίνακας 4.9: Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν F=0

T.P.= 2.746.225 euro

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρέωση είναι κλιμακωτή. Αυτό που ισχύει στην επεξεργασία της παρούσας εργασίας είναι να κρατείται σταθερή η χρέωση ανά κυβικό μέτρο (ο συντελεστής α' δηλαδή) για κάθε κλάση όταν υπολογίζουμε ένδειξη μιας επομένης της και να αλλάζει μόνο ο συντελεστής της αντίστοιχης κλάσης που μελετάται κάθε φορά. Αναλυτικότερα, για την κλάση 1 (0-15m³) ο συντελεστής α' έχει τιμή 0,7euro/ m³ όταν υπολογίζουμε αποκλειστικά και μόνο το κέρδος που προκύπτει από τη χρέωση λογαριασμού που ανήκει σε αυτή την κλάση ενώ για το κέρδος της Δ.Ε.Υ.Α.Χ. για μια επόμενη, μεγαλύτερη σε κατανάλωση κλάση η τιμή αυτή είναι 0,52euro/m³.

Για την πρώτη κλάση (0-15m³), όπου στο συγκεκριμένο σενάριο F=0, η μέγιστη κατανάλωση είναι 14m³ και ο συντελεστής α' είναι ίσος με 0,7 το κέρδος P είναι:

$$P = 14 \text{ m}^3 * 0,7 \text{ euro/m}^3 * 4.500 = 44.100 \text{ euro}$$

Για τον υπολογισμό της δεύτερης κλάσης (16-30m³) το κέρδος προκύπτει ως εξής:

$$P = ((15\text{m}^3 * 0,52\text{euro/m}^3) + (12,5\text{m}^3 * 1\text{euro/m}^3)) * 35.400 \text{ υδρόμετρα} = 718.620 \text{ euro}$$

Για την τρίτη κλάση (31-60m³), με συντελεστή α' ειδικά και μόνο για την κλάση αυτή να είναι ίσο με 1,6 euro/m³ έχουμε :

$$P = ((15 \text{ m}^3 * 0,52 \text{ euro/m}^3) + (15\text{m}^3 * 0,7 \text{ euro/m}^3) + (25\text{m}^3 * 1,6 \text{ euro/m}^3)) * 21.700 \text{ υδρόμετρα} = 1.265.110 \text{ euro}$$

Ομοίως προκύπτουν και οι υπόλοιπες τιμές του πίνακα, κρατώντας τις τιμές χρέωσης του συντελεστή α' σύμφωνα με την ισχύουσα πολιτική και αλλάζοντας μόνο την τιμή βάσει αυτής που προτείνεται για κάθε περίπτωση.

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.167.250 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 17%.

F=0 Μεσαία Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	13,5	0,52 / 0,70	4.500	42.525
16-30	27	0,70 / 1	35.400	700.920
31-60	54,5	1,2 / 1,6	21.700	1.247.750
61-90	80	2,1 / 2,5	3.750	391.125
91-120	105	2,8 / 3,2	1.650	272.745

SUM=2.655.065

Πίνακας 4.10: Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν F=0

T.P.= 2.655.065 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.116.950 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 21%.

F=0 Μεγάλη Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	12,75	0,52 / 0,70	4.500	40.163
16-30	26,75	0,70 / 1	35.400	692.070
31-60	53	1,2 / 1,6	21.700	1.195.670
61-90	78	2,1 / 2,5	3.750	372.375
91-120	100	2,8 / 3,2	1.650	246.345

SUM=2.546.623

Πίνακας 4.11: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=0$

T.P.= 2.546.623 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.056.425 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 25%.

Σενάριο 2ο

F=F/3

Στο τρίτο σενάριο θα εξετάσουμε πώς θα διαμορφωθεί η κατανάλωση και το κέρδος από αυτή εάν το πάγιο χρέωσης έχει τιμή ίση με το 1/3 του ισχύοντος.

Για κάθε κλάση διαμορφώνεται ένας πίνακας που παρουσιάζει τη μείωση της κατανάλωσης για κάθε πιθανή αλλαγή.

F=F/3	Κατανάλωση (m³)		
Κλάση	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
0-15	14,2	13,75	13
16-30	28,75	27,25	26,75
31-60	57	56	55,5
61-90	84	82	80
91-120	112	108	105

Πίνακας 4.12: Μεταβολές στην κατανάλωση για $F=F/3$

Το νέο κέρδος F' από το πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης που προκύπτει για τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ για το σύνολο των 67.000 υδρομέτρων είναι

$$F' = 67.000 \text{ υδρόμετρα} * 5,33 \text{ euro/υδρόμετρο} = 357.110 \text{ euro}$$

Οι απολαβές που θα έχει η Δ.Ε.Υ.Α.Χ για τις τρεις αλλαγές στην κατανάλωση υπολογίζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

F=F/3 Μικρή Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14,2	0,52 / 0,65	4.500	41.535
16-30	28,75	0,70 / 0,98	35.400	753.135
31-60	57	1,2 / 1,4	21.700	1.217.370
61-90	84	2,1 / 2,4	3.750	419.625
91-120	112	2,8 / 3	1.650	302.445

SUM=2.734.110

Πίνακας 4.13: Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/3$

$$T.P. = 2.734.110 + 357.110 = 3.091.220 \text{ euro}$$

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.262.850 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 11%.

F=F/3 Μεσαία Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	13,75	0,52 / 0,65	4.500	40.219
16-30	27,25	0,70 / 0,98	35.400	701.097
31-60	56	1,2 / 1,4	21.700	1.186.990
61-90	82	2,1 / 2,4	3.750	401.625
91-120	108	2,8 / 3	1.650	282.645

SUM=2.612.576

Πίνακας 4.14: Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν F=F/3

$$T.P. = 2.612.576 + 357.110 = 2.969.686 \text{ euro}$$

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.171.925 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 17%.

F=F/3 Μεγάλη Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	13	0,52 / 0,65	4.500	38.025
16-30	26,75	0,70 / 0,98	35.400	683.751
31-60	55,5	1,2 / 1,4	21.700	1.171.800
61-90	80	2,1 / 2,4	3.750	383.625
91-120	105	2,8 / 3	1.650	267.795

SUM=2.544.996

Πίνακας 4.15: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν F=F/3

$$T.P. = 2.544.795 + 357.110 = 2.902.106 \text{ euro}$$

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.127.550 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 20%.

Σενάριο 3ο

$$F=F/2$$

Στην περίπτωση που η Δ.Ε.Υ.Α.Χ προχωρήσει σε μείωση του παγίου κατά 50% τότε ο πίνακας που παρουσιάζει τη μείωση της κατανάλωσης για κάθε πιθανή αλλαγή είναι ο ακόλουθος.

F=F/2	Κατανάλωση (m³)		
Κλάση	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
0-15	14,5	14	13,8
16-30	28,25	27	26,75
31-60	57	56	55,5
61-90	84	82	80
91-120	115	113,5	110

Πίνακας 4.16: Μεταβολές στην κατανάλωση για $F=F/2$

Το νέο κέρδος F' από το πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης που προκύπτει για τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ για το σύνολο των 67.000 υδρομέτρων είναι

$$F' = 67.000 \text{ υδρόμετρα} * 8 \text{ euro/υδρόμετρο} = 536.000 \text{ euro}$$

Ο πίνακας των κερδών για τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ για τις τρεις πιθανές αλλαγές διαμορφώνονται ως εξής:

F=F/2 Μικρή Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14,5	0,52 / 0,60	4.500	39.150
16-30	28,25	0,70 / 0,86	35.400	679.503
31-60	57	1,2 / 1,3	21.700	1.158.780
61-90	84	2,1 / 2,2	3.750	401.625
91-120	115	2,8 / 2,9	1.650	313.670

SUM=2.592.228

Πίνακας 4.17 : Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/2$

T.P.= 2.592.228 + 536.000 = 3.128.228 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.1251.450 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 20%.

F=F/2 Μεσαία Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14	0,52 / 0,60	4.500	37.800
16-30	27	0,70 / 0,86	35.400	641.448
31-60	56	1,2 / 1,3	21.700	1.130.570
61-90	82	2,1 / 2,2	3.750	385.125
91-120	113,5	2,8 / 2,9	1.650	305.993

SUM= 2.500.936

Πίνακας 4.18: Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/2$

T.P.= 2.500.936 + 536.000 = 3.036.936 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.173.275 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 16%.

$F=F/2$ Μεγάλη Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	13,8	0,52 / 0,60	4.500	37.260
16-30	26,75	0,70 / 0,86	35.400	633.837
31-60	55,5	1,2 / 1,3	21.700	1.116.465
61-90	80	2,1 / 2,2	3.750	368.625
91-120	110	2,8 / 2,9	1.650	289.245

SUM=2.445.432

Πίνακας 4.19: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=F/2$

T.P.= 2.445.432 + 536.000 = 2.981.432 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.139.400 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 19%.

Σενάριο 4ο

$F=2F/3$

Στο σενάριο όπου η Δ.Ε.Υ.Α.Χ προχωρά σε μείωση του παγίου της με τιμή ίση με τα 2/3 της χρέωσης που εφαρμόζει μέχρι σήμερα, η μείωση στην οποία θα προχωρήσουν με τη σειρά τους οι καταναλωτές είναι η εξής:

F=2F/3	Κατανάλωση (m³)		
Κλάση	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
0-15	14,5	13,75	13,25
16-30	28,75	28	27,75
31-60	57,5	56,75	55,75
61-90	86	84	81
91-120	115,5	115	114

Πίνακας 4.20: Μεταβολές στην κατανάλωση για $F=2F/3$

Το νέο κέρδος F' από το πάγιο ύδρευσης και αποχέτευσης που προκύπτει για τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ για το σύνολο των 67.000 υδρομέτρων είναι

$$F' = 67.000 \text{ υδρόμετρα} * 10,66 \text{ euro/υδρόμετρο} = 714.220 \text{ euro}$$

$$F' = 67.000 \text{ υδρόμετρα} * 8 \text{ euro/υδρόμετρο} = 536.000 \text{ euro}$$

Ο πίνακας των κερδών για τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ για τις τρεις πιθανές αλλαγές διαμορφώνονται ως εξής:

F=2F/3 Μικρή Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	14,5	0,52 / 0,58	4.500	37.845
16-30	28,75	0,70 / 0,78	35.400	655.785
31-60	57,5	1,2 / 1,25	21.700	1.143.046
61-90	86	2,1 / 2,15	3.750	413.250
91-120	115,5	2,8	1.650	311.355

SUM=2.561.281

Πίνακας 4.21: Κέρδος για μικρή αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=2F/3$

T.P.= 2.561.281 + 714.220 = 3.275.501 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.288.325 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 8%.

F=2F/3 Μεσαία Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	13,75	0,52 / 0,58	4.500	35.888
16-30	28	0,70 / 0,78	35.400	635.076
31-60	56,75	1,2 / 1,25	21.700	1.122.704
61-90	84	2,1 / 2,15	3.750	397.126
91-120	115	2,8	1.650	300.045

SUM=2.499.838

Πίνακας 4.22: Κέρδος για μεσαία αλλαγή στην κατανάλωση όταν $F=2F/3$

T.P.= 2.499.838 + 714.220 = 3.214.058 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.233.800 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 13%.

F=2F/3 Μεγάλη Αλλαγή				
Κλάση	Ανώτερο Όριο	Συντελεστής α'	Αριθμός Υδρομέτρων n	Κέρδος P euro/3months
0-15	13,25	0,52 / 0,58	4.500	34.583
16-30	27,75	0,70 / 0,78	35.400	628.173
31-60	55,75	1,2 / 1,25	21.700	1.095.579
61-90	81	2,1 / 2,15	3.750	397.126
91-120	114	2,8	1.650	304.425

SUM=2.435.698

Πίνακας 4.23: Κέρδος για μεγάλη αλλαγή στην κατανάλωση όταν F=2F/3

T.P.= 2.435.698 + 714.220 = 3.149.918 euro

Τα κυβικά μέτρα που καταναλώνονται στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στην τιμή των 1.188.100 m³. Η μείωση είναι της τάξεως του 16%.

5.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μήτρες του παιγνίου μεταξύ των δύο αντιπάλων παικτών, της ΔΕΥΑΧ και των καταναλωτών δηλαδή. Οι μήτρες περιέχουν την μεταβολή των κερδών της ΔΕΥΑΧ ανάλογα με την πολιτική κοστολόγησης που εφαρμόζει και των απωλειών που θα υποστούν οι καταναλωτές με την μεταβολή της καταναλωτικής τους συνήθειας.

Οι τιμές των κελιών κάθε φορά αποτελούν το ποσοστό αλλαγής σε σχέση με την αντίστοιχη κατάσταση και προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{\text{Κέρδος Περίπτωσης} - \text{Κέρδος Υπάρχουσας Κατάστασης}}{\text{Κέρδος Υπάρχουσας Κατάστασης}} * 100\%$$

Το “Κέρδος περίπτωσης” αλλάζει κάθε φορά ανάλογα με το σενάριο στο οποίο βρισκόμαστε και την περίπτωση της αλλαγής(μικρή, μεσαία, μεγάλη) ενώ το “Κέρδος υπάρχουσας κατάστασης” είναι σταθερό και είναι το κέρδος που έχει η Δ.Ε.Υ.Α.Χ χωρίς να αλλάξει πολιτική χρέωσης του παγίου και χωρίς να αλλάξουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες οι χρήστες.

Παραδείγματος χάρι, όταν η ΔΕΥΑΧ δεν αλλάζει πολιτική και οι καταναλωτές πραγματοποιούν μικρή αλλαγή στην κατανάλωσή τους το ποσοστό που προκύπτει σύμφωνα με τη σχέση (1) είναι

$$\frac{2.930.183 - 3.705.250}{3.705.250} * 100\% = -20,92\% = -0,21$$

Το αρνητικό πρόσημο δηλώνει ότι η ΔΕΥΑΧ θα μειώσει τα έσοδά της.

Σενάριο 1 F=0			ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ			
			Δεν Αλλάζει Πολιτική	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
			1	2	3	4
Δ.Ε.Υ.Α.Χ.	Δεν Αλλάζει Πολιτική	A	[0 , 0]	[-0.21 , 0.21]	[-0.22 , 0.22]	[-0.23 , 0.23]
	Αλλάζει Πολιτική	B	[-0.29 , 0.29]	[-0.26 , 0.26]	[-0.28 , 0.28]	[-0.31 , 0.31]

Πίνακας 4.24: Μήτρες του παιγνίου για το Σενάριο 1

Τα κελιά A2,A3,A4 παίρνουν τις τιμές τους από τους Πίνακες 4,5 και 6 αντίστοιχα χρησιμοποιώντας τη σχέση (1) που αναφέρθηκε προηγουμένως. Στους πίνακες εξετάστηκε η μεταβολή των κερδών της ΔΕΥΑΧ στη περίπτωση που αυτή δεν προβεί σε αλλαγή της πολιτικής της ενώ από την άλλη μεριά οι καταναλωτές προχωρήσουν σε μείωση της κατανάλωσής τους σύμφωνα με τα τρία σενάρια

συμπεριφοράς που έχουν ήδη αναφερθεί(μικρή,μεσαία και μεγάλη αλλαγή). Τα κελιά B2,B3,B4 παίρνουν τις τιμές τους από τους πίνακες 9,10 και 11.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο κάθε ένας από τους παίκτες που συμμετέχουν στο παιχνίδι επιλέγει τη στρατηγική που θα του επιφέρει την καλύτερη δυνατή έκβαση από το σύνολο των χειρότερων αποτελεσμάτων. Ο παίκτης Α προσπαθεί να μεγιστοποιήσει το κέρδος του ενώ ο Β προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τις απώλειές του.

Αξιολογώντας τα δεδομένα του πίνακα 24 όπου εξετάζονται τα αποτελέσματα του Σεναρίου 1 προκύπτει ότι οι απώλειες του της ΔΕΥΑΧ κυμαίνονται μεταξύ του 26-31% . Πρόκειται για σοβαρή απώλεια καθώς είναι το σενάριο στο οποίο το Πάγιο έχει μηδενική τιμή και αυτό συνεπάγεται αποκλεισμό ενός σημαντικού παράγοντα εσόδων για την επιχείρηση. Παράλληλα, είναι το σενάριο όπου οι χρήστες μπορούν να εξοικονομήσουν αφενός πολλά χρήματα και αφετέρου τα περισσότερα κυβικά μέτρα νερού με ποσοστό που είναι από 17% για μικρή αλλαγή στο προφίλ της κατανάλωσης, 21% για μεσαία αλλαγή και φτάνει έως και 25% εάν επιδείξουν μεγάλη αλλαγή, γίνεται, δηλαδή, λόγος για ένα ποσοστό της τάξεως του ενός πέμπτου ή ενός τετάρτου εξοικονόμησης του υδάτινου πόρου οδηγώντας σε ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα για το περιβάλλον.

Σενάριο 2 F=F/3			ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ			
			Δεν Αλλάζει Πολιτική	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
			1	2	3	4
Δ.Ε.Υ.Α.Χ.	Δεν Αλλάζει Πολιτική	A	[0 , 0]	[-0.21 , 0.21]	[-0.22 , 0.22]	[-0.23 , 0.23]
	Αλλάζει Πολιτική	B	[-0.19 , 0.19]	[-0.17 , 0.17]	[-0.20 , 0.20]	[-0.21 , 0.21]

Πίνακας 4.25 : Μήτρες του Παιγνίου για το Σενάριο 2

Τα κελιά A2,A3,A4 παίρνουν τις τιμές τους από τους Πίνακες 4,5 και 6 αντίστοιχα και παραμένουν οι ίδιες για την στρατηγική της μη αλλαγής της πολιτικής. Τα κελιά B2,B3,B4 παίρνουν τις τιμές τους από τους πίνακες 13,14 και 15 αντίστοιχα.

Στον Πίνακα 25 αποτυπώνονται οι αμοιβές των δύο παικτών. Οι διαθέσιμες απώλειες ανέρχονται σε ένα εύρος τιμών -0.17 έως -0.21. Οι απώλειες αυτές έχουν αισθητή διαφορά με αυτές που καταγράφονται όταν το Πάγιο είναι μηδενικό και είναι πιο συμφέρουσες για τη Δ.Ε.Υ.Α.Χ. συγκριτικά

με το σενάριο που εξετάστηκε προηγουμένως. Η ΔΕΥΑΧ καταφέρνει να εισπράξει κέρδη από την επιβολή του Παγίου ενώ ταυτόχρονα η εξοικονόμηση του νερού κινείται σε αρκετά κοντινά σε μέγεθος τιμές. Συγκεκριμένα, 11% εάν οι καταναλωτές παρουσιάσουν μικρή αλλαγή στη χρήση του νερού, 17% εάν κάνουν μια μεσαία τάξεως αλλαγή και 20% εάν προβούν σε μια μεγάλη αλλαγή. Οι καταναλωτές και σε αυτό το σενάριο εξοικονομούν αρκετά στον τριμηνιαίο λογαριασμό τους και ταυτόχρονα συνεισφέρουν σημαντικά σε ένα πολύ σοβαρό επίτευγμα όπως είναι αυτό της εξοικονόμησης των πόρων νερού.

Σενάριο 3 F=F/2			ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ			
			Δεν Αλλάζει Πολιτική	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
			1	2	3	4
Δ.Ε.Υ.Α.Χ.	Δεν Αλλάζει Πολιτική	A	[0 , 0]	[-0.21 , 0.21]	[-0.22 , 0.22]	[-0.23 , 0.23]
	Αλλάζει Πολιτική	B	[-0.14 , 0.14]	[-0.16 , 0.16]	[-0.18 , 0.18]	[-0.20 , 0.20]

Πίνακας 4.26 : Μήτρες του Παιγνίου για το Σενάριο 3

Τα κελιά B3,B3,B4 παίρνουν τις τιμές τους από τους Πίνακες 17,18 και 19 αντίστοιχα.

Οι τιμές στον Πίνακα 4.26 αντιστοιχούν στα μεταβλητά ποσοστά των κερδών και των ζημιών μεταξύ της τρέχουσας κατάστασης και των τριών εξεταζόμενων δημοσίων απαντήσεων για κάθε σενάριο πολιτικής χρέωσης. Για τη ΔΕΥΑΧ, οι απώλειές της κυμαίνονται μεταξύ του -0.16 και -0.20(16% και 20% δηλαδή). Είναι ένα εύρος τιμών που είναι πολύ κοντά στο αντίστοιχο εύρος που προκύπτει για F ίσο με F/3. Παράλληλα, οι καταναλωτές επιδίδονται σε μία μείωση της κατανάλωσης της τάξεως του 11% για μικρή αλλαγή του καταναλωτικού προφίλ τους, 16% για μία μεσαία αλλαγή και 19% για μία μεγάλη αλλαγή. Τα ποσοστά αυτά εξοικονόμησης των υδατικών πόρων είναι σχεδόν ίδια με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από τη μελέτη του προηγούμενου σεναρίου όπου F θα ισούται με F/3. Συγκεκριμένα, για μικρή αλλαγή στις καταναλωτικές συνήθειες το ποσοστό που εξοικονομείται είναι ακριβώς το ίδιο και συγκεκριμένα ίσο με 11% ενώ για τις άλλες δύο εκδοχές της αλλαγής η διαφορά που παρατηρείται στα ποσοστά είναι αυτή της μιας μονάδας. Τα ποσοστά εξοικονόμησης νερού που προκύπτουν και σε αυτό το σενάριο είναι ιδιαίτερος σημαντικά και επιδραστικά για τον εξεταζόμενο φυσικό πόρο.

Σενάριο 4 F=2F/3			ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ			
			Δεν Αλλάζει Πολιτική	Μικρή Αλλαγή	Μεσαία Αλλαγή	Μεγάλη Αλλαγή
			1	2	3	4
Δ.Ε.Υ.Α.Χ.	Δεν Αλλάζει Πολιτική	A	[0 , 0]	[-0.21 , 0.21]	[-0.22 , 0.22]	[-0.23 , 0.23]
	Αλλάζει Πολιτική	B	[-0.10 , 0.10]	[-0.12 , 0.12]	[-0.13 , 0.13]	[-0.15 , 0.15]

Πίνακας 4.27 : Μήτρες του Παιγνίου για το Σενάριο 4

Τα κελιά B2,B3,B4 παίρνουν τις τιμές τους από τους Πίνακες 21,22 και 23 αντίστοιχα.

Στο τελευταίο εξεταζόμενο σενάριο η ζημία που καταγράφεται για τη ΔΕΥΑΧ είναι η μικρότερη δυνατή συγκριτικά με τα υπόλοιπα σενάρια και παίρνει τιμές -0.12 , -0.13 και -0.15. Η ΔΕΥΑΧ σε αυτή την περίπτωση μειώνει σε μικρότερο βαθμό τις απώλειες που προέρχονται από τη μείωση του Παγίου καθώς είναι η μικρότερη έκπτωση στην οποία μπορεί να προχωρήσει χωρίς, ωστόσο, να θεωρείται την ίδια στιγμή αμελητέα η αλλαγή αυτή που προτείνει στην τιμολόγηση. Ταυτόχρονα, καταγράφεται και η μικρότερη δυνατή μείωση της κατανάλωσης του νερού που μπορεί να επιτευχθεί από την προσπάθεια των πολιτών να περιορίσουν τη χρήση νερού οικιακής χρήσης, μία μείωση που αγγίζει το 8% για μικρή αλλαγή των καταναλωτικών τους συνηθειών, 13% για μεσαία αλλαγή ενώ τέλος, φτάνει μέχρι το ποσοστό της τάξεως του 16% στην περίπτωση που προχωρήσουν σε μεγάλη αλλαγή. Οι τιμές αυτές υστερούν αρκετά συγκριτικά με αυτές που προέκυψαν κατά τη μελέτη άλλων σεναρίων προηγουμένως, χωρίς ωστόσο να μην είναι ικανοποιητικές για την επίτευξη του περιβαλλοντικού στόχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

Συζήτηση και Προτάσεις

Ο σκοπός των πινάκων της 5.3 είναι να προσδιορίσει την ισορροπία Nash. Αυτό το παιχνίδι έχει τουλάχιστον ένα σημείο ισορροπίας, για το οποίο και οι δύο παίκτες επιλέγουν τις πιο συμφέρουσες στρατηγικές, έχοντας επίγνωση των επιλογών του άλλου. Η στρατηγική ενός παίκτη είναι η καλύτερη απάντηση στη στρατηγική που επιλέγει ο αντίπαλος παίκτης. Στην περίπτωση του παίκτη 1 (ΔΕΥΑΧ), η καλύτερη στρατηγική περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός σεναρίου που θα έχει τη μικρότερη επίδραση στα τρέχοντα κέρδη του. Ζητούμενο είναι να βρεθεί το σενάριο που θα ελαχιστοποιήσει την απώλεια της ΔΕΥΑΧ και συγχρόνως θα εξασφαλίσει τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση νερού. Από την άλλη πλευρά, η καλύτερη στρατηγική για τον παίκτη 2 (χρήστες νερού) είναι μια απάντηση που θα μεγιστοποιήσει τα κέρδη τους. Δηλαδή μια απάντηση που θα μειώσει την ογκομετρική κατανάλωση νερού και κατά συνέπεια θα μειώσει τον τριμηνιαίο λογαριασμό νερού και ταυτόχρονα θα έχει και ένα περιβαλλοντικό αντίκτυπο με την εξοικονόμηση κυβικών μέτρων που αντλούνται και προορίζονται για δική τους χρήση.

Από τη στιγμή που το παίγνιο αυτό αποτελεί ένα παίγνιο μηδενικού αθροίσματος, κάθε λύση που επιτυγχάνεται θεωρείται και σημείο ισορροπίας. Παρόλο που και η τρέχουσα κατάσταση που απεικονίζεται στον πίνακα αποπληρωμής είναι ακόμα ένα σημείο ισορροπίας εντούτοις δεν μπορεί να θεωρηθεί βέλτιστη λύση συγκριτικά με τα όσα προκύπτουν από τα νέα προτεινόμενα σενάρια.

Το νέο σημείο ισορροπίας που αντιστοιχεί στη βέλτιστη επιλογή στρατηγικής και για τους δύο παίκτες ταυτόχρονα προκύπτει έχοντας ως δεδομένο ότι η ΔΕΥΑΧ θα προτιμήσει να εφαρμόσει ένα από τα 4 προτεινόμενα σενάρια ενώ οι καταναλωτές συγχρόνως, με αύξηση της ευαισθητοποίησής τους απέναντι στην εξοικονόμηση των υδατικών πόρων θα αλλάξουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες και θα καταφύγουν σε ένα από τα προτιμώμενα σενάρια χαμηλής, μέσης ή υψηλής απόκρισης.

Συγκρίνοντας τους πίνακες των αμοιβών σε συνδυασμό με τα ποσοστά νερού που μπορούν να εξοικονομηθούν σε κάθε περίπτωση μπορούμε να οδηγηθούμε στα ακόλουθα συμπεράσματα.

- Το σενάριο μέσης απόκρισης δρα υπέρ των καταναλωτών, μαζί με το σενάριο υψηλής απόκρισης, ανεξάρτητα από τη στρατηγική που ακολουθεί η ΔΕΥΑΧ ενώ το σενάριο μικρής απόκρισης λειτουργεί υποστηρικτικά περισσότερο για την επιχείρηση σε όλες τις πιθανές περιπτώσεις μείωσης του παγίου.
- Το 1ο Σενάριο όπου $F=0$ απορρίπτεται ως επιλογή καθώς είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό ένα ασύμφορο για τη λειτουργία της ΔΕΥΑΧ σενάριο(η επιχείρηση χάνει όλα τα έσοδά της από την επιβολή του παγίου) ενώ ταυτόχρονα το περιβαλλοντικό του όφελος, παρόλο που είναι το μεγαλύτερο δυνατό που θα μπορούσε να επιτευχθεί, είναι πολύ κοντά με ποσοστά που δίνουν άλλες περιπτώσεις.
- Το αμέσως επόμενο σενάριο που θα μπορούσαμε να απορρίψουμε είναι αυτό που μελετήθηκε τελευταίο όπου η τιμή του παγίου είναι ίση με τα $2/3$ της υπάρχουσας χρέωσης. Σε αυτή την περίπτωση από τη μια πλευρά οι απώλειες της Δ.Ε.Υ.Α.Χ. είναι οι λιγότερες δυνατές που θα μπορούσε να αποκτήσει μέσα από μια διαδικασία κατά την οποία αναγκαστικά πρέπει να οδηγηθεί σε αλλαγή της

πολιτικής της και από την άλλη η εξοικονόμηση των υδατικών πόρων είναι η μικρότερη που μπορεί να παρατηρηθεί και με αισθητή διαφορά μάλιστα εάν συγκριθεί με την αντίστοιχη εξοικονόμηση που παρατηρείται για $F=F/2$ και $F=F/3$. Συγκριτικά με το 1ο σενάριο είναι σαφώς μία καλύτερη επιλογή αλλά δεν παύει να παραμένει λιγότερο αποτελεσματική εάν ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα των δύο υπολοίπων εναλλακτικών.

- Συγκεκριμένα, τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα τόσο για τη ΔΕΥΑΧ όσο και για τους πολίτες και το περιβάλλον φαίνεται να προκύπτουν από την εφαρμογή του 3ου Σεναρίου όπου η ΔΕΥΑΧ προχωρά σε μία μείωση του παγίου κατά το ήμισυ. Το 3ο Σενάριο συγκριτικά με το 2ο υπερτερεί ελαφρώς. Αυτό συμβαίνει γιατί και τα δύο παρουσιάζουν σχεδόν ίδια ποσοστά εξοικονόμησης πόρων νερού αλλά το 3ο Σενάριο (όπου $F=F/2$) “κερδίζει” καθώς είναι η περίπτωση αυτή που φέρει τη μικρότερη απώλεια στον πίνακα των αμοιβών για την επιχείρηση. Θα πρέπει, επίσης, να αναφερθεί ότι η μέση απόκριση και για αυτά τα δύο Σενάρια (2 και 3) πολιτικής χρέωσης καταφέρνει να διατηρήσει τα τρέχοντα κέρδη της ΔΕΥΑΧ, χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη λειτουργία της εταιρείας, μία απώλεια που ανέρχεται στο 18%. Στη συνέχεια μάλιστα θα εξηγηθεί και ο λόγος για τον οποίο το 18% δεν είναι η πραγματική απώλεια καθώς δεν συνυπολογίστηκαν βασικές παράμετροι στην εξίσωση (1) η οποία υπολογίζει το κέρδος της επιχείρησης. Συμπερασματικά, έχει καταστεί σαφές πως το σημείο B4 (-0.18, 0.18) του Πίνακα Πληρωμών 4.26 όπου F ίσο με το μισό της υπάρχουσας τιμής του παγίου είναι το βέλτιστο σημείο μας και η λύση του παιγνίου.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι εάν οι καταναλωτές δεν προσαρμόσουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες στις νέες προτεινόμενες στρατηγικές χρέωσης, η απώλειά τους μπορεί να αυξηθεί και, συνεπώς, χρειάζεται συνεργασία προκειμένου να οδηγηθούν σε επιθυμητά αποτελέσματα.

Στο σημείο αυτό είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί πως ο τρόπος με τον οποίο έγινε η επιλογή του καλύτερου δυνατού σεναρίου βασίζεται στις τιμές κέρδους/απώλειας ευκαιρίας. Ειδικότερα, με τον τελευταίο όρο εννοούμε ότι οποιαδήποτε πλεονάζουσα ζήτηση η οποία θα μείνει ανικανοποίητη δεν προκαλεί κάποιο επιπλέον κόστος εκτός του ότι χάθηκε η πώληση και, επομένως, η ευκαιρία να αποκομίσουμε από αυτή κάποιο κέρδος (κόστος ευκαιρίας, opportunity loss). Οι τιμές αυτές προκύπτουν από τις διάφορες δοκιμές και τροποποιήσεις που μπορεί να υποστεί η εξίσωση (1) που δίνει τη συνολική τιμή του νερού. Ωστόσο, η εξίσωση αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο ρεαλιστική σχέση που θα περιγράψει το οικονομικό κέρδος και θα προσεγγίσει την τιμολογιακή πολιτική της Δ.Ε.Υ.Α.Χ. για το νερό. Οι απώλειες που παρουσιάζονται στους πίνακες είναι υψηλότερες απ' ό,τι στην πραγματικότητα και είναι πολύ πιθανό τα σενάρια που μελετήθηκαν να οδηγούν και σε κέρδος της επιχείρησης. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν ήταν δυνατό να υπολογιστεί στην παρούσα εργασία και με τα δεδομένα που υπήρχαν στη διάθεση μας το κέρδος που έχει η επιχείρηση από τις μειωμένες απαιτήσεις νερού του καταναλωτικού κοινού. Η άντληση λιγότερων κυβικών μέτρων από τους υδατικούς πόρους του Δήμου, η μειωμένη αγορά κυβικών μέτρων νερού και τα μειωμένα έξοδα άντλησης (εργατικό δυναμικό, μεταφορά κλπ) είναι μερικοί από τους παράγοντες που καθορίζουν τα τελικά έσοδα της ΔΕΥΑΧ.

Ενδεχομένως να οδηγηθούμε σε επιλογή άλλων σεναρίων με σκοπό την εξοικονόμηση των υδάτινων πόρων εάν στην εξίσωση αυτοί μπορέσουν να προστεθούν και άλλες παράμετροι μεταβάλλοντας τα τελικά αποτελέσματά μας.

Υπάρχουν ορισμένες σημαντικές παράμετροι που μπορούν να ληφθούν υπόψη τόσο στην εξίσωση (1) όσο και στην τιμολόγηση του νερού.

- ✓ Αρχικά, θα ήταν δόκιμο να εφαρμοστεί μία πολιτική η οποία θα στηρίζεται στην κατανάλωση του όγκου του νερού σύμφωνα με τρεις κατηγορίες όπως ακριβώς μελετήθηκε και στην παρούσα εργασία, δηλαδή μία κατανάλωση η οποία θα χωρίζεται σε μικρή, σε μεσαία και σε μεγάλη κατανάλωση με τις αντίστοιχες χρεώσεις. Με αυτόν τον τρόπο θα ευαισθητοποιούνται οι καταναλωτές και θα δίνεται κίνητρο να προσπαθούν η κατανάλωση και κατ' επέκταση ο λογαριασμός τους να εμπίπτουν στη μικρότερη δυνατή κατηγορία.
- ✓ Με παρόμοιο τρόπο, η επιβολή του παγίου θα μπορούσε και αυτή να προκύπτει με κλιμακωτή χρέωση σε τρεις κατηγορίες (μικρό, μεσαίο, μεγάλο πάγιο) και όχι να ισχύει αυτή η οριζόντια τιμολόγηση.
- ✓ Επιπροσθέτως, η διαφοροποίηση της αξίας του νερού ανάλογα με την προέλευσή του θα δώσει μια αντικειμενικότερη και δικαιότερη κοστολόγηση του νερού ενώ θα βοηθήσει ταυτόχρονα να περιοριστούν και τα επίπεδα ρύπανσης ή εκμετάλλευσής τους. Ενδεικτικά, η προέλευση του υδατικού πόρου μπορεί να ποικίλει μεταξύ αυτών που προέρχονται από λίμνη (όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Δήμου Χανίων και τη Λίμνη της Αγιάς), από ποτάμι, από βρόχινους ταμιευτήρες ή υπόγειους υδροφορείς ή ακόμα και από διαδικασίες όπως αυτή της αφαλάτωσης.

Τέλος, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια διαφορετική τιμολογιακή πολιτική η οποία θα στηρίζεται στην εποχιακή διακύμανση των πόρων νερού. Παραδείγματος χάρη, θα ήταν εύλογο να μελετηθούν δύο βασικές περίοδοι κατανάλωσης νερού, μιας χειμερινής μεταξύ των μηνών Νοεμβρίου και Μαΐου, όπου παρατηρείται αφενός μεγάλη διαθεσιμότητα λόγω βροχοπτώσεων και αφετέρου μικρότερη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό με τις τιμές να παραμένουν σε χαμηλότερα πλαίσια και μιας εαρινής μεταξύ των μηνών Ιουνίου και Οκτωβρίου, περίοδος όπου κυριαρχεί η ξηρασία, η ανομβρία και η ζήτηση για μονάδες νερού είναι η μεγαλύτερη που μπορεί να ζητηθεί ετησίως, με τις τιμές σε αυτή την περίπτωση να είναι μεγαλύτερες.

Συμπληρωματικά, θα αποτελούσε σοβαρή παράλειψη να μη γίνει αναφορά και σε ένα πολύ σημαντικό θέμα που αφορά τις απώλειες του δικτύου και έχει συνέπειες με περιβαλλοντικό χαρακτήρα και είναι κάτι για το οποίο οφείλει να μεριμνήσει η ΔΕΥΑΧ. Στα δίκτυα διανομής το σημαντικότερο ποσοστό υδατινού πόρου της τάξεως του 20-30%, φαίνεται ότι «χάνεται» κατά τη μεταφορά του από τις μονάδες άντλησης και επεξεργασίας μέχρι το σημείο που φτάνει για να καταναλωθεί. Το ποσοστό αυτό μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και το 50% όταν τα δίκτυα είναι παλιά και δε συντηρούνται με τον κατάλληλο τρόπο. Μόλις το 2016, σε άλλο Δήμο της Κρήτης, στο Δήμο Ηρακλείου οι απώλειες νερού του δικτύου ύδρευσης ξεπέρασαν το 50%, ένα ποσοστό που εκφράζεται σε 9-10 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού.

Οι λογιστικές απώλειες νερού, που αναφέρονται και ως μη τιμολογημένο νερό (unaccounted-for water), διακρίνονται σε φυσικές και πλασματικές. (Κουτσογιάννης, Ευστρατιάδης)

Οι φυσικές απώλειες οφείλονται σε διαρροές στις δεξαμενές, τις συνδέσεις των αγωγών (ιδιαίτερα στις οικιακές συνδέσεις που γίνονται από μη εξειδικευμένα συνεργεία) και στις θέσεις των ειδικών συσκευών. Σημαντικός παράγοντας είναι οι θραύσεις αγωγών λόγω καταπόνησης από φορτία οχημάτων, έντονες διακυμάνσεις της πίεσης, υδραυλικά πλήγματα, παγετό, κτλ. Φυσικές απώλειες της τάξης του 15% θεωρούνται αποδεκτές, ενώ μείωση τους κάτω από 10% καθίσταται δυσανάλογα δαπανηρή σε έρευνα και επισκευές.

Οι πλασματικές απώλειες αναφέρονται στο νερό που καταναλώνεται χωρίς να πληρωθεί λόγω πλημμελούς καταμέτρησης, σφαλμάτων μετρητών στο δίκτυο και τα έργα κεφαλής και παράνομων συνδέσεων. Περιλαμβάνουν ακόμη τη δωρεάν παροχή νερού σε δήμους και κοινωφελείς οργανισμούς, καθώς και τις ποσότητες που καταναλώνονται για καθαρισμό των δεξαμενών και του δικτύου.

Οι πραγματικές απώλειες σε ένα δίκτυο ύδρευσης οφείλονται σε απώλειες νερού λόγω διαρροών και θραύσεων στους αγωγούς μεταφοράς, διανομής, και στους αγωγούς σύνδεσης των καταναλωτών, όπως επίσης και στις υπερχειλίσεις των δεξαμενών αποθήκευσης νερού. Οι συνέπειες των πραγματικών απωλειών αφορούν το περιβάλλον, την οικονομία αλλά και τη δημόσια υγεία. Οι αγωγοί που διαρρέουν μπορεί να θέσουν τη δημόσια υγεία σε κίνδυνο, αφού υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης και μόλυνσης του νερού από τα εισερχόμενα στερεά και άλλους παθογόνους παράγοντες (μικροοργανισμούς) στην περίπτωση πτώσης της πίεσης (φαινόμενο αναρρόφησης) (Karim, Abbaszadegan & LeChevallier, 2003). Οι περιβαλλοντικές συνέπειες περιλαμβάνουν τις απώλειες νερού, ενός σπάνιου πόρου, την εξάντληση των πηγών ενέργειας και την αύξηση του αποτυπώματος άνθρακα της εταιρείας ύδρευσης (Cabrera, Pardo, Cobacho, & Cabrera Jr, 2010· Colombo & Karney, 2005· Mutikanga, 2012). Οι οικονομικές συνέπειες αφορούν οικονομικές απώλειες, αφού το νερό που διαρρέει έχει επιβαρυνθεί με το κόστος κτήσης (π.χ. κόστος ενέργειας για την άντλησή του) του ακατέργαστου νερού, της επεξεργασίας του και της μεταφοράς του προς τον καταναλωτή. Παράλληλα, τα κοινωνικά κόστη περιλαμβάνουν το κόστος διακοπής της παροχής νερού στον καταναλωτή, τυχόν καταστροφές σε ιδιοκτησίες (π.χ. σε υπόγεια, καταπτώσεις δρόμων) και τη διακοπή της κυκλοφορίας στον δρόμο εξαιτίας των θραύσεων των αγωγών και των επισκευών τους. Οι διαρροές, επίσης, ενεργοποιούν πρόωρες επενδύσεις για την ανάπτυξη / εύρεση νέων πηγών, ώστε να καλυφθεί η υπολειπόμενη ζήτηση (Jowitt & Xu, 1990· Mutikanga, 2012). Η μείωση των πραγματικών απωλειών θα καθυστερήσει τις απαιτούμενες (σε περίπτωση μη μείωσης) επεκτάσεις του συστήματος που κοστίζουν πολύ και θα έχει ως αποτέλεσμα τα μικρότερα ετήσια λειτουργικά κόστη της αντίστοιχης επιχείρησης ύδρευσης.

Για τη διαχείριση των πραγματικών απωλειών προτείνονται τέσσερις πυλώνες-κατευθύνσεις αντιμετώπισής τους που αναφέρονται συνοπτικά στη συνέχεια (Farley & Trow, 2003):

- Ενεργός Έλεγχος Διαρροών (Active Leakage Control),
- Έλεγχος και Διαχείριση της Πίεσης Λειτουργίας του Δικτύου (Pressure management),
- Ταχύτητα και Ποιότητα Επισκευών (Speed and Quality of Repairs)
- Διαχείριση Αγωγών και Συσκευών Δικτύου (Pipeline and Assets management).

Δύο είναι οι κατηγορίες ελέγχου διαρροών από τους διαχειριστές των δικτύων ύδρευσης(Farley & Trow, 2003). Από τη μια πλευρά έχουμε τον Ενεργό έλεγχο διαρροών, μέσω του οποίου η εταιρεία ύδρευσης χρησιμοποιεί εξοπλισμό και άλλους πόρους, ώστε να ελέγχει ενεργά για διαρροές που δεν ήταν ανιχνεύσιμες και από την άλλη πλευρά, συναντάμε τον Παθητικό έλεγχο διαρροών, σύμφωνα με τον οποίο οι διαρροές γίνονται αντιληπτές μόνο όταν εντοπιστούν οπτικά ή επιφέρουν μείωση της πίεσης σε έναν καταναλωτή.

Στην περίπτωση του παθητικού ελέγχου διαρροών, ο συνολικός αριθμός των διαρροών στο δίκτυο θα συνεχίσει να αυξάνεται. Γι' αυτό, προτείνεται ο ενεργός έλεγχος διαρροών, που παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα (Thornton et al., 2008):

- μείωση του κόστους παραγωγής, αφού μέσω της μείωσης των διαρροών μειώνεται το εισερχόμενο νερό στο δίκτυο και κατά συνέπεια όλα τα σχετικά με αυτό κόστη (π.χ. κόστος επεξεργασίας νερού, κόστος άντλησης, κλπ.),
- μειώνεται το νερό που εισέρχεται στο αποχετευτικό σύστημα και προσθέτει μη αναγκαίο φόρτο στη διαδικασία επεξεργασίας των λυμάτων,
- μειώνεται το απαιτούμενο κεφάλαιο για εύρεση νέων πόρων παροχής νερού προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες,
- αποφεύγονται οι καταστροφικές αστοχίες των αγωγών, αφού μετά από μία διαρροή παρατηρείται αυξανόμενη συνάθροιση των διαρροών τοπικά και χρονικά,
- μειώνεται η ευθύνη της επιχείρησης,
- αυξάνει το επίπεδο αξιοπιστίας και παροχής υπηρεσιών, και
- έχει θετική επιρροή στην αντίληψη των καταναλωτών για τις προσφερόμενες υπηρεσίες της εταιρείας ύδρευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

Aumann R.J., Hart S., Handbook of Game Theory with Economic Applications (vol. 1), Elsevier Science Publishers, North-Holland. 1992

Aumann, R.J., “Game theory”, in The New Palgrave: A Dictionary of Economics, vol. 2, ed. Eatwell, J., Milgate, M. & Newman, P., Macmillan, London, England, 1987

Cabrera, E., Pardo, M.A., Cobacho, R., & Cabrera Jr, E. (2010). Energy Audit of Water Networks. Journal of Water Resources Planning and Management, 136(6), 669-677

Daskalakis C., “The Complexity of Nash Equilibria”, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley , 2008

Encyclopedia of information systems, 403-420. , 2003

<http://doi.org/10.3390/s111009327>

Farley, M., & Trow, S. (2003). Losses in Water Distribution Networks – A practitioner’s Guide to Assessment, Monitoring and Control. UK: IWA Publishing

Jowitt, P.W., & Xu, C. (1990). Optimal Valve Control in Water-Distribution Networks. Journal of Water Resources Planning and Management, 116(4), 455-472

Karim, M.R., Abbaszadegan, M., & LeChevallier, M. (2003). Potential for Pathogen Intrusion during Pressure Transients. Journal American Water Works Association, 95(5), 134-146

Madani, K. Game Theory and water resources. *Journal of Hydrology*, 381

(3-4), 225-238. <http://doi.org/10.1016/j.hydrol.2009.11.045> , 2010

Neumann J.V., “On the Theory of Games of Strategy”, in A.W. Tucker and

R.D. Luse, ed. 1959, *Contributions to the Theory of Games*, v. 4, pp. 13-42, 1928

Osborne J.M. and Rubinstein A., “A Course in Game Theory”, London, The MIT Press Cambridge, 1998

Osborne J.Martin , An introduction to game theory, Oxford University Press, 2002

Rasmussen E., “Games and Information: An Introduction to Game Theory”, 478, 15, 2nd, MA: B. Blackwell, Cambridge, 1994

Rasmusen Eric, “Games and Information: An introduction to Game Theory”, fourth edition, 2001

Thornton, J., Sturm, R., & Kunkel, G. (2008). Water Loss Control (2nd edition). NY, USA: McGraw-Hill

Turocy, T.L., Stengel, B. Von, & von Stengel, B. Game Theory

Water Use and Environmental Pressures, European Environment Agency, 2020

<https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-use-and-environmental-pressures/water-use-and-environmental-pressures>

www.eea.europa.eu/themes/water

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βαρουφάκης Γιάννης, Θεωρία Παιγνίων, η θεωρία που φιλοδοξεί να ενοποιήσει τις κοινωνικές επιστήμες, Gutenberg 2007

Βαρουχάκης Εμμανουήλ, Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος “Ανάλυση Επικινδυνότητας”, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2014

Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Δ. Κουτσογιάννης, Α. Ανδρεαδάκης, Ρ. Μαυροδήμου, Α. Χριστοφίδης, Ν. Μαμάσης, Α. Ευστρατιάδης, Α. Κουκουβίνος, Γ. Καραβοκυρός, Σ. Κοζάνης, Δ. Μαμάης, και Κ. Νουτσόπουλος, Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, *Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*, doi:10.13140/RG.2.2.25384.62727, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008

Δ. Κουτσογιάννης, και Α. Ευστρατιάδης, Σημειώσεις Αστικών Υδραυλικών Έργων - Μέρος 1: Υδρευτικά Έργα, 146 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007.

Κατσανεβάκη Στυλιανή, Θεωρία Παιγνίων στη Διαχείριση Αρδευτικού Νερού, Πτυχιακή Εργασία, 2016

Λιβανίου Ιωάννα, Εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων στην επιλογή Στρατηγικών

Εξοικονόμησης Νερού στην Ελληνική Γεωργία, Μεταπτυχιακή Διατριβή, 2011

Λύτρα Βασιλική, “Εξοικονόμηση Νερού σε Επίπεδο Κατοικίας”, 2013

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/8371>

Παπαιωάννου Εύα, Θέματα Υπολογισμού στον Πολιτισμό, 2014-1015

Πετράκης Ε. Σημειώσεις θεωρίας παιγνίων, Οικονομικό Κρήτης

http://www.soc.uoc.gr/petrakis/docs/8ewria/GT_simiwseis.pdf

Τσάντας Ν., Σημειώσεις Θεωρία Παιγνίων

http://www.math.upatras.gr/~tsantas/DownloadFiles/OR_GameTheory.pdf