



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διαμόρφωση Φαινομένου Υφαλμύρισης και Ενεργειακή Μελέτη από την δημιουργία Υβριδικού Αντλησιοταμιευτικού Συστήματος Ανεμογεννητριών - Υδροστροβίλων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Σ. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

Καθ. Καρατζάς Γεώργιος (Επιβλέπων)

Αν. Καθ. Τσούτσος Θεοχάρης

Δρ.Δόκου Ζωή

Χανιά, Ιανουάριος 2015

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
1. Εισαγωγή.....	8
1.1. Υβριδικά αντλησιοταμιευτικά συστήματα, ανεμογεννητριών-υδροστροβίλων.....	8
1.1.1. Σε παγκόσμιο επίπεδο.....	9
1.1.2. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο.....	10
1.1.3. Στον ελληνικό χώρο.....	13
1.2. Υπόγειοι υδροφορείς και υφαλμύριση.....	15
1.2.1. Υπόγειοι υδροφορείς.....	15
1.2.1.1. Παράμετροι υδροφορέων.....	17
1.2.1.2. Νόμος του Darcy.....	19
1.2.2. Υφαλμύριση.....	19
1.2.2.1. Η υφαλμύριση στον ελληνικό χώρο.....	20
1.2.2.2. Προσέγγιση Ghyben και Herzberg.....	21
1.2.2.3. Μέθοδος διαφορά πυκνοτήτων γλυκού-αλμυρού νερού.....	22
2. Υπόγεια νερά και ΑΠΕ.....	24
2.1. Άντληση με φωτοβολταϊκά συστήματα.....	24
2.2. Άντληση με αιολικά.....	25
2.3. Άντληση με υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών-αιολικών.....	27
3. Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	29
3.1. Τοπογραφία του πεδίου των Μαλίων.....	29
3.2. Γεωτρήσεις και πηγάδια του πεδίου των Μαλίων.....	29
3.3. Γεωμορφολογία και γεωλογία της περιοχής των Μαλίων.....	32
3.3.1. Γεωμορφολογία.....	32
3.3.2. Γεωλογία.....	32
3.3.3. Ρήγματα.....	35

3.4. Βροχομετρικά δεδομένα μοντέλου.....	37
4. Μοντέλο υπόγειας ροής FEFLOW.....	38
4.1. Γενικά στοιχεία μοντελοποίησης.....	38
4.1.1. Χωρικά χαρακτηριστικά.....	38
4.1.2. Δίκτυο κόμβων του μοντέλου.....	38
4.1.3. Δίκτυο των κόμβων του μοντέλου στο τρισδιάστατο επίπεδο.....	39
4.2. Σημαντικές εισαγωγικές παράμετροι του μοντέλου του FEFLOW.....	40
4.3. Αρχικές συνθήκες (Initial Conditions) και οριακές συνθήκες (Boundary conditions).....	42
4.3.1. Αρχικές συνθήκες (Initial Conditions).....	42
4.3.2. Οριακές συνθήκες (Boundary conditions).....	43
4.4. Μεταφορά μάζας και ρήγματα (Discrete features).....	48
4.4.1. Μεταφορά μάζας.....	48
4.4.2. Ρήγματα (Discrete features).....	48
5. Εφαρμογή του μοντέλου του FEFLOW στο Δ.Μαλίων.....	49
5.1. Σχεδιασμός και μοντελοποίηση του υπόγειου υδροφορέα και του αναγλύφου.....	49
5.2. Εισαγωγή της γεωλογίας και του συνόλου των πηγαδιών του πεδίου.....	50
5.3. Εισαγωγή δεδομένων υδραυλικών υψών και χρονοσειρών βροχοπτώσεων.....	51
5.4. Εισαγωγή ρηγμάτων και οριακών συνθηκών στο πεδίο.....	53
5.5. Διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου.....	54
5.6. Εισαγωγή δεδομένων και περιοριστικών συνθηκών της υφαλμύρισης του μοντέλου.....	57
5.7. Διαδικασία βαθμονόμησης της υφαλμύρισης του μοντέλου.....	57
6. Εφαρμογή του υπολογιστικού εργαλείου του Retscreen στο Δ.Μαλίων.....	62
6.1. Προσδιορισμός της ετήσιας εγγυημένης ενέργειας του υβριδικού έργου.....	63
6.2. Αναφορά της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε.....	63
6.2.1 Αναλυτική αναφορά των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.....	64
6.2.2 Αναλυτική αναφορά των σεναρίων που εφαρμόστηκαν.....	66
7. Αποτελέσματα του πεδίου των Μαλίων.....	71

7.1. Μοντελοποίηση του FEFLOW για τα διάφορα σενάρια άντλησης.....	71
7.1.0. Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής των Μαλίων.....	71
7.1.1. Σενάριο 1: Κατάσταση πεδίου, χωρίς την ύπαρξη του υβριδικού έργου.....	72
7.1.2. Σενάριο 2: Εφαρμογή του Α σεναρίου άντλησης για το υβριδικό έργο.....	75
7.1.3. Σενάριο 3: Εφαρμογή του Β σεναρίου άντλησης για το υβριδικό έργο.....	77
7.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων των τριών διαφορετικών σεναρίων για το πεδίο.....	79
7.2.1. Σύγκριση των υδραυλικών υψών των διαφορετικών σεναρίων στα Μάλια.....	79
7.2.2. Σύγκριση των συγκεντρώσεων χλωριόντων των διαφορετικών σεναρίων.....	83
7.3. Μελέτη ενεργειακής βιωσιμότητας του υβριδικού σταθμού μέσω του Retscreen.....	86
7.3.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων των σεναρίων του υβριδικού έργου.....	91
8. Συμπεράσματα.....	108
8.1. Συμπεράσματα του μοντέλου (FEFLOW) υπόγειας ροής και υφαλμύρισης.....	108
8.2. Συμπεράσματα του προγράμματος Retscreen του υβριδικού έργου των Μαλίων.....	109
9. Παραρτήματα.....	111
9.1. Παράρτημα παρουσίασης αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης της ροής.....	111
9.2. Παράρτημα παρουσίασης αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης της υφαλμύρισης.....	114
9.3. Παράρτημα παρουσίασης αποτελεσμάτων των σεναρίων του Retscreen.....	116
10. Πληροφοριακές πηγές επιρροής της διπλωματικής.....	118
10.1. Βιβλιογραφία.....	118
10.2. Ηλεκτρονική βιβλιογραφία (ιστιοσελίδες).....	121

Ευχαριστίες

Η εν λόγω διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε και ολοκληρώθηκε μέσα σε έξι μήνες ουσιαστικής προσωπικής δουλειάς. Παρόλα αυτά, η ενασχόληση με την εργασία πραγματοποιήθηκε μέσα σε ένα έτος, από την στιγμή που άρχισε (1^η Οκτωβρίου του 2013), έως ότου την στιγμή που τέλειωσε η επεξεργασία αυτής (8^η Δεκεμβρίου του 2014). Αυτοί οι 14 μήνες περιείχαν 6 μήνες δουλειάς για την διπλωματική και 8 μήνες στρατιωτικής θητείας, οι οποίοι ήταν ομολογουμένως γεμάτοι και απαιτητικοί. Σε αυτό το χρονικό διάστημα υπήρχαν κάποιοι άνθρωποι που συνετέλεσαν στην άμεση στήριξη και υποστήριξη του υποφαινόμενου φοιτητή. Για αυτό τον λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη συμβολή στην ολοκλήρωση της εν λόγω διπλωματικής τον καθηγητή Γεώργιο Καρατζά για την άμεση παρακολούθηση και ειλικρινή στήριξή του, από την αρχή έως το τέλος της διπλωματικής εργασίας, σε υλικό, γνωστικό και προσωπικό επίπεδο. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή Θεοχάρη Τσούτσο για την προτροπή και συμπαράστασή του. Συμπληρωματικά, ευχαριστώ και τους δύο καθηγητές για την πολύτιμη καθοδήγησή και βοήθεια που μου προσέφεραν. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Ζωή Δόκου για την άμεση, διαρκή και ουσιαστική συμβολή της, χαρακτηριστικά που ήταν καίρια και αναντικατάστατα, από το πρώτο έως τελευταίο λεπτό για την επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής. Σε αυτό το σημείο, ευχαριστώ μέσα από τα βάθη της καρδιάς μου για την διαρκή και ηθική στήριξή τους, την οικογένειά και τους φίλους μου. Θέλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον πατέρα μου Σωτήρη Κωστόπουλο, που αποτέλεσε κίνητρο και ζωντανό παράδειγμα για τις ακαδημαϊκές μου σπουδές, όπως για την ολοκλήρωση και παράδοση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και που συντέλεσε τα τελευταία 23 χρόνια στην διαμόρφωση του άντρα, που είμαι σήμερα. Τέλος, ένα ειλικρινές ευχαριστώ αξίζει να δοθεί στο παρελθόν της ζωής μου που έχει οριστεί σε μεγάλο βαθμό από τους αποβιώσαντες παππούδες μου Γεώργιο Κωστόπουλο και Κωνσταντίνο Τζουβάρα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πεδίο μελέτης της εν λόγω διπλωματικής εντοπίζεται στο νησί της Κρήτης στην περιοχή του βορειανατολικού άκρου του νομού Ηρακλείου, στην ευρύτερη περιοχή της Χερσονήσου και ειδικότερα πλησίον του οικισμού των Μαλίων. Στην περιοχή πρόκειται να γίνει εγκατάσταση υβριδικού συστήματος αντλησιοταμίευσης, το οποίο θα λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια από τέσσερα γειτονικά αιολικά πάρκα του νησιού, δύο στον νομό Χανίων και δύο στον νομό Ρεθύμνου. Η ενέργεια αυτή θα αποθηκεύεται σε μια υδατοδεξαμενή (άνω ταμιευτήρας) με την βοήθεια αντλιών, στη μορφή δυναμικής ενέργειας του νερού. Στην συνέχεια θα επιστρέφεται πίσω στον κάτω ταμιευτήρα και στο δίκτυο όταν υπάρχει απαίτηση σε ηλεκτρισμό από αυτό, αφού πρώτα μετατραπεί μέσω της βαρύτητας και των υδροστροβίλων, από δυναμική, σε κινητική και τέλος σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο στόχος της εν λόγω διπλωματικής εργασίας είναι να εξετάσει με την βοήθεια του μοντέλου του FEFLOW (Finite Element subsurface Flow system), πως επηρεάζονται μέσω της άντλησης οι υδάτινοι πόροι από την αρχική πλήρωση (φάση κατασκευής του έργου) του ταμιευτήρα με ποσότητα όγκου νερού $1.200.000 \text{ m}^3$, που αναμένεται να πραγματοποιηθεί σε δύο εξαμηνιαίες περιόδους άντλησης [$1^{\text{η}}$ περίοδος άντλησης:(01/11/2014-30/04/2015), $2^{\text{η}}$ περίοδος άντλησης:(01/11/2015-30/04/2016)]. Αναλυτικότερα, μελετάται σε τι βαθμό επηρεάζεται ο υπόγειος υδροφόρος και άρα πως συμπεριφέρεται τόσο ο υδροφόρος ορίζοντας, σε τι δηλαδή βαθμό παρατηρείται πτώση σε αυτόν (μείωση των υδραυλικών υψών), όσο και το φαινόμενο της υφαλμύρισης, σε τι δηλαδή βαθμό παρατηρείται αύξηση αυτής στην περιοχή του πεδίου μελέτης (αύξηση της συγκέντρωσης της μάζας των χλωριόντων). Για να πραγματοποιηθεί μια αντικειμενική μελέτη του υπόγειου υδροφόρου, δημιουργούνται δύο αντλητικά σενάρια, τα σενάρια Α και Β τα οποία προσομοιώνουν στο μοντέλο την άντληση νερού από τις γεωτρήσεις του υβριδικού έργου, όπως επίσης και το αρχικό σενάριο, το οποίο μας δείχνει πως είναι το πεδίο χωρίς την επίδραση των αντλήσεων του υβριδικού έργου. Το δεύτερο μέρος της διπλωματικής, αφορά την ενέργεια και τα χρηματικά κέρδη, που παράγονται από το υβριδικό έργο, μελετώντας την ετήσια ολική ενέργεια που παράγεται από τα αιολικά πάρκα και από τους υδροστροβίλους. Επιπρόσθετα, στήνονται διαφορετικά σενάρια για να διαπιστωθεί η ενέργεια που παράγεται και τα κέρδη που σημειώνονται μέσα στον χρόνο και σε βάθος 20ετίας και αν τελικά η εν λόγω επένδυση του κάθε σεναρίου είναι συμφέρουσα και σε τι ακριβώς βαθμό. Επίσης, διαπιστώνονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλεί το υβριδικό έργο και αν παρατηρείται διαφοροποίηση αυτών στα διάφορα σενάρια. Για αυτό, δημιουργούνται 5 σενάρια, με το 1° να μελετά το υβριδικό έργο των Μαλίων, το 2° μια εναλλακτική πρόταση του ίδιου έργου, πιο βιώσιμη και φιλική στο περιβάλλον, το 3° να μελετά τα αιολικά πάρκα και την λειτουργία τους και με το 4° και 5° σενάριο να μελετούνται μεμονωμένα τα δύο αιολικά πάρκα του νομού Χανίων και Ρεθύμνο αντίστοιχα. Εν τέλει, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα για το κομμάτι της μελέτης του υπόγειου υδροφόρου των Μαλίων, που προέκυψαν από το μοντέλο του FEFLOW και για το κομμάτι της ενεργειακής και χρηματοοικονομικής μελέτης του υβριδικού και αιολικού έργου, που προέκυψαν από το υπολογιστικό πρόγραμμα του RETSCREEN.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Υβριδικό σύστημα αντλησιοταμίευσης, Μοντέλα προσομοίωσης υπογείων υδάτων, FEFLOW, RETSCREEN.

ABSTRACT

The field study of the current thesis is located on the island of Crete in the region of the northeast part of Heraklion Prefecture in the broader area of Hersonisos and specifically near the Malia settlement. An establishment of a hybrid pumping-saving system is to be constructed in the region, which will function with the help of the electric energy from four nearby wind parks, two in Chania and two in Rethimno Prefecture. The energy created from the wind parks, will be saved in a water tank (upper tank) with the help of water pumps, in the form of dynamic energy of water, until it is returned back to the lower water tank and to the grid, in case there is a demand in electricity, while first it will have been transformed through gravity and the hydro turbines from dynamic to kinetic and finally to electric energy. The main objective of this thesis is to examine using the FEFLOW (Finite Element subsurface Flow system) model, how the water resources will be affected, from the pumping of the first filling of the lower water tank (construction phase of the project) with volume of $1.200.000 \text{ m}^3$ of water, which is scheduled to occur in two 6 month periods [1st pumping period (01/11/2014-30/04/2015), 2nd pumping period (01/11/2015-30/04/2016)]. More specifically, it is studied in what degree the aquifer of interest will be affected and how it will react, i.e. in what degree the hydraulic heads will decrease and also how the saltwater intrusion phenomenon will increase (increase of mass concentration of chlorides) in the study area. For this reason, two pumping scenarios are created, scenarios A and B, which are simulating the water pumped from the wells of the hybrid project, as well as the initial scenario which indicates how the field behaves without the effect of the pumping wells of the hybrid system. The second part of this thesis, concerns the energy and the financial profits, which are produced from the hybrid system, through the study of the annual total energy, which is produced from the wind parks and the hydroturbines. Furthermore, different scenarios are created so that the energy which is produced and the profits which are made throughout a year and in a depth of twenty years can be calculated in order to investigate if finally the investment of every scenario is profitable and in what degree. Also, the environmental problems that the construction of this hybrid project can cause are determined and it is observed if a difference between the different scenarios occurs. For that to be achieved, five different scenarios are created, the first scenario studies the Malia's hybrid wind pumping-saving-turbine system, the 2nd scenario studies an alternative suggestion of the same hybrid Malia's project which is environmental friendlier and more sustainable, the third scenario studies the four wind parks and their function and the fourth and fifth scenario study the two wind parks in Chania and Rethimno Prefectures respectively. To sum up, the conclusions are presented both for the study of the Malia's aquifer, which emerged from the FEFLOW model and for the study of the energy and financial state of the hybrid system project and the wind park project, which emerged from the RETSCREEN computer program.

KEYWORDS

Hybrid pumping-storing systems, Models of groundwater simulation, FEFLOW, RETSCREEN.

1. Εισαγωγή

Η εν λόγω διπλωματική αποτελείται από δύο μέρη, με το κυρίως να είναι το κομμάτι μελέτης ροής των υπογείων υδάτων του ελεύθερου υδροφορέα των Μαλίων και του φαινομένου της υφαλμύρισης, που παρατηρείται σε αυτόν. Ενώ το δεύτερο κομμάτι είναι η ενεργειακή και χρηματοοικονομική μελέτη της εγκατάστασης του υβριδικού αντλησιοταμιευτικού συστήματος της περιοχής των Μαλίων. Η εγκατάσταση του υβριδικού έργου των Μαλίων σε μια πιο εκτενή περιγραφή αποτελείται από τις αντλίες νερού, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αρχική πλήρωση του κάτω ταμιευτήρα στην φάση κατασκευής του έργου. Αυτές αντλούν νερό από τον υπόγειο υδροφορέα και μέσω σωληνώσεων πληρώνουν τον κάτω ταμιευτήρα έως ότου γεμίσει μέσα στις δύο περιόδους άντλησης, που έχουν οριστεί για την διαδικασία αυτή. Η πρώτη περίοδος άντλησης διαρκεί το χρονικό διάστημα (01/11/2014-30/04/2015) και η δεύτερη διαρκεί την χρονική περίοδο (01/11/2015-30/04/2016). Το υβριδικής τεχνολογίας αντλησιοταμιευτικό-αιολικό έργο στην φάση λειτουργίας του αποτελείται από τις ανεμογεννήτριες των τεσσάρων αιολικών πάρκων, που θα τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τις αντλίες του αντλησιοταμιευτικού. Εκείνες έπειτα θα αντλούν νερό από τον κάτω ταμιευτήρα της αντλησιοταμιευτικής εγκατάστασης και μέσω σωληνώσεων θα το οδηγούν στην άνω υδατοδεξαμενή ή άνω ταμιευτήρα, η οποία βρίσκεται σε υψόμετρο 100 m. Εκεί πλέον η ηλεκτρική ενέργεια θα αποθηκεύεται υπό την μορφή δυναμικής ενέργειας για να είναι διαθέσιμη σε περίπτωση μελλοντικής ανάγκης επαναχρησιμοποίησής της. Στην συνέχεια σε περιπτώσεις όπου το δίκτυο της ΔΕΗ θα έχει ανάγκη από ηλεκτρικό ρεύμα λόγω αδυναμίας του δικτύου να καλύψει τις απαιτήσεις του από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ένα μέρος του συνολικού όγκου του νερού που έχει αποθηκευθεί στην υδατοδεξαμενή, θα αφήνεται να ρέει μέσα στις σωληνώσεις οι οποίες θα το οδηγούν από τα 100 m στα 20 m υψόμετρο. Με αυτόν τον τρόπο η δυναμική ενέργεια του νερού θα μετατρέπεται άμεσα σε κινητική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική με την βοήθεια υδροστροβίλων, οι οποίοι θα βρίσκονται στο κάτω μέρος των σωληνώσεων, με αποτέλεσμα να καλύπτονται οι τρέχουσες ανάγκες του δικτύου σε ηλεκτρισμό. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως η ηλεκτρική ενέργεια που οδηγείται από τις Α/Γ προς τις αντλίες είναι το περίσσευμα της συνολικής ενέργειας που παράγεται από τα αιολικά πάρκα. Αυτό το περίσσευμα της ενέργειας παράγεται σε ώρες που το δίκτυο της ΔΕΗ δεν έχει απαίτηση σε ηλεκτρισμό, οπότε δεν μπορεί να το διαχειριστεί λόγω χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος από μέρους των καταναλωτών και τελικά όπως είναι επόμενο θα χανόταν. Γίνεται αντιληπτό, λοιπόν, πως η ύπαρξη ενός τέτοιου υβριδικού αντλησιοταμιευτικού συστήματος εκμεταλλεύεται ενεργειακούς πόρους, οι οποίοι σε διαφορετική περίπτωση θα χάνονταν και δεν θα ήταν εφικτό να αξιοποιηθούν.

1.1. Υβριδικά αντλησιοταμιευτικά συστήματα, ανεμογεννητριών-υδροστροβίλων

Στην συνέχεια αναλύονται τα υβριδικά αντλησιοταμιευτικά συστήματα ανεμογεννητριών-υδροστροβίλων που υπάρχουν, δηλαδή έχουν κατασκευαστεί ή έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες για αυτά σε παγκόσμιο επίπεδο και στον ελληνικό χώρο, παραθέτοντας παραδείγματα για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις.

1.1.1. Σε παγκόσμιο επίπεδο

Συνολικά σε παγκόσμιο επίπεδο οι εφαρμογές υβριδικών αντλησιοταμιευτικών, τροφοδοτημένων με αιολική ενέργεια που έχουν κατασκευαστεί ή βρίσκονται σε φάση κατασκευής είναι περιορισμένη. Πιο συγκεκριμένα, στα Κανάρια νησιά της Ισπανίας στο νησί El Hierro, έχει κατασκευαστεί ένας από τους πρώτους υβριδικούς σταθμούς που εκμεταλλεύονται την εν λόγω τεχνολογία, του οποίου ο ταμιευτήρας φαίνεται στην Εικόνα.1.



Εικόνα 1. Άνω ταμιευτήρας του υβριδικού έργου στο νησί El Hierro. (www.laopinion.es, 2014)

Άλλα παραδείγματα υβριδικών αιολικών – υδροηλεκτρικών έργων εκτός του El Hierro, για τα οποία έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες και προτάσεις για την κατασκευή τους είναι πέντε σε αριθμό. Από τα οποία κανένα δεν έχει ολοκληρωθεί, εκτός του υβριδικού της Ικαρίας, το οποίο αναλύεται παρακάτω και έχει κατασκευαστεί κατά 50% η εγκατάστασή του. Όσον αφορά τα άλλα τέσσερα εναπομείναντα υβριδικά που έχουν προταθεί για να κατασκευαστούν εκμεταλλευόμενα την εν λόγω τεχνολογία, είναι το υβριδικό έργο της Ίου, το υβριδικό έργο του χωριού Ραμέα στο νησί Northwest του Καναδά, το υβριδικό της ινδιάνικης προστατευόμενης περιοχής Lower Brulé στην δυτική όχθη του ποταμού Μισούρι στην πολιτεία της Νότια Ντακότα στις ΗΠΑ και το υβριδικό έργο που αποτελεί αντικείμενο της εν λόγω διπλωματικής και θα κατασκευαστεί στην θέση Κουτράλια-Άνω Λιμνιά στην Κρήτη. Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία του υβριδικού, που μελλοντικά ενδέχεται να κατασκευαστεί στο νησί Northwest του Καναδά. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή έχουμε δύο ταμιευτήρες, τον άνω που θα κατασκευαστεί στην θέση Man of War Hill, που βρίσκεται στα 63 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και τον κάτω ταμιευτήρα που στην προκειμένη περίπτωση θα είναι η θάλασσα, οπότε θα διακινείται αλμυρό νερό μέσα από τις σωληνώσεις του υβριδικού έργου. Επιπρόσθετα, οι ανεμογεννήτριες, που θα τροφοδοτούν με ενέργεια το αντλησιοταμιευτικό θα είναι εννιά στο σύνολο, έξι ήδη υπάρχουσες των 65 kW η κάθε μια και άλλες τρεις καινούργιες που έχουν εγκατασταθεί πρόσφατα των 100 kW η κάθε μια. (Iqbal, 2010, Oyate, 2007)

Τα αναλυτικά στοιχεία του υβριδικού σταθμού στο Northwest του Καναδά παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. (Iqbal, 2010)	
Υδροστρόβιλος	0,15 MW
Αιολικό Πάρκο	4,20 MW
Αντλιοστάσιο	0,15 MW
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	Άπειρη
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	4.000 m ³
Συνολικό κόστος επένδυσης	μη διαθέσιμο (μδ)

Επίσης, αναφερόμαστε στο υβριδικό της περιοχής Lower Brulé της Νότιας Ντακότας των ΗΠΑ, όπου πρόκειται να κατασκευαστεί στο μέλλον ένα υβριδικό αιολικό -υδροηλεκτρικό έργο και για το οποίο δεν διαθέτουμε πιο πρόσφατες τωρινές πληροφορίες. (Iqbal, 2010, Oyate, 2007)

Τα αναλυτικά στοιχεία του υβριδικού σταθμού στην περιοχή Lower Brulé των ΗΠΑ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. (Oyate, 2007)	
Υδροστρόβιλος	0,54 MW
Αιολικό Πάρκο	10,00 MW
Αντλιοστάσιο	MW
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	5398 m ³
Συνολικό κόστος επένδυσης	μη διαθέσιμο (μδ)

1.1.2. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο η μοναδική εφαρμογή τέτοιας τεχνολογίας έχει πραγματοποιηθεί στο νησί της Ισπανίας El Hierro, που βρίσκεται στα Κανάρια Νησιά και έχει πληθυσμό 10.960 κατοίκων και ο ετήσιος τουρισμός του νησιού ανέρχεται στους 60.000. Γεωγραφικά το El Hierro εντοπίζεται στο νοτιοδυτικό τμήμα των Καναρίων Νήσων και απέχει απόσταση 250 km δυτικά των αφρικανικών ακτών. Το εν λόγω πρωτοποριακό σε παγκόσμιο επίπεδο υβριδικό αιολικό – υδροηλεκτρικό έργο, έχει ως τροφοδότες ενέργειας πέντε σε αριθμό ανεμογεννήτριες, ισχύος 2,3 MW η κάθε μια και συνολικής ισχύος 11,5 MW. Όσον αφορά τους υδροστροβίλους του υβριδικού έργου είναι τέσσερις υδροστροβίλοι τύπου Pelton. Έχουν ισχύ 2,83 MW ο καθένας, μέγιστη παροχή νερού κατά την διάρκεια ηλεκτροπαραγωγής 2 m³/s και ολικό υδραυλικό ύψος 654 m. Αυτοί χρησιμοποιούνται για να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα και ενέργεια κατά την κάθοδο του νερού από τον άνω στον κάτω ταμιευτήρα. Επίσης, το αντλιοστάσιο της υβριδικής εγκατάστασης διαθέτει δύο σε αριθμό αντλίες ισχύος 1,5 MW, οι οποίες μεταφέρουν το νερό από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον άνω για να αποθηκευθεί ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, το σύστημα των σωληνώσεων του υβριδικού έργου του νησιού, όπου ένα τμήμα τους που συνδέει τον κάτω με τον άνω ταμιευτήρα, φαίνεται στην Εικόνα 2., αποτελείται από αγωγούς διαμέτρου 800 mm και

μήκους 3.015 m, όπως επίσης και από σωληνώσεις διαμέτρου 1 m και μήκους 2.350 m, με το συνολικό μήκος των αγωγών να ανέρχεται στα 5365 m.



Εικόνα 2. Μερική πλήρωση του κάτω ταμιευτήρα και σωληνώσεις καθοδήγησης του νερού του υβριδικού έργου στο νησί El Hierro. (Repubblica Italy, 2014)

Ο συγκεκριμένος υβριδικός σταθμός είναι σε λειτουργία τους τελευταίους 19 μήνες, καθώς τα εγκαίνια του πραγματοποιήθηκαν τον Μάρτιο του 2013. Κύριος σκοπός της δημιουργίας του είναι η ενεργειακή αυτονομία του νησιού El Hierro και των κατοίκων του, έτσι ώστε να υπάρχει ενεργειακή και οικονομική ανεξαρτησία. Πιο συγκεκριμένα το νησί έχει απαιτήσεις σε ισχύ αιχμής 7,56 MW και στο παρελθόν οι ενεργειακές του ανάγκες καλύπτονταν αποκλειστικά από ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που λειτουργούσε με κατανάλωση πετρελαίου Diesel, το οποίο προμηθευόταν με την βοήθεια καραβιών τύπου τάνκερ. Τα προβλήματα που δημιουργούνταν για το El Hierro ήταν 100% ενεργειακή εξάρτηση, η συμμετοχή σε σημαντικό βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου μέσω των εκπομπών ρύπων του εργοστασίου και το αυξημένο κόστος αγοράς ηλεκτρικού ρεύματος για τους καταναλωτές, δηλαδή 0,242 €/kWh. Μετά την εγκατάσταση και λειτουργία του υβριδικού σταθμού, το κόστος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε στα 0,072 €/kWh. Όσον αφορά τους ταμιευτήρες και οι δύο κατασκευάστηκαν για το συγκεκριμένο έργο, με την κάτω δεξαμενή να είναι πετρώδης ταμιευτήρας σε υψόμετρο 56 m από το επίπεδο της θάλασσας καλυμμένος με γεωμεμβράνη. Και η άνω δεξαμενή να βρίσκεται σε υψόμετρο 709,5 m από το επίπεδο της θάλασσας και να έχει επενδυθεί επίσης με γεωμεμβράνη για την ελαχιστοποίηση των διαρροών από τον πυθμένα του ταμιευτήρα.



Εικόνα 3. Διαδικασία εγκατάστασης γεωμεμβράνης στον κάτω ταμιευτήρα του υβριδικού έργου στο νησί El Hierro. (ABC ESPANA, 2013)

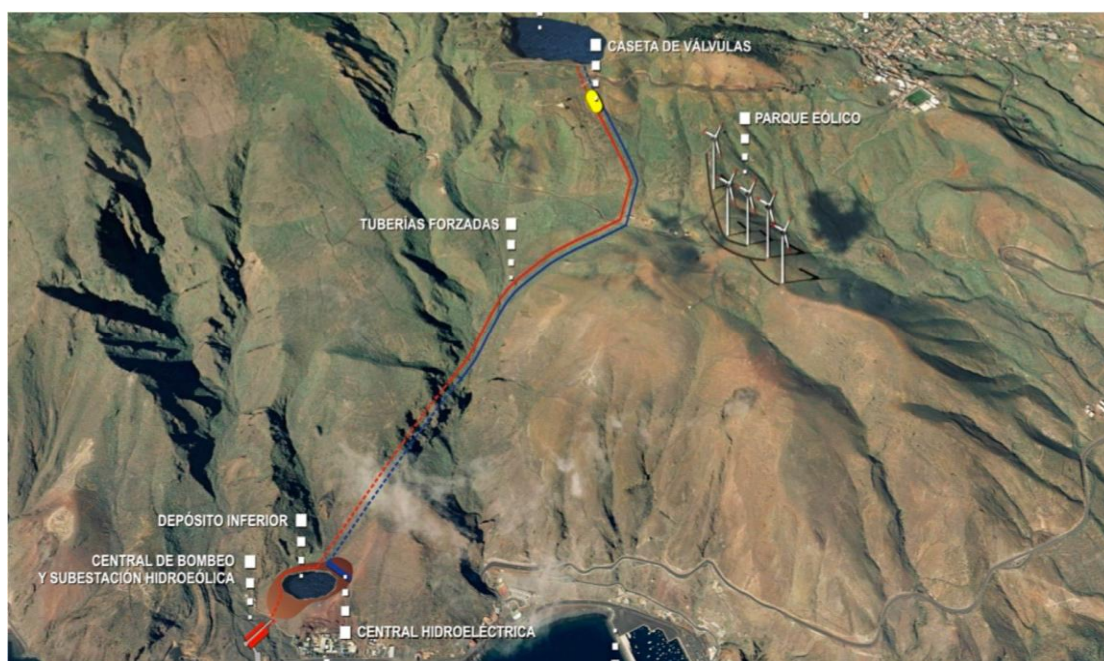


Εικόνα 4. Ολοκλήρωση εγκατάστασης γεωμεμβράνης και σταδιακή πλήρωση του άνω ταμιευτήρα του υβριδικού έργου στο νησί El Hierro. (www.managenergy.net, 2014)

Άρα, παρατηρείται μια υψομετρική διαφορά της τάξεως των 653,5 m μεταξύ των δύο ταμιευτήρων. Εν κατακλείδι, από το 2013 η ενέργεια του νησιού καλύπτεται προερχόμενη 35% από το εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής, που λειτουργεί με πετρέλαιο Diesel και σε ποσοστό 65% από τον υβριδικό αιολικό-υδροηλεκτρικό σταθμό. (Merino et al., 2012, Centeno et al., 2012)

Τα αναλυτικά στοιχεία του υβριδικού σταθμού στο El Hierro παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 3.

Πίνακας 3. (Merino et al., 2012, Centeno et al., 2012)	
Υδροστρόβιλος	11,32 MW
Αιολικό Πάρκο	11,50 MW
Αντλιοστάσιο	6,00 MW
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	150.000 m ³
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	379.634 m ³
Συνολικό κόστος επένδυσης	80 εκ.€.



Εικόνα 5. Τρισδιάστατη οπτικοποίηση του υβριδικού έργου στο νησί El Hierro. (Ρίππη, 2013)

Σήμερα η κατασκευή του υβριδικού έργου στο νησί El Hierro έχει ολοκληρωθεί και λειτουργεί κανονικά προσφέροντας τις υπηρεσίες του στους κατοίκους του.

1.1.3. Στον ελλαδικό χώρο

Στον ελλαδικό χώρο έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή υδροηλεκτρικών συστημάτων, που λειτουργούν με την τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης με αποτέλεσμα να υπάρχει ιστορικό εμπειρίας στην χώρα μας. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με την ΔΕΗ δεν έχει κατασκευασθεί παλαιότερα παρόμοιο υβριδικό σύστημα αντλησιοταμίευσης, που να τροφοδοτείται από αιολική ενέργεια. Γενικότερα βέβαια, αυτή την χρονική περίοδο στην Ελλάδα έχουν δρομολογηθεί να κατασκευαστούν μέσα στα επόμενα χρόνια υβριδικά αντλησιοταμιευτικά έργα σε διάφορες περιοχές της χώρας. Τα πιο σημαντικά είναι το υβριδικό σύστημα της Ίου μεικτής συνολικής ισχύος 22,5 MW, το υβριδικό έργο της Ικαρίας μεικτής συνολικής ισχύος 6,85 MW και το παρόν έργο που εξετάζει η εν λόγω διπλωματική και θα είναι το μεγαλύτερο, που έχει κατασκευαστεί στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, είναι το υβριδικό αντλησιοταμιευτικό σύστημα ανεμογεννητριών-υδροστροβίλων της ευρύτερης περιοχής

των Μαλίων στην Κρήτη, μεικτής συνολικής ισχύος 190,1 MW, που εντάσσεται στην περιοχή Κουτράλια-Άνω Λιμνιά στα σύνορα των νομών Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου. (Ενεργειακό γραφείο Ίου-Αιγαίου, μδ, Ρίππη, 2013, Αντωνιάδης και Γιαβής, 2014)

Πιο συγκεκριμένα για τα έργα αυτά είμαστε σε θέση να αναφέρουμε ορισμένα τεχνοοικονομικά και άλλα στοιχεία σχετικά με τον σχεδιασμό και την εξέλιξή τους, τα οποία παρουσιάζονται σε κατάλληλα διαμορφωμένους πίνακες. Αρχικά το Υβριδικό Έργο της Ίου, που ξεκίνησε η μελέτη και ο σχεδιασμός του το 2005 και η τελευταία αναθεώρησή του έγινε το 2010, έχει ως στόχο να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του νησιού και των διασυνδεδεμένων με αυτή νησιών, της Σικίνου και της Φολεγάνδρου, καθώς και να τροφοδοτεί με όση ισχύ είναι δυνατόν την Πάρο και την Νάξο. Το έργο περιλαμβάνει μια υπάρχουσα λιμνοδεξαμενή στην θέση Μυλοπότας, καθώς και μια δεύτερη που θα κατασκευαστεί μελλοντικά. (Ενεργειακό γραφείο Ίου-Αιγαίου, μδ)

Τα αναλυτικά στοιχεία του υβριδικού παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.

Πίνακας 4. (Ενεργειακό γραφείο Ίου-Αιγαίου, οδ)	
Υδροστρόβιλος	8,00 MW
Αιολικό Πάρκο	8,00 MW
Αντλιοστάσιο	6,50 MW
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	230.000 m ³
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	120.000 m ³
Συνολικό κόστος επένδυσης	19,75-22 εκ.€.

Συμπληρωματικά, το Υβριδικό Ενεργειακό Έργο της Ικαρίας, το οποίο είναι ολοκληρωμένο κατά 50% και εκτιμάται να ολοκληρωθεί μέσα στο 2015, κατασκευάζεται στο νησί της Ικαρίας στις περιοχές Πέζι, Προεσπέρα και Κάτω Προεσπέρα του τέως δήμου Ραχών. (Ρίππη, 2013)

Τα αναλυτικά στοιχεία του υβριδικού παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 5.

Πίνακας 5. (Ρίππη, 2013)	
Υδροηλεκτρικοί σταθμοί	4,15 MW
Αιολικό Πάρκο	2,70 MW
Αντλιοστάσιο	12 x250 kW= 3,00 MW
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	80.000 m ³
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	80.000 m ³
Συνολικό κόστος επένδυσης	40 εκ.€.

Τέλος, το υβριδικό έργο της Κρήτης ή διαφορετικά το Υδροηλεκτρικό-Αντλητικό Σύστημα στα σύνορα των νομών Ηρακλείου-Αγίου Νικολάου, του οποίου η αρχική αίτηση για το έργο είχε κατατεθεί το 2002, θα είναι το μεγαλύτερο της Ελλάδας. Επίσης, θα είναι και ένα από τα μεγαλύτερα στην Ευρώπη, καθώς θα αποτελείται από τέσσερα στο πλήθος αιολικά πάρκα, τα οποία θα τροφοδοτούν το δίκτυο άμεσα με ηλεκτρικό ρεύμα που θα αποθηκεύεται στο αντλησιοταμιευτικό υπό την μορφή δυναμικής ενέργειας του νερού. Πιο συγκεκριμένα, τα αιολικά πάρκα είναι τα ακόλουθα και βρίσκονται στις εξής περιοχές. Το αιολικό πάρκο Σπίνα με δύναμη 34 ανεμογεννητριών των Δήμων Πλατανιά και

Κανδάνου-Σελίνου στον Νομό Χανίων, το αιολικό πάρκο Πλακάκια έχει στο σύνολο 14 ανεμογεννήτριες του Δήμου Πλατανιά στον ίδιο νομό, το αιολικό πάρκο Λαμπινή διαθέτει δύναμη 11 ανεμογεννητριών και το αιολικό πάρκο Καλή Συκιά έχει συνολικά 47 ανεμογεννήτριες, που ανήκουν στον Δήμο Αγίου Βασιλείου στον Νομό Ρεθύμνου. Το σύνολο των ανεμογεννητριών από τα 4 αιολικά πάρκα που προαναφέραμε, ανέρχεται στις 106 και κάθε μια από αυτές έχει συνολική ισχύ 850 kW. Θα διαθέτει δύο ταμειευτήρες/δεξαμενές, οι οποίες θα κατασκευαστούν και η υψομετρική μεταξύ τους διαφορά θα είναι της τάξεως των 650 m. (Αντωνιάδης και Γιαβής, 2014)

Τα αναλυτικά στοιχεία του υβριδικού παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακας 6.

Πίνακας 6. (Αντωνιάδης και Γιαβής, 2014)	
Υδροστρόβιλοι τύπου Pelton (πλήθος = 4)	4 x 25,00 MW=100,00 MW
Αιολικό Πάρκο	90,10 MW
Αντλιοστάσιο (πλήθος αντλιών = 8)	8 x 0,250 kW=2,00 MW
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	1.200.000 m ³
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	1.200.000 m ³
Συνολικό κόστος επένδυσης	450 εκ. €.

1.2. Υπόγειοι υδροφορείς και υφαλμύριση

Στο εν λόγω υποκεφάλαιο γίνεται αναφορά και ανάλυση των φυσικών συστημάτων των υπόγειων υδροφορέων και του φαινομένου της υφαλμύρισης, που συναντάται σε πολλές περιοχές παγκοσμίως.

1.2.1. Υπόγειοι υδροφορείς

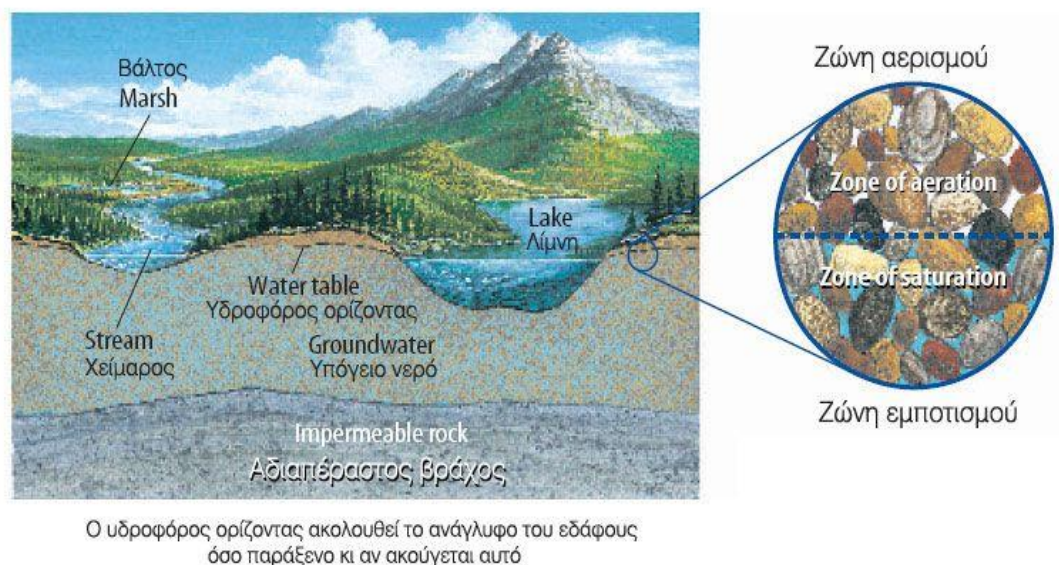
Σε αυτή την ενότητα κάνουμε μια αναφορά στην συμπεριφορά των υπόγειων υδροφορέων και πως αυτοί λειτουργούν ως αποταμιευτήρες γλυκού νερού, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με ποσότητες ύδατος τόσο αυτού που περιέχουν, όσο και εκείνου που εισρέει εξωτερικά προς αυτούς (βροχόπτωση, λιώσιμο χιονιού κ.α.). Ως υπόγειος υδροφορέας μπορεί να θεωρηθεί οποιοσδήποτε υπόγειος εδαφικός σχηματισμός, που περιέχει σε μεγάλο ποσοστό διαπερατά υλικά (κορεσμένα με νερό ολικά ή εν μέρει), όπως επίσης και η ακόρεστη ζώνη του. Οι υπόγειοι υδροφορείς έχουν την δυνατότητα να παρέχουν τις αποθηκευμένες ποσότητες του νερού τους σε επιφανειακά ύδατα (ποτάμια, λίμνες, ρέματα κ.α.), με χαρακτηριστικό παράδειγμα υδροφορέα να αποτελεί ένας εδαφικός σχηματισμός άμμου και χαλικιού. (Καρατζάς, 2013)

Ειδικότερα, οι υδροφορείς διακρίνονται σε ελεύθερους και περιορισμένους, όπως αναλύεται παρακάτω:

Ελεύθερος υδροφορέας

Οι ελεύθεροι υδροφορείς έχουν ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια τους και η ελεύθερη επιφάνεια του νερού που σχηματίζεται καλείται υδροφόρος ορίζοντας (άνω όριο περιοχής ροής), με το νερό να έρχεται σε άμεση επαφή με το υπεδάφιο υπόγειο περιβάλλον και συνεπώς με το ακόρεστο τμήμα του εδαφικού υλικού που αναλύεται στην συνέχεια.

Παρακάτω παρατίθεται μια εικόνα ενός ελεύθερου υδροφορέα στην φύση Εικόνα 6. (Καρατζάς, 2013)

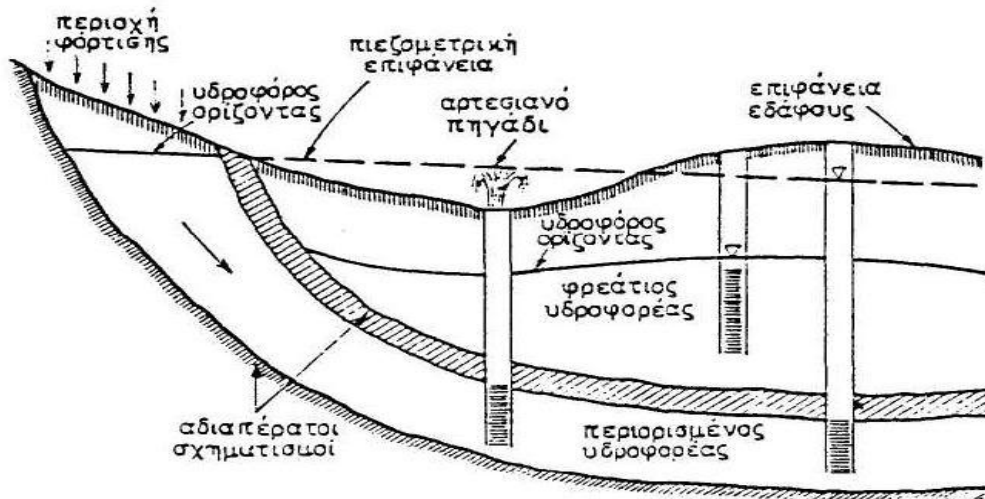


Εικόνα 6. Τρισδιάστατη οπτικοποίηση συστήματος ελεύθερου υπόγειου υδροφορέα (www.enidrio.gr, 2009)

Περιορισμένος υδροφορέας

Οι περιορισμένοι υδροφορείς βρίσκονται υπό πίεση, με το νερό να είναι παγιδευμένο σε έναν εδαφικό σχηματισμό χωρίς επικοινωνία με την ατμόσφαιρα. Ο περιορισμένος υδροφορέας έχει αδιαπέρατο πάνω και κάτω στρώμα και δε διαθέτει ελεύθερη στάθμη. (Καρατζάς, 2013)

Παρακάτω παρατίθεται η Εικόνα 7. που απεικονίζει έναν περιορισμένο και έναν ελεύθερο υδροφορέα και πως αυτοί είναι πιθανόν να βρεθούν στην φύση σε έναν τυπικό σχηματισμό. Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα περιοριστικά στρώματα του αρτεσιανού υδροφορέα μαζί με ένα αρτεσιανό πηγάδι, το οποίο μας δείχνει την πιεζομετρική στάθμη (πιεζομετρική επιφάνεια) του υπό πίεση πηγαδιού, καθώς επίσης φαίνεται το πηγάδι το οποίο απεικονίζει την στάθμη του ελεύθερου υδροφορέα. (Καρατζάς, 2013)



Τύποι υπόγειων υδροφορέων

Εικόνα 7. Δισδιάστατη οπτικοποίηση ελεύθερου και περιορισμένου υπόγειου υδροφορέα (www.kireas.org, 2009)

Οι υπόγειοι υδροφορείς, αποτελούνται από την κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη ή διαφορετικά από την ζώνη κορεσμού και την ζώνη αερισμού. Ειδικότερα, η κορεσμένη ζώνη διαθέτει εδαφικούς πόρους, οι οποίοι πληρούνται εξολοκλήρου 100% από νερό, ενώ στην ακόρεστη ζώνη υπάρχουν εδαφικοί πόροι που περιέχουν εν μέρει νερό και αέρα. Πιο συγκεκριμένα, η ακόρεστη ζώνη αποτελείται από την ανώτερη ή ζώνη εδαφικού ύδατος, η οποία φθάνει σε βάθος από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το τέλος του ριζικού συστήματος των φυτών. Ακολουθεί η ζώνη διήθησης μέσα στην οποία το νερό κινείται κατακόρυφα έως ότου φθάσει στην ζώνη κορεσμού. Τέλος, συναντάται η ζώνη των τριχοειδών φαινομένων, που βρίσκεται πάνω από την ζώνη κορεσμού και διαφοροποιείται στο πάχος της από μερικά εκατοστά στα αμμώδη εδάφη έως μερικά μέτρα στα αργιλώδη εδάφη. Η πίεση μέσα σε αυτή είναι αρνητική, φαινόμενο που παρατηρείται εξαιτίας της τριχοειδούς ανύψωσης του νερού. (Καρατζάς, 2013, Παπανικολάου, 2007)

1.2.1.1. Παράμετροι υδροφορέων

Το υπόγειο νερό που περιέχεται μέσα στους υδροφορείς έχει δεσμευτεί και αποθηκευτεί στα διάκενα των διαφόρων εδαφών και των ποικίλων πετρωμάτων, που περιέχονται σε αυτούς. Αυτό οδηγεί σε ένα μίγμα εδαφικών σχηματισμών με διαφορετικές παραμέτρους όπως διαπερατότητα (μικρή, μεσαία, μεγάλη), υδραυλική αγωγιμότητα, αποθηκευτικότητα, μεταβιβασιμότητα και πορώδες. (Καρατζάς, 2013)

Αναλυτικότερα, αυτές οι παράμετροι παρουσιάζονται στην συνέχεια:

Πορώδες (porosity)

Ως πορώδες νοούνται τα διάκενα που υπάρχουν ανάμεσα στους εδαφικούς κόκκους, δηλαδή τα κενά τα οποία δεν καταλαμβάνονται από εδαφικό υλικό αλλά από αέρα και που επιτρέπουν στα υπόγεια νερά να καταλάβουν αυτές τις κενές θέσεις. Πιο συγκεκριμένα στην υπόγεια ροή του νερού μας ενδιαφέρει το ενεργό πορώδες, το οποίο αποτελείται από

τους εδαφικούς πόρους, που επικοινωνούν μεταξύ τους λειτουργώντας ως αγωγοί νερού και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποθηκευτικό μέσο του νερού στο υπέδαφος, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο τα συστήματα των υπόγειων υδροφορέων. (Καρατζάς, 2013, Παπανικολάου, 2007)

Διαπερατότητα (permeability) και Υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic conductivity)

Ως διαπερατότητα νοείται η δυνατότητα και η ευκολία που παρουσιάζει το νερό να διαπεράσει τα διάφορα εδαφικά πετρώματα που συναντάει στην διαδρομή του μέσα σε έναν υπόγειο υδροφόρο. Δηλαδή η ικανότητα των πόρων του εδάφους να άγουν το νερό, το οποίο καθορίζεται ως ένα βαθμό από την καλή επικοινωνία που έχουν μεταξύ τους οι δίοδοι των εδαφικών σχηματισμών. Όσο καλύτερη επικοινωνία και περισσότερες συνεχείς δίοδοι υπάρχουν τόσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα του εδαφικού υλικού. Επίσης, η διαπερατότητα εξαρτάται και από την φύση του ρευστού, με όσο πιο υψηλό ιξώδες έχει το ρευστό τόσο πιο δύσκολα άγει το εδαφικό υλικό και συνεπώς τόσο πιο μικρή είναι η διαπερατότητα. (Καββαδάς, οδ, Καρατζάς, 2013)

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως η διαπερατότητα εξαρτάται από διάφορα μεγέθη, όπως φαίνεται και από την εξίσωση της:

$$K = \frac{K \mu}{\rho g}, \text{ όπου } k: \text{ η διαπερατότητα, } K: \text{ η υδραυλική αγωγιμότητα, } \rho: \text{ η πυκνότητα του ρευστού} \\ \mu: \text{ το ιξώδες του ρευστού, } g: \text{ η επιτάχυνση της βαρύτητας}$$

Αποθηκευτικότητα (Storativity)

Ως αποθηκευτικότητα ενός υδροφορέα θεωρούμε την ποσότητα του υπόγειου νερού που έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει μέσα στη μάζα του. Καταρχήν στους ελεύθερους υδροφορείς η αποθηκευτικότητά τους μπορεί να μεταβάλλεται, καθώς αυξομειώνεται το ύψος της επιφάνειας του νερού (ελεύθερη επιφάνεια) με ανάλογα να συμπεριφέρεται και η αποθηκευτικότητα. Αντιθέτως στους περιορισμένους υδροφορείς η αποθηκευτικότητα παραμένει σχεδόν σταθερή, καθώς η ποσότητα του εδαφικού στρώματος που μπορεί να καταλάβει το νερό είναι συγκεκριμένη και δεν μπορεί να αυξομειωθεί. (Καρατζάς, 2013)

Μεταβιβασιμότητα (transmissivity)

Μεταβιβασιμότητα ορίζεται ως η δυνατότητα ενός υδροφορέα να μεταβιβάζει το υπόγειο νερό, μέγεθος το οποίο εξαρτάται από την μέση υδραυλική αγωγιμότητα και από το πάχος του υδροφορέα. (Καρατζάς, 2013)

Η εξίσωση παρατίθεται παρακάτω:

$$T = Kb$$

Όπου T: η μεταβιβασιμότητα, K: μέση υδραυλική αγωγιμότητα

και b: κορεσμένο βάθος του υδροφορέα

1.2.1.2. Νόμος του Darcy

Ο νόμος του Darcy, έχει την παρακάτω γενική μορφή:

$\frac{Q}{A} = q = -K \frac{dh}{dl}$, με Q: η παροχή (L^3/T), A: η επιφάνεια (L^2), K: η υδραυλική αγωγιμότητα (L/T),
dh: η απώλεια φορτίου (L), L: το μήκος της στήλης (L),
q: η ταχύτητα του Darcy ή ειδική παροχή (L/T)

Όπου $dh = h_1 - h_2 = \left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + z_2\right)$ και το αρνητικό πρόσημο δείχνει ότι η ταχύτητα της ροής είναι προς την κατεύθυνση που ελαττώνεται το φορτίο. (Καρατζάς, 2013, Παπανικολάου, 2007).

Αξίζει να σημειωθεί πως ο νόμος του Darcy είναι κατάλληλος και προτιμάται να χρησιμοποιείται για να μελετήσει την ροή σε περιορισμένους υδροφορείς. Αυτό συμβαίνει διότι μπορεί να εξομοιώσει συνθήκες σταθερής ομογενούς ροής με ελάχιστες τιμές ταχύτητας (σχεδόν μηδενική) και ταυτόχρονα είναι δυνατόν πέρα από το πάχος του περιορισμένου να λάβει υπόψη την πίεση που προκαλεί το νερό σε αυτόν, που βρίσκεται από πάνω του. (Καββαδάς, οδ, Καρατζάς, 2013)

Η εξίσωση της ροής για σταθερές συνθήκες (steady state), σε ομοιογενείς και ισότροπους υδροφορείς:

$$\frac{d^2h}{dx^2} + \frac{d^2h}{dy^2} + \frac{d^2h}{dz^2} = 0$$

Και η εξίσωση της ροής για μη σταθερές συνθήκες (unsteady state):

$$\frac{d^2h}{dx^2} + \frac{d^2h}{dy^2} + \frac{d^2h}{dz^2} = \frac{S}{T} \frac{dh}{dt}$$

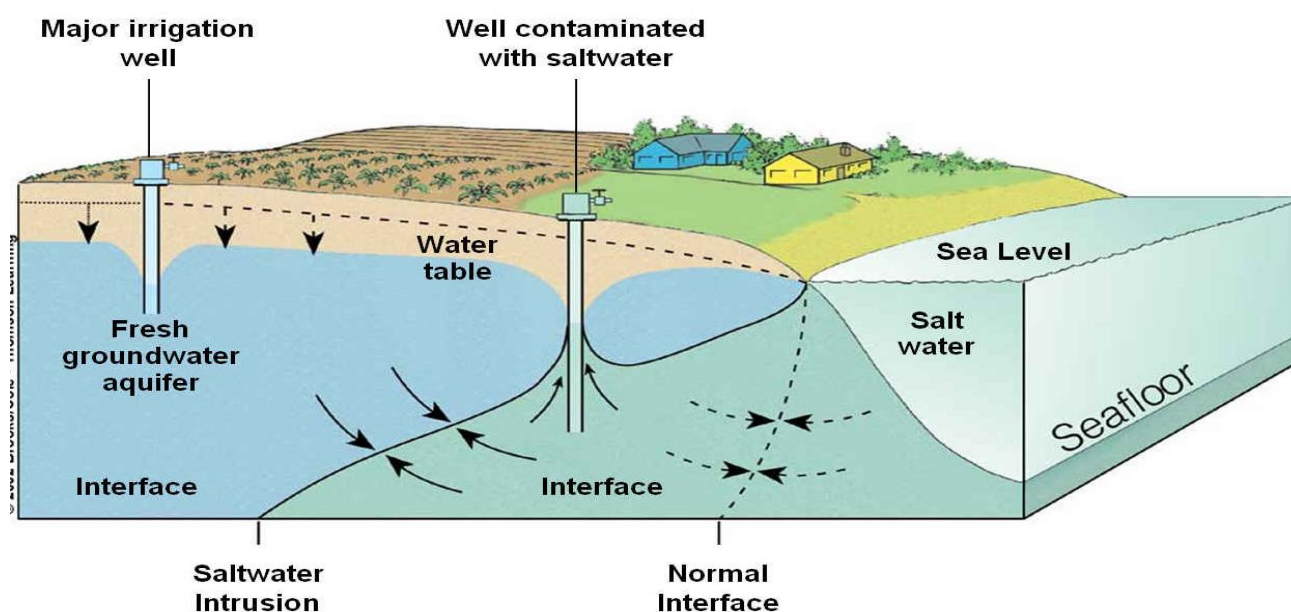
Όπου S: αποθηκευτικότητα, T: μεταβιβασιμότητα, dh: η απώλεια φορτίου, dt: χρόνος. (Καρατζάς, 2013, Παπανικολάου, 2007)

1.2.2. Υφαλμύριση

Το φαινόμενο της υφαλμύρισης είναι δυνατόν να συμβεί σε ένα παράκτιο υδροφορέα όπου εξαιτίας είτε φυσικών είτε ανθρωπογενών παραγόντων υπάρχει εισροή του θαλασσινού νερού. Οι λόγοι οι οποίοι ωθούν το αλμυρό νερό να προχωρήσει στο εσωτερικό του εδάφους μια παραθαλάσσιας περιοχής βασίζονται στην μεταβολή του υδραυλικού ύψους του γλυκού νερού, που μπορεί να συμβεί λόγω μεταβολών των συνθηκών των υπόγειων υδροφορέων. Η πτώση του υδραυλικού ύψους του γλυκού νερού είναι εκείνη που καθορίζει τον βαθμό και την έκταση της υφαλμύρισης, καθώς όσο μεγαλύτερη πτώση του υδραυλικού ύψους υπάρχει τόσο περισσότερο θα εισχωρήσει το θαλασσινό νερό στο εσωτερικό των ακτών. Συμπληρωματικά, αξίζει να αναφερθεί πως δράσεις που είναι δυνατόν να πυροδοτήσουν και να εντείνουν το φαινόμενο της υφαλμύρισης είναι όποιες δραστηριότητες μειώνουν το ήδη υπάρχον υδραυλικό ύψος του νερού του υπόγειου

υδροφορέα. Τέτοιες δραστηριότητες μπορεί να οφείλονται σε φυσικά αίτια, όπως είναι η ύπαρξη ενός ρήγματος στο υπέδαφος μιας παραθαλάσσιας περιοχής. Ένας άλλος λόγος, που οφείλεται σε ανθρωπογενή παράγοντα είναι η ύπαρξη γεώτρησης ή γεωτρήσεων σε κοντινή απόσταση από την ακτογραμμή, που είναι δυνατόν να μειώσουν σημαντικά το υδραυλικό ύψος του γλυκού νερού (Καρατζάς, 2013).

Η Εικόνα 8 παρουσιάζει το φαινόμενο της υφαλμύρισης σε παράκτια περιοχή όπου λόγω των αντλήσεων που πραγματοποιούνται το θαλασσινό νερό έχει προσχωρήσει στο εσωτερικό της. Αξίζει να σημειωθεί πως στο ένα πηγάδι άντλησης έχει φτάσει η υφαλμύριση με αποτέλεσμα αυτό να μην είναι πλέον κατάλληλο για άρδευση και ύδρευση, ενώ το δεύτερο πηγάδι άντλησης λόγω της απομακρυσμένης θέσης του δεν έχει προσβληθεί από υφάλμυρο νερό. (Καρατζάς, 2013, πα, 2014)



Εικόνα 8. Τρισδιάστατο σχήμα φαινομένου υφαλμύρισης ενός ελεύθερου υπόγειου υδροφορέα. (www.sokhcn.tayninh.gov.vn, 2014)

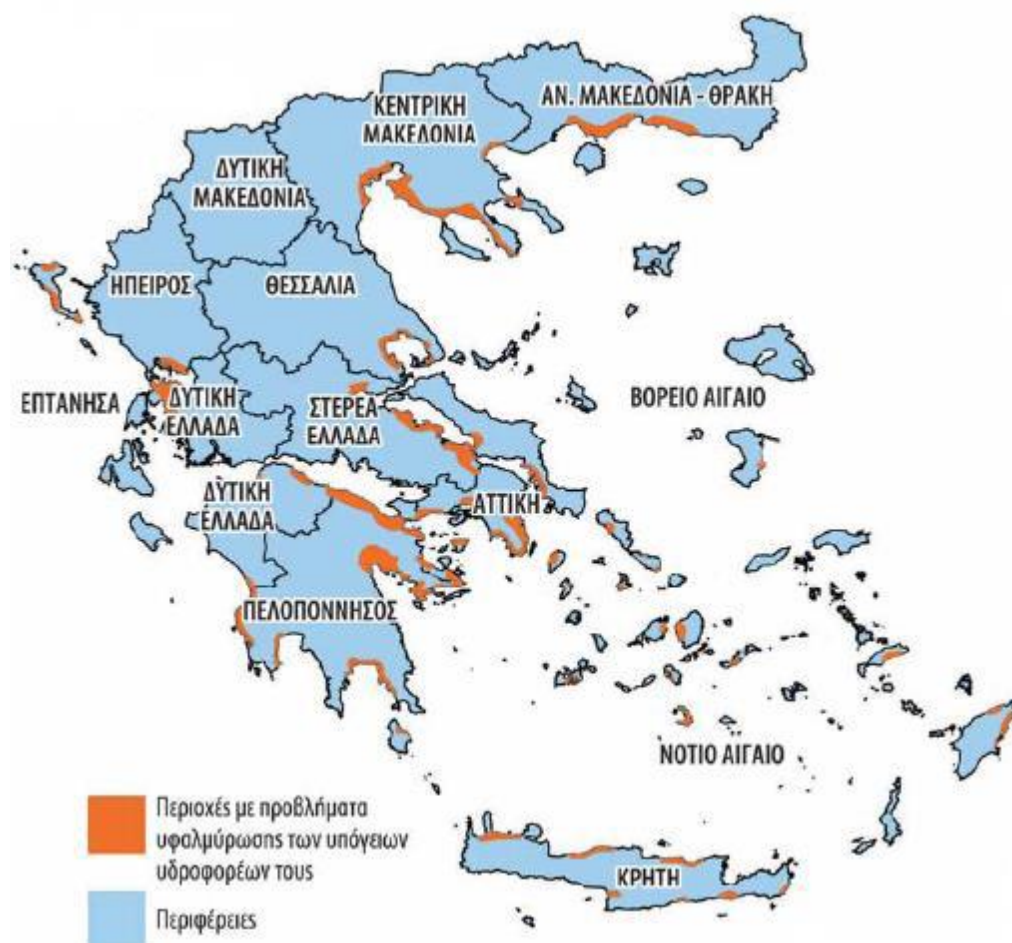
Όπως κανείς μπορεί να παρατηρήσει και από την προηγούμενη εικόνα διαπιστώνεται πως το φαινόμενο της υφαλμύρισης είναι ένα ιδιαίτερο φαινόμενο, το οποίο χρήζει ιδιαίτερης προσοχής από ένα μηχανικό. Είναι εκείνο το φαινόμενο, που περιορίζει τα αποθέματα γλυκού νερού που υπάρχουν σε παράκτιες περιοχές και που τις περισσότερες φορές είναι σημαντικά για την ζωή των ανθρώπων της περιοχής καθώς και των αγροτικών και κτηνοτροφικών τους δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, η υφαλμύριση είναι δύσκολα αντιστρέψιμη και για να επιτευχθεί η πλήρης αντιμετώπισή της απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα ανάκαμψης. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως η γνώση του φαινομένου και της εξάπλωσής του είναι ιδιαίτερα σημαντική, έτσι ώστε να επιτευχθεί η πρόληψη της εμφάνισης του και να αντιμετωπίζεται σε πρώιμο στάδιο. (Καρατζάς, 2013)

1.2.2.1. Η υφαλμύριση στον ελλαδικό χώρο

Η υφαλμύριση στον ελλαδικό χώρο είναι ένα ευρέως διαδεδομένο φυσικό και ανθρωπογενές φαινόμενο, καθώς η Ελλάδα διαθέτει ένα πλήθος παράκτιων περιοχών και

έχει υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές βροχοπτώσεις. Αυτό το φαινόμενο πραγματοποιήθηκε ιδιαίτερα στα νησιά, όπου η επιφάνεια της στεριάς βρέχεται από όλες τις μεριές της από το θαλασσινό νερό, οπότε και η φυσική υφαλμύριση ήταν πιο έντονη. Ειδικότερα, το ανθρωπογενές περιβάλλον που αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια και λόγω της αύξησης του πληθυσμού απαιτεί όλο και μεγαλύτερες ποσότητες γλυκού νερού για ύδρευση, άρδευση και άλλες χρήσεις.

Στην συνέχεια παρατίθεται ένας γενικός χάρτης της Ελλάδας στην Εικόνα 9., στον οποίο φαίνονται οι περιοχές, που έχουν πρόβλημα φαινομένου υφαλμύρισης.



Εικόνα 9. Χάρτης εξάπλωσης του φαινομένου της υφαλμύρισης στον ελλαδικό χώρο. (Περάκη, 2012)

1.2.2.2. Προσέγγιση Ghyben και Herzberg

Η εξίσωση του Ghyben-Herzberg βοηθάει να εκτιμηθεί μέχρι πιο σημείο έχει προχωρήσει ο πόδας της υφαλμύρισης

Η σχέση Ghyben-Herzberg είναι:

$$\rho_s g h_s = \rho_f g (h_s + h_f) \Leftrightarrow h_s = \frac{\rho_f}{(\rho_s - \rho_f)} h_f,$$

όπου ρ_f : πυκνότητα φρέσκου γλυκού νερού ($\rho_f = 1 \text{ g/cm}^3$)

ρ_s : πυκνότητα αλμυρού θαλασσινού νερού ($\rho_s=1,025 \text{ g/cm}^3$)

h_f : η ανύψωση της στάθμης του υδροφορέα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας

h_s : το βάθος της διεπιφάνειας κάτω από το επίπεδο της θάλασσας

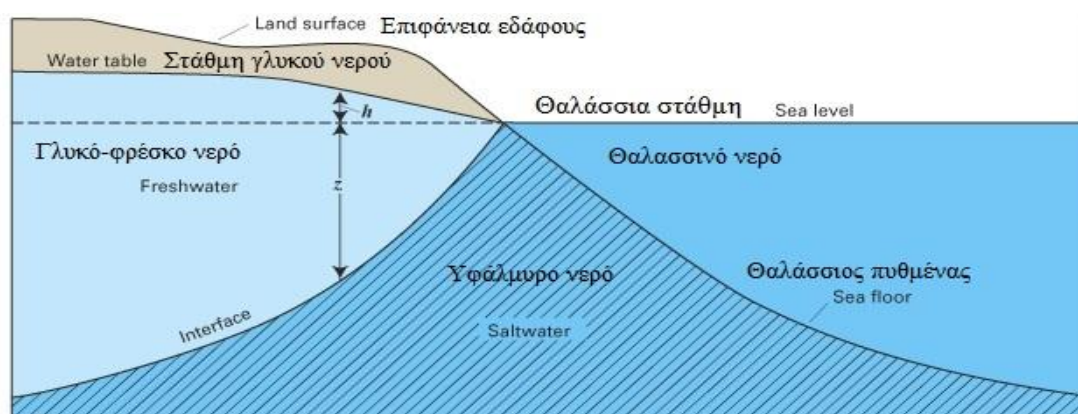
g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (Καρατζάς, 2013)

Αν θεωρηθεί ότι η πυκνότητα για το γλυκό νερό είναι $\rho_f=1 \text{ gr/cm}^3$ και η πυκνότητα για το αλμυρό νερό είναι $\rho_s=1,025 \text{ gr/cm}^3$, τότε από την προηγούμενη εξίσωση έχουμε:

$$h_s = 40 h_f$$

Αυτή η εξίσωση δηλώνει ότι το πάχος του γλυκού νερού, που βρίσκεται πάνω από το αντίστοιχο θαλασσινό είναι 40 m για κάθε μέτρο της στάθμης του γλυκού νερού πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. (Karanth, 1987, Καρατζάς, 2013, Περράκη, 2012)

Στο παρακάτω σχήμα την Εικόνα 10. απεικονίζεται η υφαλμύριση ενός ελεύθερου υδροφορέα και μελέτη του με την μέθοδο Ghyben-Herzberg, όπου $h=h_f$ και $z=h_s$



Εικόνα 10. Δισδιάστατο σχήμα φαινομένου υφαλμύρισης ενός ελεύθερου υπόγειου υδροφορέα. (www.wikipedia.com, 2013)

1.2.2.3. Μέθοδος διαφοράς πυκνοτήτων γλυκού-αλμυρού νερού

Η μέθοδος διαφοράς πυκνοτήτων γλυκού-αλμυρού νερού βασίζεται στο γεγονός ότι το γλυκό νερό του υπόγειου υδροφορέα με το αλμυρό νερό της θάλασσας αναμειγνύονται και σχηματίζουν ένα νέο ρευστό διαφορετικού ιζώδους και πυκνότητας, σημαντικού πάχους, που έχει προκύψει από την ανάμιξη των προηγούμενων δύο ρευστών. Σε αυτό το σημείο, αξίζει να αναφέρουμε πως το ισοδύναμο υδραυλικό ύψος του οποίου η εξίσωση παρατίθεται παρακάτω, επιτρέπει την σύγκριση ομοίων υδραυλικών υψών διαφορετικών ρευστών, τα οποία έχουν όπως είναι φυσικό διαφορετική πυκνότητα.

Συνεπώς, ο λόγος της διαφοράς πυκνοτήτων είναι:

$$\alpha = \frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f}$$

α : ο λόγος της διαφοράς πυκνοτήτων

ρ_s : η πυκνότητα του θαλασσινού νερού

ρ_f : η πυκνότητα του γλυκού νερού

Και η εξίσωση του ισοδύναμου υδραυλικού ύψους είναι:

$$h_{eq} = (1 + \alpha) h - \alpha z$$

h_{eq} : ισοδύναμο υδραυλικό ύψος

α : ο λόγος της διαφοράς πυκνοτήτων

h : υδραυλικό ύψος

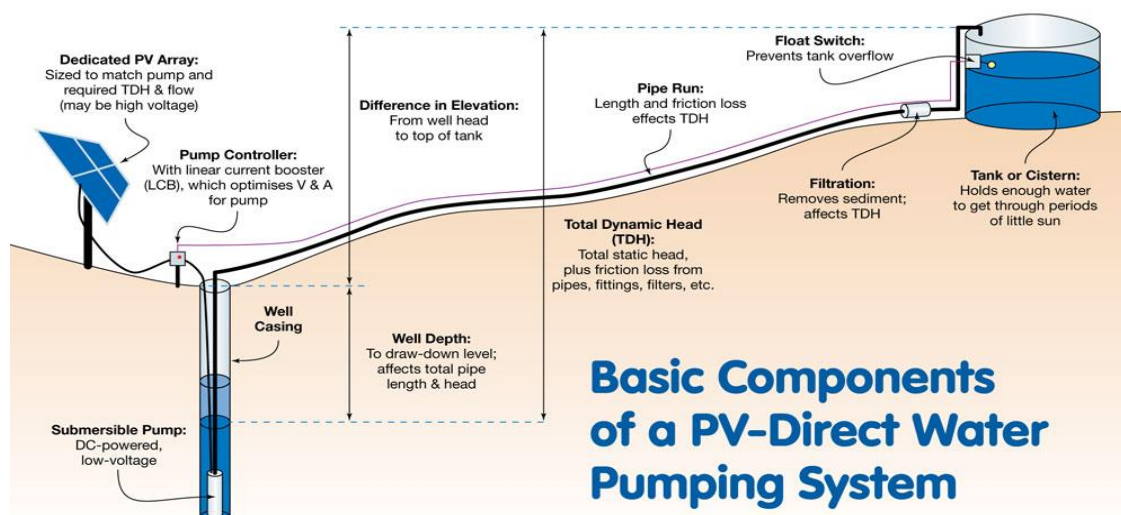
z : υψόμετρο

2. Υπόγεια νερά και ΑΠΕ

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται η εμπλοκή των υπόγειων νερών με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και το εύρος τεχνολογικών εφαρμογών τους, που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα σε παγκόσμιο επίπεδο. Τέτοια παραδείγματα είναι τεχνολογίες, που αφορούν ή την άντληση ή τον εμπλουτισμό ενός υπόγειου υδροφορέα μέσω μιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, όπως η φωτοβολταϊκή, αιολική και γεωθερμική.

2.1. Άντληση με φωτοβολταϊκά συστήματα

Η εν λόγω τεχνολογία έχει αναπτυχθεί σε απομονωμένες σχετικά αγροτικές περιοχές οι οποίες δεν έχουν εύκολη πρόσβαση σε νερό και σε ενέργεια, καθιστώντας την άντληση του νερού μέσω φωτοβολταϊκών μονάδων για την κάλυψη των υδρευτικών και αρδευτικών τους αναγκών, την πλέον κατάλληλη επιλογή. Ένα αντιπροσωπευτικό σχήμα της λειτουργίας άντλησης νερού από πηγάδι με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων παρουσιάζεται παρακάτω στην Εικόνα 11. Αποτελείται από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, που συλλέγει την ηλιακή ενέργεια και παράγει την αντίστοιχη ηλεκτρική που χρειάζεται για να τροφοδοτηθεί και να λειτουργήσει η αντλία με το νερό να αντλείται από υποκείμενο υδροφορέα.



Εικόνα 11. Λειτουργία συστήματος άντλησης με φωτοβολταϊκά. (Fink D., 2011)

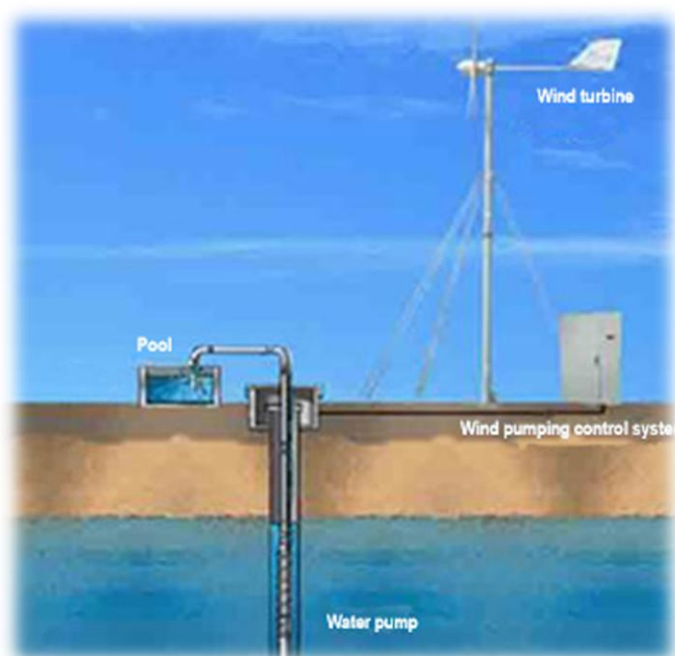
Στην συνέχεια παρατίθεται η Εικόνα 12 όπου παρουσιάζεται μια εφαρμογή της τεχνολογίας άντλησης από υπόγειο υδροφορέα με την βοήθεια φωτοβολταϊκού πλαισίου. Είναι ένα σύστημα το οποίο είναι πλήρως αυτόνομο και αυτοδύναμο και παρέχει διαρκώς, την δυνατότητα άντλησης του υπόγειου νερού. Η εφαρμογή που παρουσιάζεται στην συγκεκριμένη εικόνα προέρχεται από μια αγροτικά εκμεταλλεύσιμη έκταση της Ινδίας, όπου το φωτοβολταϊκό πλαίσιο συλλέγει ενέργεια και τροφοδοτεί την αντλία.



Εικόνα 12. Εφαρμογή της εν λόγω τεχνολογίας σε αγροτικές περιοχές της Ινδίας. (Indian Institute of Technology Hyderabad, 2014)

2.2. Άντληση με αιολικά

Η άντληση του υπόγειου νερού με την βοήθεια αιολικών συστημάτων είναι παρόμοια εφαρμογή μικρής κλίμακας όπως εκείνη που μόλις αναφέραμε της άντλησης με την βοήθεια των φωτοβολταϊκών. Είναι τεχνολογία που βρίσκει μεγάλη εφαρμογή σε απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές οι οποίες έχουν δυσκολία κάλυψης των ενεργειακών αναγκών τους και για αυτό καταφεύγουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μια τέτοια διάταξη παρουσιάζεται στα δεξιά Εικόνα 13 και αποτελείται από τον μηχανισμό παραγωγής ενέργειας τον ανεμόμυλο ή την ανεμογεννήτρια.



Εικόνα 13. Σχήμα της τεχνολογίας αιολικής άντλησης. (www.windgenerators.cn, 2014)

Επίσης, συμπεριλαμβάνει τον μηχανισμό άντλησης του νερού δηλαδή την αντλία, την γεώτρηση, την δεξαμενή και τις κατάλληλες σωληνώσεις και καλωδιώσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε αγροκτήματα από τον άνεμο παρέχεται άμεσα για την άντληση νερού, ενώ σε άλλες περιπτώσεις είναι δυνατόν να υπάρχει κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας.

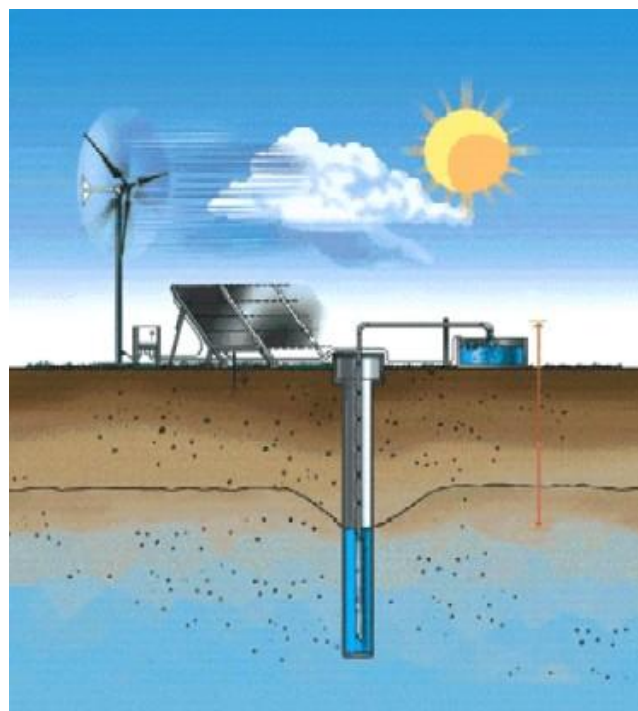


Εικόνα 14. Εφαρμογή της τεχνολογίας αιολικής άντλησης σε φάρμα. (www.windpoweronwildsteerbutte.com, 2011)

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι τουλάχιστον το 1980 οι μοναδικές κατασκευές που παρήγαγαν ενέργεια από εκείνη του ανέμου ήταν οι ανεμόμυλοι, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14. Τα τελευταία είκοσι χρόνια αναπτύχθηκαν οι ανεμογεννήτριες που έχουν καλύτερη απόδοση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο από ότι οι ανεμόμυλοι και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε πολλές ανάλογες περιπτώσεις.

2.3. Άντληση με υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών-αιολικών

Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι η εξέλιξη και ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων τεχνολογιών, που αναφέραμε, καθώς συνδυάζει το ηλιακό και αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Αυτό γίνεται για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για να αντληθούν ποσότητες νερού από τον υπόγειο υδροφόρα μιας περιοχής, έτσι ώστε να αποθηκευθούν σε μια δεξαμενή για μελλοντική χρήση. Στην Εικόνα 15. φαίνεται η λειτουργία ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας, το οποίο αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, μια ανεμογεννήτρια ή έναν ανεμόμυλο, ένα σύστημα μπαταριών για την αποθήκευση της ενέργειας, μια γεώτρηση, μια αντλία και μια δεξαμενή αποθήκευσης του νερού άντλησης.



Εικόνα 15. Σχήμα τεχνολογίας υβριδικής άντλησης
Α/Γ-Φ/Β.(www.energyrating.org, 2014)

Η τεχνολογία αυτή είναι ένας ιδιαίτερα αποτελεσματικός τρόπος εκτέλεσης των εργασιών άντλησης που απαιτούνται σε μια αγροτική περιοχή για την πλήρη κάλυψη, τόσο των αρδευτικών και υδρευτικών αναγκών, όσο και των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια των κτιριακών εγκαταστάσεων (πχ. σπίτια, αποθήκες, αγροτικά και άλλα μηχανήματα κλπ) εφόσον υπάρχουν τα απαραίτητα αποθέματα νερού στον υποκείμενο υδροφόρα. Επίσης, αποτελεί ιδανική λύση για να υπάρχει βελτιστοποίηση του οικονομικού οφέλους από μια τέτοια επένδυση, καθώς θα υπάρχει ένα σημαντικό σταθερό ετήσιο εισόδημα στους ιδιοκτήτες από την πώληση του περισσεύματος ηλεκτρικής ενέργειας που θα παράγουν. Στην παρακάτω φωτογραφία την Εικόνα 16. παρουσιάζεται μια εφαρμογή της συγκεκριμένης υβριδικής τεχνολογίας, ταυτόχρονης εκμετάλλευσης ηλιακής και αιολικής ενέργειας, με το φωτοβολταϊκό πάνελ να συλλέγει την ηλιακή ενέργεια και να παράγει ηλεκτρισμό, ενώ η ανεμογεννήτρια ή ο ανεμόμυλος να συλλέγει την αιολική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή ένα τέτοιο σύστημα είναι αλληλεπικαλυπτόμενο, δηλαδή όταν δεν έχει ήλιο πιθανόν να φυσάει και όταν δεν φυσάει πιθανότατα να έχει ήλιο, αυτό σημαίνει αντίστοιχα ότι όταν δεν παράγεται ηλεκτρική

ενέργεια από το το Φ/Β πιθανόν παράγεται από την Α/Γ και αντίστροφα. Συνεπώς, η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας είναι αυτόματα πιο ευέλικτη, πιο συνεχής και πιο διαρκής, επιτεύξιμη τις νυκτερινές ώρες με ποσότητες παραγόμενης ενέργειας μεγαλύτερες και επομένως αξιοπιστία παραγωγής ενέργειας υψηλή. Αντίστοιχα παρέχεται η δυνατότητα συνεχούς και διαρκούς άντλησης υπόγειου νερού και η δυνατότητα άντλησης και αποθήκευσης μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού, αφού υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας στην διάθεσή μας. Τέλος, η προοπτική πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας είναι πιο ισχυρή σε αυτή την περίπτωση, οπότε υπάρχουν μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους και κατεπέκταση γίνεται πιο γρήγορη απόσβεση της επένδυσης του έργου.



Εικόνα 16. Εφαρμογή υβριδικής τεχνολογίας άντλησης Α/Γ-Φ/Β στο πεδίο. (www.oksolar.com, 2014)

3. Περιγραφή περιοχής μελέτης

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης για να είναι δυνατή η καλύτερη κατανόηση των φυσικών μεγεθών που συμμετείχαν στη δημιουργία του μοντέλου και να είναι σε θέση ο αναγνώστης να έχει μια καλύτερη γνώση της τοπογραφικής, γεωλογικής και γεωμορφολογικής κατάστασης της περιοχής των Μαλίων. Επίσης, περιλαμβάνονται πληροφορίες και δεδομένα σχετικά με τα υπάρχοντα ρήγματα που υπάρχουν στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και των βροχομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

3.1. Τοπογραφία του πεδίου των Μαλίων

Η περιοχή του πεδίου των Μαλίων, τοπογραφικά ανήκει στον Καλλικρατικό Δήμο Χερσονήσου που εντάσσεται στην περιφερειακή ενότητα του Ηρακλείου, με τα Μάλια να αποτελούν μια ξεχωριστή Δημοτική Ενότητα. Η Δημοτική Ενότητα των Μαλίων στο ανατολικό τμήμα τους συνορεύει με την Δημοτική Ενότητα Λασιθίου και στο δυτικό και νότιο τμήμα της με την Δημοτική Ενότητα Χερσονήσου. Η απόστασή της κωμόπολης των Μαλίων από την πόλη του Ηρακλείου είναι 35 km και αντίστοιχα η απόσταση μεταξύ Μαλίων και της πόλης του Αγίου Νικολάου ανέρχεται στα 29 km. Στο βόρειο τμήμα των Μαλίων υπάρχει το παραλιακό κομμάτι και η θάλασσα, που απέχει 1,9 km από το κέντρο της πόλης των Μαλίων.

3.2. Γεωτρήσεις και πηγάδια του πεδίου των Μαλίων

Στην περιοχή μελέτης που περιλαμβάνεται στο μοντέλο των Μαλίων υπάρχουν κάποιες γεωτρήσεις και πηγάδια, τα οποία έχουν κατασκευαστεί παλαιότερα για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς, ανήκουν είτε σε ιδιώτες είτε στο δημόσιο και έχουν στόχο να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες της τοπικής περιοχής, κοινότητας και οικονομίας. Ειδικότερα, η συνεχής άντληση υπόγειου νερού έχει επιδεινώσει το πρόβλημα της υφαλμύρισης στην περιοχή των Μαλίων. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται πληροφορίες για τα ρηχά πηγάδια άντλησης και στον Πίνακα 8 για τις ιδιωτικές γεωτρήσεις άντλησης. Τα στοιχεία που έχουν οι δύο πίνακες αφορούν την ονομασία του πηγαδιού, τον ιδιοκτήτη (ιδιώτης ή δημόσιο) και την περίοδο λειτουργίας του πηγαδιού, που διακρίνεται σε ετήσια και θερινή. (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012)

Πίνακας 7. Ρηχά πηγάδια άντλησης (Περάκη, 2012)					
Ονομασία πηγαδιού	Ιδιοκτήτης	Περίοδος λειτουργίας	Ονομασία πηγαδιού	Ιδιοκτήτης	Περίοδος λειτουργίας
W1	Ιδιώτης	Θερινή	W90	Ιδιώτης	Θερινή
W4	Ιδιώτης	Θερινή	W91	Ιδιώτης	Θερινή
W5	Ιδιώτης	Θερινή	W102	Ιδιώτης	Θερινή
W9	Ιδιώτης	Θερινή	W103	Ιδιώτης	Θερινή
W11	Ιδιώτης	Θερινή	W108	Ιδιώτης	Θερινή
W12	Ιδιώτης	Θερινή	W109	Ιδιώτης	Θερινή
W13	Ιδιώτης	Θερινή	W111	Ιδιώτης	Θερινή
W14	Ιδιώτης	Θερινή	W113	Ιδιώτης	Θερινή
W16	Ιδιώτης	Θερινή	W115	Ιδιώτης	Θερινή
W17	Ιδιώτης	Θερινή	W116	Ιδιώτης	Θερινή
W21	Ιδιώτης	Θερινή	W119	Ιδιώτης	Θερινή
W26	Ιδιώτης	Θερινή	W122	Ιδιώτης	Θερινή
W27	Ιδιώτης	Θερινή	W123	Ιδιώτης	Θερινή
W35	Ιδιώτης	Θερινή	W124	Ιδιώτης	Θερινή
W36	Ιδιώτης	Θερινή	W126	Ιδιώτης	Θερινή
W46	Ιδιώτης	Θερινή	W127	Ιδιώτης	Θερινή
W51	Ιδιώτης	Θερινή	W130	Ιδιώτης	Θερινή
W53	Ιδιώτης	Θερινή	W131	Ιδιώτης	Θερινή
W56	Ιδιώτης	Θερινή	W133	Ιδιώτης	Θερινή
W60	Ιδιώτης	Θερινή	W136	Ιδιώτης	Θερινή
W67	Ιδιώτης	Θερινή	W138	Ιδιώτης	Θερινή
W69	Ιδιώτης	Θερινή	W140	Ιδιώτης	Θερινή
W72	Ιδιώτης	Θερινή	W142	Ιδιώτης	Θερινή
W79	Ιδιώτης	Θερινή	W143	Ιδιώτης	Θερινή
W84	Ιδιώτης	Θερινή	W145	Ιδιώτης	Θερινή
W85	Ιδιώτης	Θερινή	W146	Ιδιώτης	Θερινή

Στον παρακάτω Πίνακα 9. παρουσιάζονται οι δημόσιες γεωτρήσεις άντλησης της περιοχής μελέτης του μοντέλου με τα στοιχεία της ονομασίας της γεώτρησης, του ιδιοκτήτη και ποιας περιόδου του χρόνου, λειτουργεί η γεώτρηση. (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012)

Πίνακας 8. Ιδιωτικές γεωτρήσεις άντλησης (Περάκη, 2012)		
Ονομασία πηγαδιού	Ιδιοκτήτης	Περίοδος λειτουργίας
B1	Ιδιώτης	Θερινή
B5	Ιδιώτης	Θερινή
B6	Ιδιώτης	Θερινή
B7	Ιδιώτης	Θερινή
B9	Ιδιώτης	Θερινή
B16	Ιδιώτης	Θερινή
B17	Ιδιώτης	Θερινή
B18	Ιδιώτης	Θερινή
B27	Ιδιώτης	Θερινή

Πίνακας 9. Δημόσιες γεωτρήσεις άντλησης (Περάκη, 2012)					
Ονομασία πηγαδιού	Ιδιοκτήτης	Περίοδος λειτουργίας	Ονομασία πηγαδιού	Ιδιοκτήτης	Περίοδος λειτουργίας
G.MA.1	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	Δήμος Μαλίων	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Θερινή
G.MA.2	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	Δήμος Χερσονήσου	Δημοτική Ενότητα Χερσονήσου	Θερινή
G.MA.3	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Θερινή	Δήμος Χερσονήσου 2	Δημοτική Ενότητα Χερσονήσου	Θερινή
G.MA.4	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Θερινή	D42	ΙΓΜΕ	Ετήσια
G.MA.5	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Θερινή	D66	ΙΓΜΕ	Ετήσια
G.MA.6	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N1	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.MA.7	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N2	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.MA.8	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N3A	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.ST.8	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N3B	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.ST.9	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N4	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.ST.10	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N5	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.ST.11	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N6	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.ST.12	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N8	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια
G.ST.13	Δημοτική Ενότητα Μαλίων	Ετήσια	N9	Δημοτική Ενότητα Ηρακλείου	Ετήσια

3.3. Γεωμορφολογία και γεωλογία της περιοχής των Μαλίων

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η γεωμορφολογία και η γεωλογία της περιοχής των Μαλίων, όπως επίσης και τα ρήγματα.

3.3.1. Γεωμορφολογία

Όσον αφορά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και την υψομετρία της περιοχής μελέτης διακρίνονται τρεις ζώνες.

- 1) Η παραλιακή ζώνη, που μπορεί να χαρακτηριστεί ως πεδινή και έχει μια σταδιακή τάση αύξησης των υψομέτρων που ξεκινούν από τα 0 m (ακτή) έως και 200 m ύψος.
- 2) Η μεσαία ζώνη η οποία περιλαμβάνει μεσαία υψόμετρα από 200 m έως περίπου τα 600 m.
- 3) Και η γεωμορφολογική ζώνη που περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα υψόμετρα και αποτελείται κυρίως από ορεινούς όγκους με υψόμετρα από 600 m έως και 1365 m. Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται ο χάρτης υψομέτρων της περιοχής μελέτης. (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012)

3.3.2. Γεωλογία

Η γεωλογία της περιοχής των Μαλίων αποτελείται από τρεις βασικούς σχηματισμούς τους προνεογενείς, τους νεογενείς και τεταρτογενείς. Στο γεωλογικό υπόβαθρο οι προνεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από ανθρακικά πετρώματα, καταλαμβάνοντας ένα μεγάλο τμήμα του πεδίου και η μοναδική περιοχή που δεν εντοπίζονται είναι το παραλιακό κομμάτι των Μαλίων. Οι νεογενείς σχηματισμοί εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, καθώς είναι αυτοί οι σχηματισμοί που ορίζουν την γεωλογία των παράλιων περιοχών της Κρήτης. Τέλος, οι τεταρτογενείς σχηματισμοί δεν καταλαμβάνουν μεγάλη επιφάνεια και συνθέτουν ένα κομμάτι μικρής έκτασης στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Ενώ οι τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούν το βορειοανατολικό-παραλιακό κομμάτι της περιοχής μελέτης και το νοτιοδυτικό κομμάτι αυτής. (Περάκη, 2012, Καλλέργης κ.α., 2000).

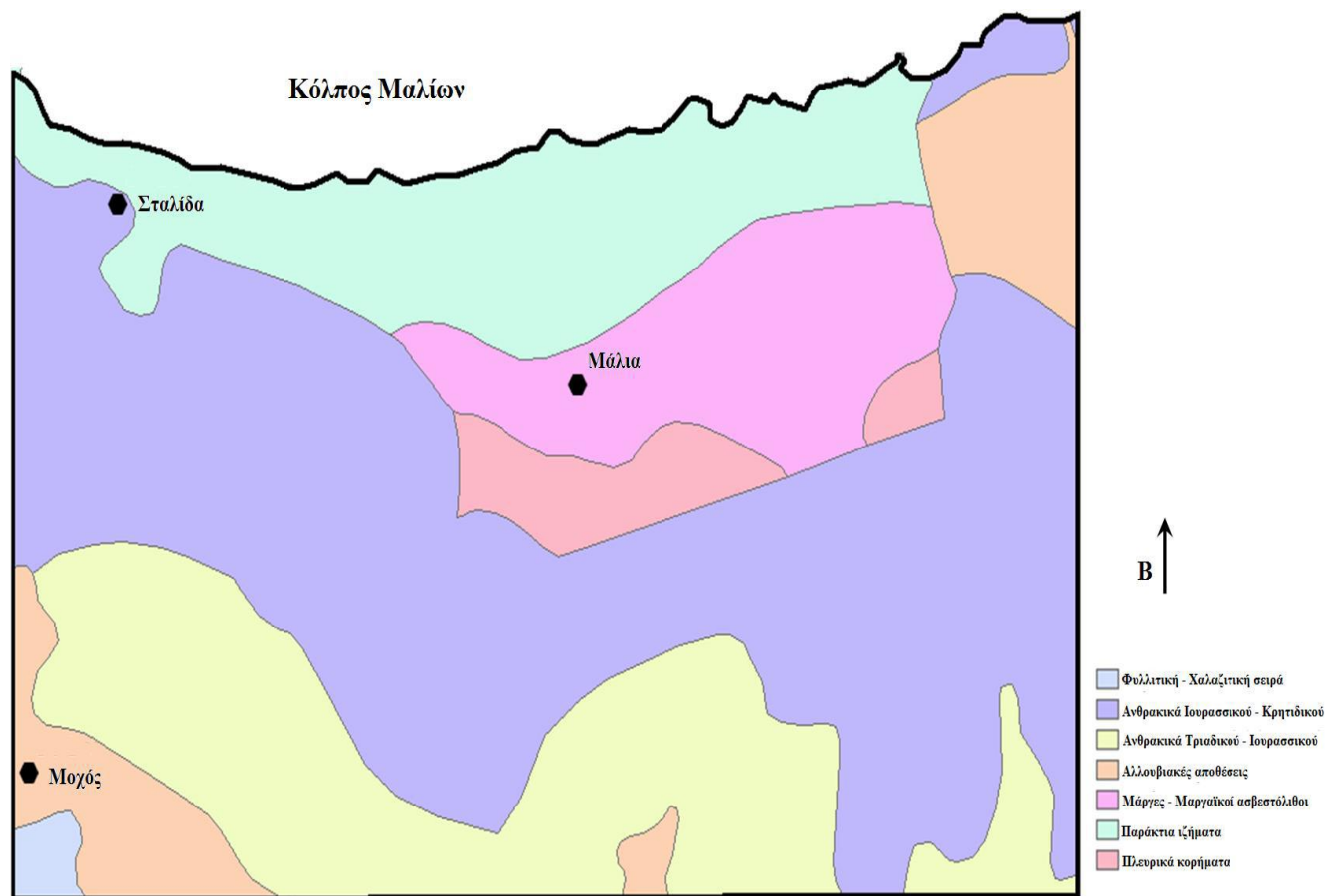
Αναλυτικότερα, μιλώντας για την γεωλογική δομή της περιοχής των Μαλίων είναι γνωστό ότι οι προνεογενείς σχηματισμοί που συναντώνται στο πεδίο απαρτίζονται από ασβεστόλιθους, που ανήκουν στην γεωλογική ενότητα της Τρίπολης. Η ενότητα της Τρίπολης αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα Τριαδικού-Ιουρασσικού και από ανθρακικά πετρώματα Ιουρασσικού-Κρητιδικού. Επίσης, στην περιοχή των Μαλίων υπάρχει και η γεωλογική ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Τα Τριαδικού-Ιουρασσικού ανθρακικά πετρώματα αποτελούνται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες, γκριζόμαυρους στρωματολιθικούς ασβεστόλιθους και πιο σπάνια από δολομιτικά ή ασβεστολιθικά λατυποπαγή. Τα Ιουρασσικού-Κρητιδικού ανθρακικά πετρώματα αποτελούνται από τεφρούς έως τεφρόμαυρους ασβεστόλιθους, από μεσοπαχυστρωματώδεις έως άστρωτους, από βιτουμενιούχους και από πλούσιους σε νηριτική πανίδα. Όσον αφορά της ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών αποτελείται από γραφιτικούς σχιστόλιθους, όπως επίσης και το μεγαλύτερο κομμάτι του από σερικιτικούς και χλωριτικούς σχιστόλιθους. Σε σχέση με τα

υπόλοιπα πετρώματα που απαντώνται στην περιοχή μελέτης, η ενότητα της Τρίπολης καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση από όλες τις υπόλοιπες ενότητες. Η ενότητα της Τρίπολης ξεκινάει από το δυτικό άκρο του πεδίου, επεκτεινόμενη αδιάλειπτα έως το ανατολικό άκρο αυτού σε μια έκταση που ξεκινάει από το νοτιότερο άκρο του πεδίου επεκτεινόμενη βόρεια και σταματάει κάποια χιλιόμετρα νότια της παραλιακής ζώνης των Μαλίων. Τέλος, η ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών καταλαμβάνει συγκριτικά με την ενότητα της ενότητας της Τρίπολης μικρότερη έκταση και συναντάται νοτιοδυτικά στην περιοχή μελέτης. (Περάκη, 2012, Καλλέργης κ.α., 2000)

Οι νεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από παράκτια ιζήματα και μάργες, με τα μεν ιζήματα να αποτελούνται από άμμο και από θαλάσσιες αναβαθμίδες που εκτείνονται χρονικά από πλειστοκαινικής έως και ολοκαινικής ηλικίας και οι μάργες να αποτελούνται από βιοκλαστικούς ασβεστόλιθους, εν μέρει λατυποπαγείς ή κροκαλοπαγείς και από υφλώδεις ασβεστόλιθους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μάργες ανήκουν στο σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας. Χωρικά τα παράκτια ιζήματα καταλαμβάνουν σχεδόν όλη κατά μήκος την παραλιακή ζώνη εκτός από ένα άκρο στα βορειοανατολικά και κατευθύνεται νότια κατά μήκος αυτής σταματώντας λίγα χιλιόμετρα πριν συναντήσει τα Μάλια. (Περάκη, 2012, Καλλέργης κ.α., 2000, Παρίσης, 2001)

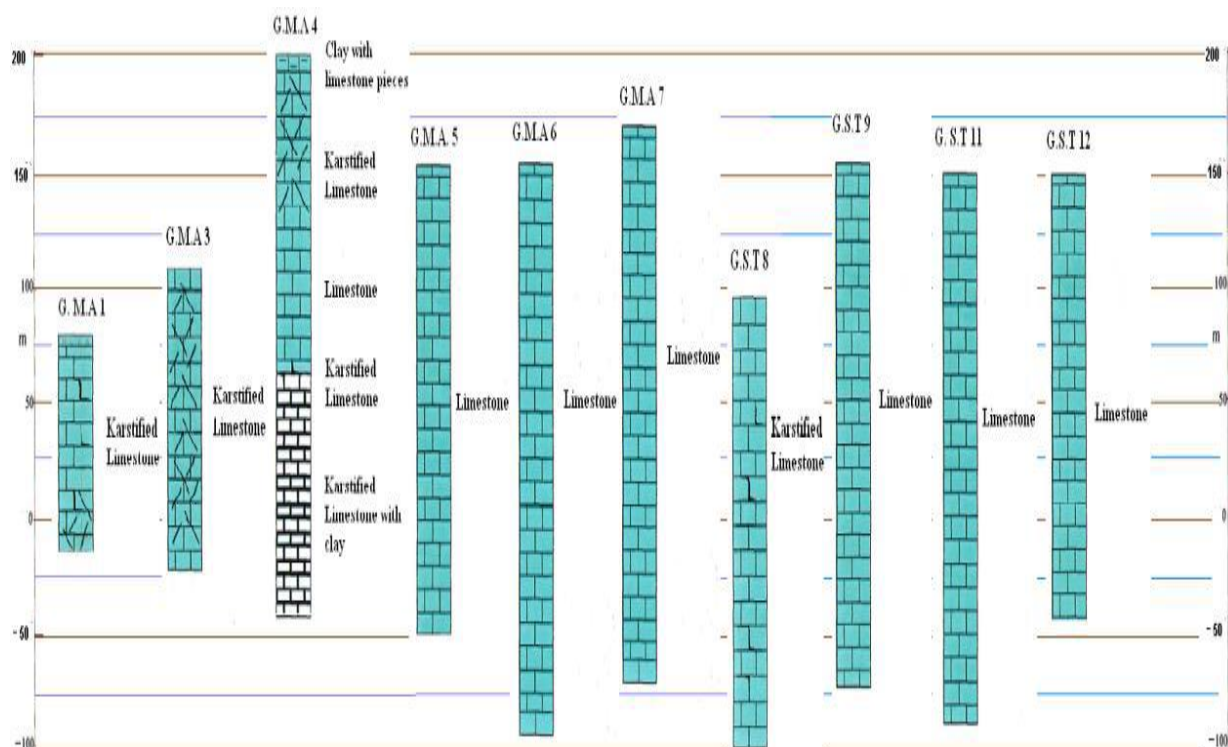
Οι τεταρτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από αλλουβιακές αποθέσεις και πλευρικά κορήματα, με τα πρώτα να αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, από υλικά αλλουβιακού μανδύα, όπως επίσης από ερυθρογή και από κροκαλολατύπες, ενώ τα δεύτερα αποτελούνται κυρίως από λατύπες ασβεστολιθικής προέλευσης ποικίλων μεγεθών, οι οποίοι είναι αναμεμιγμένοι με ερυθρογή. (Περάκη, 2012, Καλλέργης κ.α., 2000)

Στην συνέχεια στην Εικόνα 17. παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης, που περιλαμβάνει τα στοιχεία των γεωλογικών δομών.



Εικόνα 17. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης των Μαλίων.

Τέλος, στην Εικόνα 18. παρουσιάζονται τα γεωλογικά καρότα που συλλέχτηκαν από γεωτρήσεις και στα οποία φαίνεται η διαστρωμάτωση των εδαφικών υλικών της περιοχής μελέτης, όπου κυριαρχεί ο ασβεστόλιθος. Σε αυτό το σημείο, τονίζεται ότι αυτά τα γεωλογικά καρότα χρησιμοποιήθηκαν για να μελετήσουμε την ευρύτερη περιοχή των Μαλίων και κατά αυτό τον τρόπο αποτέλεσαν ένα σημαντικό εργαλείο για την δημιουργία του μοντέλου των Μαλίων. Επίσης, σημειώνεται ότι σύμφωνα με τα γεωλογικά καρότα ορίστηκε το μέγιστο βάθος μέχρι το οποίο θα εκτείνεται το πεδίο στο υπολογιστικό μοντέλο του FEFLOW, που προσδιορίστηκε στα 100 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας (0 m).

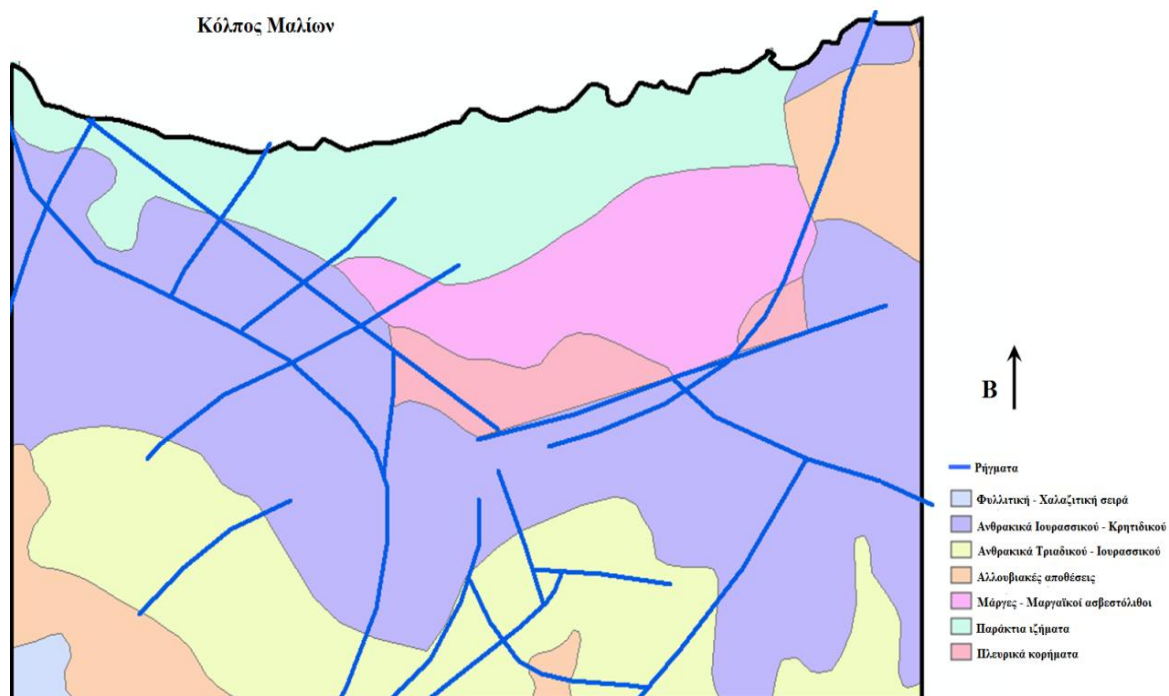


Εικόνα 18. Γεωλογικά καρότα γεωτρήσεων της περιοχής μελέτης των Μαλίων (Περάκη, 2012).

3.3.3. Ρήγματα

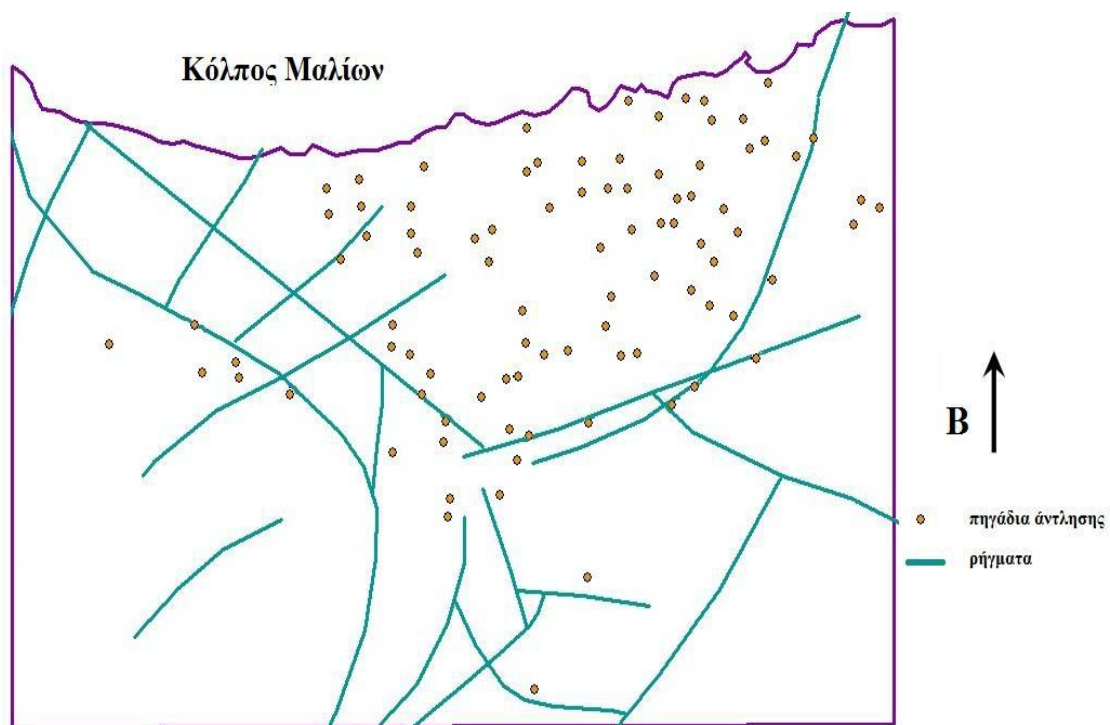
Τα ρήγματα που υπάρχουν στο πεδίο των Μαλίων έχουν προσανατολισμό από τον νότο προς τον βορρά, καταλαμβάνουν μεγάλη επιφάνειά και παίζουν καταλυτικό ρόλο στο φαινόμενο της υφαλμύρισης. Επίσης, τα ρήγματα βρίσκονται κυρίως στα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης της Τρίπολης και ορισμένες μικρές συνέχειές τους εντοπίζονται σε άλλες γεωλογικές διατάξεις. Επιπρόσθετα, το δίκτυο των ρηγμάτων είναι ιδιαίτερα εκτεταμένο και τουλάχιστον πέντε ρήγματα συνδέονται άμεσα με την θάλασσα, οπότε αυτομάτως λειτουργούν ως αγωγοί για την επέκταση του φαινομένου της υφαλμύρισης και επίσης πολλά πηγάδια άντλησης της περιοχής των Μαλίων αντλούν και βρίσκονται γειτονικά των ρηγμάτων.

Συμπληρωματικά τα ρήγματα επηρεάζουν ως ένα βαθμό λόγω της πολυπλοκότητας και της έκτασής τους, την υδροφορία και τα υδραυλικά φορτία της περιοχής των Μαλίων. Αξίζει να σημειωθεί πως στο μοντέλο των Μαλίων εντάχθηκαν σε αυτό μόνο τα κύρια ρήγματα, που βρίσκονται στην παραλιακή ζώνη και έχουν άμεση επαφή με την θάλασσα και όχι τα υπόλοιπα. Συνολικά εντάχθηκαν τέσσερα ρήγματα που μετέφεραν την υφαλμύριση στην ηπειρωτική περιοχή των Μαλίων. Στην Εικόνα 19. είναι δυνατόν να διακρίνει κάποιος όλα τα ρήγματα, που απαντούνται στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής των Μαλίων. (Περάκη, 2012, Παρίσης, 2001)



Εικόνα 19. Χάρτης ρηγμάτων και γεωλογικών δομών, που διαπερνούν αυτά στα Μάλια (Karatzas and Dokou, 2013).

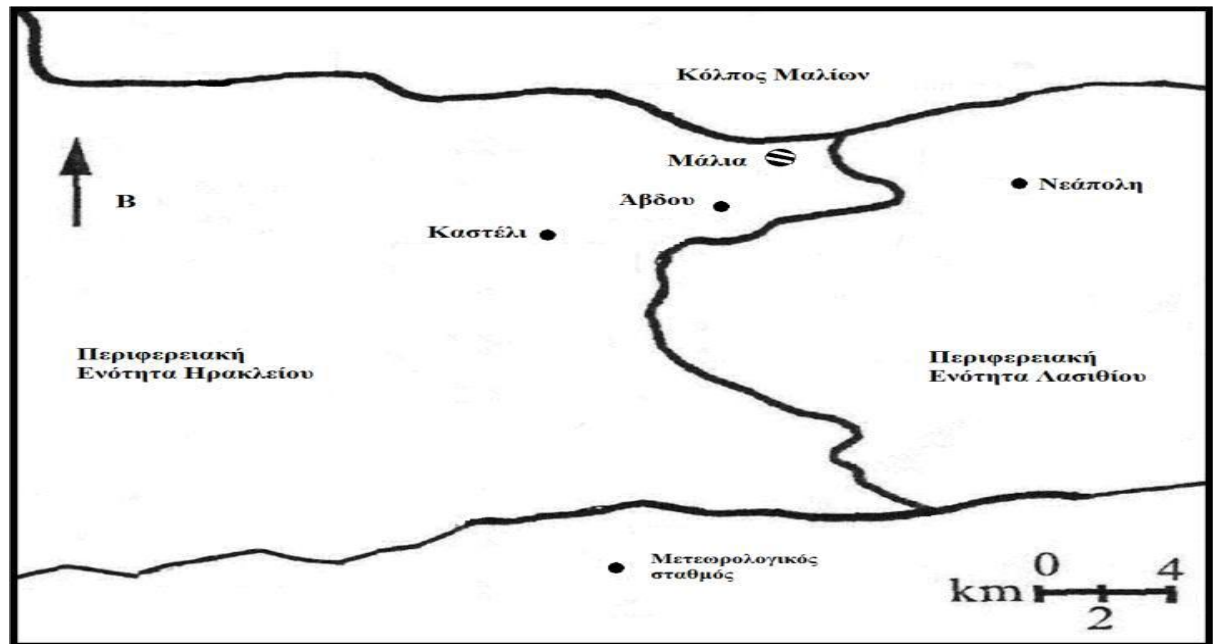
Στην συνέχεια παρατίθεται η Εικόνα 20 που απεικονίζει την θέση των ρηγμάτων πάνω στο πεδίο και τις θέσεις των πηγαδιών άντλησης σε σχέση με αυτά.



Εικόνα 20. Χάρτης απεικόνισης των ρηγμάτων και των πηγαδιών άντλησης στο πεδίο (Περάκη, 2012).

3.4. Βροχομετρικά δεδομένα μοντέλου

Τα βροχομετρικά δεδομένα του πεδίου των Μαλίων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για κάθε έτος. Τα μηνιαία δεδομένα της βροχόπτωσης συλλέχτηκαν από τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς και αφορούν την χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1995 έως και τον Οκτώβριο του 2011. Για τα υπόλοιπα έτη από το 2011 έως το 2016, που δεν είχαμε δεδομένα, θεωρήθηκαν τιμές βροχόπτωσης από παλαιότερα έτη για τα οποία είχαμε δεδομένα. Η θέση των μετεωρολογικών σταθμών Καστελίου, Άβδου και Νεάπολης φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 21.



Εικόνα 21. Χάρτης θέσης μετεωρολογικών σταθμών σχετικά με την θέση των Μαλίων (Karatzas and Dokou, 2013).

4. Μοντέλο υπόγειας ροής FEFLOW

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται και επεξηγείται το θεωρητικό υπόβαθρο του μοντέλου της υπόγειας ροής του FEFLOW. Το μοντέλο FEFLOW είναι Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System, που σημαίνει Σύστημα Προσομοίωσης Περιορισμένων Στοιχείων Υπόγειας Ροής και Μεταφοράς. Αυτή η ενότητα περιλαμβάνει την θεωρία του εν λόγω μοντέλου, στο οποίο βασίστηκε το μεγαλύτερο μέρος της διπλωματικής εργασίας και βοήθησε στην μελέτη τόσο της υπόγειας ροής όσο και την υφαλμύρισης. Συνεπώς, στα επόμενα υποκεφάλαια του τέταρτου κεφαλαίου αναπτύσσονται θέματα σχετικά με γενικές πληροφορίες για την μοντελοποίηση, γίνεται μια περιγραφή και αναφορά του μοντέλου του FEFLOW, παρουσιάζονται οι βασικές εξισώσεις, οι αρχικές και οριακές συνθήκες, όπως και τα ρήγματα και η ένταξή τους στο μοντέλο. (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012)

4.1. Γενικά στοιχεία μοντελοποίησης

Τα γενικά και πιο βασικά στοιχεία μοντελοποίησης που χωρίς αυτά δεν μπορεί να λειτουργήσει και που πρέπει να εισαχθούν στο μοντέλο για να είναι δυνατή μια πρώτη προσέγγιση της περιοχής που επιθυμεί ο δημιουργός του μοντέλου να μελετήσει, είναι καταρχάς η εισαγωγή των χωρικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης και η εισαγωγή του δικτύου κόμβων του μοντέλου.

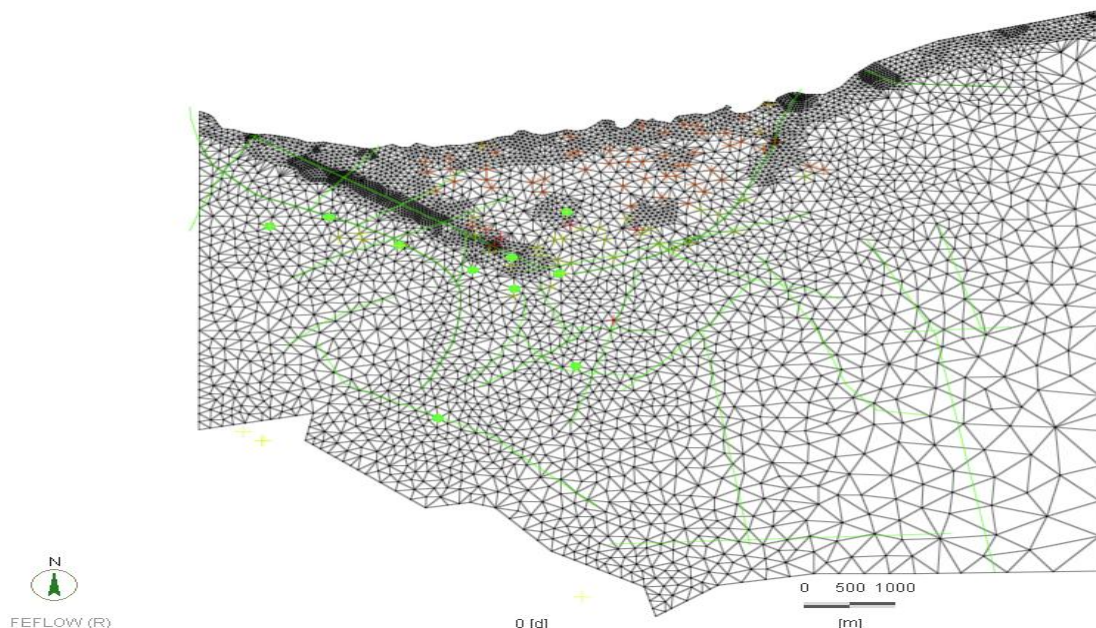
4.1.1. Χωρικά χαρακτηριστικά

Στα χωρικά χαρακτηριστικά του μοντέλου, ανήκουν ο χάρτης του πεδίου, δηλαδή το περίγραμμα της περιοχής που πρόκειται να μελετηθεί. Επίσης, ορισμένα άλλα χωρικά χαρακτηριστικά είναι σημεία αναφοράς όπως πηγάδια, πηγές, γεωτρήσεις και ρήγματα, που εμπλέκονται στην υπόγεια ροή και στην δημιουργία του μοντέλου. Τα χωρικά χαρακτηριστικά του μοντέλου εισάγονται με την βοήθεια του εργαλείου Mesh Editor και των εντολών Add polygons. Αυτά χρησιμοποιούνται για να εισαχθεί το περίγραμμα του χάρτη μέσω της εντολής Add points για να εισαχθούν οι θέσεις των σημειακών χωρικών χαρακτηριστικών, όπως είναι τα πηγάδια, οι πηγές και οι γεωτρήσεις και της εντολής Add lines για να εισαχθεί η ακριβής θέση του κάθε ρήγματος στον χώρο της περιοχής μελέτης.

4.1.2. Δίκτυο κόμβων του μοντέλου

Σε κάθε κόμβο του κανάβου πραγματοποιούνται μαθηματικές πράξεις προσδιορισμού χαρακτηριστικών της ροής σύμφωνα πάντα με τις αρχικές μεταβλητές που έχουν οριστεί (υδραυλικά ύψη, υδραυλική αγωγιμότητα κλπ). Συνεπώς, κάθε κόμβος περιλαμβάνει στην ουσία τοπική σημειακή πληροφορία για την υπόγεια ροή και την υπόγεια μεταφορά, φαινόμενα που προσομοιώνονται στο μοντέλο. Σύμφωνα, λοιπόν, με αυτή την λογική ο κάθε κόμβος περιέχει ένα σύνολο σημειακών πληροφοριών, όσο περισσότεροι κόμβοι υπάρχουν σε μια περιοχή τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμού υπάρχει, οπότε και καλύτερη ποιότητα πληροφορίας παράγεται και όλοι μαζί συνδυαστικά περιέχουν την συνολική πληροφορία του μοντέλου. Γίνεται κατανοητό ότι σε περιοχές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, όπως είναι τα πηγάδια, οι πηγές, οι γεωτρήσεις και τα ρήγματα, θα υπάρχουν περισσότεροι κόμβοι για να είναι δυνατή η καλύτερη μαθηματική προσέγγιση των μεγεθών που υπολογίζονται και η καλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων που

παράγονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι περισσότεροι κόμβοι συνεπάγονται περισσότερες πράξεις και άρα το μοντέλο χρειάζεται μεγαλύτερη χρονική διάρκεια για να τρέξει την προσομοίωση και να εξάγει τα αποτελέσματά του. Συνεπώς, κατάλληλη θεωρείται εκείνη η πυκνότητα δικτύου κόμβων, που θα επιτρέπει τον συνδυασμό ικανοποιητικής ακρίβειας αποτελεσμάτων σε ικανοποιητικό χρονικό διάστημα. Για την παραγωγή του δικτύου των κόμβων στο δισδιάστατο επίπεδο, το οποίο απεικονίζεται παρακάτω στην Εικόνα 22., χρησιμοποιείται το εργαλείο Triangle Mesh Generator Editor, με την βοήθεια του οποίου δημιουργείται ένα επαρκές και ορθό τριγωνικό δίκτυο κόμβων. Αυτό με την σειρά του πρέπει να υπακούει στον κανόνα του Delaunay και σημειώνεται ότι στο μοντέλο των Μαλίων αφού δημιουργήθηκε το τριγωνικό δίκτυο κόμβων του μοντέλου, ελέγχθηκε κατά πόσο και σε τι βαθμό οι τριγωνικοί κόμβοι που δημιουργήθηκαν υπάκουαν στις αρχές του κανόνα του Delaunay για τα τρίγωνα. Για να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ακρίβεια του μοντέλου δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή του τριγωνικού δικτύου κόμβων και στην πυκνότητα των κόμβων. Η εντολή Generate Mesh ήταν εκείνη που κάθε φορά δημιουργούσε το δίκτυο των κόμβων στο δισδιάστατο επίπεδο. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε φορά που δημιουργείται το δίκτυο των κόμβων, χάνονται όλα τα στοιχεία που έχουν εισαχθεί στο μοντέλο και έπονται της δημιουργίας του δικτύου των κόμβων, οπότε στην ουσία είναι απαραίτητο το μοντέλο να ξαναδημιουργηθεί από την αρχή. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι το δίκτυο των κόμβων δημιουργείται πρώτα στο δισδιάστατο επίπεδο, ενώ η τρισδιάστατη εκδοχή του αναλύεται στο επόμενο υποκεφάλαιο. (Karatzas and Dokou, 2013, Περράκη, 2012)

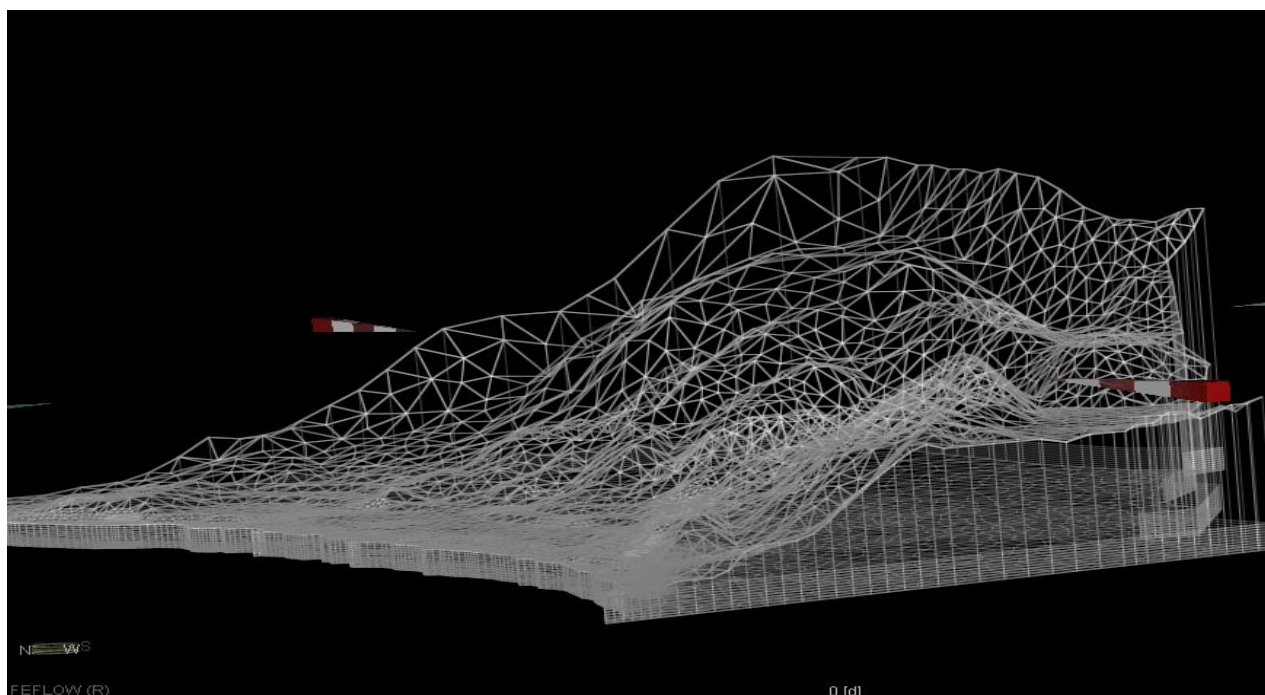


Εικόνα 22. Δισδιάστατη απεικόνιση του δικτύου των κόμβων του μοντέλου των Μαλίων.

4.1.3. Δίκτυο των κόμβων του μοντέλου στο τρισδιάστατο επίπεδο

Η τρισδιάστατη απεικόνιση του δικτύου των κόμβων του μοντέλου είναι επέκταση της δισδιάστατης απεικόνισής του αν πέρα από την διάσταση του μήκους και του πλάτους (x,y) συνυπολογιστεί και η διάσταση του βάθους (z). Για να επιτευχθεί η τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου χρησιμοποιείται το εργαλείο 3D Layer Configurator, στο οποίο

εισάγονται ο αριθμός των επιπέδων/layers και φετών/slices, με τα slices να είναι οι διαχωριστικές επιφάνειες ανάμεσα στα layers στην κάτω και άνω επιφάνειά τους. Κατά αυτόν τον τρόπο κάθε δίκτυο κόμβων του μοντέλου στο τρισδιάστατο επίπεδο είναι πιστή απεικόνιση του δισδιάστατου δικτύου κόμβων. Στην παρακάτω εικόνα Εικόνα 23. φαίνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του δικτύου των κόμβων του μοντέλου των Μαλίων. (Karatzas and Dokou, 2013, Περράκη, 2012)



Εικόνα 23. Τρισδιάστατη απεικόνιση του δικτύου των κόμβων του μοντέλου των Μαλίων.

4.2. Σημαντικές εισαγωγικές παράμετροι του μοντέλου του FEFLOW

Ρυθμίσεις του προβλήματος

Στις ρυθμίσεις του προβλήματος του μοντέλου ορίστηκε ο ελεύθερος υδροφορέας (unconfined aquifer), με το πρώτο layer να είναι μη περιορισμένο φρεατικό σύστημα και τα υπόλοιπα παρακάτω layer να είναι εξαρτημένα από το πρώτο layer συστήματα, ενώ το κατώτερο στρώμα να είναι αδιαπέρατο πέτρωμα. Όσον αφορά την χρονική περίοδο της προσομοίωσης του μοντέλου για την βαθμονόμηση, ορίστηκε η 1^η Οκτωβρίου του 1995 ως μηδενική μέρα (0 d) και η 27^η Οκτωβρίου του 2011 ως τελευταία μέρα (5870 d). Για την προσομοίωση του μοντέλου για τα σενάρια άντλησης του υβριδικού έργου ως τελευταία μέρα ορίστηκε η 26^η Αυγούστου του 2016 (7635 d) και ως χρονικό βήμα ορίστηκε η μια μέρα. Τέλος, επιλέχτηκε η υπόγεια ροή του νερού να είναι παροδική (transient), να μην αναβλύζει το νερό από τον υπόγειο υδροφορέα προς την επιφάνεια του εδάφους και να μην χάνεται από ύπαρξη καταβοθρών στο κατώτατο σημείο του υπόγειου υδροφορέα.

Υψόμετρα

Έχει ήδη αναφερθεί ότι για να δημιουργηθεί η τρισδιάστατη απεικόνιση του πεδίου του μοντέλου έπρεπε να οριστεί η διάσταση του ύψους/ βάθους σε αυτό και για αυτό το λόγο εισήχθηκαν τα δεδομένα που φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 10, για να απεικονιστεί το

βάθος του υπόγειου υδροφορέα. Η εισαγωγή των δεδομένων για το 1^ο slice που είναι στην ουσία η επιφάνεια του εδάφους και παρουσιάζει όπως είναι φυσικό την μεγαλύτερη αυξομείωση ύψους από όλα τα υπόλοιπα, πραγματοποιήθηκε δημιουργώντας ένα αρχείο γεωαναφερμένων συντεταγμένων. Αυτό έγινε σύμφωνα με το global point system (GPS), το οποίο δημιουργήθηκε με την βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος GIS. Στην συνέχεια αυτό το αρχείο εισάχθηκε στο FEFLOW και πέρασαν αυτόματα οι συντεταγμένες (x,y,z) για όλα τα σημεία του πεδίου που υπήρχαν πληροφορίες, ενώ για τα υπόλοιπα σημεία γίνεται γραμμική παρεμβολή.

Πίνακας 10. Δεδομένα υψομέτρου/ βάθους του πεδίου των Μαλίων. (Περάκη, 2012)	
Slice	Υψόμετρο/ Βάθος (m)
1	0 m έως 1.349 m
2	-1
3	-10
4	-20
5	-30
6	-40
7	-50
8	-60
9	-70
10	-80
11	-90
12	-100

Υδραυλική αγωγιμότητα

Η υδραυλική αγωγιμότητα εισάγεται στο μοντέλο μελέτης των Μαλίων για το πρώτο και δεύτερο layer μεταβαλλόμενη ανάλογα με την ομάδα πετρωμάτων που υπάρχουν κατά μήκος του πεδίου. Για τα layers 3-11 ορίζεται σταθερή τιμή για όλο το layer που είναι ίση με 0,0001 m/sec, η οποία είναι τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας για ανθρακικά πετρώματα Ιουρασικού-Κρητιδικού. Οι τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας για το 1-2 layer παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 11. (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012)

Πίνακας 11. Συγκεντρωτικός πίνακας υδραυλικής αγωγιμότητας μοντέλου Μαλίων (Περάκη, 2012)			
Είδος πετρώματος	K_{xx} (m/s)	K_{yy} (m/s)	K_{zz} (m/s)
Παράκτια ιζήματα (Beach sand)	0,001	0,001	0,0001
Μάργες (Bioclastic Limestones)	0,00001	0,00001	0,000001
Πλευρικά κορήματα (Talus cones)	0,005	0,005	0,0005
Αλλουβιακές αποθέσεις (Alluvial deposits)	0,001	0,001	0,0001
Ζώνη Τρίπολης ανθρακικά Ιουρασικού Κρητιδικού (Limestones Jurassic - Critidic)	0,0001	0,0001	0,00001
Ζώνη Τρίπολης ανθρακικά Τριαδικού Ιουρασικού (Limestones Triassic - Jurassic)	0,00001	0,00001	0,000001
Φυλλιτική Χαλαζιτική σειρά (Phyllites - Quartzites)	0,0000001	0,0000001	0,00000001

Διηθούμενη ποσότητα βροχοπτώσεων

Οι βροχοπτώσεις καταλήγουν είτε σε επιφανειακή απορροή, είτε διηθούνται και στην συνέχεια καταλήγουν στον υπόγειο υδροφορέα. Συνεπώς, ένα ποσοστό της βροχής ρέει επιφανειακά και ένα άλλο διηθείται στο έδαφος, ποσοστό το οποίο καθορίζεται από τον συντελεστή διήθησης του κάθε πετρώματος. Οπότε, οι τιμές του συντελεστή διήθησης, που καθορίστηκε για κάθε εδαφικό σχηματισμό παρουσιάζεται στον ακόλουθο Πίνακα 12. (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012)

Πίνακας 12. Συγκεντρωτικός πίνακας είδος σχηματισμού, πετρώματος και συντελεστή διήθησης. (Περάκη, 2012)		
Είδος σχηματισμού	Είδος πετρώματος	Συντελεστής διήθησης
Ανθρακικά πετρώματα ενότητας Τρίπολης (Limestones)	Ανθρακικά Ιουρασικού Κρητιδικού Τριαδικού Ιουρασικού	0,44
Νεογενή πετρώματα (Neogenic)	Παράκτια ιζήματα, Μάργες	0,215
Τεταρτογενή (Quaternary)	Πλευρικά κορήματα Αλλουβιακές αποθέσεις	0,15
Φυλλίτες (Phyllites)	Φυλλιτική χαλαζιτική σειρά	0,05

4.3. Αρχικές συνθήκες (Initial Conditions) και οριακές συνθήκες (Boundary conditions)

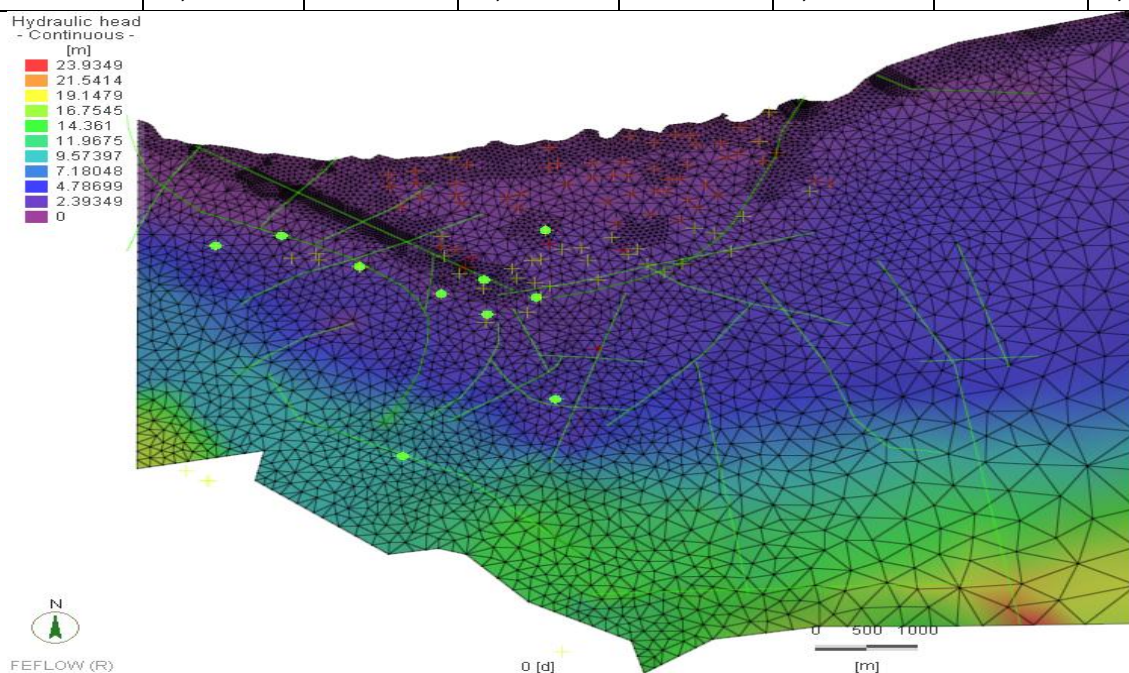
Σε αυτό το υποκεφάλαιο αναλύονται σε βάθος οι αρχικές και οριακές συνθήκες του μοντέλου, όπως είναι τα υδραυλικά ύψη και οι οριακές συνθήκες πρώτου και δεύτερου είδους.

4.3.1. Αρχικές συνθήκες (Initial Conditions)

Οι αρχικές συνθήκες, που είναι υποχρεωτικό να εισαχθούν σε ένα μοντέλο για συγκεκριμένη χρονική στιγμή $t=0$ d. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται αυτομάτως από το μοντέλο με την χρήση της μεθόδου της παρεμβολής, ένας χάρτης απεικόνισης του υδραυλικού ύψους σε όλη την περιοχή μελέτης, αρκεί φυσικά να υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα σημεία πάνω σε αυτή για τα οποία γνωρίζουμε το υδραυλικό ύψος. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται με αρκετά μεγάλη ακρίβεια η ελεύθερη επιφάνεια του υδροφορέα. Στο μοντέλο των Μαλίων γνωρίζαμε για τον Οκτώβριο του 1995 τα υδραυλικά ύψη στα ρηχά πηγάδια της περιοχής μελέτης, όπως φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 13 και στην φωτογραφία του μοντέλου την Εικόνα 24, (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012).

Πίνακας 13. Αρχικά υδραυλικά ύψη ρηχών πηγαδιών στα Μάλια (10/1995). (Περάκη, 2012)							
Ονομασία πηγαδιού	Υδραυλικό ύψος (m)	Ονομασία πηγαδιού	Υδραυλικό ύψος (m)	Ονομασία πηγαδιού	Υδραυλικό ύψος (m)	Ονομασία πηγαδιού	Υδραυλικό ύψος (m)
W4	5,75	W46	4,72	W91	-1,52	W124	6,49
W5	7,32	W51	7,70	W102	7,92	W126	8,55
W9	2,58	W53	5,83	W103	8,68	W127	1,24
W11	0,58	W56	3,35	W109	1,08	W130	7,76
W13	4,82	W60	6,45	W111	11,46	W131	2,90
W14	8,15	W67	3,49	W113	8,90	W133	6,64
W17	4,27	W69	3,46	W115	9,73	W136	-0,14

W21	1,14	W72	1,66	W116	8,32	W138	0,59
W26	6,78	W79	0,81	W119	3,53	W140	11,75
W35	-5,21	W85	0,59	W122	2,93	W142	3,13
W36	-6,11	W90	-1,47	W123	5,72	W143	2,58



Εικόνα 24. Αρχικά υδραυλικά ύψη μοντέλου Μαλίων 10/1995.

4.3.2. Οριακές συνθήκες (Boundary conditions)

Στις οριακές συνθήκες ανήκουν τα ισοδύναμα υδραυλικά ύψη, οι εισροές του νερού και παροχές άντλησης των πηγαδιών άντλησης.

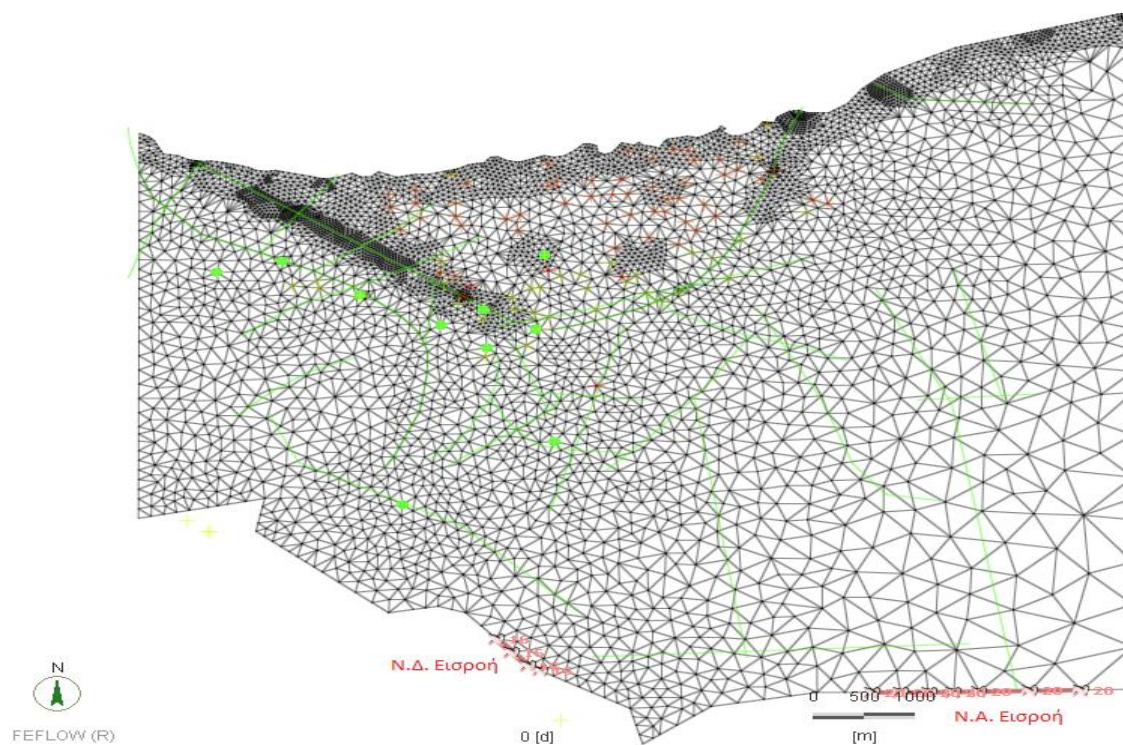
Οριακές συνθήκες 1^{ου} είδους (1st kind)

Οι 1^{ου} είδους οριακές συνθήκες αφορούν τα ισοδύναμα υδραυλικά ύψη του. Στην παρούσα μοντελοποίηση οριακές συνθήκες 1^{ου} είδους θεωρούνται κατά μήκος της παραλιακής ζώνης και παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό Πίνακα 14.

Πίνακας 14. Συγκεντρωτικό πίνακας δεδομένων στην παραλιακή ζώνη της περιοχής των Μαλίων. (Περάκη, 2012)			
Slice	Υψόμετρο/Βάθος (m)	Υδραυλικό ύψος (m)	Ισοδύναμο υδραυλικό ύψος (m)
1	0	0,00	0,00
2	-1	0,00	0,03
3	-10	0,00	0,25
4	-20	0,00	0,50
5	-30	0,00	0,75
6	-40	0,00	1,00
7	-50	0,00	1,25
8	-60	0,00	1,50
9	-70	0,00	1,75
10	-80	0,00	2,00
11	-90	0,00	2,25
12	-100	0,00	2,5

Οριακές συνθήκες 2^{ου} είδους (2nd kind)

Οι 2^{ου} είδους οριακές συνθήκες αφορούν τις υπόγειες εισροές και εκροές στην περιοχή μελέτης οι οποίες προκύπτουν από τις βροχοπτώσεις, το λιώσιμο του χιονιού, την απορροή προς την θάλασσα και άλλες πιθανές επιφανειακές εισροές. Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξετάζονται οι εισροές προς το μοντέλο, έτσι ώστε να επιτευχθεί η σωστή βαθμονόμηση του μοντέλου και άρα να είναι δυνατή η σωστή εξαγωγή των αποτελεσμάτων αυτού. Οι εισροές που επιλέχθηκαν για να βαθμονομηθεί το μοντέλο των Μαλίων είναι δύο, οι οποίες βρίσκονται στο νότιο άκρο του πεδίου και φαίνονται στην ακόλουθη φωτογραφία του μοντέλου Εικόνα 25, (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012).



Εικόνα 25. Νοτιοανατολική και νοτιοδυτική εισροή του πεδίου των Μαλίων.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι εισροές έχουν τοποθετηθεί σε κάθε layer και η κάθε εισροή του κάθε layer περιλαμβάνει πλήθος τιμών παροχών νερού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, συνθέτοντας έτσι μια χρονοσειρά.

Παροχές άντλησης του μοντέλου

Στην συνέχεια ορίστηκαν οι παροχές άντλησης στα πηγάδια άντλησης, οι γεωτρήσεις άντλησης και οι ποσότητες νερού που εκφορτίζουν οι πηγές. Στο μοντέλο των Μαλίων υπάρχουν συνολικά 91 πηγάδια και γεωτρήσεις, με τα πηγάδια να είναι 52, οι γεωτρήσεις 39 και 2 οι πηγές, εκείνη του Γραμματικάκη και εκείνη του Αλμυρού, για τα οποία έχουμε τα δεδομένα και τα παραθέτουμε στην συνέχεια. Τα δεδομένα για τις παροχές άντλησης των πηγαδιών και των γεωτρήσεων τα οποία περιλαμβάνουν την ονομασία του πηγαδιού, την τιμή της παροχής άντλησης του, την περίοδο λειτουργίας του και το slice από το οποίο αντλεί το νερό το κάθε πηγάδι και παρουσιάζονται στους Πίνακες 15 και 16., ενώ τα δεδομένα για τις πηγές παρουσιάζονται στον Πίνακα 17. (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012).

Πίνακας 15. Συγκεντρωτικός πίνακας άντλησης πηγαδιών και χαρακτηριστικών αυτών. (Περάκη, 2012)							
Ονομασία πηγαδιού	Παροχή άντλησης (m ³ /d)	Περίοδος λειτουργίας	Slice	Ονομασία πηγαδιού	Παροχή άντλησης (m ³ /d)	Περίοδος λειτουργίας	Slice
W1	960	Θερινή	1,2	W108	480	Θερινή	1,2
W4	600	Θερινή	1,2	W109	360	Θερινή	1,2
W5	600	Θερινή	1,2	W111	2400	Θερινή	1,2
W9	480	Θερινή	1,2	W113	480	Θερινή	1,2
W11	360	Θερινή	1,2	W115	480	Θερινή	1,2
W12	480	Θερινή	1,2	W116	600	Θερινή	1,2
W13	360	Θερινή	1,2	W119	720	Θερινή	1,2
W14	960	Θερινή	1,2	W122	600	Θερινή	1,2
W16	480	Θερινή	1,2	W123	600	Θερινή	1,2
W17	360	Θερινή	1,2	W124	600	Θερινή	1,2
W21	360	Θερινή	1,2	W126	480	Θερινή	1,2
W26	480	Θερινή	1,2	W127	480	Θερινή	1,2
W27	600	Θερινή	1,2	W130	480	Θερινή	1,2
W35	360	Θερινή	1,2	W131	480	Θερινή	1,2
W36	480	Θερινή	1,2	W133	480	Θερινή	1,2
W46	480	Θερινή	1,2	W136	480	Θερινή	1,2
W51	480	Θερινή	1,2	W138	480	Θερινή	1,2
W53	480	Θερινή	1,2	W140	720	Θερινή	1,2
W56	480	Θερινή	1,2	W143	720	Θερινή	1,2
W60	720	Θερινή	1,2	W145	960	Θερινή	1,2
W67	720	Θερινή	1,2	W146	960	Θερινή	1,2
W69	360	Θερινή	1,2	B1	1200	Θερινή	1,2
W72	480	Θερινή	1,2	B5	960	Θερινή	1,2
W79	480	Θερινή	1,2	B6	960	Θερινή	1,2
W84	720	Θερινή	1,2	B7	960	Θερινή	1,2
W85	720	Θερινή	1,2	B9	1680	Θερινή	1,2
W91	480	Θερινή	1,2	B16	1200	Θερινή	1,2
W102	360	Θερινή	1,2	B17	1440	Θερινή	1,2
W103	360	Θερινή	1,2	B18	960	Θερινή	1,2

Πίνακας 16. Συνέχεια συγκεντρωτικού πίνακα άντλησης πηγαδιών και χαρακτηριστικών αυτών. (Περάκη, 2012)			
Ονομασία πηγαδιού	Παροχή άντλησης (m ³ /d)	Περίοδος λειτουργίας	Slice
G.MA.1	1560	Ετήσια	3,4
G.MA.2	2400	Ετήσια	6,7
G.MA.3	1440	Θερινή	3,4
G.MA.4	480	Θερινή	5,6
G.MA.5	960	Θερινή	6,7
G.MA.6	1296	Ετήσια	10,11
G.MA.7	960	Ετήσια	8,9
G.MA.8	720	Ετήσια	6,7
G.ST.8	264	Ετήσια	10,11
G.ST.9	288	Ετήσια	8,9
G.ST.11	552	Ετήσια	9,10
G.ST.12	768	Ετήσια	6,7
G.ST.13	312	Ετήσια	6,7
N1	1200	Ετήσια	6,7
N2	1440	Ετήσια	6,7
N3A	1440	Ετήσια	6,7
N3B	1440	Ετήσια	6,7
N4	1440	Ετήσια	6,7
N5	1200	Ετήσια	6,7
N6	1440	Ετήσια	6,7
N8	2040	Ετήσια	6,7
N9	240	Ετήσια	6,7
D42	240	Ετήσια	11,12
D66	1200	Ετήσια	3,4
Δήμος Χερσονήσου	1920	Θερινή	6,7
Δήμος Χερσονήσου 2	960	Θερινή	6,7
Δήμος Μαλίων	1968	Θερινή	6,7
Στάμνα	1200	Θερινή	6,7
Πετσαλάκης	960	Θερινή	1,2

Πίνακας 17. Πίνακας παροχών εκφόρτισης των Πηγών Γραμματικάκη και Αλμυρού. (Περάκη, 2012)					
Ημερομηνία	Παροχή Πηγής Γραμματικάκη (m3/d)	Παροχή Πηγής Αλμυρού (m3/d)	Ημερομηνία	Παροχή Πηγής Γραμματικάκη (m3/d)	Παροχή Πηγής Αλμυρού (m3/d)
Ιαν-96	259,2	2072,64	Ιαν-98	1209,6	1201,92
Φεβ-96	794,4	1271,76	Φεβ-98	1269,6	616,8
Μαρ-96	739,2	432,00	Μαρ-98	1452,0	2585,04
Απριλ-96	468,0	125,28	Απριλ-98	1960,8	2695,68
Μαϊ-96	602,4	21,6	Μαϊ-98	1874,4	688,56
Ιουν-96	945,6	0	Ιουν-98	1348,8	59,52
Ιουλ-96	981,6	0	Ιουλ-98	1096,8	4,32
Αυγ-96	1245,6	0	Αυγ-98	1036,8	0
Σεπ-96	1020,0	0	Σεπ-98	1008,0	0
Οκτ-96	880,8	0	Οκτ-98	1094,4	220,08
Νοε-96	1452,0	0	Νοε-98	1684,8	432,24
Δεκ-96	1399,2	107,04	Δεκ-98	1636,8	495,84
Ιαν-97	691,2	299,76	Ιαν-99	1435,2	498,24
Φεβ-97	777,6	1791,84	Φεβ-99	1353,6	502,32
Μαρ-97	1372,8	3179,52	Μαρ-99	1370,4	323,04
Απριλ-97	1063,2	1479,12	Απριλ-99	1449,6	204,72
Μαϊ-97	1372,8	249,6	Μαϊ-99	1488,0	36,96
Ιουν-97	1106,4	39,84	Ιουν-99	1132,8	0
Ιουλ-97	1140,0	0	Ιουλ-99	1219,2	0
Αυγ-97	1070,4	0	Αυγ-99	1068,0	0
Σεπ-97	820,8	0	Σεπ-99	1293,6	0
Οκτ-97	1305,6	0	Οκτ-99	895,2	0
Νοε-97	2445,6	320	Νοε-99	1101,6	168,48
Δεκ-97	3585,6	642,72	Δεκ-99	693,6	330,96

4.4. Μεταφορά μάζας και ρήγματα (Discrete features)

Στο τελευταίο αυτό υποκεφάλαιο επεξηγούνται η εισαγωγή των αρχών της μεταφοράς μάζας στο μοντέλο του FEFLOW και ο ρόλος των ρηγμάτων που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της γεωλογικής δομής της περιοχής μελέτης και καθορίζουν την δημιουργία και συμπεριφορά της υφαλμύρισης στο πεδίο των Μαλίων.

4.4.1. Μεταφορά μάζας

Αρχικά για όλο το πεδίο μελέτης επιλέγεται η τιμή αρχικής συγκέντρωσης χλωριώντων ίση με 0 mg/L. Στην ακτογραμμή του πεδίου επιλέχτηκε η σταθερή τιμή συγκέντρωσης χλωριούχων ιόντων ίση με 18.980 mg/L (οριακή συνθήκη 1^{ου} είδους), που είναι η συγκέντρωση του θαλασσινού νερού της περιοχής των Μαλίων και ως περιορισμός ελάχιστης ροής μάζας ορίστηκε η τιμή 0 mg/L. Επιπρόσθετα, οι υπόλοιπες παράμετροι μεταφοράς μάζας, που ορίστηκαν για το μοντέλο είναι το πορώδες του εδάφους 0,45 που αποτελείται 45% από κενά και 55% από εδαφικό υλικό, η μοριακή διάχυση $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, η διαμήκης διασπορά 430 m και η εγκάρσια διασπορά ορίστηκε ίση με 43 m. Η επιλογή αυτών των τιμών διασποράς έγινε για να είναι δυνατή η βαθμονόμηση του φαινομένου της υφαλμύρισης μοντέλου με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012).

4.4.2. Ρήγματα (Discrete features)

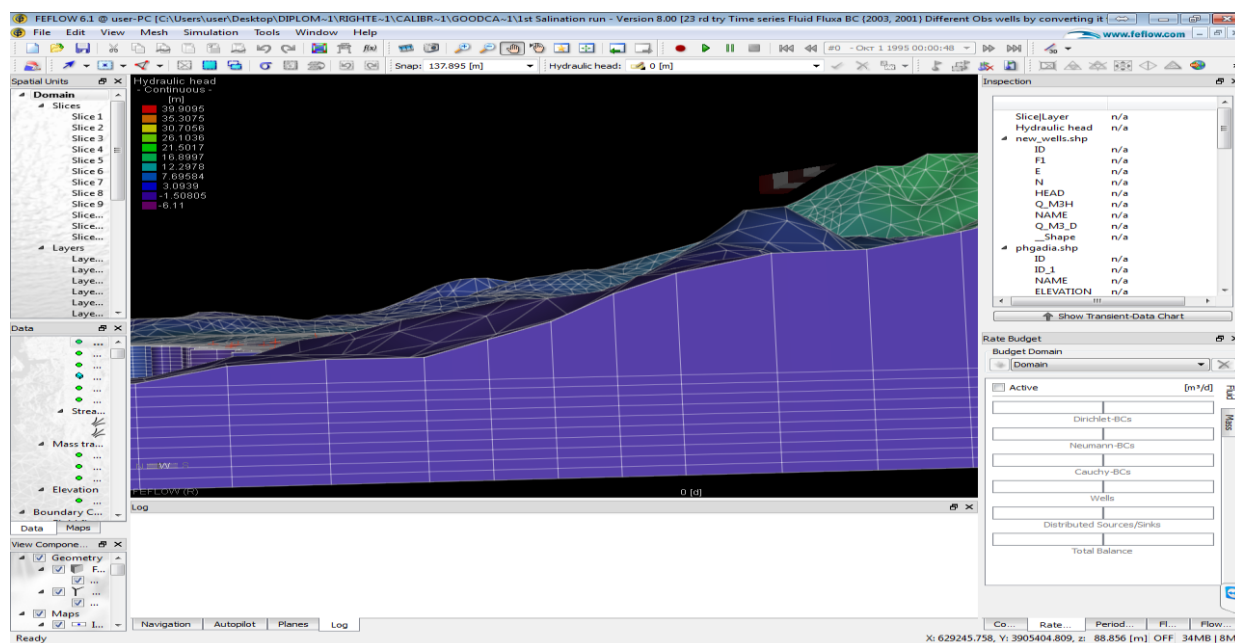
Τα ρήγματα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της γεωλογικής δομής της περιοχής που μελετάται και παίζουν καταλυτικό ρόλο στην επέκταση του φαινομένου της υφαλμύρισης. Επίσης, η προσέγγιση και η επίδραση των ρηγμάτων είναι μια εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία τόσο από φυσικής, όσο και από μαθηματικής άποψης. Για αυτό τον λόγο πρέπει να επισημανθεί ότι το μοντέλο δεν αναπαριστά και προσομοιώνει το ρηγματικό καθεστώς με απόλυτη ακρίβεια, αλλά το προσεγγίζει με έναν αρκετά ακριβή τρόπο, που βοηθάει στην εξαγωγή ρεαλιστικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων. Συνεπώς, στην διαδικασία κατασκευής του μοντέλου δημιουργούνται τα ρήγματα που υπάρχουν στο πεδίο, πράγμα που επιτυγχάνεται μέσω της επιλογής του εργαλείου discrete features. Ειδικότερα, για το μοντέλο των Μαλίων εντάχθηκαν σε αυτό μόνο τα παραλιακά ρήγματα και κάποιες μικρές επεκτάσεις τους, για απλούστευση των υπολογισμών και κατασκευάστηκαν ξεχωριστά τα τέσσερα αυτά ρήγματα. Ο νόμος που εφαρμόστηκε για τα ρήγματα ήταν εκείνος του Haagen-Poiseuille, που στην ουσία θεωρεί και αντιμετωπίζει τα ρήγματα ως αγωγούς μεταφοράς μάζας και οι τιμές που εισήχθησαν σε αυτά είναι η ειδική χωρητικότητα ($0,001 \text{ m}^{-1}$), η μοριακή διάχυση ($10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$) και η διαμήκης διασπορά (450 m). (Karatzas and Dokou, 2013, Περάκη, 2012).

5. Εφαρμογή του μοντέλου του FEFLOW στο Δ. Μαλίων

Όσον αφορά την μελέτη της ροής στον υπόγειο υδροφόρα των Μαλίων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του μοντέλου προσομοίωσης υπογείων νερών FEFLOW ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται παρακάτω.

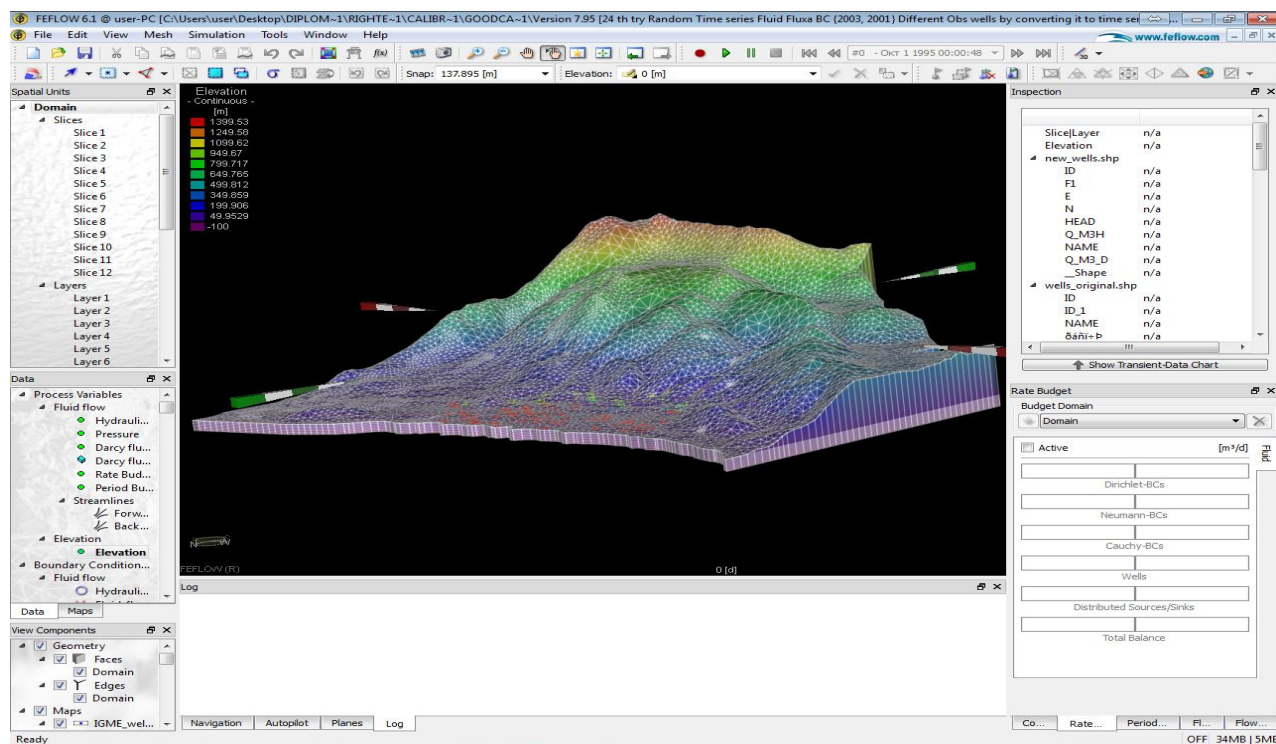
5.1. Σχεδιασμός και μοντελοποίηση του υπόγειου υδροφόρα και του ανάγλυφου

Αρχικά δημιουργήθηκε το πεδίο του υπόγειου υδροφόρα του και το ανάγλυφό του εδάφους. Αναλυτικότερα για να πραγματοποιηθεί αυτό θεωρήθηκε ότι ο υδροφόρας έχει βάθος 100 m και χωρίστηκε σε 11 επίπεδα/ layers και σε 12 συνολικά κομμάτια/ slices, όπως φαίνεται στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26. Απεικόνιση των layers και slices στο τρισδιάστατο μοντέλο των Μαλίων.

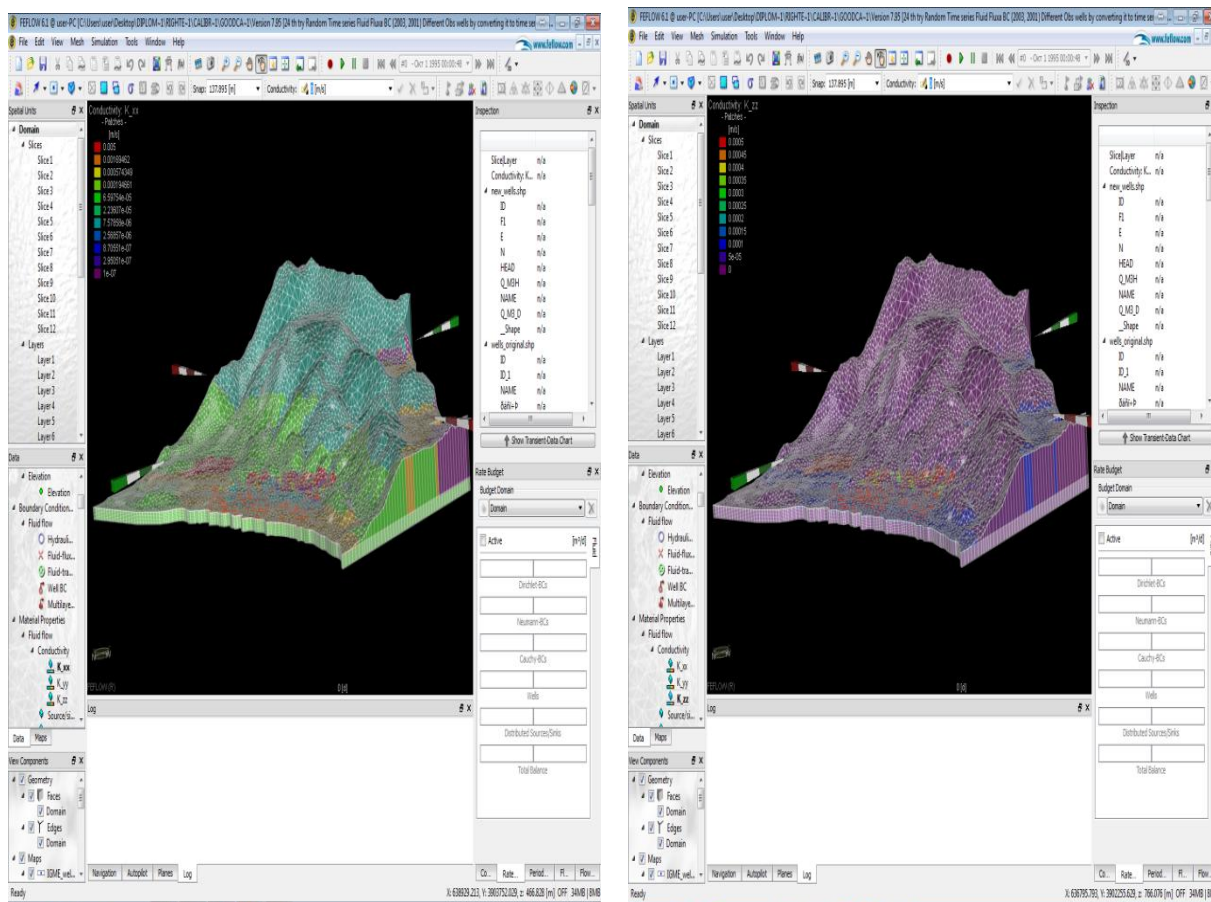
Στο μοντέλο των Μαλίων που παρουσιάζεται στην Εικόνα 27 φαίνονται τα διαφορετικά επίπεδα/layers και το υψόμετρο του πεδίου μελέτης. Το υψόμετρο στην περιοχή έχει ως ελάχιστο το επίπεδο της θάλασσας 0 m και ως μέγιστο υψόμετρο την νοτιανατολική κορυφή της Σέλενας δίπλα από τον οικισμό του Κρασίου που βρίσκεται στα 1349 m. Για να προσομοιωθεί στο τρισδιάστατο επίπεδο το υψόμετρο, χρησιμοποιήθηκε το αρχείο Excel με την πληροφορία των υψομέτρων και αντιστοιχήθηκε στο υψόμετρο/ elevation με την μέθοδο αντίστροφης απόστασης/ inverse distance, ενώ ψηφιοποιήθηκε παράλληλα η πληροφορία της μεταβολής του ύψους του εδάφους σε όλο το πεδίο.



Εικόνα 27. Τρισδιάστατη απεικόνιση της περιοχής του πεδίου του μοντέλου των Μαλίων.

5.2. Εισαγωγή της γεωλογίας και του συνόλου των πηγαδιών του πεδίου

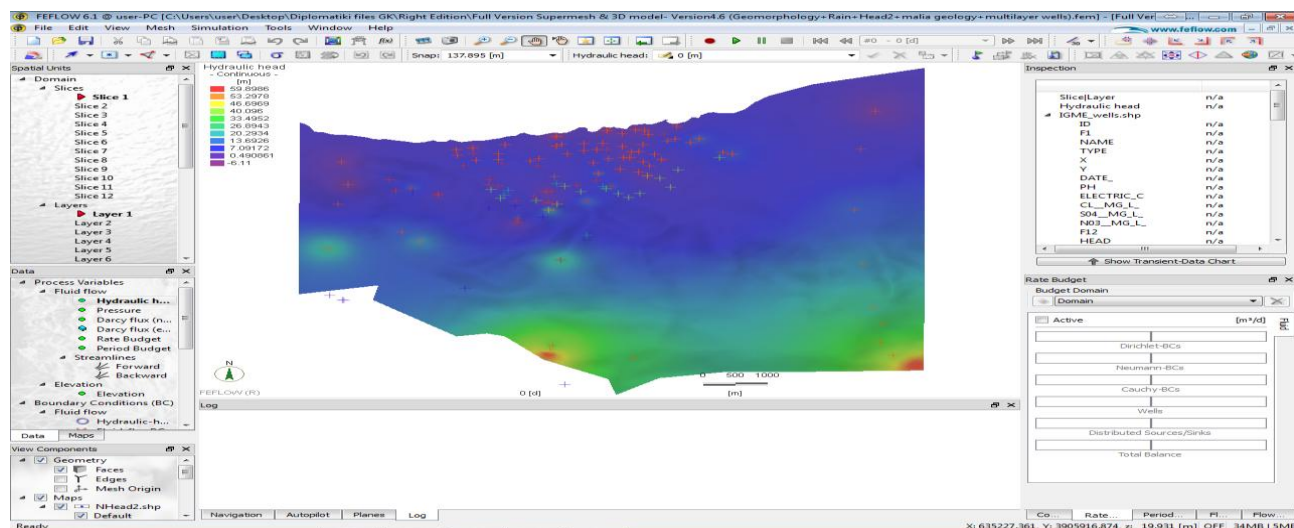
Μετά από την δημιουργία του αναγλύφου ακολουθήθηκε η εισαγωγή της υδραυλικής αγωγιμότητας στην X, Y και Z κατεύθυνση. Οι τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο, είναι αυτές που φαίνονται στην Εικόνα 28. Στην συνέχεια εισήχθησαν τα πηγάδια με τις αντίστοιχες αντλήσεις τους με χρήση της εντολής Multilayer Wells. Παραδείγματος χάριν αν το πηγάδι αντλεί από το 5ο layer, τότε επιλεγόταν ο κόμβος που βρίσκεται το πηγάδι στο 5ο slice και πραγματοποιούνταν assign της πληροφορίας που αντιστοιχούσε. Με αυτό τον τρόπο οριζόταν η οριακή συνθήκη (boundary condition) του πηγαδιού ανάμεσα στο 5ο και 6ο slice και άρα αντλούσε από το 5ο layer. Στην περίπτωση που το πηγάδι αντλεί με διαφορετικούς ρυθμούς άντλησης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους τότε δημιουργείται μια χρονοσειρά, που ορίζει θερινές τιμές (184- 365 μέρες → 1^η Απριλίου έως 30 Σεπτεμβρίου) και χειμερινές (0- 183 μέρες → 1η Οκτωβρίου έως 31 Μαρτίου) τιμές άντλησης. Τα δεδομένα του πεδίου που χρησιμοποιήθηκαν για τα πηγάδια παρατίθενται αναλυτικά στο αντίστοιχο κεφάλαιο.



Εικόνα 28. Μεταβαλλόμενη χωρικά τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας (K_x, K_z), στο μοντέλο.

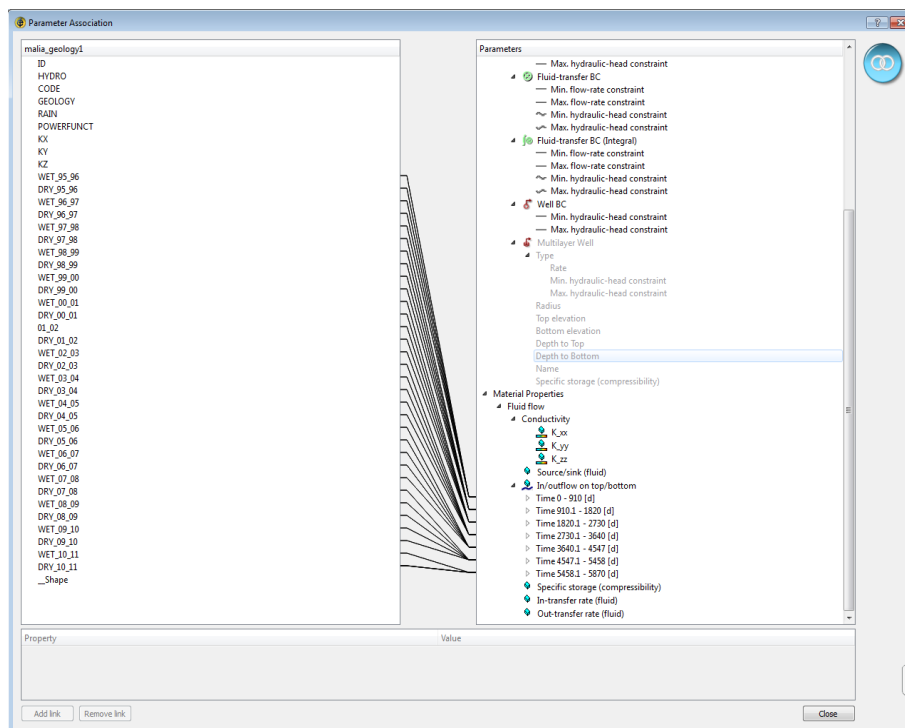
5.3. Εισαγωγή δεδομένων υδραυλικών υψών και χρονοσειρών βροχοπτώσεων

Στην προκειμένη περίπτωση το υδραυλικό ύψος του νερού στον ελεύθερο υδροφορέα είναι η ελεύθερη επιφάνεια του νερού που υπάρχει σε μια γεώτρηση με αναφορά το επίπεδο της θάλασσας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το υδραυλικό ύψος του νερού μεταβάλλεται και παρουσιάζει κάποια χρονική διακύμανση ανάλογα με την άντληση που πραγματοποιείται στο σύστημα του υπόγειου υδροφορέα. Συνεπώς, σε περίπτωση άντλησης είναι πιθανόν να υπάρχει πτώση της στάθμης του υδραυλικού ύψους και σε περίπτωση εμπλουτισμού, μέσω τεχνητής μεθόδου ή μέσω βροχοπτώσεων να υπάρχει αντίστοιχα αύξηση της στάθμης του νερού. Ο τρόπος εισαγωγής των υδραυλικών υψών στο μοντέλο του FEFLOW είναι ίδιος με εκείνο του αναγλύφου, δηλαδή στο Excel περάστηκε στην πρώτη στήλη η ονομασία των πηγαδιών σε άλλες δύο τις συντεταγμένες αυτών (X,Y) και στην τελευταία στήλη περάστηκε το υδραυλικό ύψος (HEAD). Έπειτα, αφού πρώτα τροποποιήθηκε το αρχείο του Excel σε shapefile, μέσω του GIS, φορτώθηκε στο Feflow και συνδέθηκε με την στήλη (HEAD) με το φυσικό μέγεθος του υδραυλικού ύψους που διαθέτει το FEFLOW. Τέλος, επιλέχθηκαν όλοι οι κόμβοι του πεδίου σε όλα τα layers και έγινε assign το αρχείο shapefile των υδραυλικών υψών. Η περιοχή στην οποία προστέθηκε η πληροφορία του υδραυλικού ύψους, φαίνεται στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα του πεδίου στην Εικόνα 29.



Εικόνα 29. Δισδιάστατος χάρτης του πεδίου απεικόνισης των υδραυλικών υψών αυτού.

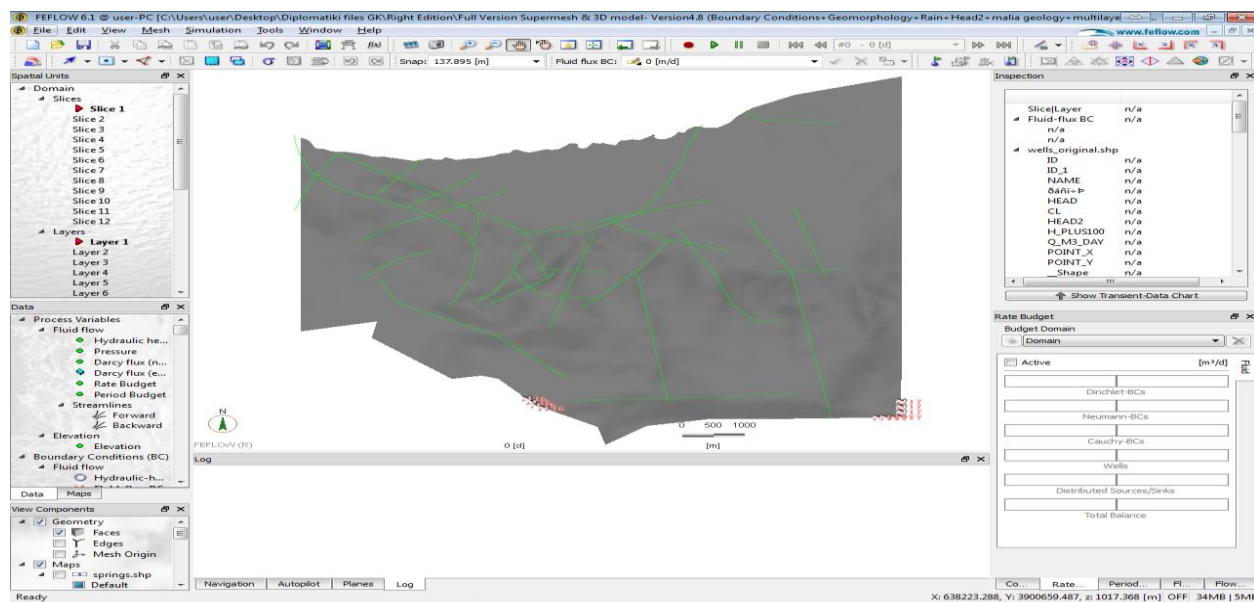
Όσον αφορά το κομμάτι των βροχοπτώσεων εισήχθησαν στο μοντέλο οι τιμές διήθησης της βροχόπτωσης για χειμερινή (Οκτώβρης έως Μάρτης - wet season) και θερινή περίοδο (Απρίλης έως Σεπτέμβρης - dry season). Χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές των βροχοπτώσεων για τα έτη 1995 – 2011 από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν μέσω του GIS στήλες που περιείχαν τα δεδομένα του ποσοστού της βροχόπτωσης που διηθείται μέσω των πετρωμάτων και έπειτα αντιστοιχήθηκαν αυτά μέσω του FEFLOW με το αντίστοιχο διάστημα ημερών που αναλογούσε στην χειμερινή και θερινή περίοδο του κάθε έτους. Η αντιστοιχία που ακολουθήθηκε φαίνεται στην Εικόνα 30 που είναι από το διαδραστικό περιβάλλον του FEFLOW, ενώ η ανάθεση των τιμών σε κάθε περιοχή/πολυγωνικό χωρίο του πεδίου έγινε με την βοήθεια του προγράμματος GIS.



Εικόνα 30. Αντιστοιχία δεδομένων διήθησης βροχόπτωσης με τον χρόνο διήθησης.

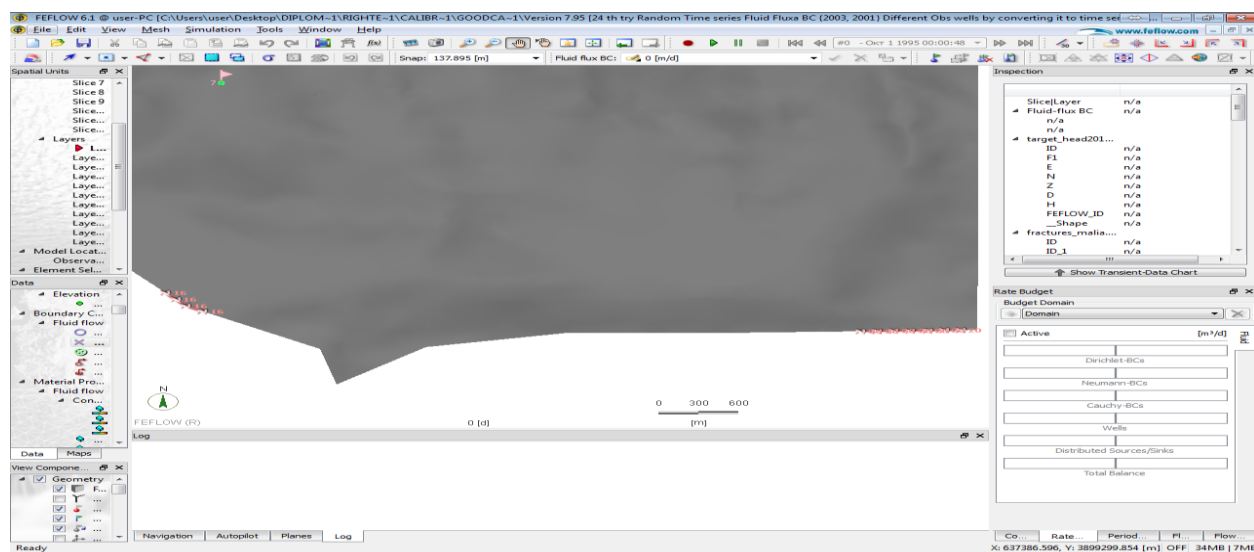
5.4. Εισαγωγή ρηγμάτων και οριακών συνθηκών στο πεδίο

Όσον αφορά τα ρήγματα, που φαίνονται στην Εικόνα 31, εισάχθηκαν έχοντας συμβουλευτεί πρώτα γεωλογικούς χάρτες της περιοχής. Στο FEFLOW αρχικά επιλέχθηκαν και κατασκευάστηκαν στο σύνολο 26 διαφορετικά ρήγματα με τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν.



Εικόνα 31. Δισδιάστατος χάρτης απεικόνισης ρηγμάτων στην επιφάνεια του πεδίου.

Οι οριακές συνθήκες πέρα των πηγαδιών που εισήχθησαν στο μοντέλο των Μαλίων ήταν οι εισροές του νερού προς το πεδίο που φαίνονται στην Εικόνα 32. Για να επιτευχθεί η διαπίστωση με ποιο τρόπο το νερό εισέρχεται προς στον υδροφορέα συμβουλευτήκαμε έναν γεωλόγο, που υπέδειξε πως το νερό εισέρχεται από δύο περιοχές οι οποίες βρίσκονται νοτιοδυτικά και νοτιοανατολικά της περιοχής των Μαλίων. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο πως η διαδικασία της βαθμονόμησης πραγματοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό με την βοήθεια των οριακών συνθηκών των εισροών (Fluid Flux BC).



Εικόνα 32. Δισδιάστατη απεικόνιση περιοχών θέσης των εισροών του πεδίου.

5.5. Διαδικασία βαθμονόμησης της ροής του μοντέλου

Για να υπάρχει μια ποσοτική εποπτεία της αυξομείωσης του υδραυλικού ύψους υπολογιζόταν σε κάθε προσπάθεια η τιμή του στατιστικού μεγέθους RMSE (Root Mean Square Error), το οποίο ποσοτικοποιεί την απόκλιση της τιμής του υδραυλικού ύψους του μοντέλου με εκείνη του πεδίου. Η διαδικασία εξελίχθηκε ως εξής, αρχικά η τιμή του RMSE ήταν γύρω στο 20 m και με διαρκείς επαναλήψεις με την μέθοδο δοκιμής και σφάλματος (try and error) επιτεύχθηκε μείωσή του περίπου στα 10 m και στη συνέχεια επιτεύχθηκε τιμή κάτω των 8 m. Συγκεκριμένα η μικρότερη τιμή του RMSE που επιτεύχθηκε ήταν γύρω στα 7,8 m, ενώ θεωρήθηκε αποδεκτή τιμή γύρω στα 6 m. Αυτή η απόκλιση οφείλεται στο γεγονός ότι το πεδίο είναι πολύ μεγάλο και εμπλέκονται τόσες πολλές διαφορετικές παράμετροι και μεταβλητές, που δεν είναι δυνατή η τόσο καλή προσέγγιση των μετρούμενων στο πεδίο υδραυλικών υψών. Από την εμπειρία που υπάρχει με το μοντέλο, διαπιστώθηκε ότι μετά το 2006 σημειώνεται μια αρκετά καλή βαθμονόμηση του πεδίου όσον αφορά την ροή και για αυτό τον λόγο το βέλτιστο συνολικό RMSE είναι 4,94 m. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζεται το δεύτερο καλύτερο τρέξιμο του μοντέλου των Μαλίων (RMSE=7,42 m).

Πίνακας 18.	ΗΗ=Υδραυλικό ύψος	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ		
Δοκιμές βαθμονόμησης		ΤΕ=Τιμή Excel	Μ=Τιμή Μοντέλο	RMSE	ΤΕ	ΤΜ	RMSE	ΤΕ	ΤΜ	RMSE	ΤΕ	ΤΜ	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημεία παρατήρησης->Πηγάδι	12/7/2007	12/7/2007		17/3/2008	17/3/2008		1/8/2010	1/8/2010		11/10/2011	10/11/2011			
99.83	1->GST8	-	0.36	-	15.28	0.35	222.9	4.18	0.17	16.08	5.48	-0.011	30.15		
131.41	2->GST13	3.95	0.5	11.9	3.95	0.48	12.04	-3	0.29	10.82	2.95	0.19	7.62		
197.57	3->GMA8	4.33	-0.45	22.84	-	-0.45	-	-	-0.24	-	2.73	-0.29	9.12		
79.72	4->GMA1	3.55	-1.07	21.34	7.05	-0.99	64.64	4.35	-2.26	43.69	4.35	-3.42	60.37		
117.42	5->GMA3	-	-0.77	-	-	-0.77	-	8.74	-1.39	102.62	4.84	-2.32	51.26		2nd try
162.4	6->GMA6	3.8	0.42	11.42	10.5	0.4	102.01	-	0.44	-	3.3	0.47	8		
201.15	7->GMA4	10.61	2.27	69.55	-	2.13	-	13.41	1.62	139	9.11	0.74	70.05		
381.72	8->GMO24		3.11		-	3	-	-	2.54	-	13	1.89	123.43		
160.01	9->D42	-	1.13	-	-	1.09	-	-	0.88	-	-	0.66	-		
	10->D66	-	0.05	-	-	0.04	-	-	-0.06	-	-	-0.26	-	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			137.05			401.59			312.22			360.02	1210.88	7.42
	Ετήσιο	RMSE		5.23			10.02			7.9			6.71		

Στον ακόλουθο Πίνακα 19. παρουσιάζεται το βέλτιστο τρέξιμο του μοντέλου του πεδίου των Μαλίων για την βαθμονόμηση της ροής, λαμβάνοντας υπόψη τα τελευταία χρόνια μόνο έχοντας καταγράψει την καλύτερη συνολική τιμή RMSE 4,94 m. Διαπιστώθηκε ότι οποιαδήποτε τρέξιμο κατά την βαθμονόμηση της ροής, μετά το τελευταίο προκάλεσε μόνο μικρομεταβολές στην τιμή του RMSE της τάξης του 10^{-2} .

Πίνακας 19.	ΗΗ=Υδραυλικό ύψος	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ		
Δοκίμες βαθμονόμησης		TE=Τιμή Excel	M=Τιμή Μοντέλο	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημεία παρατήρησης->Πηγάδι	12/7/2007	12/7/2007		17/3/2008	17/3/2008		1/8/2010	1/8/2010		11/10/2011	10/11/2011			
99.83	1->GST8	-	2.73	-	15.28	2.63	160.02	4.18	2.55	2.66	5.48	2.16	11.02		
131.41	2->GST13	3.95	2.82	1.28	3.95	2.76	Jan-42	-3	2.65	31.92	2.95	2.38	0.32		
197.57	3->GMA8	4.33	0.53	14.44	-	0.63	-	-	0.62	-	2.73	0.31	5.86		
79.72	4->GMA1	3.55	0.23	11.02	7.05	0.27	45.97	4.35	0.47	15.05	4.35	-0.11	19.89		
117.42	5->GMA3	-	0.22	-	-	0.34	-	8.74	0.51	67.73	4.84	-0.13	24.7		
162.4	6->GMA6	3.8	2.58	1.49	10.5	2.5	64	-	2.58	-	3.3	2.13	1.37		
201.15	7->GMA4	10.61	15.17	20.79	-	14.3	-	13.41	18.48	25.7	9.11	11.89	7.73		
381.72	8->GMO24		15.09		-	14.26	-	-	14.22	-	13	11.7	1.69		
160.01	9->D42	-	4.32	-	-	4.22	-	-	4.01	-	-	3.77	-		
	10->D66	-	0.41	-	-	0.37	-	-	0.3	-	-	0.25	-	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			49.02			271.41			143.07			72.58	536.08	4.94
	Ετήσιο	RMSE		3.13			8.24			5.35			3.01		

Οι προσπάθειες των επαναλήψεων που πραγματοποιήθηκαν για την εν λόγω περιοριστική συνθήκη, φαίνονται αναλυτικά στο σχετικό παράρτημα 9.1 (Παράρτημα βαθμονόμησης της ροής), όπου υπάρχει καταγεγραμμένο το ιστορικό σε πίνακες. Αξίζει να αναφερθεί ότι η τελική επιλογή των εισροών για να προκύψει το επιθυμητό βαθμονομημένο αποτέλεσμα δεν αναφέρονται σε κάποιο παράρτημα μέσα στην διπλωματική και αυτό διότι οι τιμές που μεταβλήθηκαν αφορούν εκτεταμένες και πολλές στον αριθμό χρονοσειρές, οι οποίες είναι αδύνατο να παρουσιαστούν σε ένα παράρτημα, λόγω του προβλήματος κάλυψης χώρου, που εν τέλει δεν διευκολύνει την εκπαιδευτική διαδικασία ή την καλύτερη κατανόησή της.

5.6. Εισαγωγή δεδομένων και περιοριστικών συνθηκών της υφαλμύρισης του μοντέλου

Αρχικά εισήχθησαν οι τιμές των ισοδύναμων υδραυλικών υψών σε κάθε slice. Θεωρήθηκε στις ρυθμίσεις του προβλήματος/problem settings και ειδικότερα στην τάξη του προβλήματος/problem class ότι υπάρχει μεταφορά μάζας/mass transport χλωριόντων μέσα στο σύστημα του υπόγειου υδροφορέα και επιλέχτηκε το πορώδες μεταφοράς μάζας/ mass transport porosity. Έπειτα, κατά μήκος της παραλιακής ζώνης του μοντέλου των Μαλίων ορίστηκαν οι οριακές συνθήκες/boundary conditions, επιλέχτηκε μηδενική εισροή χλωριόντων και ορίστηκε σταθερή τιμή συγκέντρωσης χλωριόντων ίση με 18.980 mg/L. Στην συνέχεια εισήχθησαν τα μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν την ροή και την εξάπλωση των χλωριόντων μέσα στον υδροφορέα, όπως το πορώδες με τιμή 0,40, η μοριακή διάχυση/molecular diffusion $10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$, η επιμήκης διασπορά/longitudinal dispersivity, 430 m και η εγκάρσια διασπορά/transverse dispersivity, 43 m.

5.7. Διαδικασία βαθμονόμησης της υφαλμύρισης του μοντέλου

Για να επιτευχθεί, κατά την διάρκεια βαθμονόμησης της υφαλμύρισης του μοντέλου το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία βαθμονόμησης όπως και στην ροή. Επεξηγηματικά, υπολογίστηκε σε κάθε προσπάθεια η τιμή του στατιστικού μεγέθους RMSE (Root Mean Square Error) και διαπιστώθηκε κάθε φορά κατά πόσο και σε τι βαθμό επηρεαζόταν, έτσι ώστε στην επόμενη προσπάθεια να υπάρχει ένα καλύτερο συγκριτικά αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα των κυριότερων τρεξιμάτων παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 20., για τα τελευταία σημαντικά χρόνια βαθμονόμησης, ενώ αν κάποιος επιθυμεί να μελετήσει όλα τα χρόνια μπορεί να πάει στο σχετικό παράρτημα στο δέκατο κεφάλαιο.

Πίνακας 20. (mg/l)	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
Βαθμονόμηση	8ο τρέξιμο	TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	-0.019	12553	117.69	-0.024	13857	525	-0.035	275662		
131.41	2->GST13	-	0.0045	-	-	0.005	-	-	0.015	-		
197.57	3->GMA8	-	2.64	-	-	2.45	-	-	1.254	-		
79.72	4->GMA1	165.91	812.47	418040	289.27	883.91	353597	533	298.28	55093		
117.42	5->GMA3	24.11	-4.12	796.93	19.85	-5.48	641.61	43	-5.25	2328		
162.4	6->GMA6	74.45	2.12	5231.6	36.87	2.14	1206.2	174	1.81	6.2		
201.15	7->GMA4	35.45	0	1256.7	36.16	0	1307.5	-	0			
381.72	8->GMO24	-	0	-	-	0	-	-	0	-		
160.01	9->D42	-	0	-	-	0	-	135	0.00013	18225		
	10->D66	-	-421.62	-	-	-453.49	-	152	-458.43	372625	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			437878			370609			779033	1587519	247.1
	Ετήσια			295.93			272.25			360.33		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
15η προσπάθεια		TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	466.08	100000	117.69	477.89	100000	525	559.69	1203.4		
131.41	2->GST13	-	217.2	-	-	238.08	-	-	285.47	-		
197.57	3->GMA8	-	344.08	-	-	341.62	-	-	273.9	-		
79.72	4->GMA1	165.91	751.79	300000	289.27	574.86	81562	533	567.98	1223.6		
117.42	5->GMA3	24.11	260.11	55696	19.85	259.92	57634	43	183.66	19785		
162.4	6->GMA6	74.45	171.88	9493	36.87	165.14	16453	174	137.97	17868		
201.15	7->GMA4	35.45	3.84	999.2	36.16	3.86	1043	-	4.01			
381.72	8->GMO24	-	-0.03	-	-	-0.03	-	-	-0.024	-		
160.01	9->D42	-	9.3	-	-	14.99	-	135	44.57	8177.6		
	10->D66	-	58.19	-	-	27.66	-	152	26.72	15695	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			500000			300000			65176	886413	235.37
	Ετήσια			327			239.3			104.22		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
17η προσπάθεια		TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	210.67	9732	117.69	223.43	11181	525	322.69	40929		
131.41	2->GST13	-	73.93	-	-	87.95	-	-	143.58	-		
197.57	3->GMA8	-	299.04	-	-	296.6	-	-	260.93	-		
79.72	4->GMA1	165.91	732.69	300000	289.27	619.03	100000	533	565.02	1025.3		
117.42	5->GMA3	24.11	230.72	42688	19.85	233.25	45540	43	177.76	18160		
162.4	6->GMA6	74.45	142.1	4577	36.87	136.73	9972	174	120.88	13591		
201.15	7->GMA4	35.45	1.43	1157	36.16	1.47	1203	-	1.93			
381.72	8->GMO24	-	-0.011	-	-	-0.012	-	-	-0.015	-		
160.01	9->D42	-	-14.33	-	-	-12.42	-	135	0.74	18026		
	10->D66	-	-57.64	-	-	-55.94	-	152	-123.57	75939	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			400000			200000			168696	724726	212.83
	Ετήσια			275.5			188			167.68		

Πρέπει να αναφερθεί ότι το κύριο φυσικό μέγεθος βαθμονόμησης της υφαλμύρισης ήταν η παράμετρος της υδροδυναμικής διασποράς. Από αυτή εξαρτάται η εισροή του θαλασσινού νερού στο εσωτερικό-ηπειρωτικό κομμάτι μιας περιοχής και συνεπώς η αύξηση των συγκεντρώσεων χλωριόντων και η εξάπλωσή του σε μεγαλύτερη απόσταση από την παράκτια ζώνη. Ειδικότερα, σε κάθε τρέξιμο του μοντέλου μεταβάλλονταν οι τιμές της διαμήκους και εγκάρσιας διασποράς σε όλο το πεδίο, ενώ στα ρήγματα ορίζονταν μέγιστες τιμές διαμήκους διασποράς. Κάθε φορά διαπιστωνόταν το ποσοστό βελτίωσης της ακρίβειας με την οποία το μοντέλο προσέγγιζε τις τιμές πεδίου. Ο λόγος που θεωρήθηκε μέγιστη τιμή διαμήκους διασποράς στα ρήγματα ήταν για να διευκολύνει το θαλασσινό νερό να εισβάλλει στο ηπειρωτικό κομμάτι της περιοχής των Μαλίων, λειτουργώντας ως αγωγός, το οποίο είναι ένα φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει στην πραγματικότητα.

Συμπληρωματικά, ένα άλλο μέγεθος, που τροποποιούνταν για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στο μοντέλο ήταν το πορώδες. Τα αποτελέσματα του μοντέλου για το βέλτιστο σενάριο βαθμονόμησης της υφαλμύρισης, παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 21.

Πίνακας 21. (mg/l)	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
Βαθμονόμηση	20η προσπάθεια-4o layer	TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	222.59	12226	117.69	226.91	11929	525	251.46	74824		
131.41	2->GST13	-	92.78	-	-	93.75		-	99.99	-		
197.57	3->GMA8	-	200.91	-	-	196.07	-	-	173.74	-		
79.72	4->GMA1	165.91	620.71	200000	289.27	610.12	100000	533	724.26	36580		
117.42	5->GMA3	24.11	159.84	18423	19.85	157.66	18992	43	127.96	7218		
162.4	6->GMA6	74.45	107.06	1063	36.87	104.33	4551	174	92.25	7735		
201.15	7->GMA4	35.45	1.76	1135	36.16	1.9	1174	-	2.74			
381.72	8->GMO24	-	0.025	-	-	0.03		-	0.06	-		
160.01	9->D42	-	26.26	-	-	29.67	-	135	53.15	6699		
	10->D66	-	112.48	-	-	117.03	-	152	209.1	3260	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			200000			100000			172898	552178	185.77
	Ετήσια	RMSE		218.9			167.1			169.75		

Αξίζει να σημειωθεί ότι το τελευταίο τρέξιμο του μοντέλου που πέτυχε την βέλτιστη βαθμονόμηση της υφαλμύρισης, περιείχε τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 22.

Πίνακας 22. Πίνακας παρουσίασης κυρίων μεγεθών του τελευταίου τρεξίματος βαθμονόμησης της υφαλμύρισης				
Φυσικό μέγεθος βαθμονόμησης	Διαμήκης διασπορά πεδίου (m)	Εγκάρσια διασπορά πεδίου (m)	Διαμήκης διασπορά στα ρήγματα (m)	Πορώδες
Τιμές	430,00	43,00	450,00	0,45

6. Εφαρμογή του υπολογιστικού εργαλείου του Retscreen στο Δ. Μαλίων

Στην ακόλουθη παράγραφο αναλύονται οι αρχές του υπολογιστικού προγράμματος του Retscreen, σε συνδυασμό με την εφαρμογή του στην τεχνολογία των ΑΠΕ, όπως πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική. Το υπολογιστικό πρόγραμμα του Retscreen είναι δυνατό να εφαρμοστεί ευρέως σε πολλά διαφορετικά είδη τεχνολογίας. Το ανανεώσιμο κομμάτι αφορά ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, ενεργειακούς καυστήρες συσσωματωμάτων (pellets) ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων και γεωθερμικά έργα. Επίσης, αφορά συνδυασμούς δύο διαφορετικών ειδών τεχνολογίας, δηλαδή υβριδική τεχνολογία, μελέτη κτιριακών ενεργειακών φορτίων, μελέτη κτιριακού φωτισμού ακόμα και έργα παραγωγής κυματικής ενέργειας και πολλές άλλες εφαρμογές. Το σημαντικό είναι να γίνει κατανοητό ότι αποτελεί ένα εργαλείο, για να έρθει ο ενδιαφερόμενος χρήστης μελετητής με έναν εύκολο και ανέξοδο τρόπο σε μια πρώτη επαφή με ένα έργο (θεωρητικό ή πραγματικό) και να είναι σε θέση να προβλέψει την λειτουργία του σε έναν ικανοποιητικό βαθμό όταν αυτό υλοποιηθεί. Το Retscreen, λοιπόν, εφαρμόστηκε για την προσομοίωση του υβριδικού έργου και των αιολικών πάρκων που το αποτελούν, καθώς και για την δημιουργία ανεξαρτήτων έργων για αιολικά πάρκα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αρχικά να προσδιορισθούν οι αρχικές συνθήκες του έργου, δηλαδή οι πληροφορίες που αφορούν την περιοχή κατασκευής του (χώρα, νομός, πόλη κλπ), τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν σε αυτήν, το είδους του έργου, την τεχνολογία στην οποία βασίζεται αυτό και άρα του προβλήματος που εξετάζεται. Στην παρούσα περίπτωση το πρόβλημα που εξετάζεται είναι ενεργειακό με εφαρμογή της υβριδικής τεχνολογίας σε συνδυασμό με αντλησιοταμίευση και αιολική ενέργεια. Αφού πραγματοποιηθεί η πρώτη εισαγωγή δεδομένων (αρχικών συνθηκών), το Retscreen προχωρά στην σύσταση και την δημιουργία του ενεργειακού μοντέλου, το οποίο αποτελεί τον πυρήνα του Retscreen και με βάση αυτό δημιουργούνται και ολοκληρώνονται τα επόμενα βήματα του προγράμματος. Στο ενεργειακό μοντέλο εισάγεται με λεπτομερέστατο τρόπο η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο έργο για να λειτουργήσει. Δηλαδή το πόσες μηχανές απαρτίζουν το έργο, την ισχύ του μηχανολογικού εξοπλισμού, τα είδη των μηχανών, ακόμα και από ποιες εταιρείες έχουν κατασκευασθεί και εξάγεται η ετήσια ενέργεια που παράγεται. Στην συνέχεια γίνεται η ανάλυση των ρύπων που θα εξέπεμπε το έργο, αν λειτουργούσε με συμβατική πηγή ενέργειας (πετρέλαιο, άνθρακας κλπ). Αυτό γίνεται έτσι ώστε να διαπιστωθεί πόσο συμβάλλει το ενεργειακό ισοζύγιο του έργου στην μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και στην λιγότερη ρύπανση του περιβάλλοντος. Αποτελεί δηλαδή ένα τρόπο ποσοτικοποίησης της συμβολής του έργου στην προστασία του περιβάλλοντος και στην λιγότερη επιβάρυνση αυτού. Αυτό πραγματοποιείται με το να υπολογιστούν πόσοι λιγότεροι τόνοι CO₂ σε ετήσιο χρονικό διάστημα δεν εκπέμπονται από το έργο. Τέλος, ακολουθεί η οικονομική ανάλυση του έργου και διαπιστώνονται τα οικονομικά οφέλη που είναι δυνατόν να αποκομιστούν από μια τέτοια επένδυση με λεπτομέρεια, σε ετήσιο χρονικό διάστημα και με σχετικό γράφημα που έχει χρονικό ορίζοντα και έχει οριστεί από τον χρήστη. Η οικονομική ανάλυση δείχνει με λεπτομέρεια τα χρόνια στα οποία θα γίνει η απόσβεση της αρχικής επένδυσης του έργου, όπως και το κέρδος που θα συλλεχθεί στο βάθος των χρόνων ζωής επένδυσης του έργου. Συνολικά, όλα αυτά τα εργαλεία μαζί και με κάποια άλλα επίσης που δεν αναφέρθηκαν, καθώς δεν χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω διπλωματική, αποτελούν το υπολογιστικό πρόγραμμα του

Retscreen. Βοηθούν στο να γίνει μια πρώτη γνωριμία με ένα έργο που επιθυμείται να εξεταστεί η κατασκευή του τόσο από ενεργειακής όσο και από οικονομικής πλευράς.

Σε αυτή την ενότητα επεξηγούνται η διαδικασία και τα βήματα που ακολουθήθηκαν, έτσι ώστε να στηθεί και να εφαρμοστεί το υπολογιστικό εργαλείο του Retscreen στο Δ. Μαλίων. Τα δεδομένα (inputs) που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα πλέον κατάλληλα και έγκυρα, για να μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα (outputs) που να έχουν την δυνατότητα μιας ρεαλιστικής αποτύπωσης της πραγματικότητας.

6.1. Προσδιορισμός της ετήσιας εγγυημένης ενέργειας του υβριδικού έργου

Είναι γνωστό ότι η εγγυημένη ισχύς του υβριδικού σταθμού των Μαλίων είναι 75 MW και αν λειτουργεί η εγκατάσταση 8 ώρες κάθε μέρα όλο τον χρόνο τότε παράγεται καθημερινά μια ενέργεια της τάξεως των $E_{day}=600$ MWh. Συνεπώς, γνωρίζοντας ότι μέσα σε μια μέρα παράγεται αυτή η ποσότητα ενέργειας, τότε είναι γνωστό πως σε ένα έτος από το υβριδικό των Μαλίων είναι δυνατόν να παραχθεί ενέργεια ίση με:

$$E_{year}=600 \text{ MWh/day } 365 \text{ days/year} \Leftrightarrow E_{year}=\mathbf{219.000 \text{ MWh/year}=219 \text{ GWh/year}}$$

Διαπιστώθηκε, λοιπόν, πως η εγγυημένη ενέργεια που παράγει τον χρόνο ο υβριδικός σταθμός των Μαλίων είναι περίπου ίση με 219 GWh και είναι τιμή πολύ κοντά σε αυτή που έχουν υπολογίσει η υπεύθυνοι μηχανικοί του έργου 225 GWh. Αυτή είναι η μέγιστη ετήσια συνολική παραγωγή των υδροστροβίλων και που έχει προφανώς προσδιοριστεί σύμφωνα με την εγγυημένη ισχύ που μπορούν να εγγυηθούν οι υδροστροβίλοι. Συνεπώς, επαληθεύτηκε η ενέργεια που παράγεται από το υβριδικό.

6.2. Αναφορά της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε

Για να εξαχθούν τα αποτελέσματα από το Retscreen δημιουργήθηκαν έντεκα διαφορετικά μεταξύ τους σενάρια, έτσι ώστε να έχουμε ένα πλήθος αξιόπιστων αποτελεσμάτων, τα οποία επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν στο επόμενο κεφάλαιο της διπλωματικής. Παρόλα αυτά, σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα δεδομένα και στην μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία αυτών.

Αρχικά, δημιουργήθηκαν έντεκα συνολικά σενάρια από τα οποία τα τρία αφορούν το υβριδικό έργο των Μαλίων με ορισμένες διαφοροποιήσεις το καθένα από αυτά. Υπάρχουν δύο που έχουν στηθεί για να συμπεριλάβουν μια βιώσιμη εναλλακτική έκδοση του υβριδικού έργου πιο φιλική προς το περιβάλλον. Με λίγα λόγια έχουν δημιουργηθεί σενάρια που αγνοούν το αντλησιοταμιευτικό κομμάτι του υβριδικού έργου και εστιάζουν στα αιολικά πάρκα που περιέχονται στον σχεδιασμό του υβριδικού. Πιο συγκεκριμένα, δύο σενάρια αφορούν τα αιολικά πάρκα στον νομό Χανίων στην θέση <<Σπίνα>> και <<Πλακάκια>> και υπάρχουν άλλα δύο σενάρια που αφορούν τα αιολικά πάρκα στον νομό Ρεθύμνου στην θέση <<Λαμπινή>> και <<Καλή Συκιά>>. Τέλος, έχουν δημιουργηθεί δύο σενάρια που θεωρούν ένα ενιαίο αιολικό πάρκο, που διαθέτει την ισχύ και το πλήθος των ανεμογεννητριών των τεσσάρων προαναφερθέντων αιολικών πάρκων. Ο κύριος διαχωριστικός παράγοντας των σεναρίων των αιολικών πάρκων ήταν η απόδοση των ανεμογεννητριών που στο ένα σενάριο θεωρείται ότι έχουν απόδοση με capacity

factor=34,6% και στο άλλο ότι έχουν απόδοση με capacity factor=27,6%. Με άλλα λόγια θεωρήθηκε ένα σενάριο με καλή απόδοση και ένα με μέτρια απόδοση των ανεμογεννητριών. Όσον αφορά τα σενάρια των υβριδικών έργων, τόσο εκείνου των Μαλίων, όσο και της βιώσιμης εναλλακτικής πρότασης των Μαλίων ο κύριος διαχωριστικός παράγοντας ήταν η απόδοση των ανεμογεννητριών αλλά και η εγγυημένη ισχύς. Η εγγυημένη ισχύς ανέρχεται στα 75 MW από τους υδροστροβίλους και εγγυούνται οι μηχανικοί του έργου ότι θα την παρέχουν σταθερά στο σύστημα καθόλη την διάρκεια του έτους.

6.2.1 Αναφορά των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν

Αρχικά εισήχθησαν τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 23. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το αιολικό δυναμικό της περιοχής θεωρήθηκε ίση με 7,8 m/s, γιατί αυτή ήταν η μέση εκτιμώμενη ταχύτητα του ανέμου που αναφέρεται στην Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του έργου που είχε δημοσιευτεί το 2011.

Πίνακας 23. Κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχή μελέτης	
Μέση εκτιμώμενη ταχύτητα ανέμου (m/s)	7,8
Θερμοκρασία αέρα (C)	18,4
Ατμοσφαιρική πίεση (kPa)	100,9

Το Retscreen απαιτούσε την εισαγωγή των τεχνικών χαρακτηριστικών των ανεμογεννητριών που θα απάρτιζαν τα τέσσερα αιολικά πάρκα του έργου, τα οποία φαίνονται στον Πίνακα 24.

Πίνακας 24. Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας	
Εταιρεία ανεμογεννήτριας	Vestas
Μοντέλο-τύπος ανεμογεννήτριας	Vestas V52 - 49 m
Ισχύς ανεμογεννήτριας (kW)	850
Απόδοση ανεμογεννήτριας (Capacity factor of air turbine) (%)	27,6 ή 34,6
Κόστος ανεμογεννήτριας (€)	850.000

Ο τύπος και η ισχύς των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν είναι γνωστός για τα διάφορα σενάρια έργων που εξάγαμε και για τα οποία χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές τιμές απόδοσης των ανεμογεννητριών. Αυτό έγινε με στόχο να υπάρχει ένα πλήθος αποτελεσμάτων στα σενάρια, τόσο για μια υψηλή απόδοση ανεμογεννήτριας (34,6%), όσο και για μια μέση απόδοση ανεμογεννήτριας (27,6%).

Ομοίως, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υδροστροβίλου τύπου Pelton που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί στο έργο παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 25.

Πίνακας 25. Χαρακτηριστικά υδροστροβίλου	
Τύπος υδροστροβίλου	Pelton
Ισχύς υδροστροβίλου (MW)	25
Απόδοση υδροστροβίλου (Capacity factor of hydroturbine) (%)	25,50

Επίσης, στον Πίνακα 26 αναφέρονται ορισμένα στοιχεία σχετικά με το ηλεκτρικό ρεύμα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος ελήφθηκε ως δεδομένο από μια παρόμοια περίπτωση κατασκευής υβριδικού για ένα νησί στον ελληνικό χώρο και η τιμή πώλησης ενέργειας προς το δίκτυο ορίσθηκε στα 236 €/MWh. Πηγή της εν λόγω πληροφορίας αποτελεί η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).

Πίνακας 26. Στοιχεία ηλεκτρικού ρεύματος	
Τιμή πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος (€/MWh)	222,62
Ποσοστό απώλειας ηλεκτρικού ρεύματος κατά την μεταφορά του (%)	7
Τάση ηλεκτρικού ρεύματος (kV)	150

Στον Πίνακα 27 περιλαμβάνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά δεδομένα της ανάλυσης των εκπομπών ρύπων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και που μέσω της κατασκευής του έργου, εξαιτίας του ότι παράγεται ενέργεια από ανανεώσιμη πηγή, δεν εκπέμπονται στο περιβάλλον.

Πίνακας 27. Χαρακτηριστικά εκπομπών	
Χώρα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε CO ₂	Ελλάδα
Τύπος καυσίμου	Όλοι οι τύποι καυσίμου (Φυσικό αέριο, άνθρακας και πετρέλαιο)
Παράγοντας εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	0,718
Ποσοστιαίο κόστος συναλλαγών για την εμπορία CO ₂ (%)	0
Τιμή πώλησης δικαιωμάτων CO ₂ (€/tCO ₂)	6,14
Χρόνος πίστωσης αερίων του θερμοκηπίου (έτη)	5
Ποσοστό κλιμάκωσης αερίων του θερμοκηπίου (%)	4

Το σκεπτικό είναι ότι σε διαφορετική περίπτωση θα χρησιμοποιούνταν συμβατικές μέθοδοι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (πχ. λιγνιτικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της καύσης πετρελαίου κ.α.). Με αυτούς τους τρόπους θα εκπέμπονταν ρύποι στο περιβάλλον, από την καύση. Συνεπώς, το υβριδικό έργο ως ανανεώσιμη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας έχει την δυνατότητα να εκπέμπει μηδενικούς ρύπους προς την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον. Άρα διαθέτει κάποια ετήσια κέρδη από αυτή του την συνεισφορά προς το περιβάλλον που αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 8.).

Τέλος, στον Πίνακα 28 είναι καταγεγραμμένα όλα τα δεδομένα, δηλαδή εκείνα τα τεχνοοικονομικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο Retscreen για να είναι δυνατή η τεχνοοικονομική ανάλυση του έργου. Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι θεωρήθηκε ότι το κόστος μιας ανεμογεννήτριας Vestas V52 ανέρχεται στα 850.000 €, όπως έχει ήδη

αναφερθεί και εφαρμόστηκε στον υπολογισμό του ολικού κεφαλαίου επένδυσης των σεναρίων που αφορούσαν τα αιολικά πάρκα.

Πίνακας 28. Τεχνοοικονομικά στοιχεία του έργου	
Πληθωρισμός (%)	2
Διάρκεια ζωής έργου (years)	20
Ποσοστό χρέους (%)	0
Ολικό κεφάλαιο επένδυσης υβριδικού έργου Μαλίων και των 4 αιολικών πάρκων (€)	450.000.000
Ετήσιο κεφάλαιο λειτουργικών εξόδων και εξόδων συντήρησης του υβριδικού έργου των Μαλίων (€)	68.201.000 ή 44.550.949
Ολικό κεφάλαιο επένδυσης του εναλλακτικού υβριδικού έργου Μαλίων και των 4 αιολικών πάρκων (€)	178.175.653
Ετήσιο κεφάλαιο λειτουργικών εξόδων και εξόδων συντήρησης του εναλλακτικού υβριδικού έργου (€)	17.817.279
Ολικό κεφάλαιο επένδυσης των αιολικών πάρκων στα Χανιά (€)	32.168.030
Ετήσιο κεφάλαιο λειτουργικών εξόδων και εξόδων συντήρησης των αιολικών πάρκων στα Χανιά (€)	3.784.458
Ολικό κεφάλαιο επένδυσης των αιολικών πάρκων στο Ρέθυμνο (€)	38.882.883
Ετήσιο κεφάλαιο λειτουργικών εξόδων και εξόδων συντήρησης των αιολικών πάρκων στο Ρέθυμνο (€)	3.888.100
Ολικό κεφάλαιο επένδυσης του ενοποιημένου αιολικού πάρκου (€)	71.034.251
Ετήσιο κεφάλαιο λειτουργικών εξόδων και εξόδων συντήρησης του ενοποιημένου αιολικού πάρκου (€)	7.175.008

Συμπληρωματικά, πρέπει να τονισθεί ότι τα ετήσια λειτουργικά έξοδα (O&M (savings) costs), θεωρήθηκε ότι ανέρχονται στο 1% του συνολικού επενδεδυμένου κεφαλαίου. Σε μερικές περιπτώσεις στα σενάρια έχουν θεωρηθεί λειτουργικά έξοδα της τάξεως του 1,5%, αλλά όπου συμβαίνει αυτό έχει αναφερθεί.

6.2.2 Αναλυτική αναφορά των σεναρίων που εφαρμόστηκαν

Στο Retscreen στήθηκαν έντεκα στον πλήθος διαφορετικά σενάρια που είχαν σαν στόχο να εξετάσουν το υβριδικό έργο των Μαλίων από όλες τις οπτικές γωνίες. Αυτές ήταν η οικονομική, η ενεργειακή, η βιώσιμη και η φιλική προς το περιβάλλον, με ορισμένα να είναι περισσότερο και άλλα λιγότερο ρεαλιστικά.

Ομάδα Σεναρίων 1

Σε αυτή την ομάδα σεναρίων εξετάζεται εξολοκλήρου το υβριδικό έργο των Μαλίων με τα στοιχεία που δόθηκαν από την Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων που έχει πραγματοποιηθεί για αυτό. Αυτή η ομάδα αποτελείται από τρία σενάρια, τα οποία επιχειρούν να απεικονίσουν με όσο πιο ρεαλιστικό τρόπο γίνεται το υβριδικό, αλλά και να διαπιστωθεί πως θα συμπεριφερόταν το έργο στην περίπτωση που υπάρχουν ιδανικές συνθήκες για αυτό. Πιο συγκεκριμένα, τα τέσσερα αιολικά πάρκα έχουν στο σύνολο τους 106 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 90,1 MW και το αντλησιοταμιευτικό έχει τέσσερις υδροστροβίλους συνολικής ισχύος 100 MW.

Σενάριο 1.1

Σε αυτό το σενάριο θεωρήθηκε ότι η απόδοση των ανεμογεννητριών είναι υψηλή και αγγίζει το 34,6%, η οποία είναι η καλύτερη τιμή απόδοσης, που μπορεί να επιτευχθεί από ένα αιολικό πάρκο. Επίσης, θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει εγγυημένη ισχύ, οπότε δεν ισχύουν και οι αντίστοιχοι περιορισμοί στην ισχύ του έργου. Το υβριδικό για να παράγει την ετήσια ενέργεια του αξιοποιεί όλη την ισχύ των υδροστροβίλων του, δηλαδή και τα 100 MW καθόλη την διάρκεια του χρόνου. Στόχος ήταν αυτό το σενάριο να αποτελεί το ιδανικό σενάριο έτσι ώστε το υβριδικό να έχει την μέγιστη δυνατή ετήσια παραγωγή ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να είναι πραγματικότητα και για αυτό τον λόγο αποτελεί μη ρεαλιστικό σενάριο. Αλλά έχει ενδιαφέρον η μελέτη του έτσι ώστε να διαπιστωθεί κάτω από τις ιδανικότερες συνθήκες, ποιο είναι το καλύτερο οικονομικό και ενεργειακό κέρδος που μπορεί να μας αποφέρει η ύπαρξη του υβριδικού έργου. Αξίζει να σημειωθεί ότι θεωρήθηκαν ετήσια λειτουργικά έξοδα 68.201.000 € και όχι 44.550.949 €, έτσι ώστε να έχουμε ένα πιο ρεαλιστικό ετήσιο κόστος των λειτουργικών εξόδων του υβριδικού σταθμού.

Σενάριο 1.2

Στο δεύτερο αυτό σενάριο υπολογίστηκαν τα μεγέθη του υβριδικού έργου θεωρώντας ότι η απόδοση των ανεμογεννητριών είναι επίσης υψηλή και αγγίζει το 34,6% όπως στο προηγούμενο σενάριο, αλλά ότι αυτή την φορά έχουμε εγγυημένη ισχύ υδροστροβίλων ίση με 75 MW. Λειτουργήσαμε με αυτό το σκεπτικό για να διαπιστωθεί κάτω από ιδανικές συνθήκες ανεμολογικού καθεστώτος, άρα για ιδανική παραγωγή αιολικής ενέργειας από τα αιολικά πάρκα, πως θα επηρεαζόταν η συνολικά παραγόμενη ενέργεια από την ύπαρξη αυτή την φορά προσφοράς εγγυημένης ισχύος προς το δίκτυο. Συνεπώς, αυτό το σενάριο είναι μη ρεαλιστικό όσον αφορά την παραγωγή αιολικής ενέργειας, αλλά ρεαλιστικό όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας από αντλησιοταμίευση.

Σενάριο 1.3

Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο του υβριδικού έργου των Μαλίων θεωρήθηκε μια μέση απόδοση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου, η οποία αγγίζει το 27,6%. Το έργο έχει εγγυημένη ισχύ 75 MW προς το δίκτυο ηλεκτρισμού, κάνοντας αυτό το σενάριο το πιο ρεαλιστικό και κοντά στην πραγματικότητα, από τα τρία σενάρια του υβριδικού έργου που υπολογίστηκαν.

Ομάδα Σεναρίων 2

Σε αυτή την ομάδα σεναρίων εξετάζεται η εναλλακτική πρόταση ενός υβριδικού έργου βιώσιμου χαρακτήρα που θα είναι πιο φιλικό στο περιβάλλον, χαμηλότερης ισχύος τόσο αιολικής όσο και αντλησιοταμιευτικής. Ειδικότερα, θεωρήθηκε ως βιώσιμο υβριδικό έργο των Μαλίων ένα έργο κλίμακας μεγέθους 40% του αρχικού υβριδικού έργου που αναλύθηκε στην πρώτη ομάδα σεναρίων. Η αιολική ισχύς περιορίστηκε στα 37,5 MW και στις 42 συνολικά ανεμογεννήτριες, ενώ η ισχύς των υδροστροβίλων θεωρήθηκε 40 MW που παράγονται από τέσσερις υδροστροβίλους των 10 MW ο καθένας. Εν κατακλείδι, αυτή η ομάδα σεναρίων κρίθηκε απαραίτητο να δημιουργηθεί, έτσι ώστε να υποστηριχθεί μια πιο φιλική προς το περιβάλλον πρόταση που είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί, χωρίς να προκαλεί βλάβες στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και άρα να είναι πιο εύκολη και λιγότερο επίπονη η εφαρμογή του έργου. Επιπρόσθετα, από την διεθνή επιστημονική κοινότητα έχει διαπιστωθεί ότι τέτοια υβριδικά έργα αιολικών-αντλησιοταμιευτικών συστημάτων είναι προτιμητέο να έχουν μια μικρή ή μεσαία κλίμακα μεγέθους και όχι μεγάλη, όπως αυτό των Μαλίων και αυτό διότι θεωρείται ότι είναι βέλτιστο να υπάρχουν πολλές μικρές υβριδικές μονάδες παρά λίγες και μεγάλες. Οι πολλές και μικρές μονάδες ισχυροποιούν το ηλεκτρικό δίκτυο και δημιουργούν ενεργειακά επαρκείς περιοχές στον ενεργειακό χάρτη. Αυτό μειώνει την τάση αβεβαιότητας ως προς την διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας προς αυτές που υπάρχει στις μέρες μας. Αντίθετα, οι λίγες και μεγάλες μονάδες αποτελούν μεν μεγάλες δεξαμενές ενέργειας για το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά δεν επαρκούν για την επιφάνεια περιοχών που καλύπτουν οι μικρότερες. Είναι, λοιπόν, ζήτημα ενεργειακής στρατηγικής και η κύρια ιδέα πίσω από αυτό τον συλλογισμό είναι να υπάρχει ενεργειακή αυτονομία στις περιοχές που τοποθετούνται τα υβριδικά. Επίσης, στόχος είναι να αποφεύγονται κοινωνικές αντιδράσεις και οι περιβαλλοντικές συνέπειες, με πρώτο μέλημα το αμοιβαίο όφελος των επιχειρηματιών και των κοινωνιών μέσα στις οποίες υπάρχουν και συντηρούνται τέτοια υβριδικά έργα.

Σενάριο 2.1

Σε αυτό το σενάριο έχει θεωρηθεί μια μεσαία απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 27,6% και η μη ύπαρξη εγγυημένης ισχύος για το ηλεκτρικό δίκτυο. Συνεπώς, το στήσιμο του συγκεκριμένου σεναρίου, το οποίο είναι μη ρεαλιστικό, έχει ως πρώτιστο στόχο την διαπίστωση της μέγιστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή την παραγωγή Η/Ρ είναι δυνατό να υποστηρίξει το συγκεκριμένο υβριδικό έργο κάτω από μια λογική απόδοση των ανεμογεννητριών και εκμεταλλευόμενο την μέγιστη ισχύ των υδροστροβίλων.

Σενάριο 2.2

Στο δεύτερο σενάριο, επίσης έχει θεωρηθεί μια μεσαία απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 27,6%, αλλά με την διαφορά ότι υπάρχει εγγυημένη ισχύς για το ηλεκτρικό δίκτυο που ανέρχεται στα 30 MW. Άρα αποτελεί το πιο ρεαλιστικό και κοντά στην πραγματικότητα σενάριο, του εναλλακτικού βιώσιμου υβριδικού έργου των Μαλίων.

Ομάδα Σεναρίων 3

Σε αυτή την ομάδα σεναρίων εξετάζεται το έργο των τεσσάρων αιολικών πάρκων που έχει δρομολογηθεί να κατασκευαστούν ως παραγωγοί και τροφοδότες ηλεκτρικής ενέργειας του αντλησιοταμιευτικού στα Μάλια. Ειδικότερα, έχει αποφασιστεί να κατασκευαστούν δύο αιολικά πάρκα στον νομό Χανίων και δύο στον νομό Ρεθύμνου, των οποίων τα στοιχεία έχουν αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο. Η βασική ιδέα πίσω από αυτή την ομάδα σεναρίων είναι να μελετηθούν τα αιολικά πάρκα ως ξεχωριστό έργο και να διαπιστωθούν τα οικονομικά και ενεργειακά κέρδη, που θα απέφεραν στον επιχειρηματία που θα επέλεγε αυτή την επένδυση. Έτσι ώστε να σχηματισθεί μια άποψη και ένας σωστός συλλογισμός γύρω από την κατασκευή και από το μέγεθος ενός τέτοιου έργου. Η μοναδική διαφοροποίηση των δύο σεναρίων έγκειται στην απόδοση των ανεμογεννητριών που επιλέχθηκε για καθένα από αυτά.

Σενάριο 3.1

Στο πρώτο σενάριο έχει θεωρηθεί μια υψηλή απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 34,6%, για να διαπιστωθεί η παραγωγή αιολικής ενέργειας όταν έχουμε την βέλτιστη δυνατή απόδοση των αιολικών πάρκων.

Σενάριο 3.2

Στο δεύτερο σενάριο έχει θεωρηθεί μια μεσαία απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 27,6%, για να διαπιστωθεί η παραγωγή αιολικής ενέργειας όταν έχουμε μια φυσιολογική απόδοση των αιολικών πάρκων.

Ομάδα Σεναρίων 4

Σε αυτή την ομάδα σεναρίων εξετάζεται μεμονωμένα η δημιουργία και η λειτουργία των δύο αιολικών πάρκων στον νομό Χανίων που αποτελούν τμήμα του αιολικού δυναμικού του υβριδικού έργου. Σκοπός του σεναρίου αυτού είναι να διαπιστωθεί η έκταση και η δυναμικότητα του συγκεκριμένου έργου, τόσο στην μικροκλίμακα του νομού Χανίων όσο και στην μακροκλίμακα όλου του νησιού της Κρήτης και να εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα.

Σενάριο 4.1

Στο πρώτο σενάριο για τα αιολικά πάρκα του νομού Χανίων έχει θεωρηθεί μια υψηλή απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 34,6%, για να διαπιστωθεί η παραγωγή αιολικής ενέργειας όταν έχουμε την βέλτιστη δυνατή απόδοση των αιολικών πάρκων.

Σενάριο 4.2

Στο δεύτερο σενάριο έχει θεωρηθεί μια μεσαία απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 27,6% για τα αιολικά πάρκα του νομού Χανίων, για να διαπιστωθεί η παραγωγή αιολικής ενέργειας όταν υπάρχει μια φυσιολογική απόδοση των αιολικών πάρκων.

Ομάδα Σεναρίων 5

Σε αυτή την ομάδα σεναρίων εξετάζεται μεμονωμένα η δημιουργία και λειτουργία των δύο αιολικών πάρκων στον νομό Ρεθύμνου που αποτελούν τμήμα του αιολικού δυναμικού του υβριδικού έργου. Ο σκοπός του σεναρίου είναι όμοιος με εκείνο της προηγούμενης ομάδας σεναρίων, δηλαδή να διαπιστωθεί η έκταση και η δυναμικότητα του συγκεκριμένου έργου, τόσο στην μικροκλίμακα του νομού Ρεθύμνου όσο και στην μακροκλίμακα όλου του νησιού της Κρήτης και να εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα.

Σενάριο 5.1

Στο πρώτο σενάριο έχει θεωρηθεί μια υψηλή απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 34,6% για τα αιολικά πάρκα του νομού Ρεθύμνου, για να διαπιστωθεί η παραγωγή αιολικής ενέργειας όταν έχουμε την βέλτιστη δυνατή απόδοση των αιολικών πάρκων.

Σενάριο 5.2

Όπως και προηγουμένως για τα αιολικά πάρκα του νομού Ρεθύμνου στο δεύτερο σενάριο έχει θεωρηθεί μια μεσαία απόδοση ανεμογεννητριών της τάξεως του 27,6%, για να διαπιστωθεί η παραγωγή αιολικής ενέργειας όταν έχουμε μια φυσιολογική απόδοση των αιολικών πάρκων.

7. Αποτελέσματα του πεδίου των Μαλίων

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο από το μοντέλο υπόγειας ροής FEFLOW, όσο και από το υπολογιστικό εργαλείο του Retscreen. Συνεπώς, στο πρώτο υποκεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται τα αποτελέσματα της υπόγειας ροής και μεταφοράς μάζας του μοντέλου των Μαλίων. Ειδικότερα, παρατίθενται εκείνα της επίδρασης της κατασκευής του υβριδικού έργου στο φαινόμενο της υφαλμύρισης της περιοχής, λόγω της άντλησης της απαιτούμενης ποσότητας για την πλήρωση των δεξαμενών από γεωτρήσεις της περιοχής. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης της ενεργειακής βιωσιμότητας του υβριδικού έργου των Μαλίων.

7.1. Μοντελοποίηση του FEFLOW για τα διάφορα σενάρια άντλησης

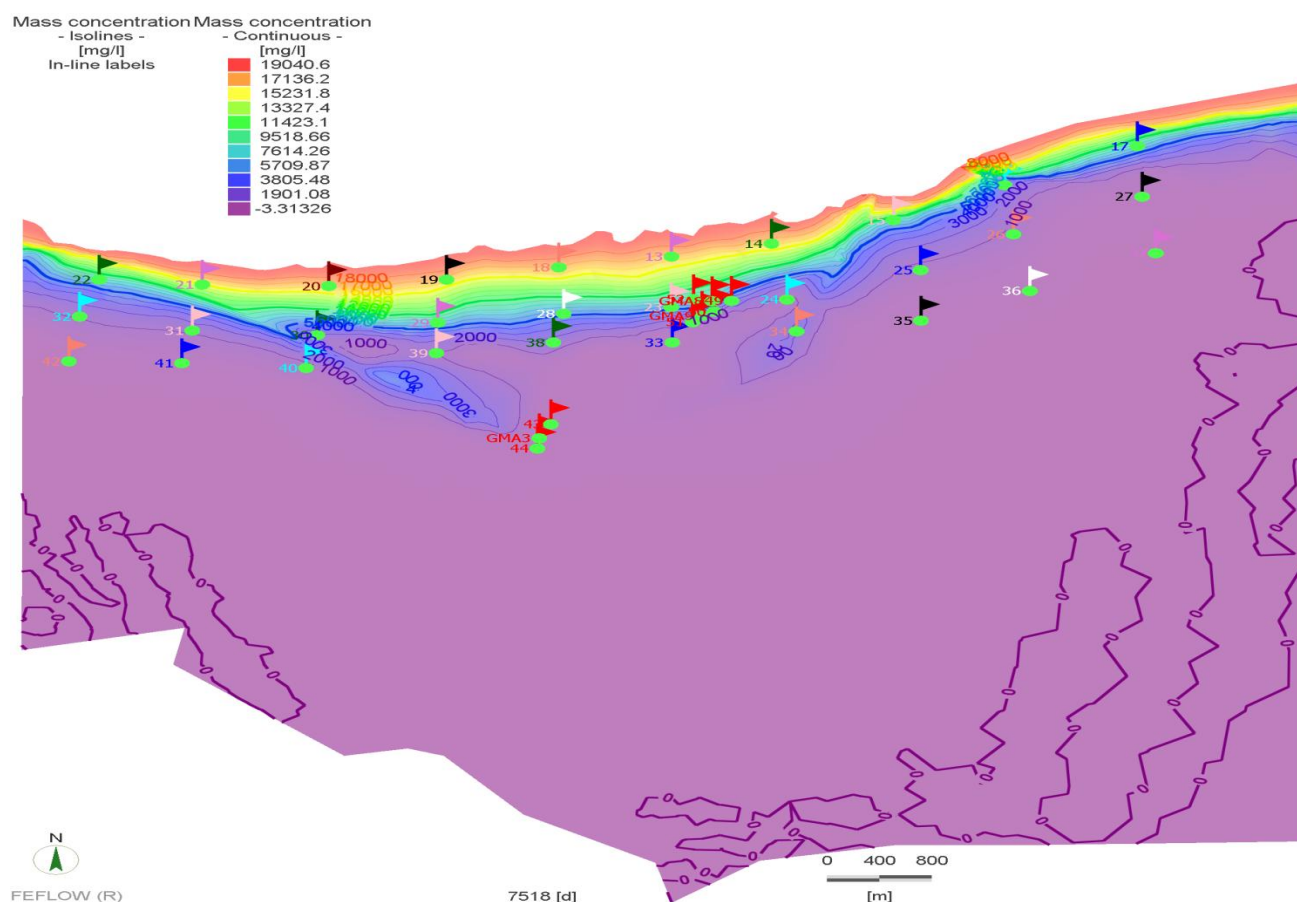
Στο μοντέλο του FEFLOW, που στήθηκε και δημιουργήθηκε για την ευρύτερη περιοχή των Μαλίων, αρχικά προσομοιώθηκε η κατάσταση της υπόγειας ροής και της υφαλμύρισης της περιοχής μέχρι τον Αύγουστο του έτους 2016. Αυτό έγινε για να αποτυπωθεί η εξέλιξη της υφαλμύρισης μέσα στα χρόνια και η κατανομή των υδραυλικών υψών στον υπόγειο υδροφόρα. Τόσο για την υφαλμύριση όσο και για την υπόγεια ροή θεωρήθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία είχαν ως στόχο να αποτυπώσουν την κατάσταση του πεδίου των Μαλίων και την επίδραση που ασκεί σε αυτό το αντλητικό καθεστώς. Δηλαδή η επίδραση που ασκούν οι γεωτρήσεις και τα πηγάδια της περιοχής, όσον αφορά τα υδραυλικά ύψη και την ένταση και την έκταση του φαινομένου της υφαλμύρισης σε κάθε περίπτωση.

7.1.0. Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής

Για την μελέτη, λοιπόν, της υπόγειας ροής και υφαλμύρισης δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά σενάρια άντλησης. Στο πρώτο σενάριο, θεωρήθηκε ότι δεν δημιουργείται το υβριδικό έργο, οπότε έχουμε μόνο τα δεδομένα (αντλήσεις, πηγάδια κα), που υπάρχουν στο πεδίο και δεν έχουν σχέση με το υβριδικό. Στο δεύτερο και τρίτο σενάριο θεωρήθηκε ότι κατασκευάζεται το υβριδικό έργο των Μαλίων και άρα αντλούνται από γεωτρήσεις οι απαραίτητοι όγκοι νερού για να πληρωθούν οι ταμιευτήρες του έργου. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο όγκος του νερού που χρειάζεται να αντλείται από τον υπόγειο υδροφόρα για να γεμίσουν οι ταμιευτήρες κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών 2 ετών (Νοέμβρης 2014-Απρίλης 2015 και Νοέμβρης 2015-Απρίλης 2016), είναι $1.200.000 \text{ m}^3$. Η διαφορά των δύο σεναρίων είναι ότι στο πρώτο σενάριο ο όγκος του νερού αντλείται από δύο γεωτρήσεις. Στο δεύτερο σενάριο το νερό αντλείται από τέσσερις διαφορετικές γεωτρήσεις που βρίσκονται σε δύο διαφορετικές περιοχές, με αποτέλεσμα τον καλύτερο καταμερισμό άντλησης της απαιτούμενης ποσότητας του νερού χωρικά.

7.1.1. Σενάριο 1: Κατάσταση πεδίου, χωρίς την ύπαρξη του υβριδικού έργου

Σε αυτό το σενάριο εξετάζεται η περιοχή των Μαλίων χωρίς το υβριδικό έργο, καθώς χρειάζεται να διαπιστωθεί η υπάρχουσα κατάσταση του πεδίου χωρίς την ύπαρξη του υβριδικού. Αυτό γίνεται για να είναι δυνατή η άμεση, γρήγορη και εύκολη σύγκριση των επιδράσεων του υδραυλικού ύψους και της συγκέντρωσης θαλασσινού νερού που έχουν σημειωθεί και θα σημειωθούν στο πεδίο. Με λίγα λόγια, σχηματίζεται μια αντικειμενική και καλή εικόνα της παρελθούσας και παρούσας κατάστασης του πεδίου των Μαλίων, όπως επίσης και μια εικόνα της μελλοντικής κατάστασης του πεδίου. Η μελλοντική κατάσταση προκύπτει αφού το μοντέλο των Μαλίων υπολογίζει και παρουσιάζει δεδομένα και μεγέθη μέχρι τα τέλη του 2016. Τα δεδομένα των υδραυλικών υψών και της συγκέντρωσης του θαλασσινού νερού που παρατίθενται στον Πίνακα 29 αφορούν την 30^η Απριλίου του 2016 και πάνω από 42 σημεία στο μοντέλο, για τα οποία γνωρίζουμε πληροφορίες και οι θέσεις των οποίων φαίνονται στην Εικόνα 33. Στον Πίνακα 29. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υδραυλικού ύψους και της συγκέντρωσης χλωριόντων για το μοντέλο των Μαλίων για το παρόν σενάριο, με περίοδο προσομοίωσης από το 1995 έως το 2016. Πιο συγκεκριμένα η χρονική στιγμή που εξετάζεται και για την οποία έχουμε συλλέξει δεδομένα είναι εκείνη της 30^η Απριλίου του 2016, καθώς είναι η τελευταία μέρα που υπάρχει άντληση του υπόγειου νερού για την πλήρωση των δεξαμενών του υβριδικού έργου. Παρόλο που σε αυτό το σενάριο δεν υπάρχουν περίοδοι άντλησης για το υβριδικό έργο, η χρονική αυτή στιγμή λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την σύγκριση των δεδομένων αυτού του σεναρίου με τα άλλα δύο σενάρια άντλησης του υβριδικού έργου.



Εικόνα 33. Χάρτης των 42 σημείων παρατήρησης του πεδίου.

Πίνακας 29. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων του Σεναρίου 1, για τις 30/04/2016.		
No scenarios -4th layer	Υδραυλικά Ύψη (m)	Συγκεντρώσεις μάζας (mg/L)
13	-0,14	16664,50
14	-0,01	16317,90
15	0,29	7819,14
16	0,64	3298,90
17	0,67	7213,40
18	-0,12	17016,60
19	-0,004	16423,20
20	0,15	16707,00
21	0,26	14901,20
22	0,64	7400,90
23	-1,69	5233,80
24	-0,29	722,02
25	1,09	718,56
26	1,52	768,20
27	1,04	161,10
28	-0,77	5372,10
29	-0,72	6702,50
30	-0,04	1803,34
31	0,71	1138,60
32	1,14	1073,50
33	-1,62	272,05
34	-0,11	2123,14
35	1,77	140,69
36	2,49	107,58
37	2,39	11,80
38	-1,42	1590,83
39	-0,68	1004,34
40	0,40	636,38
41	1,21	209,90
42	1,68	111,50
43-4th layer	-0,68	168,82
45=GMA3-4th layer	-0,70	154,54
44-4th layer	-0,02	117,65
47- 7th layer	0,08	115,90
46=GMA5- 7th layer	-0,5	111,83
48- 7th layer	1,03	74,27
49-4th layer	-1,19	2319,80
11=GMA8-4th layer	-1,57	3843,80
52-4th layer	-1,75	7090,32
50-4th layer	-1,63	1271,3
12=GMA9-4th layer	-1,64	908,24
51-4th layer	-1,52	617,98

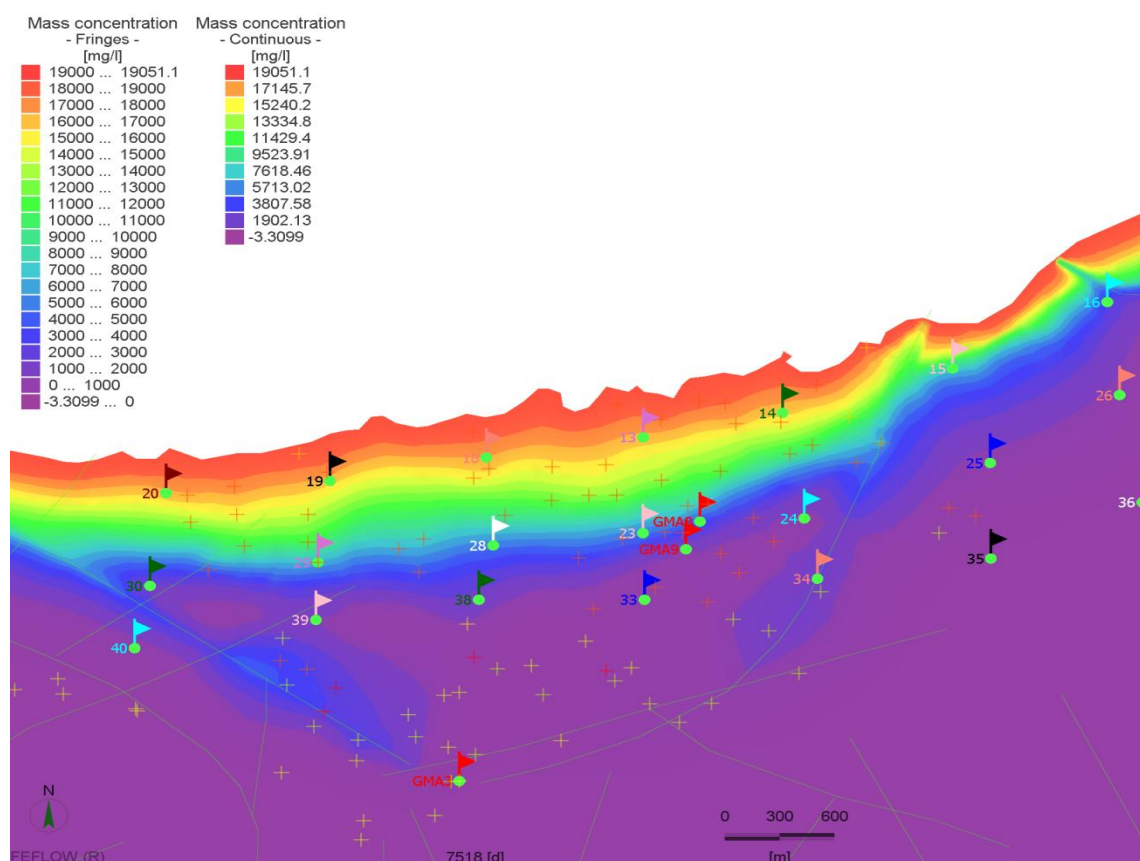
Από τον Πίνακα 29, διαπιστώνεται ότι χωρίς την ύπαρξη των αντλήσεων του υβριδικού έργου και για την υπάρχουσα κατάσταση του πεδίου, η στάθμη των υδραυλικών υψών είναι μειωμένη και μικρότερη της φυσιολογικής. Αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχει μόνιμο πρόβλημα υπεράντλησης και για αυτό τον λόγο παρατηρούνται και αρνητικές τιμές

υδραυλικού ύψους. Επίσης, όσον αφορά το φαινόμενο της υφαλμύρισης φαίνεται ότι στην περιοχή του πεδίου υπάρχει, και είναι μέτριας εντάσεως. Αυτό φαίνεται από το ότι στο πεδίο είχαμε τοποθετήσει τρεις σειρές πηγαδιών παρατήρησης (observation wells), με την πρώτη σειρά να βρίσκεται στην παραλιακή ζώνη, την τρίτη σειρά να βρίσκεται στο ηπειρωτικό κομμάτι και την δεύτερη σειρά να βρίσκεται σε ενδιάμεση απόσταση αυτών. Όσον αφορά την υφαλμύριση, τα αποτελέσματα για την παραλιακή ζώνη είναι ότι υπάρχει έντονη υφαλμύριση, με συγκεντρώσεις χλωριόντων που κυμαίνονται μεταξύ 3.000-17.000 mg/L. Για την ενδιάμεση ζώνη το πρόβλημα της υφαλμύρισης είναι μικρότερο, αλλά πάλι σημαντικό με τις συγκεντρώσεις να είναι από 100 έως 6000 mg/L. Τέλος, στην ηπειρωτική ζώνη θεωρείται ότι η υφαλμύριση είναι υπάρχουσα και κυμαινόμενη από 11-2000 mg/L και αν αναλογιστεί κανείς την απόσταση αυτών των πηγαδιών παρατήρησης από την παράκτια ζώνη κρίνεται ως αρκετά σημαντική. Συμπερασματικά, ο υδροφόρος ορίζοντας του πεδίου των Μαλίων σε αυτό το σενάριο είναι χαμηλότερος από το φυσιολογικό λόγω της θερινής υπεράντλησης και υπερεκμετάλλευσής του. Και η υπάρχουσα υφαλμύριση κρίνεται ως αρκετά σημαντική και μεγάλης εκτάσεως κατά μήκος της παραλιακής ζώνης και μεσαίας εκτάσεως κατά πλάτος του πεδίου, δηλαδή όσο κατευθυνόμαστε από το παραλιακό προς το ηπειρωτικό κομμάτι, κάτι που είναι φυσικά αναμενόμενο.

7.1.2. Σενάριο 2: Εφαρμογή του Α σεναρίου άντλησης για το υβριδικό έργο

Το δεύτερο σενάριο είναι εφαρμογή του Α σεναρίου άντλησης το οποίο θεωρεί, ότι για να πληρωθούν οι ταμειευτήρες του υβριδικού έργου, οι αντλίες αντλούν νερό σε δύο περιόδους από δύο γεωτρήσεις. Ειδικότερα, σε κάθε περίοδο άντλησης αντλούνται 600.000 m³. Η άντληση για το υβριδικό έργο πραγματοποιείται από τις γεωτρήσεις G.MA.8 και G.MA.9, όπου τα δεδομένα των παροχών φαίνονται στον Πίνακα 30. Και στην παρακάτω εικόνα φαίνεται με κόκκινο χρώμα η θέση των γεωτρήσεων άντλησης στην Εικόνα 34., με ίδια παροχή άντλησης 1800 m³/d και για τις δύο, που αρχίζει την 1^η Νοεμβρίου του 2014 και ολοκληρώνεται στις 30 Απριλίου του 2016.

Πίνακας 30 . Δεδομένα παροχών γεωτρήσεων άντλησης.	
Γεωτρήσεις άντλησης	Παροχές άντλησης (m3/d)
G.MA.8	1.800
G.MA.9	1.800



Εικόνα 34. Χάρτης παράθεσης της θέσης των πηγαδιών άντλησης του υβριδικού έργου.

Στον Πίνακα 31 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υδραυλικών υψών και της συγκέντρωσης του θαλασσινού νερού για την 30^η Απριλίου του 2016 και για πάνω από 46 σημεία στο πεδίο. Τα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο αυτό παρουσιάζονται παρακάτω και περιλαμβάνουν τα υδραυτικά ύψη στα πηγάδια παρατήρησης, την συγκέντρωση χλωριόντων, την διαφορά και την ποσοστιαία διαφορά των υδραυλικών υψών και της συγκέντρωσης χλωριόντων σε σχέση με τα υδραυτικά ύψη και την συγκέντρωση χλωριόντων του προηγούμενου σεναρίου (Σενάριο 1).

Πίνακας 31. Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορών και ποσοστιαίων αποτελεσμάτων του Σεναρίου 2, για το Α σενάριο άντλησης του υβριδικού έργου						
Σενάριο Α -4th layer	Υδραυλικά Ύψη (m)	Διαφορά Υδραυλικών Ύψών Α (m)	Ποσοστιαία Διαφορά Υδραυλικών Ύψών Α (%)	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Διαφορά Συγκέντρωσης Μάζας (mg/L) Α	Ποσοστιαία Διαφορά Συγκέντρωσης Μάζας Α (%)
13	-0.24	0,1	-71,43	16.571	93,50	0,56
14	-0.06	0,05	-500,00	1.6313	4,90	0,03
15	0.29	0,00	0,00	7.861,6	-42,46	-0,54
16	0.63	0,01	1,56	3.301,6	-2,70	-0,08
17	0.67	0,00	0	7.214,3	-0,90	-0,01
18	-0.14	0,02	-16,67	16.979	37,60	0,22
19	-0.01	0,006	-150	16.409	14,20	0,09
20	0.14	0,01	6,67	16.710	-3,00	-0,02
21	0.26	0,00	0	14.898,3	2,90	0,02
22	0.64	0,00	0	7.411,8	-10,9	-0,15
23	-2.29	0,60	-35,5	5.561	-327,2	-6,25
24	-0.49	0,20	-68,96	777,6	-55,58	-7,7
25	1.07	0,02	1,83	718,1	0,46	0,06
26	1.51	0,01	0,66	768,3	-0,10	-0,01
27	1.04	0,00	0	161,04	0,06	0,04
28	-0.83	0,06	-7,79	5.384,4	-12,3	-0,23
29	-0.73	0,01	-1,39	6.717,6	-15,1	-0,22
30	-0.04	0,00	0	1.808,7	-5,36	-0,3
31	0.71	0,00	0	1.137,98	0,62	0,05
32	1.13	0,01	0,88	1.073,3	0,20	0,02
33	-2.01	0,39	-24,07	269,81	2,24	0,82
34	-0.16	0,05	-45,45	2263,5	-140,36	-6,61
35	1.75	0,02	1,13	140,5	0,19	0,13
36	2.47	0,02	0,8	107,6	-0,02	-0,02
37	2.38	0,01	0,42	11,76	0,04	0,34
38	-1.46	0,04	-2,82	1.606	-15,17	-0,95
39	-0.69	0,01	-1,47	998,25	6,09	0,61
40	0.4	0,00	0	636,8	-0,42	-0,06
41	1.2	0,01	0,83	209,8	0,10	0,05
42	1.68	0,00	0	111,5	0,00	0,00
43	-0.69	0,01	-1,47	165,38	3,44	2,04
45=GMA3-4th layer	-0.72	0,02	-2,86	151,4	3,14	2,03
44	-0.04	0,02	-100	116,2	1,45	1,23
47	0.06	0,02	25,00	114,6	1,30	1,12
46=GMA5- 7th layer	-0.51	0,01	-2,00	111,5	0,33	0,29
48	1.02	0,01	0,97	74,2	0,07	0,09
49	-2.12	0,93	-78,15	2.914	-594,2	-25,61
11=GMA8-4th layer	-4.94	3,37	-214,65	6.495,3	-2651,5	-68,98
52	-2.44	0,69	-39,43	7.999,9	-909,58	-12,83
50	-3.15	1,52	-93,25	1.131	140,3	11,03
12=GMA9-4th layer	-4.91	3,27	-199,39	1.377	-468,76	-51,61
51	-2.73	1,21	-79,6	627	-9,02	-1,46

Από τα αποτελέσματα του πίνακα φαίνεται ότι οι αντλήσεις έχουν επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τα πηγάδια που βρίσκονται στις τρεις ζώνες του πεδίου. Θα πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι στον παραπάνω πίνακα υπάρχουν και κάποια πηγάδια παρατήρησης, τα οποία είναι τα 12 τελευταία πηγάδια του πίνακα. Αυτά τα πηγάδια έχουν καταγράψει τα υδραυλικά ύψη και τις συγκεντρώσεις χλωριόντων κοντά στις περιοχές, που υπάρχουν οι γεωτρήσεις άντλησης του υβριδικού έργου, έτσι ώστε να παρακολουθείται η επιρροή του κάθε σεναρίου γύρω από τις περιοχές αυτές. Όσον αφορά τα υδραυλικά ύψη διαπιστώνεται ότι στα πηγάδια παρατήρησης που έχουν τοποθετηθεί γειτονικά των αντλήσεων του υβριδικού έργου, υπάρχει επίδραση, υποδεικνύοντας μια πτώση του υδροφόρου ορίζοντα στο σύνολο σχεδόν της συγκεκριμένης περιοχής σε σχέση με την αρχική κατάσταση (Σενάριο 1). Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις χλωριόντων σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο υπάρχει μια σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων χλωριόντων στην εν λόγω περιοχή, αλλά που είναι περιορισμένης έκτασης.

7.1.3. Σενάριο 3: Εφαρμογή του Β σεναρίου άντλησης για το υβριδικό έργο

Το τρίτο και τελευταίο σενάριο περιλαμβάνει την εφαρμογή του Β σεναρίου άντλησης, στο οποίο θεωρείται ότι υπάρχουν τέσσερις γεωτρήσεις άντλησεως που πληρώνουν ταυτόχρονα τους ταμιευτήρες του υβριδικού έργου. Όπως και στο προηγούμενο σενάριο, περίοδος άντλησης θεωρείται από την 1^η Νοεμβρίου μέχρι και τις 30 Απριλίου του επόμενου έτους και αντλούνται 600.000 m³. Η προσομοίωση του μοντέλου έγινε για δύο περιόδους άντλησης από 01/11/2014 – 30/04/2015 και από 01/11/2015 – 30/04/2016. Οι γεωτρήσεις άντλησης είναι τέσσερις η G.MA.8, G.MA.9, G.MA.3 και G.MA.5, των οποίων οι παροχές άντλησεως φαίνονται στον Πίνακα 32.

Πίνακας 32. Δεδομένα παροχών γεωτρήσεων άντλησης.	
Γεωτρήσεις άντλησης	Παροχές άντλησης (m3/d)
G.MA.8	900
G.MA.9	900
G.MA.3	1.080
G.MA.5	630

Στον Πίνακα 33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υδραυλικών υψών και της συγκέντρωσης των χλωριόντων για την 30^η Απριλίου του 2016 σε 42 σημεία κατά μήκος του πεδίου και για άλλα 12 σημεία στις περιοχές των τεσσάρων γεωτρήσεων άντλησης που πληρώνουν τους ταμιευτήρες του υβριδικού. Τα αποτελέσματα του μοντέλου για το σενάριο αυτό που παρουσιάζονται παρακάτω, περιλαμβάνουν για τα πηγάδια παρατήρησης τα υδραυλικά ύψη, την συγκέντρωση χλωριόντων, την διαφορά και την ποσοστιαία διαφορά των υδραυλικών υψών και συγκέντρωσης χλωριόντων σε σχέση με τα υδραυλικά ύψη και την συγκέντρωση χλωριόντων του πρώτου σεναρίου (Σενάριο 1.), καθώς αυτό είναι που αποτελεί το σενάριο σύγκρισης και αναφοράς όλων των σεναρίων.

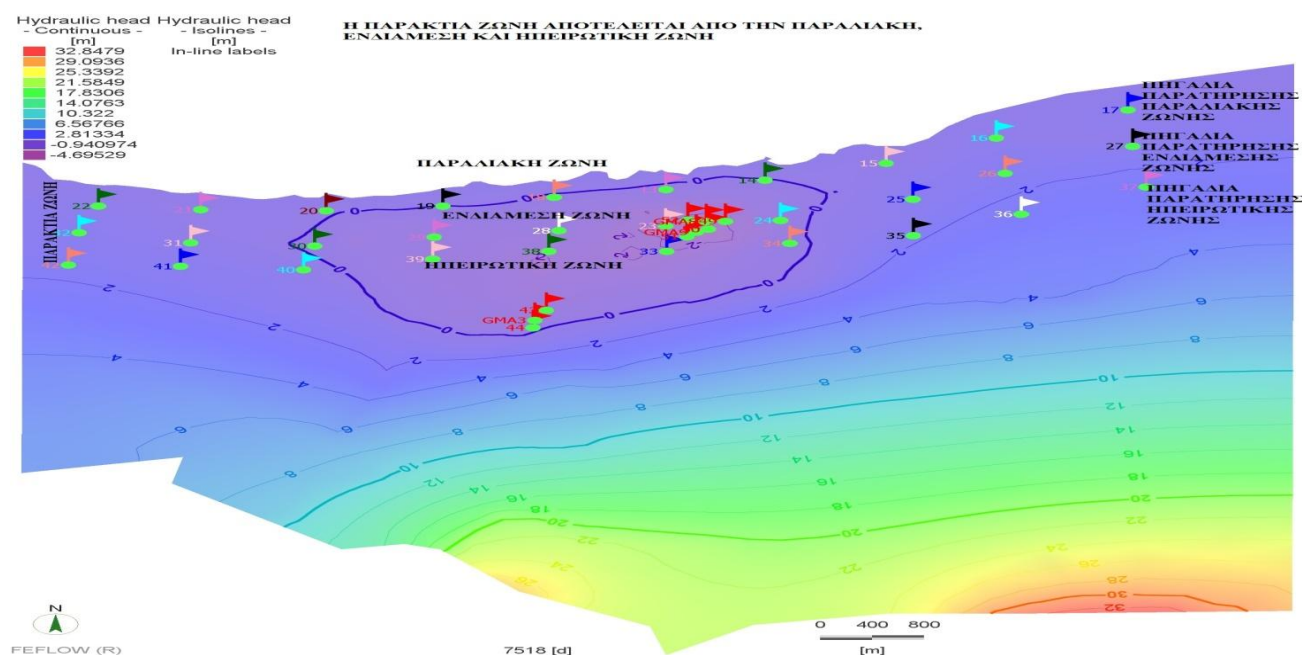
Πίνακας 33. Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορών και ποσοστιαίων αποτελεσμάτων του Σεναρίου 3, για το Β σενάριο άντλησης του υβριδικού έργου						
Σενάριο B-4th layer	Υδραυλικά Ύψη (m)	Ποσοστιαία Διαφορά Υδραυλικών Υψών Β (%)	Διαφορά Υδραυλικών Υψών Β (m)	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Διαφορά Συγκέντρωσης Μάζας Β (mg/L)	Ποσοστιαία Διαφορά Συγκέντρωσης Μάζας Β (%)
13	-0,23	-64,28	0,09	16.577	87,50	0,52
14	-0,06	-500,00	0,05	16.315	2,90	0,02
15	0,29	0,00	0,00	7.873,7	-54,56	-0,70
16	0,63	1,56	0,01	3/303,1	-4,20	-0,13
17	0,67	0,00	0,00	7/217,3	-3,90	-0,05
18	-0,14	-16,67	0,02	16.979	37,60	0,22
19	-0,013	-225,00	0,009	16.409,2	14,00	0,08
20	0,14	6,67	0,01	16.721	-14,00	-0,08
21	0,26	0,00	0,00	14.896,4	4,80	0,03
22	0,63	1,56	0,01	7.427,84	-26,94	-0,40
23	-2,09	-23,67	0,40	5.492,6	-258,80	-4,90
24	-0,50	-72,41	0,21	785,54	-63,52	-8,80
25	1,07	1,83	0,02	719,24	-0,68	-0,09
26	1,50	1,31	0,02	769,10	-0,90	-0,12
27	1,04	0,00	0,00	161,32	-0,22	-0,14
28	-0,83	-7,79	0,06	5.408,6	-36,50	-0,68
29	-0,75	-4,17	0,03	6.743,4	-40,90	-0,61
30	-0,06	-50,00	0,02	1.841,2	-37,86	-2,09
31	0,70	1,41	0,01	1.138,7	-0,10	-0,01
32	1,11	2,63	0,03	1.074,14	-0,64	-0,05
33	-1,89	-16,67	0,27	272,25	-0,20	-0,07
34	-0,17	-54,54	0,06	2.413,90	-290,76	-13,69
35	1,74	1,69	0,03	141,06	-0,37	-0,26
36	2,47	0,80	0,02	107,80	-0,22	-0,20
37	2,38	0,42	0,01	11,79	0,01	0,08
38	-1,47	-3,52	0,05	1.618,60	-27,77	-1,74
39	-0,71	-4,41	0,03	1.007,30	-2,96	-0,29
40	0,38	5,00	0,02	639,90	-3,52	-0,55
41	1,18	2,48	0,03	210,33	-0,43	-0,20
42	1,66	1,19	0,02	111,82	-0,32	-0,29
43	-0,77	-13,23	0,09	177,50	-8,68	-5,14
45=GMA3	-0,89	-27,14	0,19	147,90	6,64	4,30
44	-0,26	-1.200,00	0,24	100,00	17,65	15,00
47	-0,14	275,00	0,22	102,99	12,91	11,14
46=GMA5	-0,77	-54,00	0,27	99,38	12,45	11,13
48	0,8	22,33	0,23	71,02	3,25	4,37
49	-1,98	-66,39	0,79	2.934,98	-615,18	-26,52
11=GMA8	-4,67	-197,45	3,10	656,80	3.187,00	82,91
52	-2,16	-23,43	0,41	7.874,65	-784,33	-11,06
50	-2,94	-80,37	1,31	1.184,6	86,70	6,82
12=GMA9	-4,69	-185,97	3,05	1.535,3	-627,06	-69,04
51	-2,56	-68,42	1,04	610,40	7,58	1,23

Από τα αποτελέσματα του ανωτέρω πίνακα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ύπαρξη των αντλήσεων του υβριδικού έργου επιρεάζουν τα πηγάδια παρατήρησης που βρίσκονται στις τρεις ζώνες σε σχέση με το αρχικό (Σενάριο 1). Ομοίως, οι αντλήσεις του υβριδικού έργου έχουν επηρεάσει τις συγκεντρώσεις χλωριόντων σε σχέση με το πρώτο (Σενάριο 1).

7.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων των τριών διαφορετικών σεναρίων για το πεδίο

Σε αυτό το υποκεφάλαιο του έβδομου κεφαλαίου συγκρίνονται τα αποτελέσματα των τριών διαφορετικών σεναρίων του πεδίου των Μαλίων. Στην ουσία χρησιμοποιούνται οι πίνακες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως και αφορούν ξεχωριστά την κατάσταση του πεδίου για το κάθε σενάριο. Από αυτούς δημιουργούνται πίνακες ενοποιημένων αποτελεσμάτων που συνδυάζουν τα αποτελέσματα και τις πληροφορίες όλων των σεναρίων μαζί, έτσι ώστε να υπάρχει γρήγορη και άμεση σύγκριση και εποπτεία των αποτελεσμάτων του κάθε σεναρίου με τα υπόλοιπα.

Ειδικότερα, η πρώτη σειρά των πηγαδιών παρατήρησης αναφέρεται ως παραλιακή ζώνη, αφού τοποθετείται πολύ κοντά στα παράλια της περιοχής μελέτης. Η δεύτερη σειρά των πηγαδιών παρατήρησης αναφέρεται ως ενδιάμεση ζώνη και η τρίτη και τελευταία ζώνη αναφέρεται ως ηπειρωτική ζώνη, αφού τοποθετείται στο ηπειρωτικό κομμάτι του πεδίου των Μαλίων.



Εικόνα 35. Σχήμα απεικόνισης ζωνών του πεδίου των Μαλίων και των υδραυλικών υψών του. (4^ο layer, 30/04/2016)

7.2.1. Σύγκριση των υδραυλικών υψών των διαφορετικών σεναρίων

Σε αυτή την ενότητα συγκρίνονται τα διαφορετικά σενάρια άντλησης όσον αφορά τα υδραυτικά ύψη, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 34. Για την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε μια δεύτερη ανάλυση μελετώνται τα πηγάδια/σημεία παρατήρησης, που παρουσιάζουν υδραυτικά ύψη με ποσοστιαία διαφορά υδραυλικών υψών άνω του 1%. Τέλος, πραγματοποιείται μια ανάλυση της επίδρασης των γεωτρήσεων άντλησης του

υβριδικού έργου στις γειτονικές περιοχές τους, από δεδομένα που προκύπτουν από πηγάδια παρατήρησης της περιοχής αυτής, που βρίσκονται εντός της αντλητικής τους εμβέλειας.

Πίνακας 34. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων υδραυλικών υψών διαφορών και ποσοστιαίων διαφορών των υδραυλικών υψών των σεναρίων άντλησης Α και Β του υβριδικού έργου κατά μήκος του πεδίου των Μαλίων.							
	No Scenario	Σενάριο Α	Σενάριο Α	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Β	Σενάριο Β
4th layer	Υδραυλικά Ύψη (m)	Υδραυλικά Ύψη (m)	Διαφορά Υδραυλικών Υψών Α (m)	Ποσοστιαία Διαφορά Υδραυλικών Υψών Α (%)	Υδραυλικά Ύψη (m)	Διαφορά Υδραυλικών Υψών Β (m)	Ποσοστιαία Διαφορά Υδραυλικών Υψών Β (%)
13	-0,14	-0,24	0,10	-71,43	-0,23	0,09	-64,28
14	-0,01	-0,06	0,05	-500,00	-0,06	0,05	-500,00
15	0,29	0,29	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
16	0,64	0,63	0,01	1,56	0,63	0,01	1,56
17	0,67	0,67	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00
18	-0,12	-0,14	0,02	-16,67	-0,14	0,02	-16,67
19	-0,004	-0,01	0,006	-150,0	-0,013	0,009	-225,00
20	0,15	0,14	0,01	6,67	0,14	0,01	6,67
21	0,26	0,26	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00
22	0,64	0,64	0,00	0,00	0,63	0,01	1,56
23	-1,69	-2,29	0,60	-35,50	-2,09	0,4	-23,67
24	-0,29	-0,49	0,20	-68,96	-0,50	0,21	-72,41
25	1,09	1,07	0,02	1,83	1,07	0,02	1,83
26	1,52	1,51	0,01	0,66	1,50	0,02	1,31
27	1,04	1,04	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00
28	-0,77	-0,83	0,06	-7,79	-0,83	0,06	-7,79
29	-0,72	-0,73	0,01	-1,39	-0,75	0,03	-4,17
30	-0,04	-0,04	0,00	0,00	-0,06	0,02	-50,00
31	0,71	0,71	0,00	0,00	0,70	0,01	1,41
32	1,14	1,13	0,01	0,88	1,11	0,03	2,63
33	-1,62	-2,01	0,39	-24,07	-1,89	0,27	-16,67
34	-0,11	-0,16	0,05	-45,45	-0,17	0,06	-54,54
35	1,77	1,75	0,02	1,13	1,74	0,03	1,69
36	2,49	2,47	0,02	0,80	2,47	0,02	0,80
37	2,39	2,38	0,01	0,42	2,38	0,01	0,42
38	-1,42	-1,46	0,04	-2,82	-1,47	0,05	-3,52
39	-0,68	-0,69	0,01	-1,47	-0,71	0,03	-4,41
40	0,40	0,40	0,00	0,00	0,38	0,02	5,00
41	1,21	1,20	0,01	0,83	1,18	0,03	2,48
42	1,68	1,68	0,00	0,00	1,66	0,02	1,19

Συγκριτική ανάλυση των υδραυλικών υψών των 42 σημείων παρατήρησης σε σχέση με το αρχικό σενάριο, για διαφορές μεγαλύτερες των 0,2 m.

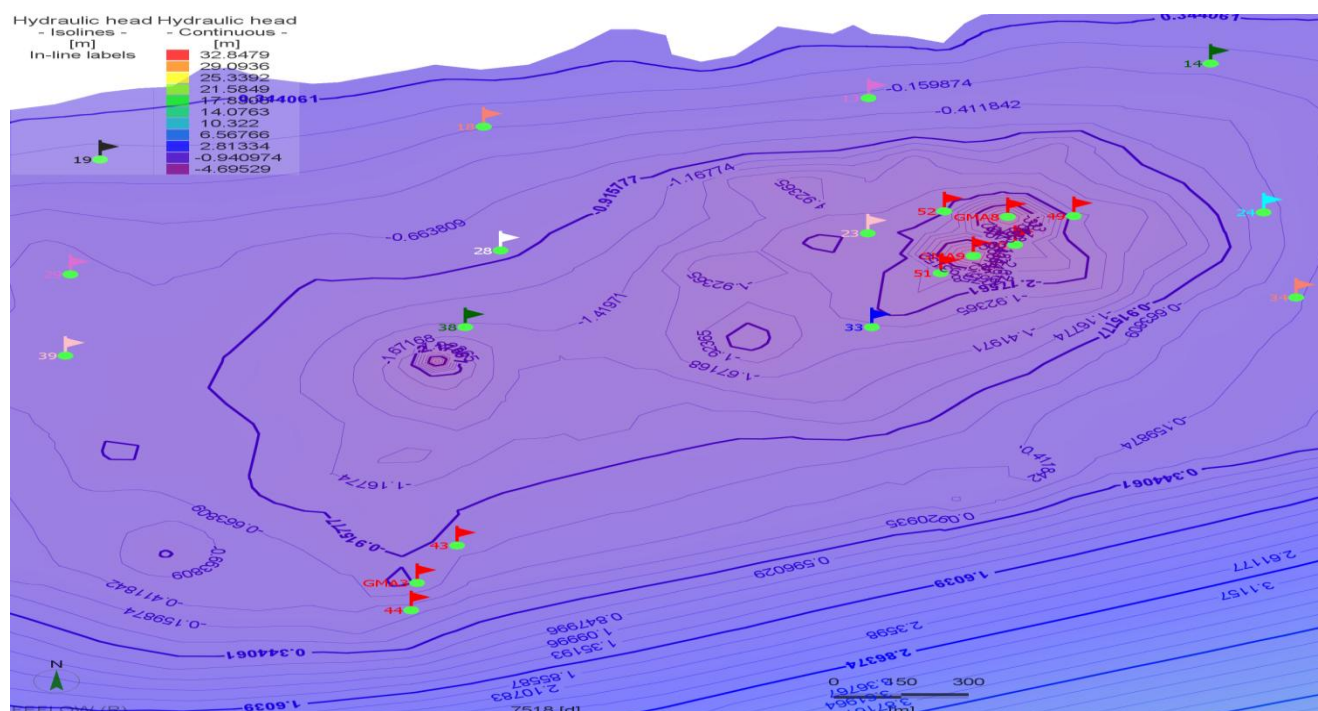
Τα πηγάδια παρατήρησης που παρουσιάζουν σημαντική μείωση του υδραυλικού ύψους άνω των 0,2 m και για τα δύο σενάρια είναι τρία (23,24 και 33) και έχουν σημειωθεί με κόκκινο χρώμα στον πίνακα. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το σενάριο Α παρουσιάζει μεγαλύτερες μεταβολές υδραυλικών υψών από ότι το σενάριο Β σε σχέση παντα με το αρχικό σενάριο.

Συμπεράσματα με βάση την ανάλυση των σεναρίων

Και στα δύο σενάρια που εξετάστηκαν παρατηρείται μια σημαντική πτώση του υδροφόρου ορίζοντα, η οποία όμως εστιάζεται αποκλειστικά γύρω από τις γεωτρήσεις του υβριδικού έργου, λόγω της μεγάλης άντλησης του υπόγειου υδροφορέα που πραγματοποιείται από αυτές. Στο υπόλοιπο πεδίο, κεντρικό, ανατολικό και βορειοδυτικό τομέα η επίδραση της άντλησης είναι αμελητέα. Το σενάριο Α είναι εκείνο που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό τα υδραυλικά ύψη στην περιοχή άντλησης.

Συγκριτική ανάλυση των υδραυλικών υψών γειτονικά των γεωτρήσεων του υβριδικού

Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των υδραυλικών υψών γύρω από τις γεωτρήσεις του υβριδικού έργου G.MA.8, G.MA.9, G.MA.3 και G.MA.5 και σε σημεία πολύ κοντά σε αυτές. Στην Εικόνα 36. φαίνονται οι ισοϋψείς των υδραυλικών υψών του πεδίου των Μαλίων, για την περιοχή που βρίσκονται οι τέσσερις γεωτρήσεις άντλησεων του υβριδικού έργου και με αυτόν τον τρόπο φαίνεται η συμπεριφορά του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

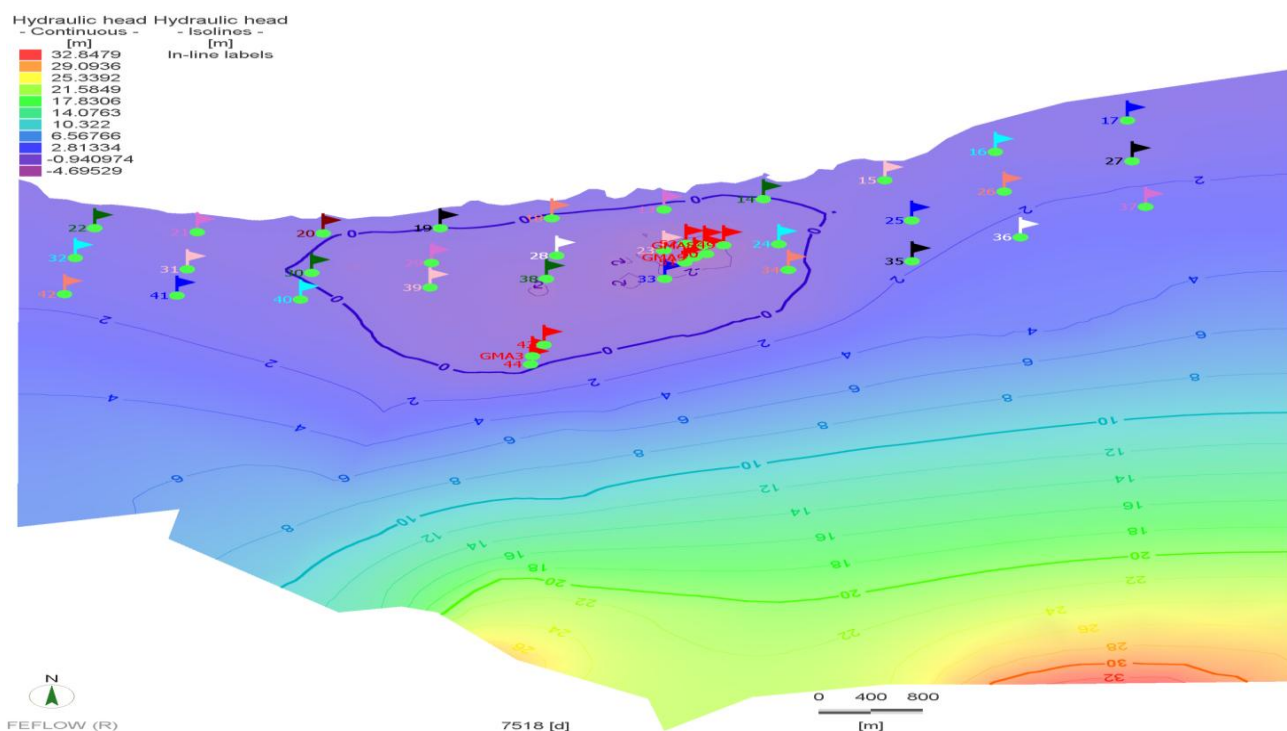


Εικόνα 36. Σχήμα αναπαράστασης του υδροφόρου ορίζοντα του πεδίου των Μαλίων, μέσω απεικόνισης των ισοϋψών των υδραυλικών υψών στην περιοχή των γεωτρήσεων του υβριδικού έργου. (4^ο layer, 30/04/2016).

Πίνακας 35. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων υδραυλικών υψών διαφορών και ποσοστιαίων διαφορών των υδραυλικών υψών των σεναρίων άντλησης A και B του υβριδικού έργου κοντά στις περιοχές των γεωτρήσεων άντλησης του υβριδικού έργου .

	No Scenario	Σενάριο A	Σενάριο A	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο B	Σενάριο B
	Υδραυλικά Ύψη (m)	Υδραυλικά Ύψη (m)	Διαφορά Υδραυλικών Υψών A (m)	Ποσοστιαία Διαφορά Υδραυλικών Υψών A (%)	Υδραυλικά Ύψη (m)	Διαφορά Υδραυλικών Υψών B (m)	Ποσοστιαία Διαφορά Υδραυλικών Υψών B (%)
43	-0,68	-0,69	0,01	1,47	-0,77	0,09	13,23
45=GMA3	-0,70	-0,72	0,02	2,86	-0,89	0,19	27,14
44	-0,02	-0,04	0,02	100,00	-0,26	0,24	1.200,00
47	0,08	0,06	0,02	25,00	-0,14	0,22	275,00
46=GMA5	-0,50	-0,51	0,01	2,00	-0,77	0,27	54,00
48	1,03	1,02	0,01	0,97	0,80	0,23	22,33
49	-1,19	-2,12	0,93	78,15	-1,98	0,79	66,39
11=GMA8	-1,57	-4,94	3,37	214,65	-4,67	3,10	197,45
52	-1,75	-2,44	0,69	39,43	-2,16	0,41	23,43
50	-1,63	-3,15	1,52	93,25	-2,94	1,31	80,37
12=GMA9	-1,64	-4,91	3,27	199,39	-4,69	3,05	185,97
51	-1,52	-2,73	1,21	79,60	-2,56	1,04	68,42

Στην Εικόνα 37. παρουσιάζονται οι ισοϋψείς των υδραυλικών υψών στο πεδίο των Μαλίων και πως αυτές έχουν διαμορφωθεί κάτω από την επίδραση των γεωτρήσεων άντλησης του υβριδικού έργου. Η απεικόνιση αυτή προέκυψε από το σενάριο B, για το 4^ο layer του μοντέλου των Μαλίων και για την ημερομηνία της 30^{ης} Απριλίου του 2016.



Εικόνα 37. Σχήμα αναπαράστασης του υδροφόρου ορίζοντα του πεδίου των Μαλίων, μέσω απεικόνισης των ισοϋψών των υδραυλικών υψών (4^ο layer, 30/04/2016).

7.2.2. Σύγκριση των συγκεντρώσεων χλωριόντων των διαφορετικών σεναρίων

Σε αυτή την ενότητα συγκρίνονται τα διαφορετικά σενάρια των Μαλίων όσον αφορά τις συγκεντρώσεις χλωριόντων, όπως φαίνεται στον Πίνακα 36. Συγκρίνονται μεταξύ τους το σενάριο μη άντλησης ποσοτήτων νερού για το υβριδικό έργο (Σενάριο 1→No scenario), το σενάριο άντλησης για την πλήρωση των ταμιευτήρων του υβριδικού έργου από τις δύο γεωτρήσεις του υβριδικού G.MA.8 και G.MA.9 (Σενάριο A) και το σενάριο άντλησης για την πλήρωση των ταμιευτήρων του υβριδικού έργου από τις τέσσερις γεωτρήσεις του G.MA.8, G.MA.9, G.MA.3 και G.MA.5 (Σενάριο B).

Πίνακας 36. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων συγκεντρώσεων μάζας χλωριόντων διαφορών και ποσοστιαίων διαφορών των συγκεντρώσεων χλωριόντων των σεναρίων άντλησης A και B του υβριδικού έργου κατά μήκος του πεδίου των Μαλίων.							
	No Scenario	Σενάριο A	Σενάριο A	Σενάριο A	Σενάριο B	Σενάριο B	Σενάριο B
4th layer	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Διαφορά Συγκέντρωση Μάζας A (mg/L)	Ποσοστιαία Διαφορά Συγκέντρωσης Μάζας A (%)	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Διαφορά Σ M B (mg/L)	Ποσοστιαία Διαφορά Συγκέντρωσης B (%)
13	16.664,5	16.571	93,50	0,56	16.577	87,5	0,52
14	16.317,9	16.313	4,90	0,03	16.315	2,90	0,02
15	7.819,14	7.861,6	42,46	-0,54	7.873,7	54,56	-0,70
16	3.298,9	3.301,6	2,70	-0,08	3.303,1	4,20	-0,13
17	7.213,4	7.214,3	0,90	-0,01	7.217,3	3,90	-0,05
18	17.016,6	16.979	37,60	0,22	16.979	37,60	0,22
19	16.423,2	16.409	14,20	0,09	16.409,2	14,00	0,08
20	16.707,0	16.710	3,00	-0,02	16.721	14,00	-0,08
21	14901,2	14.898,3	2,90	0,02	14.896,4	4,80	0,03
22	7.400,9	7.411,8	10,9	-0,15	7.427,84	26,94	-0,36
23	5.233,8	5.561	327,2	-6,25	5.492,6	258,80	-4,94
24	722,02	777,6	55,58	-7,70	785,54	63,52	-8,80
25	718,56	718,1	0,46	0,06	719,24	0,68	-0,09
26	768,2	768,3	0,1	-0,01	769,1	0,90	-0,12
27	161,1	161,04	0,06	0,04	161,32	0,22	-0,14
28	5.372,1	5.384,4	12,3	-0,23	5.408,6	36,50	-0,68
29	6.702,5	6.717,6	15,1	-0,22	6.743,4	40,90	-0,61
30	1.803,34	1.808,7	5,36	-0,30	1.841,2	37,86	-2,10
31	1.138,6	1.137,98	0,62	0,05	1.138,7	0,10	-0,01
32	1.073,5	1.073,3	0,2	0,02	1.074,14	0,64	-0,06
33	272,05	269,81	2,24	0,82	272,25	0,20	-0,07
34	2.123,14	2.263,5	140,36	-6,61	2.413,9	290,76	-13,69
35	140,69	140,5	0,19	0,13	141,06	0,37	-0,26
36	107,58	107,6	0,02	-0,02	107,8	0,22	-0,20
37	11,8	11,76	0,04	0,34	11,79	0,01	0,08
38	1.590,83	1.606	15,17	-0,95	1.618,60	27,77	-1,74
39	1.004,34	998,25	6,09	0,61	1.007,30	2,96	-0,29
40	636,38	636,8	0,42	-0,06	639,90	3,52	-0,55
41	209,9	209,8	0,10	0,05	210,33	0,43	-0,20
42	111,5	111,5	0,00	0,00	111,82	0,32	-0,29

Συγκριτική ανάλυση των συγκεντρώσεων χλωριόντων των 42 σημείων παρατήρησης, για διαφορά συγκέντρωσης μάζας του σεναρίου σε σχέση με το αρχικό άνω των 20 mg/L.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον ανωτέρω πίνακα παρουσιάζεται αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων (άνω των 20 mg/L) σε 6 σημεία για το σενάριο Α και σε 11 σημεία για το σενάριο Β. Τα σημεία παρατήρησης έχουν σημειωθεί με κόκκινο χρώμα στον Πίνακα 33. Το σενάριο Α παρουσιάζει την μεγαλύτερη μεταβολή συγκέντρωσης χλωριόντων με τιμή 327 mg/L και επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την ένταση και την μεταβολή της υφαλμύρισης στην περιοχή.

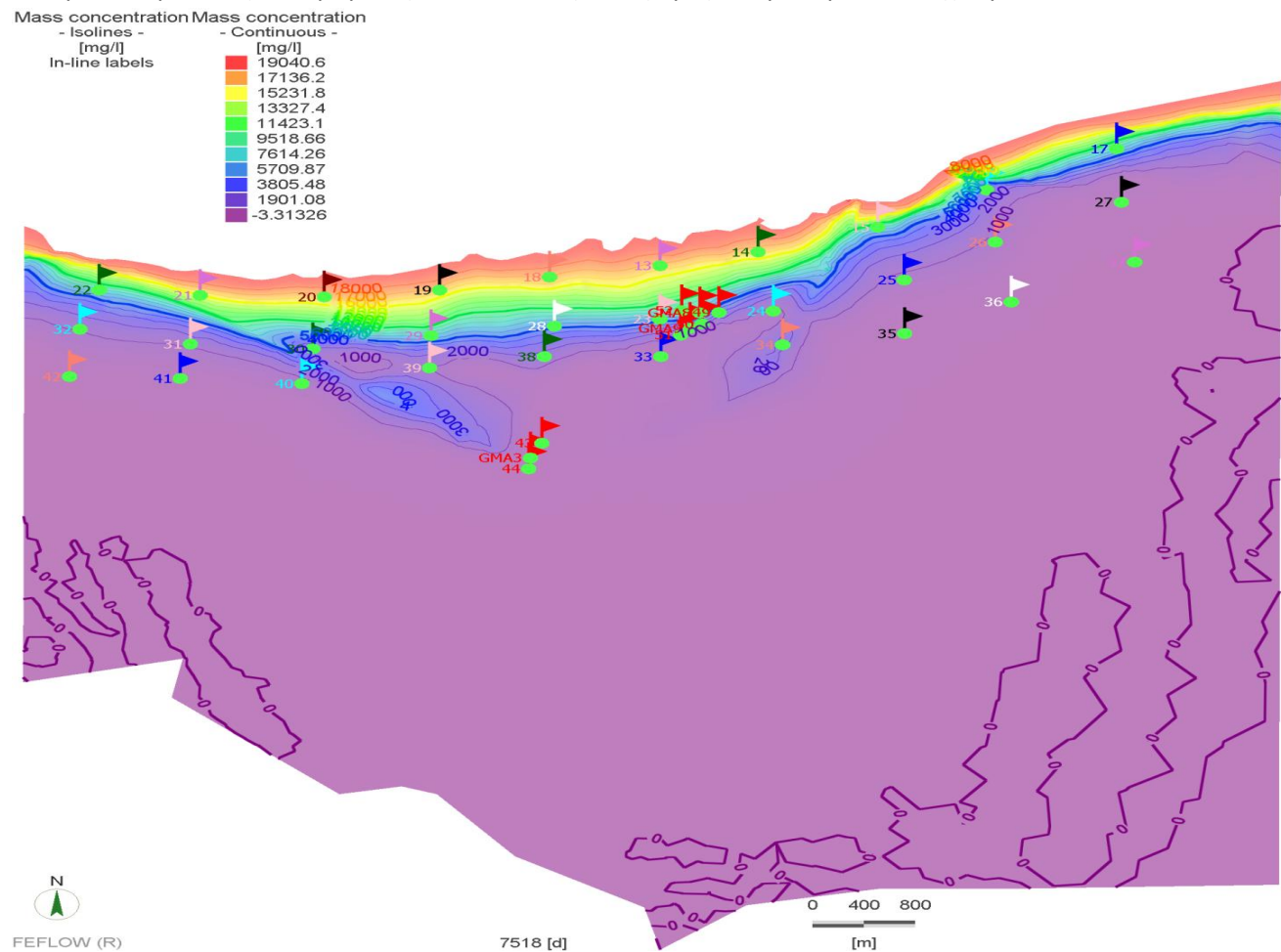
Συγκριτική ανάλυση των συγκεντρώσεων χλωριόντων γειτονικά του υβριδικού

Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των συγκεντρώσεων χλωριόντων των διαφορετικών σεναρίων στις περιοχές που υπάρχουν τα πηγάδια παρατήρησης, τα οποία παρακολουθούν την κατάσταση στις γεωτρήσεις του υβριδικού έργου G.MA.8, G.MA.9, G.MA.3 και G.MA.5 και παρουσιάζονται στον Πίνακα 37.

Πίνακας 37. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων συγκεντρώσεων μάζας χλωριόντων διαφορών και ποσοστιαίων διαφορών των συγκεντρώσεων χλωριόντων των σεναρίων άντλησης Α και Β του υβριδικού έργου κοντά στις περιοχές των γεωτρήσεων άντλησης του υβριδικού έργου.

	No Scenario	Σενάριο Α	Σενάριο Α	Σενάριο Α	Σενάριο Β	Σενάριο Β	Σενάριο Β
4th layer	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Διαφορά Συγκέντρωση Μάζας Α (mg/L)	Ποσοστιαία Διαφορά Συγκέντρωσης Μάζας Α (%)	Συγκέντρωση Μάζας (mg/L)	Διαφορά Σ Μ Β (mg/L)	Ποσοστιαία Διαφορά Συγκέντρωσης Β (%)
43	168,82	165,38	3,44	2,04	177,50	8,68	-5,14
45=GMA3	154,54	151,40	3,14	2,03	147,90	6,64	4,30
44	117,65	116,20	1,45	1,23	100,00	17,65	15,00
47	115,90	114,60	1,30	1,12	102,99	12,91	11,14
46=GMA5	111,83	111,50	0,33	0,29	99,38	12,45	11,13
48	74,27	74,20	0,07	0,09	71,02	3,25	4,37
49	2.319,80	2.914,00	594,20	-25,61	2.934,98	615,18	-26,52
11=GMA8	3.843,80	6.495,30	2.651,50	-68,98	656,8	3.187,00	82,91
52	7.090,32	7.999,9	909,58	-12,83	7.874,65	784,33	-11,06
50	1.271,30	1.131,00	140,30	11,03	1.184,60	86,7	-6,82
12=GMA9	908,24	1.377,00	468,76	-51,61	1.535,30	627,06	-69,04
51	617,98	627,00	9,02	-1,46	610,40	7,58	1,23

Από τον προηγούμενο πίνακα διαπιστώνεται ότι όλα τα πηγάδια παρατήρησης και στα δύο σενάρια παρουσιάζουν μεγάλες ποσοστιαίες διαφορές συγκεντρώσεων χλωριόντων.



Εικόνα 38. Σχήμα αναπαράστασης του υφαλμυρικού φαινομένου του πεδίου των Μαλίων, μέσω απεικόνισης των ισοϋψών των σημαντικών συγκεντρώσεων χλωριόντων (4^ο layer, 30/04/2016).

7.3. Μελέτη ενεργειακής βιωσιμότητας του υβριδικού σταθμού μέσω του Retscreen

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένας μικρότερος πίνακας, ο οποίος περιλαμβάνει τα σημαντικότερα μεγέθη, που υπολογίστηκαν από το Retscreen και κατατοπίζουν καλύτερα τον αναγνώστη σε σχέση με την μοναδικότητα, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε σεναρίου.

Ομάδα Σεναρίων 1

Στην πρώτη ομάδα σεναρίων παρουσιάζονται διαφορετικά σενάρια σχετικά με το υβριδικό έργο των Μαλίων και τα ενεργειακά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την λειτουργία του σε περίπτωση που κατασκευαστεί.

Σενάριο 1.1

Στο πρώτο σενάριο έχει θεωρηθεί ότι το υβριδικό έργο λειτουργεί με ανεμογεννήτριες που έχουν ιδανική απόδοση 34,6% και η ισχύς των υδροστροβίλων δεν είναι εγγυημένη, οπότε διαπιστώνεται ότι η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μέγιστη δυνατή, που μπορεί να επιτευχθεί από το υβριδικό. Επίσης, μέγιστη δυνατή είναι η συνολική μείωση των ρύπων CO₂ και αντίστοιχα συμβαίνει με τα συνολικά ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και των δικαιωμάτων CO₂ που είναι τα μέγιστα παραγόμενα δυνατά όπως φαίνεται στον Πίνακα 38.

Πίνακας 38. Σενάριο 1.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6% και χωρίς εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	496.102
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	383.153
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	109.514.670
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	2.353.967
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	111.479.727
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	16,0
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	10,4

Ο αναλυτικός πίνακας των πληροφοριών του υβριδικού έργου και των αποτελεσμάτων του Retscreen παρουσιάζονται στον Πίνακα 39, ο οποίος δίνει μια σφαιρική και σε μεγαλύτερο βάθος εικόνα της κατάστασης, της λογικής και των αποτελεσμάτων του σεναρίου 1.1.

Πίνακας 39. Σενάριο 1.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6% και χωρίς εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1
Αριθμός Α/Γ	106
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	100
Αριθμός Υδροστροβίλων	4
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	221,24
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	272.722
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	223.38
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	496.102
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	383.153
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	68.201.000
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	109.514.670
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	2.353.967
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	111.479.727
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	2.229.594.540
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	16,00
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	10,4
Equity payback (years)	10,0
	O&M costs=68.201.000 €
	Υπολογισμός με υψηλή απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 34,6%) και με την μέγιστη δυνατή ισχύ των υδροστροβίλων

Σενάριο 1.2

Σε αυτό το σενάριο θεωρείται, ότι το υβριδικό έργο λειτουργεί με ανεμογεννήτριες που έχουν ιδανική απόδοση 34,6% και η ισχύς των υδροστροβίλων σε αντίθεση με το πρώτο σενάριο είναι εγγυημένη. Άρα, διαπιστώνεται ότι η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η βέλτιστη δυνατή. Με το ίδιο σκεπτικό, βέλτιστη δυνατή είναι και η συνολική μείωση των ρύπων CO₂, όπως αντίστοιχα συμβαίνει με την ικανοποιητική παραγωγή συνολικών ετήσιων εσόδων από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και των δικαιωμάτων CO₂, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 40. Αυτό συμβαίνει, επειδή τα αιολικά πάρκα αποδίδουν την μέγιστη δυνατή ενέργεια που τους επιτρέπουν οι δυνατότητές τους. Αξίζει να σημειωθεί σχετικά με τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες ότι όταν οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν μεμονωμένα, έχουν απόδοση που κυμαίνεται μεταξύ 22-27%, ενώ για τις ίδιες ανεμογεννήτριες στα αιολικά πάρκα η απόδοση κυμαίνεται ανάμεσα στο 27-35% λόγω του ότι λειτουργούν συνεργατικά. Επομένως, η απόδοση 34,6% μπορεί να είναι πάρα πολύ υψηλή, αλλά δεν είναι αδύνατο να επιτευχθεί στην πραγματικότητα, απλώς είναι δύσκολο να λειτουργεί ένα αιολικό πάρκο με τόσο υψηλή ετήσια απόδοση.

Πίνακας 40. Σενάριο 1.2 (Wind turbine capacity factor= 34.6% και εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	440.257
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	340.022
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	96.945.272
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	2.089.443
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	98.945.570
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	12,60
Απόσβεση της επένδυσης του έργου – Simple payback (years)	8,1

Γίνεται αντιληπτό από το σενάριο 1.2 ότι για ιδανικές συνθήκες λειτουργίας των ανεμογεννητριών των αιολικών πάρκων, η δυνατότητα ενός τέτοιου έργου στην περίπτωση που υλοποιηθεί είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Άρα, η ποιότητα και η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται είναι εξαιρετικά υψηλή, συνοδευόμενη από τα αντίστοιχα υψηλά κέρδη που καθιστούν το έργο κερδοφόρο. Η απόσβεση της αρχικής επένδυσης γίνεται γρήγορα σε 8 χρόνια και το επιτόκιο επένδυσης (Pre tax IRR), το οποίο ανέρχεται στο 12,6%, θεωρείται υψηλό και έτσι αποδίδει γρήγορα, σταθερά και μεγάλα κέρδη το υβριδικό έργο. Στον Πίνακα 41 παρουσιάζονται οι πληροφορίες του υβριδικού έργου και τα αποτελέσματα του Retscreen του σεναρίου 1.2.

Πίνακας 41. Σενάριο 1.2 (Wind turbine capacity factor= 34.6% και εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1
Αριθμός Α/Γ	106
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	75
Αριθμός Υδροστροβίλων	3
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	221,24
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	272.722
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	167.535
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	440.257
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	340.022
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	44.550.949
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	96.945.272
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	2.089.443
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	98.945.570
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	1.978.911.400
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	12,60
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	8,1
Equity payback (years)	7,6
	O&M costs=44.550.949 €
	Υπολογισμός με υψηλή απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 34,6%) και με την μέγιστη δυνατή ισχύ των υδροστροβίλων

Σενάριο 1.3

Στο τελευταίο σενάριο, το υβριδικό έργο λειτουργεί με ανεμογεννήτριες που έχουν απόδοση 27,6% και με ισχύ υδροστροβίλων που είναι εγγυημένη. Συνεπώς, η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αναμενόμενη, που μπορεί να επιτευχθεί από το υβριδικό, σε περίπτωση που υπάρχουν φυσιολογικές συνθήκες πεδίου. Το σενάριο αυτό αποτελεί την πιο ρεαλιστική αναπαράσταση της λειτουργίας του υβριδικού έργου των Μαλίων που είναι δυνατόν να αποτυπωθεί με το πρόγραμμα του Retscreen. Άρα, υπάρχει ακόμα σημαντική συνολική μείωση των ρύπων CO2, όπως αντίστοιχα υπάρχουν ικανοποιητικά και σημαντικά συνολικά ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και των δικαιωμάτων CO2. Αυτά τα μεγέθη, τα οποία είναι μειωμένα σαφώς σε σχέση με τα δύο προηγούμενα σενάρια, παρουσιάζονται στον Πίνακα 42.

Πίνακας 42. Σενάριο 1.3 (Wind turbine capacity factor= 27.6% και εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	385.712
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	297.896
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	85.169.796
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	1.829.552
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	86.668.548
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	8,90
Απόσβεση/Αποπληρωμή της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	10,5

Στο τρίτο ρεαλιστικό σενάριο η ποιότητα και η ποσότητα της ενέργειας που παράγεται είναι υψηλή και συνοδεύεται από τα αντίστοιχα σημαντικά ετήσια κέρδη, που καθιστούν το έργο δελεαστικό στην υλοποίησή του και κερδοφόρο στην λειτουργία του. Αυτό φαίνεται από τους δείκτες αποπληρωμής του έργου που πραγματοποιείται στα 10 χρόνια, πράγμα που σημαίνει ότι σε αυτά τα χρόνια, το υβριδικό έργο θα έχει παράγει το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού κεφαλαίου που επενδύθηκε ως κέρδος. Άρα, η απόσβεση της αρχικής επένδυσης είναι άμεση και γρήγορη και πραγματοποιείται στην πρώτη δεκαετία λειτουργίας του υβριδικού έργου. Το επιτόκιο επένδυσης (Pre tax IRR), το οποίο ανέρχεται στο 8,90%, μπορεί να μην είναι τόσο μεγάλο όσο στα προηγούμενα σενάρια, αλλά θεωρείται ακόμα αρκετά υψηλό για να μπορέσει η επένδυση του υβριδικού έργου να αποφέρει άμεσα, σταθερά και σημαντικά κέρδη στους επενδυτές του. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι η επένδυση του υβριδικού έργου θα αποφέρει κέρδη σε μεσοπρόθεσμο βάθος χρόνου και ότι μέχρι τα είκοσι χρόνια λειτουργίας του, το κέρδος από την επένδυση αυτή θα μεταφράζεται σε κάτι λιγότερο από τρεις φορές το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης. Άρα, το σενάριο αυτό αν και είναι λιγότερο κερδοφόρο από τα προαναφερθέντα σενάρια είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα και παρόλα αυτά αποφέρει σημαντικά ποσά κέρδους.

Στον Πίνακα 43 του σεναρίου 1.3 παρουσιάζονται οι πληροφορίες του υβριδικού έργου και τα αποτελέσματα του Retscreen που δίνουν μια αναλυτική εικόνα της κατάστασης, της λογικής και των αποτελεσμάτων του εν λόγω σεναρίου. Τα αποτελέσματα τελικά επηρεάζονται από την εγγυημένη ισχύ και από την ρεαλιστική απεικόνιση των πραγμάτων, μειώνοντας το συνολικό κέρδος της επένδυσης ασφαλώς, αλλά όχι τόσο δραστικά ώστε να κρίνεται το έργο μη κερδοφόρο.

Πίνακας 43. Σενάριο 1.3 (Wind turbine capacity factor= 27.6% και εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1
Αριθμός Α/Γ	106
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	75
Αριθμός Υδροστροβίλων	3
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	221,24
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	218.177
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	167.535
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	385.712
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	297.896
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	44.550.949
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	85.169.796
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	1.829.552
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	86.668.548
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	1.733.370.960
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	8,90
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	10,5
Equity payback (years)	9,6
	O&M costs=44.550.949 €
	Υπολογισμός με μέση απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 27,6%) και με την εγγυημένη ισχύ των υδροστροβίλων 75 MW

7.3.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων των σεναρίων του υβριδικού έργου

Συμπερασματικά, από τα τρία σενάρια του υβριδικού έργου των Μαλίων είναι φανερό ότι στο τελευταίο σενάριο που έχουν εισαχθεί τα πιο ρεαλιστικά δεδομένα από τα τρία σενάρια, παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές παραγωγής ενέργειας και άρα τα χαμηλότερα κέρδη μέσα στα χρόνια, από τα υπόλοιπα σενάρια. Το δεύτερο σενάριο παρουσιάζει την αμέσως μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας και κέρδους και τέλος το πρώτο σενάριο παρουσιάζει την μέγιστη παραγωγή ενέργειας και κέρδους από όλα τα σενάρια. Στον Πίνακα 44 ποσοστοποιείται η απόκλιση της ενέργειας που παράγεται από τα αιολικά πάρκα και από τους υδροστροβίλους του κάθε σεναρίου αν συγκριθούν με τις τιμές που έχουν καταγραφεί στην ΜΠΕ για αυτές τις μεθόδους παραγωγής ενέργειας.

Πίνακας 44. Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων διαφορετικών σεναρίων.				
Σενάριο υβριδικού έργου/Μέγεθος ποσοστό σεναρίου ή	Ετήσια Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	Ποσοστιαία διαφορά ενέργειας από Α/Γ (%)	Ετήσια Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	Ποσοστιαία διαφορά ενέργειας από υδροστροβίλους (%)
Στοιχεία ΜΠΕ	298.000	-	225.000	-
Σενάριο 1.1	272.722	8,72	223.380	0,89
Σενάριο 1.2	272.722	8,72	167.535	25,78
Σενάριο 1.3	218.177	26,84	167.535	25,78

Συνεπώς, από την μελέτη του παραπάνω πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι για το πρώτο σενάριο, η ποσοστιαία διαφορά της ενέργειας τόσο από υδροστροβίλους όσο και από τις Α/Γ σε σχέση με τα στοιχεία της ΜΠΕ, δεν είναι μεγάλη και περιορίζεται αρκετά κάτω του 10%, με αποτέλεσμα το σενάριο 1.1 που στήθηκε για ιδανικές συνθήκες να είναι αρκετά κοντά στα στοιχεία της ΜΠΕ. Η σύγκριση του δεύτερου σεναρίου με τα στοιχεία της ΜΠΕ, μας δείχνει ότι ενώ η ποσοστιαία διαφορά ενέργειας από Α/Γ είναι κάτω του 10%, η ποσοστιαία διαφορά της ενέργειας από υδροστροβίλους αγγίζει σχεδόν το 26%. Πράγμα που συνεπάγεται ότι η παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους της ΜΠΕ σε σχέση με εκείνη του σεναρίου 1.2 έχει πολύ μεγάλη διαφορά, με αποτέλεσμα το σενάριο αυτό να μην συμφωνεί με την ΜΠΕ. Τέλος, στο τρίτο σενάριο η ποσοστιαία διαφορά ενέργειας τόσο των Α/Γ όσο και των υδροστροβίλων σε σχέση με τα στοιχεία της ΜΠΕ, διαφοροποιείται σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό και είναι ίση περίπου με 26%. Με αποτέλεσμα η παραγωγή ενέργειας του ρεαλιστικού σεναρίου 1.3 του υβριδικού έργου να είναι εξαιρετικά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας των Α/Γ και των υδροστροβίλων, που παρουσιάζεται στην επίσημη ΜΠΕ του υβριδικού έργου των Μαλίων.

Συμπεράσματα της 1^{ης} ομάδας σεναρίων

Από την μελέτη της πρώτης ομάδας σεναρίων, προκύπτει ότι η κατασκευή και δημιουργία ενός τόσο μεγάλου υβριδικού έργου είναι μια αρκετά μεγάλη επένδυση που συνοδεύεται με το αντίστοιχο ρίσκο, αλλά και με τα αντίστοιχα ενεργειακά οφέλη και οικονομικά κέρδη. Αυτά επηρεάζουν άμεσα στην συγκεκριμένη περίπτωση όχι μόνο την τοπική κοινωνία των Μαλίων και την ευρύτερη κοινωνία του νομού Ηρακλείου, αλλά και όλη την νήσο της Κρήτης. Το υβριδικό έργο των Μαλίων είναι μια επένδυση περιβαλλοντικά επίφοβη, καθώς με τους λάθος χειρισμούς μπορεί να αποβεί μοιραία για το περιβάλλον στο οποίο εγκαθίσταται. Με την κατάλληλη σωστή διαχείριση, βέβαια, τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι δυνατόν να αποφευχθούν και να περιοριστούν στο ελάχιστο δυνατό βαθμό επιρροής, επίδρασης και αλλοίωσης του φυσικού περιβάλλοντος. Και το έργο είναι δυνατόν να αποτελεί πυρήνα ενεργειακής ανάσας και ανεξαρτητοποίησης του νησιού της Κρήτης, όπως επίσης και πηγή σημαντικών εσόδων για μέρος των ανθρώπων και των οικογενειών που θα εργάζονται σε αυτό.

Ομάδα Σεναρίων 2

Στην δεύτερη ομάδα σεναρίων, αναπτύχθηκαν δύο σενάρια πάνω στην λογική κατασκευής ενός μικρότερου υβριδικού έργου στα Μάλια που θα έχει βιώσιμο χαρακτήρα και θα είναι

πιο φιλικό στο περιβάλλον. Και στα δύο σενάρια υπολογίστηκαν όλα τα μεγέθη για βιώσιμη ισχύ 40% της αρχικής ισχύος που προβλέπεται για το κανονικό υβριδικό έργο των Μαλίων, τόσο στις Α/Γ όσο και στο κομμάτι των υδροστροβίλων.

Σενάριο 2.1

Στο πρώτο εναλλακτικό βιώσιμο σενάριο του υβριδικού έργου, λοιπόν, θεωρείται ότι τα αιολικά πάρκα έχουν απόδοση 27,6% και δεν υπάρχει εγγυημένη ισχύς για το υβριδικό έργο. Από τον Πίνακα 45 φαίνεται ότι αυτό το σενάριο έχει την μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω του ότι δεν έχουν εγγυημένη ισχύ οι υδροστροβίλοι και άρα από τα δύο σενάρια προκύπτει μέγιστη παραγωγή κέρδους. Επιπρόσθετα, η απόσβεση/αποπληρωμή του βιώσιμου σεναρίου 2.1 πραγματοποιείται λίγο μετά τα 8 έτη και στα 8,2 χρόνια γίνεται πλήρης αποπληρωμή της επένδυσης του έργου, δηλαδή σημειώνεται ως κέρδος το αρχικό κεφάλαιο που επενδύθηκε για το υβριδικό έργο. Επίσης, το ετήσιο επιτόκιο της επένδυσης είναι 12,5%, που είναι εξαιρετικά υψηλό και για αυτό καταγράφονται τα αντίστοιχα ετήσια οικονομικά κέρδη λόγω αυτού, το οποίο όμως είναι ιδανικό και δεν μπορεί να επιτευχθεί στην πραγματικότητα, εξαιτίας της μη εγγυημένης ισχύος του έργου.

Πίνακας 45. Σενάριο 2.1 (Wind turbine capacity factor= 27.6% χωρίς εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Εναλλακτικό βιώσιμο υβριδικό έργο Μαλίων
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	175.801
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	135.775
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	178.175.653
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	38.813.422
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	833.84
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	39.496.510
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	12,50
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	8,2

Το βιώσιμο σενάριο του υβριδικού έργου δεν αποτελεί ρεαλιστική περίπτωση υβριδικού, επειδή εκμεταλλεύεται την συνολική ισχύ των υδροστροβίλων και δεν παρέχει εγγυημένη ισχύ στο δίκτυο. Στον Πίνακα 46. παρουσιάζονται συγκεντρωμένα όλες οι γενικές πληροφορίες και τα αποτελέσματα που εισήχθησαν και εξήχθησαν, χρησιμοποιώντας το Retscreen.

Πίνακας 46. Σενάριο 2.1 (Wind turbine capacity factor= 27.6% χωρίς εγγυημένη ισχύ)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Εναλλακτικό βιώσιμο υβριδικό έργο Μαλίων
Ισχύς Αιολικού (MW)	35,7
Αριθμός Α/Γ	42
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	40
Αριθμός Υδροστροβίλων	2
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	221,24
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	86.448
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	89.352
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	175.8
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	135.775
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	178.175.653
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	17.817.279
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	38.813.422
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	833.84
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	39.496.510
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	790.262.324
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	12,50
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	8,2
Equity payback (years)	7,6
	Υπολογισμός με μέση απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 27,6%) και με την εγγυημένη ισχύ των υδροστροβίλων 75 MW

Σενάριο 2.2

Στο δεύτερο και τελευταίο βιώσιμο σενάριο, του οποίου τα δεδομένα φαίνονται στον Πίνακα 47 θεωρήθηκε φυσιολογική απόδοση Α/Γ για τα αιολικά πάρκα της τάξεως του 27,6% και εγγυημένη ισχύς 30 MW για το υβριδικό έργο. Η παραγωγή ενέργειας και τα κέρδη που έχουν υπολογιστεί, ανταποκρίνονται πλήρως στην πραγματικότητα και είναι σαφώς μικρότερα του προηγούμενου σεναρίου λόγω της ύπαρξης εγγυημένης ισχύος. Για αυτό τον λόγο η απόσβεση/αποπληρωμή του έργου γίνεται στα 10,6 χρόνια. Οι ρυθμοί αυτοί είναι μεν μικρότεροι από ότι ήταν στο προηγούμενο σενάριο, αλλά παραμένουν καλοί και αξιόπιστοι για την υλοποίηση μιας τέτοιας επένδυσης. Επίσης, το ετήσιο επιτόκιο της επένδυσης του έργου ανέρχεται στο 8,8% που είναι ιδιαίτερα υψηλό και για αυτό το υβριδικό έργο καταγράφει πολύ σημαντικά ετήσια κέρδη και απολαβές, αν και είναι μικρότερο του πρώτου σεναρίου, αλλά παρόλα αυτά είναι ρεαλιστικό και μπορεί να επιτευχθεί.

Πίνακας 47. Σενάριο 2.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6% με εγγυημένη ισχύς)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Εναλλακτικό βιώσιμο υβριδικό έργο Μαλίων
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	153.462
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	118.523
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	178.175.653
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	33.796.974
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	728.13
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	34.477.721
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	8,80
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	10,6

Το συγκεκριμένο σενάριο αποτελεί ρεαλιστική απεικόνιση της πραγματικότητας και σε περίπτωση κατασκευής του εναλλακτικού βιώσιμου υβριδικού έργου, με τα κατάλληλα δεδομένα θα παράγονταν πολύ καλά αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 48.

Πίνακας 48. Σενάριο 2.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6% με εγγυημένη ισχύς)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Εναλλακτικό βιώσιμο υβριδικό έργο Μαλίων
Ισχύς Αιολικού (MW)	35,7
Αριθμός Α/Γ	42
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	30
Αριθμός Υδροστροβίλων	2
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	221,24
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	86.448
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	67.014
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	153.462
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	118.523
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	178.175.653
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	17.817.279
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	33.796.974
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	728.13
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	34.477.721
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	689.554.420
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	8,80
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	10,6
Equity payback (years)	9,7
	Υπολογισμός με μέση απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 27,6%) και με την εγγυημένη ισχύ των υδροστροβίλων 75 MW

Συμπεράσματα της 2^{ης} ομάδας σεναρίων

Η λύση του εναλλακτικού βιώσιμου υβριδικού που καταγράφεται στο σενάριο 2.2 είναι περίπτωση έργου μικρής κλίμακας, που είναι δυνατόν να γίνει αποδεκτό πιο εύκολα από την τοπική κοινωνία, δημιουργώντας μικρότερα περιβαλλοντικά προβλήματα στο τοπίο και στον υπόγειο υδροφόρο. Παράλληλα, σημειώνει υψηλά ενεργειακά οφέλη και υψηλά οικονομικά οφέλη που καταλήγουν στους επενδυτές. Επίσης, λόγω του ότι το αρχικό κεφάλαιο είναι μικρότερο, η επένδυση παρουσιάζει μικρότερο ρίσκο. Αναφορικά με το μέγεθος του, απαιτείται μικρότερη έκταση γης για την εγκατάστασή του και η υλοποίησή του είναι πιο εύκολη και γρήγορη σε τοπικό επίπεδο, αφού λιγότεροι τοπικοί παράγοντες και μέλη των τοπικών κοινωνιών εναντιώνονται στην κατασκευή του. Τέλος, εξαιτίας όλων των προαναφερθέντων λόγων και παίρνοντας παράδειγμα από το νησί El Hierro των Καναρίων νήσων, είναι δυνατή η δημιουργία τέτοιων βιώσιμων υβριδικών έργων σε περισσότερες περιοχές. Αυτό μπορεί να συμβεί ειδικά στην Ελλάδα που λόγω γεωγραφικών και εδαφικών περιορισμών οι επιλογές είναι λίγες. Συνεπώς, συγκεκριμένες τέτοιες

εφαρμογές αυτού του μεγέθους θα μπορούσαν να υλοποιηθούν σε μικρές περιοχές όπως είναι τα νησιά, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο αυτόνομα ενεργειακά και οικονομικά συστήματα μέσα στην χώρα, διευκολύνοντας έτσι την ενεργειακή ανεξαρτητοποίησή της.

Ομάδα Σεναρίων 3

Σε αυτή την ομάδα σεναρίων εξετάζεται το τμήμα του υβριδικού έργου από την σκοπιά των τεσσάρων αιολικών πάρκων και των Α/Γ, για να διαπιστωθεί η συνεισφορά του αιολικού δυναμικού και της αιολικής τεχνολογίας στο σύνολο του υβριδικού έργου. Αντιμετωπίζονται τα τέσσερα αιολικά πάρκα ως ένα μεγάλο ενιαίο αιολικό πάρκο και εξάγονται για αυτό τα ενεργειακά και οικονομικά αποτελέσματα.

Σενάριο 3.1

Στο πρώτο σενάριο του ενιαίου αιολικού πάρκου θεωρείται υψηλή απόδοση Α/Γ της τάξεως του 34,6% που είναι ιδανική τιμή απόδοσης για ένα αιολικό πάρκο. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η παραγωγή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας και υψηλών ετήσιων εσόδων για το αιολικό πάρκο όπως φαίνεται στον Πίνακα 49. Διαπιστώνεται ότι η απόσβεση/αποπληρωμή του έργου πραγματοποιείται λίγο μετά τα πρώτα 3 χρόνια. Το ετήσιο επιτόκιο επένδυσης ανέρχεται στο 31,8%, το οποίο είναι εξαιρετικά υψηλό. Από αυτό φαίνεται ότι η φύση των επενδύσεων των αιολικών πάρκων συνοδεύεται από πάρα πολύ υψηλά επιτόκια επένδυσης, που επιτρέπουν την ταχύτατη αποπληρωμή του έργου.

Πίνακας 49. Σενάριο 3.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Ολικό Αιολικό πάρκο Χανίων-Ρεθύμνου
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	272.722
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	210.63
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	71.034.251
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	27.082.128
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	1.293.971
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	28.288.647
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	31,80
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	3,3

Το συγκεκριμένο σενάριο είναι θεωρητικό και βοηθάει στην διαπίστωση του μέγιστου κέρδους από μια τέτοια επένδυση, η οποία όμως δεν είναι υλοποιήσιμη. Βοηθάει στον προσδιορισμό ενός σημείου αναφοράς για το συγκεκριμένο έργο τόσο σε οικονομικό όσο και σε ενεργειακό επίπεδο. Αυτή η λογική έχει χρησιμοποιηθεί και εφαρμοστεί και στα υπόλοιπα σενάρια (Σενάριο 4.1 και Σενάριο 5.1) των μεμονωμένων αιολικών πάρκων των Χανίων και του Ρεθύμνου, που παρουσιάζονται παρακάτω.

Στον Πίνακα 50 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του Retscreen του ενιαίου αιολικού πάρκου των Χανίων και του Ρεθύμνου.

Πίνακας 50. Σενάριο 3.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Ολικό Αιολικό πάρκο Χανίων-Ρεθύμνου
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1
Αριθμός Α/Γ	106
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	272.722
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	272.722
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	210.63
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	71.034.251
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	7.175.008
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	27.082.128
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	1.293.971
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	28.288.647
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	565.772.940
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	31,80
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	3,3
Equity payback (years)	3,2

Σενάριο 3.2

Σε αυτό το σενάριο του ενιαίου αιολικού πάρκου θεωρείται μια φυσιολογική απόδοση Α/Γ της τάξεως του 27,6% που είναι μια φυσιολογική τιμή απόδοσης για ένα αιολικό πάρκο. Το παρόν σενάριο ανταποκρίνεται σε μια ρεαλιστική απεικόνιση της οικονομικής και ενεργειακής παραγωγής του συνόλου των Α/Γ όπως φαίνεται στον Πίνακα 51. Η απόσβεση/αποπληρωμή του έργου πραγματοποιείται περίπου στα 4,6 έτη, με αποτέλεσμα το κεφάλαιο που επενδύθηκε να λαμβάνεται ως κέρδος. Τέλος, το ετήσιο επιτόκιο επένδυσης ανέρχεται στο 23,3%, το οποίο είναι πάρα πολύ υψηλό και συγκριτικά τουλάχιστον 10% υψηλότερο από εκείνο το επιτόκιο επένδυσης των ρεαλιστικών σεναρίων του υβριδικού έργου. Αυτό υποδεικνύει ότι τα υβριδικά έργα αποφέρουν μεγάλα κέρδη τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά λόγω της παραγωγής και διάθεσης στο δίκτυο τεραστίων ποσοτήτων ανανεώσιμης ενέργειας. Τελικά όμως τα αποφέρουν σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ότι τα αντίστοιχης ισχύος αιολικά πάρκα και με αυτόν τον τρόπο αποτελούν επένδυση, που χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να παρουσιάσει κερδοφορία. Η κερδοφορία συνήθως παρουσιάζεται στα 10 έτη σε αντίθεση με τα αιολικά πάρκα, που παρουσιάζουν κερδοφορία στα πρώτα 4-5 έτη λειτουργίας τους.

Πίνακας 51. Σενάριο 3.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Ολικό Αιολικό πάρκο Χανίων-Ρεθύμνου
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	218.177
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	168.504
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	71.034.251
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	21.630.326
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	1.035.458
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	22.635.579
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	23,30%
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	4,6

Το σενάριο 3.2 είναι ρεαλιστική απεικόνιση ενός ενιαίου αιολικού πάρκου που θα χρησιμοποιούσε την συνδυαστική ισχύ των αιολικών πάρκων τόσο των Χανίων όσο και του Ρεθύμνου. Μέσα από αυτό γίνεται κατανοητό το οικονομικό και ενεργειακό κέρδος που παράγεται από μια τέτοια επένδυση, το οποίο είναι μεγάλο. Γενικά η παραγωγή ενέργειας από μιας τέτοιας κλίμακας αιολικό πάρκο που δραστηριοποιείται χωρικά σε τέσσερις διαφορετικές γεωγραφικά περιοχές είναι σχετικά ως ένα βαθμό πιο σταθερή. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που δεν φυσάει άνεμος η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μηδενική. Στην περίπτωση που φυσάει και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει ανάγκη σε ηλεκτρική ενέργεια, το ποσό της παραγόμενης από τις Α/Γ αιολικής ενέργειας χάνεται. Στον Πίνακα 52 φαίνονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για να στηθεί το σενάριο στο Retscreen και τα αποτελέσματα τα οποία παράχθηκαν από αυτό.

Πίνακας 52. Σενάριο 3.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Ολικό Αιολικό πάρκο Χανίων-Ρεθύμνου
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1
Αριθμός Α/Γ	106
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	218.177
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	218.177
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	168.504
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	71.034.251
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	7.175.008
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	21.630.326
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	1.035.458
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	22.635.579
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	452.711.580
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	23,30%
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	4,6
Equity payback (years)	4,3

Συμπεράσματα της 3^{ης} ομάδας σεναρίων

Στην πραγματικότητα τα συγκεκριμένα σενάρια έχουν δομηθεί θεωρώντας ότι τα τέσσερα αιολικά πάρκα του υβριδικού έργου έχουν συνδυαστεί και λειτουργούν ανεξάρτητα ως αιολικά πάρκα. Αυτή η λογική υποδεικνύει με σαφήνεια ότι η επένδυση σε ένα τόσο μεγάλο αιολικό πάρκο αποτελεί πιο βραχυπρόθεσμη επένδυση και παράγει κέρδη σε μικρό χρονικό διάστημα, λόγω του μικρότερου κεφαλαίου επένδυσης. Αντίστοιχα, η επένδυση στο υβριδικό έργο αποφέρει κέρδη σε μεσοπρόθεσμο χρόνο λόγω του υψηλότερου κεφαλαίου επένδυσης και πολλαπλάσια κέρδη, έως και τέσσερις φορές περισσότερα από ότι το αντίστοιχο αιολικό έργο. Επιπρόσθετα, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που δεν πρέπει να αγνοείται είναι ότι ένα υβριδικό έργο αποφέρει σίγουρη, εξασφαλισμένη και περισσότερη ετήσια παραγόμενη ενέργεια, άρα και κέρδη σε σύγκριση με ένα αιολικό έργο ίδιας κλίμακας που δεν έχει εξασφαλισμένη ετήσια παραγωγή ενέργειας και τα κέρδη του μπορεί να διαφοροποιούνται από χρόνο σε χρόνο.

Ομάδα Σεναρίων 4

Στην τέταρτη ομάδα σεναρίων εξετάζεται ξεχωριστά το σενάριο του αιολικού πάρκου των Χανίων.

Σενάριο 4.1

Στο πρώτο σενάριο εξετάζεται κάτω από ιδανικές συνθήκες με απόδοση Α/Γ της τάξεως του 34,6%, ποια θα ήταν τα μέγιστα κέρδη σε χρήματα και ενέργεια που θα είχε το αιολικό πάρκο των Χανίων. Από τον Πίνακα 53. διαπιστώνεται ότι η απόσβεση/αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης των δύο αιολικών πάρκων των Χανίων, πραγματοποιείται λίγο μετά τα 4 χρόνια λειτουργίας του, δηλαδή παράγεται κέρδος ίσο με το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης του έργου. Τέλος, το επιτόκιο επένδυσης στον χρόνο είναι 30,1%, που είναι εξαιρετικά υψηλό.

Πίνακας 53. Σενάριο 4.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στα Χανιά
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	123.497
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	95.38
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	32.168.030
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	12.269.020
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	522.11
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	11.414.517
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	30,10
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	4,2

Συνεπώς, το έργο του σεναρίου αυτού αν και είναι μικρής σχετικά κλίμακας, μας δείχνει ότι παράγει μια μικρή αλλά σημαντική ποσότητα ενέργειας τον χρόνο και είναι δυνατόν να αποπληρωθεί και να αποσβεσθεί σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Αλλά λόγω της κλίμακας του δεν επιτρέπει μεγάλα περιθώρια κέρδους σε πολύ μικρό χρόνο και για αυτό τον λόγο τέτοια έργα για να προσελκύσουν επενδυτές, επιχορηγούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Στον Πίνακα 54 παρουσιάζονται τα δεδομένα και αποτελέσματα του εν λόγω σεναρίου που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψαν από το Retscreen.

Πίνακας 54. Σενάριο 4.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στα Χανιά
Ισχύς Αιολικού (MW)	40,8
Αριθμός Α/Γ	48
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	123.497
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	123.497
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	95.38
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	32.168.030
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	3.784.458
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	12.269.020
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	522.11
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	11.414.517
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	228.290.342
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	30,10
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	4,2
Equity payback (years)	3,4

Σενάριο 4.2

Στο δεύτερο σενάριο εξετάζεται κάτω από συνθήκες απόδοσης Α/Γ της τάξεως του 27,6%, ποιες θα ήταν οι αναμενόμενες απολαβές και τα αναμενόμενα κέρδη σε χρήματα και ενέργεια που θα είχε το αιολικό πάρκο των Χανίων. Στον Πίνακα 55 παρουσιάζεται ότι η απόσβεση/αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης των δύο αιολικών πάρκων των Χανίων πραγματοποιείται λίγο μετά τα 5 χρόνια λειτουργίας του, δηλαδή παράγεται κέρδος ίσο με το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης του έργου. Τέλος, το επιτόκιο επένδυσης ή εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης τον χρόνο είναι 21,1% και θεωρείται υψηλό.

Πίνακας 55. Σενάριο 4.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στα Χανιά
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	98.797
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	52.028
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	32.168.030
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	9.795.635
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	319.63
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	10.098.652
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	21,10
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	5,1

Το έργο του σεναρίου αυτού είναι μικρής κλίμακας και δείχνει ότι μια τέτοια επένδυση είναι δυνατόν να αποφέρει μικρά, αλλά σχετικά αξιόπιστα ετήσια κέρδη και να αρχίσει σε βάθος επταετίας να τα αυξάνει σημαντικά. Θεωρείται ότι η διάρκεια ζωής ενός τέτοιου έργου είναι τουλάχιστον 20 χρόνια, οπότε σε αυτό τον χρόνο έχει τετραπλασιαστεί το αρχικό του κεφάλαιο και έχει συμβάλει σε ένα καλύτερο περιβάλλον με μια τεχνολογία παραγωγής ενέργειας πιο φιλική προς σε αυτό. Στον Πίνακα 56 παρουσιάζονται τα δεδομένα και αποτελέσματα του εν λόγω σεναρίου που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψαν από το Retscreen.

Πίνακας 56. Σενάριο 4.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στα Χανιά
Ισχύς Αιολικού (MW)	40,8
Αριθμός Α/Γ	48
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	98.797
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	98.797
Τιμή πώλησης CO ₂ (€/Tco ₂)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	52.028
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	32.168.030
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	3.784.458
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	9.795.635
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	319.63
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	10.098.652
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	201.973.040
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	21,10
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	5,1
Equity payback (years)	4,8

Ομάδα Σεναρίων 5

Στην τελευταία ομάδα σεναρίων εξετάζονται δύο σενάρια που αφορούν τα δύο αιολικά πάρκα του Ρεθύμνου και τα κέρδη που θα απέφερε η επένδυση αυτή αν υλοποιούνταν.

Σενάριο 5.1

Το πρώτο σενάριο εξετάζει το αιολικό πάρκο του Ρεθύμνου, στην περίπτωση που υλοποιούνταν η κατασκευή του με απόδοση Α/Γ της τάξεως 34,6%. Στον Πίνακα 57 φαίνεται ότι η απόσβεση/αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης των δύο αιολικών πάρκων του Ρεθύμνου, ολοκληρώνεται λίγο μετά τα 3 χρόνια λειτουργίας του, δηλαδή παράγεται κέρδος ίσο με το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης του έργου. Τέλος, το επιτόκιο επένδυσης στον χρόνο είναι 32,0% που είναι εξαιρετικά υψηλό.

Πίνακας 57. Σενάριο 5.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στο Ρέθυμνο
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	149.225
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	115.251
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	38.882.883
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	14.827.090
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	707.96
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	15.478.011
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	32,00
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	3,3

Γίνεται κατανοητό, λοιπόν, ότι το έργο του σεναρίου 5.1, όπως και εκείνα της τέταρτης ομάδας σεναρίων είναι μικρής κλίμακας και παράγουν μικρή αλλά σημαντική ποσότητα ενέργειας τον χρόνο. Άρα, ένα τέτοιο έργο είναι δυνατόν να αποπληρωθεί και να αποσβεσθεί σε μικρό χρόνο. Παρουσιάζει κερδοφορία σε άμεσο χρόνο, κάτω της πενταετίας και λόγω του μικρού κεφαλαίου επένδυσης και του ρίσκου, αποφέρει σε μια εικοσαετή διάρκεια ζωής έως και 8 φορές το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης. Στον Πίνακα 58 παρουσιάζονται τα δεδομένα και αποτελέσματα του εν λόγω σεναρίου που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψαν από το Retscreen.

Πίνακας 58. Σενάριο 5.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στο Ρέθυμνο
Ισχύς Αιολικού (MW)	49,3
Αριθμός Α/Γ	58
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	149.225
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	149.225
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	115.251
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	38.882.883
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	3.888.100
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	14.827.090
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	707.96
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	15.478.011
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	309.560.220
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	32,00
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	3,3
Equity payback (years)	3,2

Σενάριο 5.2

Στο δεύτερο και τελευταίο σενάριο εξετάζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από συνθήκες απόδοσης της τάξεως του 27,6% και προσδιορίζονται οι απολαβές και τα αναμενόμενα κέρδη σε χρηματικό κεφάλαιο και ενέργεια. Στον Πίνακα 59 παρουσιάζεται η απόσβεση/αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης των δύο αιολικών πάρκων του Ρεθύμνου, πραγματοποιείται λίγο πριν τα 5 χρόνια λειτουργίας του και παράγεται κέρδος ίσο με το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης του έργου.

Τέλος, το επιτόκιο επένδυσης τον κάθε χρόνο είναι 23,4% και θεωρείται ιδιαίτερα υψηλό και ικανοποιητικό, αν συνυπολογιστεί το ότι το σενάριο αυτό είναι αποτύπωση μιας πιθανής επένδυσης.

Πίνακας 59. Σενάριο 5.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στο Ρέθυμνο
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	119.38
Συνολική μείωση εκπομπών CO ₂ (tCO ₂ /year)	92,2
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	38.882.883
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	11.838.370
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO ₂ (€)	566.36
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	12.382.245
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	23,40
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	4,6

Από το σενάριο αυτό φαίνεται ότι μια τέτοια επένδυση είναι δυνατόν να αποφέρει μικρά, αλλά αξιόπιστα ετήσια κέρδη και να αρχίσει σε βάθος επταετίας να αυξάνει δραματικά το συνολικό κεφάλαιο κερδών του. Αν θεωρηθεί ότι η διάρκεια ζωής ενός τέτοιου έργου είναι το λιγότερο 20 χρόνια, μέσα σε αυτό τον χρόνο το αρχικό του κεφάλαιο επένδυσης έχει τουλάχιστον εξαπλασιαστεί και το καθαρό κέρδος είναι πενταπλάσιο του αρχικού κεφαλαίου που επενδύθηκε. Επιπλέον, πάντα πρέπει να συνυπολογίζεται η ενεργειακή, κοινωνική και περιβαλλοντική συμβολή ενός τέτοιου έργου τόσο στο ανθρωπογενές όσο και στο φυσικό περιβάλλον που συνοδεύει μια τέτοια τεχνολογία παραγωγής ενέργειας φιλική προς αυτό. Στον Πίνακα 60 παρουσιάζονται τα δεδομένα και αποτελέσματα του εν λόγω σεναρίου, που χρησιμοποιήθηκαν και προέκυψαν από το Retscreen.

Πίνακας 60. Σενάριο 5.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%)	
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Αιολικό πάρκο στο Ρέθυμνο
Ισχύς Αιολικού (MW)	49,3
Αριθμός Α/Γ	58
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	119.38
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	119.38
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	92.2
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	38.882.883
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	3.888.100
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	11.838.370
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	566.36
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	12.382.245
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	247.644.900
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets (%)	23,40
Απόσβεση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	4,6
Equity payback (years)	4,3

8. Συμπεράσματα

Από το όγδοο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με το μοντέλο υπόγειας ροής του πεδίου των Μαλίων και του υπολογιστικού προγράμματος του Retscreen του υβριδικού έργου των Μαλίων.

8.1.Συμπεράσματα του μοντέλου (FEFLOW) υπόγειας ροής και υφαλμύρισης

Αρχικά, στο κομμάτι της προσομοίωσης της ροής και της υφαλμύρισης μέσω του μοντέλου FEFLOW των Μαλίων διαπιστώνεται ότι αποτελεί μια πολύ καλή, ακριβής και ρεαλιστική προσέγγιση της πραγματικότητας αφού επιτεύχθηκαν ικανοποιητικοί χαμηλοί δείκτες RMSE. Για τα τελευταία σημαντικά χρόνια βαθμονόμησης για την ροή και τα έτη 2007, 2008, 2010 και 2011 επιτεύχθηκε RMSE της τάξεως του 4,94 m και για την υφαλμύριση για τα έτη 2007, 2008 και 2010 επιτεύχθηκε RMSE της τάξεως των 185,80 mg/L.

Η υπόγεια ροή χωρίς την παρουσία του υβριδικού έργου παρουσιάζει σταδιακή πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, όπως επίσης και πρόβλημα υφαλμύρισης. Η συμπεριφορά αυτή αποδίδεται κυρίως στην υπεράντληση που πραγματοποιείται στην περιοχή από τις γεωτρήσεις και τα πηγάδια που σκοπό έχουν να καλύψουν αρδευτικές και υδρευτικές ανάγκες της περιοχής των Μαλίων και ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες, που υπάρχει έντονη τουριστική κίνηση στην Κρήτη. Η υπόγεια ροή σε συνδιασμό με την παρουσία του υβριδικού έργου για τα διαφορετικά σενάρια που εξετάστηκαν, διαπιστώνεται πως το καλύτερο αντλητικό σενάριο είναι εκείνο του σεναρίου Β. Αναφορικά με την υφαλμύριση, το σενάριο Β είναι το καλύτερο και προτιμητέο σενάριο από τα δύο με την μικρότερη επίπτωση. Το σενάριο Β είναι το καλύτερο και πιο φιλικό στο περιβάλλον σενάριο, δημιουργεί πολύ μικρή πτώση του υδροφόρου ορίζοντα και μικρή επίπτωση στη ζώνη υφαλμύρισης.

Στο Πίνακα 61 παρουσιάζονται τα υδραυλικά ύψη και οι συγκεντρώσεις χλωριόντων στα 42 διαφορετικά σημεία παρατήρησης του μοντελοποιημένου πεδίου των Μαλίων .

Πίνακας 61. Παρουσίαση μέσων όρων υδραυλικών υψών και συγκεντρώσεων χλωριόντων για τα 42 πηγάδια/σημεία παρατήρησης του πεδίου των Μαλίων.			
Μέσοι όροι μεγεθών των 42 πηγαδιών παρατήρησης	Αρχικό σενάριο (No scenarios)	Σενάριο Α	Σενάριο Β
Μέσος όρος υδραυλικών υψών (m)	0,24	0,21	0,21
Μέσος όρος συγκεντρώσεων χλωριόντων (mg/l)	3.658,68	3.669,84	3.675,91

Από μελέτη του πίνακα προκύπτει ότι παρόλο που υπάρχουν αυξομειώσεις σε μεμονωμένες περιοχές του πεδίου στα υδραυλικά ύψη και στις συγκεντρώσεις χλωριόντων, ο μέσος όρος των υδραυλικών υψών για το σύνολο της περιοχής μελέτης επηρεάζεται ελάχιστα από την ύπαρξη των αντλήσεων του υβριδικού έργου. Ενώ ο μέσος όρος των υδραυλικών υψών είναι ίσος για τα δύο σενάρια άντλησης και ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων μάζας χλωριόντων επηρεάζεται σε ελάχιστο βαθμό επίσης από την ύπαρξη του υβριδικού έργου. Αλλά παρόλα αυτά παρουσιάζεται μια πολύ μικρή διαφοροποίηση

υφαλμύρισης μεταξύ των δύο σεναρίων άντλησης. Σε τοπικό επίπεδο το υβριδικό έργο και οι γεωτρήσεις άντλησής τους, αποτελούν σε ορισμένες περιπτώσεις καθοριστικό παράγοντα της υφαλμύρισης και της διαμόρφωσης του υδροφόρου ορίζοντα στο πεδίο. Αλλά αν το πεδίο αντιμετωπισθεί σε μεγαλύτερη κλίμακα ως μια ενότητα και ως ένα σύνολο, δεν παρουσιάζονται αξιοσημείωτες διαφοροποιήσεις στις τιμές των μεγεθών που εκφράζουν αυτά τα φαινόμενα. Η ύπαρξη του υβριδικού έργου έχει μικρή επιρροή σε όλο το πεδίο των Μαλίων και ασκεί μικρή έως ελάχιστη επίδραση στις τελικές τιμές υδραυλικού ύψους και συγκέντρωσης χλωριόντων.

8.2. Συμπεράσματα του προγράμματος Retscreen του υβριδικού έργου των Μαλίων

Από το υπολογιστικό πρόγραμμα του Retscreen και για τα διαφορετικά σενάρια που στήθηκαν σε αυτό, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα σχετικά με το υβριδικό έργο των Μαλίων συνολικής αιολικής ισχύος ίσης με 90,1 MW και συνολικής αντλησιοταμιευτικής ισχύος ίση με 100,0MW. Θεωρείται ότι η κατασκευή μιας τέτοιας κλίμακας και μεγέθους υβριδικού αιολικού-αντλησιοταμιευτικού έργου είναι δυνατόν να αποφέρει τεράστια ενεργειακά οφέλη και οικονομικά κέρδη τόσο ετήσια, όσο και σε βάθος χρόνου 20ετίας. Αυτά επηρεάζουν θετικά τοπικά την περιοχή των Μαλίων, αλλά και όλη την Κρήτη με την ενέργεια που παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο από το υβριδικό έργο να είναι σε ετήσιο επίπεδο αξιόπιστη και εγγυημένη.

Στην περίπτωση που κατασκευαστεί μόνο το αιολικό έργο, δηλαδή τα τέσσερα αιολικά πάρκα, δύο στα Χανιά και δύο στο Ρέθυμνο συνολικής ισχύος 90,1MW, διαπιστώνεται ότι επίσης τα ενεργειακά οφέλη και οικονομικά κέρδη είναι πάρα πολύ μεγάλα, αλλά σε καμιά περίπτωση δεν πλησιάζουν εκείνα του υβριδικού έργου τα οποία για την ίδια αιολική ισχύ είναι σχεδόν τετραπλάσια από εκείνα του αιολικού πάρκου. Επιπλέον, δεν πρέπει να παραγνωρίζεται το γεγονός ότι το αιολικό πάρκο δεν έχει ετήσια αξιόπιστη και εγγυημένη ενέργεια, αφού εξαρτάται από την συχνότητα, την διάρκεια και την ένταση, με την οποία πνέει ο άνεμος πάνω από την περιοχή ή περιοχές, που είναι εγκατεστημένες οι ανεμογεννήτριες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περιβαλλοντικές συνέπειες από το υβριδικό έργο είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες της ίδιας ισχύος αιολικού έργου, καθώς σε ένα υβριδικό είναι δυνατό να επηρεασθεί ο υπόγειος υδροφόρος, έστω και σε μικρό βαθμό. Επίσης, δεσμεύεται αρκετά μεγάλο κομμάτι γης της τοπικής περιοχής για την κατασκευή του αντλησιοταμιευτικού, με αποτέλεσμα να προξενούνται οχλήσεις, θόρυβος και σκόνη από την κατασκευή του και σε πολύ μικρό βαθμό από την λειτουργία του. Ενώ αντιθέτως το αιολικό έργο προκαλεί μικρότερη δέσμευση γης και σε ελάχιστο βαθμό οχλήσεις, θόρυβο και σκόνη από την κατασκευή του και δεν επηρεάζει φυσικά καθόλου τον υπόγειο υδροφόρο και άρα τους κατοίκους των γύρω περιοχών σε τόσο μεγάλο βαθμό. Εν τέλει οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του υβριδικού έργου υπάρχουν και είναι λίγο πιο σημαντικές από ότι του αιολικού, αλλά σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθούν τροχοπέδη για την μελλοντική κατασκευή του, καθώς με την κατάλληλη προσοχή μπορεί να ελαχιστοποιηθούν σε ακόμα μικρότερο βαθμό έως και να αποφευχθούν εντελώς.

Συμπερασματικά, στην περίπτωση που οι περιβαλλοντικές συνέπειες χρήζουν κατάλληλης προσοχής και μεταχείρισης, έτσι ώστε να υπάρξει η μικρότερη δυνατή επίπτωση στο περιβάλλον από την κατασκευή του υβριδικού έργου, τότε κρίνεται καλύτερο να

κατασκευαστεί μιας τέτοιας κλίμακας υβριδικό αντλησιοταμιευτικό-αιολικό έργο από ότι απλά ένα αιολικό αντίστοιχης αιολικής ισχύς. Γίνεται αντιληπτό το κίνητρο εξαιτίας του γεγονότος ότι τα ενεργειακά οφέλη και οικονομικά κέρδη από αυτό είναι κατά πολλές φορές μεγαλύτερα.

Πρωτίστως πρέπει να ληφθούν υπόψη τα δεδομένα τόσο του ελλαδικού χώρου που παρουσιάζει περιορισμένη έκταση εδαφών και εκτεταμένα προβλήματα υφαλμύρισης σε πολλές περιοχές του, όσο και το γεγονός ότι ένα τόσο μεγάλο υβριδικό έργο δεν αποτελεί βιώσιμη λύση. Απαιτεί, επίσης, μεγάλη ποσότητα αρχικού κεφαλαίου και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές περιοχές παγκοσμίως, χωρίς να προξενεί έστω και σε μικρό βαθμό κάποια περιβαλλοντικά προβλήματα και κοινωνικές αντιδράσεις. Συνεπώς, σε αυτό το σημείο προτού κλείσει το κεφάλαιο των συμπερασμάτων όσον αφορά το υβριδικό έργο, συνίσταται να κατασκευάζονται αντίστοιχα μικρότερης κλίμακας υβριδικής τεχνολογίας αντλησιοταμιευτικά-αιολικά έργα. Κρίνεται ότι μια τάξη μεγέθους του 40% του προτεινόμενου υβριδικού έργου των Μαλίων είναι το πλέον κατάλληλο για τον ελλαδικό χώρο. Θεωρείται ιδανική επιλογή ιδιαίτερα για το νησιωτικό κομμάτι του και με την δυνατότητα να μπορεί να εφαρμοστεί ανάλογα σε πάρα πολλές άλλες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό συμπεραίνεται από το παράδειγμα του υβριδικού έργου στο νησί El Hierro των Καναρίων νησιών της Ισπανίας, που αποτελεί υπόδειγμα επιτυχής εφαρμογής της εν λόγω τεχνολογίας σε μικρή κλίμακα με τεράστια περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς και ενεργειακά και οικονομικά κέρδη για το νησί αυτό.

9. Παραρτήματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο όλα εκείνα τα δεδομένα και αποτελέσματα που δεν ήταν δυνατόν στα προηγούμενα κεφάλαια, λόγω της έκτασης, που καταλαμβάνουν. Είναι όμως απαραίτητα για την λεπτομερή μελέτη των όσων εφαρμόζονται στην εν λόγω διπλωματική.

9.1. Παράρτημα παρουσίασης αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης της ροής

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο Πίνακας 62. των αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης της ροής του μοντέλου των Μαλίων και ειδικότερα τα 3 πιο σημαντικά τρεξίματα του μοντέλου για όλα τα χρόνια βαθμονόμησης, τα οποία οδήγησαν στην ιδανική βαθμονόμηση της ροής αυτού.

Στον Πίνακα 63. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της ροής του μοντέλου των Μαλίων, δηλαδή τα 3 πιο σημαντικά τρεξίματα του μοντέλου για τα τελευταία σημαντικά χρόνια βαθμονόμησης, τα οποία οδήγησαν στην ιδανική βαθμονόμηση της ροής αυτού.

Πίνακας 63.	ΗΗ=Υδραυλικό ύψος	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ	ΗΗ		
Δοκιμές βαθμονόμησης	Υψόμετρο (m)	Σημεία παρατήρησης->Πηγάδι	TE=Τιμή Excel 12/7/2007	M=Τιμή Μοντέλο 12/7/2007	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
	99.83	1->GST8	-	22.46	-	4.18	22.73	344.1	15.28	21.67	40.83	5.48	20.49	225.3		
	131.41	2->GST13	3.95	22.34	338.19	-3	22.89	670.29	3.95	21.68	314.35	2.95	21.55	345.96		
	197.57	3->GMA8	4.33	9.02	21.99	-	10.25	-	-	8.77	-	2.73	8.81	36.97		
	79.72	4->GMA1	3.55	7.07	12.39	4.35	8.4	16.4	7.05	6.77	0.08	4.35	6.32	3.88		
	117.42	5->GMA3	-	8.55	-	8.74	10.12	1.9	-	8.25	-	4.84	7.66	7.95		2 nd try
	162.4	6->GMA6	3.8	24.58	431.81	-	27.43	-	10.5	24.13	185.78	3.3	24.14	434.3		
	201.15	7->GMA4	10.61	111.09	10096.23	13.41	139.21	15825	-	105.82	-	9.11	99.16	8109		
	381.72	8->GMO24	-	99.88	-	-	106.81	-	-	96.02	-	13	89.74	5889.02		
	160.01	9->D42	-	37.17	-	-	35.73	-	-	35.82	-	-	33.44	-		
		10->D66	-	6.08	-	-	5.02	-	-	5.84	-	-	5	-	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
		Άθροισμα			1090.62			16858.1			541.04			15052	878.73	39.94
		Ετήσιο	RMSE		46.69			58.07			11.63			43.38		
Δοκιμές βαθμονόμησης	Υψόμετρο (m)	Σημεία παρατήρησης->Πηγάδι	TE=Τιμή Excel 12/7/2007	M=Τιμή Μοντέλο 12/7/2007	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
	99.83	1->GST8	-	0.36	-	15.28	0.35	222.9	4.18	0.17	16.08	5.48	-0.011	30.15		
	131.41	2->GST13	3.95	0.5	11.9	3.95	0.48	12.04	-3	0.29	10.82	2.95	0.19	7.62		
	197.57	3->GMA8	4.33	-0.45	22.84	-	-0.45	-	-	-0.24	-	2.73	-0.29	9.12		
	79.72	4->GMA1	3.55	-1.07	21.34	7.05	-0.99	64.64	4.35	-2.26	43.69	4.35	-3.42	60.37		
	117.42	5->GMA3	-	-0.77	-	-	-0.77	-	8.74	-1.39	102.62	4.84	-2.32	51.26		2 nd try
	162.4	6->GMA6	3.8	0.42	11.42	10.5	0.4	102.01	-	0.44	-	3.3	0.47	8		
	201.15	7->GMA4	10.61	2.27	69.55	-	2.13	-	13.41	1.62	139	9.11	0.74	70.05		
	381.72	8->GMO24	-	3.11	-	-	3	-	-	2.54	-	13	1.89	123.43		
	160.01	9->D42	-	1.13	-	-	1.09	-	-	0.88	-	-	0.66	-		
		10->D66	-	0.05	-	-	0.04	-	-	-0.06	-	-	-0.26	-	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
		Άθροισμα			137.05			401.59			312.22			360.02	1210.88	7.42
		Ετήσιο	RMSE		5.23			10.02			7.9			6.71		
Δοκιμές βαθμονόμησης	Υψόμετρο (m)	Σημεία παρατήρησης->Πηγάδι	TE=Τιμή Excel 12/7/2007	M=Τιμή Μοντέλο 12/7/2007	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
	99.83	1->GST8	-	2.73	-	15.28	2.63	160.02	4.18	2.55	2.66	5.48	2.16	11.02		
	131.41	2->GST13	3.95	2.82	1.28	3.95	2.76	Jan-42	-3	2.65	31.92	2.95	2.38	0.32		
	197.57	3->GMA8	4.33	0.53	14.44	-	0.63	-	-	0.62	-	2.73	0.31	5.86		
	79.72	4->GMA1	3.55	0.23	11.02	7.05	0.27	45.97	4.35	0.47	15.05	4.35	-0.11	19.89		
	117.42	5->GMA3	-	0.22	-	-	0.34	-	8.74	0.51	67.73	4.84	-0.13	24.7		2 nd try
	162.4	6->GMA6	3.8	2.58	1.49	10.5	2.5	64	-	2.58	-	3.3	2.13	1.37		
	201.15	7->GMA4	10.61	15.17	20.79	-	14.3	-	13.41	18.48	25.7	9.11	11.89	7.73		
	381.72	8->GMO24	-	15.09	-	-	14.26	-	-	14.22	-	13	11.7	1.69		
	160.01	9->D42	-	4.32	-	-	4.22	-	-	4.01	-	-	3.77	-		
		10->D66	-	0.41	-	-	0.37	-	-	0.3	-	-	0.25	-	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
		Άθροισμα			49.02			271.41			143.07			72.58	536.08	4.94
		Ετήσιο	RMSE		3.13			8.24			5.35			3.01		

9.2. Παράρτημα παρουσίασης αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης της υφαλμύρισης

Στην συνέχεια στον Πίνακα 64. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της υφαλμύρισης του μοντέλου των Μαλίων με τα 4 πιο σημαντικά τρεξίματα του μοντέλου για όλα τα χρόνια για τα οποία βαθμονομήθηκε.

Πίνακας 64. (mg/l)	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
Βαθμονόμηση	8 th try	TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	14/5/2004	14/5/2004		19/4/2005	19/4/2005		9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	121.95	-0.007	14874	121.95	-0.0042	14872	112.02	-0.019	12553	117.69	-0.024	13857	525	-0.035	3E+05		
131.41	2->GST13	313.38	0.002		567.2	0.006		-	0.0045	-	-	0.005		-	0.015	-		
197.57	3->GMA8	-	-1.23	-	-	2.2	-	-	2.64	-	-	2.45	-	-	1.254	-		
79.72	4->GMA1	160.23	4561	2E+07	177.25	890.4	5E+05	165.91	812.47	418040	289.27	883.91	353597	533	298.28	55093		
117.42	5->GMA3	19.5	40.1	424.36	20.56	9.77	116.4	24.11	-4.12	796.93	19.85	-5.48	641.61	43	-5.25	2328		
162.4	6->GMA6	32.61	-3.05	1271.6	30.49	-3.73	1171	74.45	2.12	5231.6	36.87	2.14	1206.2	174	1.81	6.2		
201.15	7->GMA4	33.68	0	1134.3	33.32	0	1110	35.45	0	1256.7	36.16	0	1307.5	-	0			
381.72	8->GMO24	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-		
160.01	9->D42	-	0.0001	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	135	0.00013	18225		
	10->D66	-	-116.31	-	-	-220.45	-	-	-421.62	-	-	-453.49	-	152	-458.43	4E+05	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			2E+07			5E+05			437878			370609			8E+05	21497853	909.3
	Ετήσια	RMSE		1969			324			295.93			272.25			360.3		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	Πορώδες=0,2	
15η προσπάθεια	TE=Τιμή Excel TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	14/5/2004	14/5/2004		19/4/2005	19/4/2005		9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	121.95	106.06	252.5	121.95	250.99	16651	112.02	466.08	100000	117.69	477.89	100000	525	559.69	1203		
131.41	2->GST13	313.38	69.37		567.2	83.94		-	217.2	-	-	238.08	-	-	285.47	-		
197.57	3->GMA8	-	612.77	-	-	578.77	-	-	344.08	-	-	341.62	-	-	273.9	-		
79.72	4->GMA1	160.23	1056.81	800000	177.25	573.92	2E+05	165.91	751.79	300000	289.27	574.86	81562	533	567.98	1224		
117.42	5->GMA3	19.5	562.07	300000	20.56	451.97	2E+05	24.11	260.11	55696	19.85	259.92	57634	43	183.66	19785		
162.4	6->GMA6	32.61	245.32	45246	30.49	258.49	51984	74.45	171.88	9493	36.87	165.14	16453	174	137.97	17868		
201.15	7->GMA4	33.68	0.385	1109	33.32	1.04	1042	35.45	3.84	999.2	36.16	3.86	1043	-	4.01			
381.72	8->GMO24	-	-0.003	-	-	-0.005	-	-	-0.03	-	-	-0.03	-	-	-0.024	-		
160.01	9->D42	-	-14.27	-	-	-22.89	-	-	9.3	-	-	14.99	-	135	44.57	8178		
	10->D66	-	-284.32	-	-	-156.52	-	-	58.19	-	-	27.66	-	152	26.72	15695	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			1E+06			4E+05			500000			300000			65176	2444397	306.62
	Ετήσια	RMSE		478.5			287.5			327			239.3			104.2		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	Πορώδες=0,3	
17η προσπάθεια	TE=Τιμή Excel TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	14/5/2004	14/5/2004		19/4/2005	19/4/2005		9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	121.95	8.06	12971	121.95	61.59	3643	112.02	210.67	9732	117.69	223.43	11181	525	322.69	40929		
131.41	2->GST13	313.38	12.51		567.2	8.15		-	73.93	-	-	87.95	-	-	143.58	-		
197.57	3->GMA8	-	403.95	-	-	435.46	-	-	299.04	-	-	296.6	-	-	260.93	-		
79.72	4->GMA1	160.23	974.05	700000	177.25	526.03	1E+05	165.91	732.69	300000	289.27	619.03	100000	533	565.02	1025		
117.42	5->GMA3	19.5	400.24	100000	20.56	352.47	1E+05	24.11	230.72	42688	19.85	233.25	45540	43	177.76	18160		
162.4	6->GMA6	32.61	143.67	12334	30.49	181.73	22874	74.45	142.1	4577	36.87	136.73	9972	174	120.88	13591		
201.15	7->GMA4	33.68	0.033	1132	33.32	0.156	1100	35.45	1.43	1157	36.16	1.47	1203	-	1.93			
381.72	8->GMO24	-	-0.001	-	-	-0.0013	-	-	-0.011	-	-	-0.012	-	-	-0.015	-		
160.01	9->D42	-	-3.12	-	-	-9.31	-	-	-14.33	-	-	-12.42	-	135	0.74	18026		
	10->D66	-	-106.56	-	-	-114.39	-	-	-57.64	-	-	-55.94	-	152	-123.57	75939	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			800000			3E+05			400000			200000			2E+05	1817858	264.42
	Ετήσια	RMSE		408.3			227.8			275.5			188			167.7		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
20η προσπάθεια	4o layer TE=Τιμή Excel TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE	
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	14/5/2004	14/5/2004		19/4/2005	19/4/2005		9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	121.95	62.48	3537	121.95	121.04	0.83	112.02	222.59	12226	117.69	226.91	11929	525	251.46	74824		
131.41	2->GST13	313.38	23.71		567.2	47.6		-	92.78	-	-	93.75	-	-	99.99	-		
197.57	3->GMA8	-	203.73	-	-	235.17	-	-	200.91	-	-	196.07	-	-	173.74	-		
79.72	4->GMA1	160.23	936.04	600000	177.25	589.62	2E+05	165.91	620.71	200000	289.27	610.12	100000	533	724.26	36580		
117.42	5->GMA3	19.5	228.44	43656	20.56	217.13	38640	24.11	159.84	18423	19.85	157.66	18992	43	127.96	7218		
162.4	6->GMA6	32.61	120.24	7679	30.49	130.05	9912	74.45	107.06	1063	36.87	104.33	4551	174	92.25	7735		
201.15	7->GMA4	33.68	0.055	1131	33.32	0.26	1093	35.45	1.76	1135	36.16	1.9	1174	-	2.74			
381.72	8->GMO24	-	0.001	-	-	0.003	-	-	0.025	-	-	0.03	-	-	0.06	-		
160.01	9->D42	-	-0.1	-	-	1.15	-	-	26.26	-	-	29.67	-	135	53.15	6699		
	10->D66	-	35.61	-	-	63.48	-	-	112.48	-	-	117.03	-	152	209.1	3260	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			700000			2E+05			200000			100000			2E+05	1429756	234.5
	Ετήσια	RMSE		362.7			209.6			218.9			167.1			169.8		

Στον Πίνακα 65. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της υφαλμύρισης του μοντέλου των Μαλίων, δηλαδή τα 4 πιο σημαντικά τρεξίματα του μοντέλου για τα τελευταία σημαντικά χρόνια βαθμονόμησης, τα οποία οδήγησαν στην ιδανική βαθμονόμηση της υφαλμύρισης αυτού.

Πίνακας 65. (mg/l)	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
Βαθμονόμηση	8ο τρέξιμο	TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	-0.019	12553	117.69	-0.024	13857	525	-0.035	275662		
131.41	2->GST13	-	0.0045	-	-	0.005	-	-	0.015	-		
197.57	3->GMA8	-	2.64	-	-	2.45	-	-	1.254	-		
79.72	4->GMA1	165.91	812.47	418040	289.27	883.91	353597	533	298.28	55093		
117.42	5->GMA3	24.11	-4.12	796.93	19.85	-5.48	641.61	43	-5.25	2328		
162.4	6->GMA6	74.45	2.12	5231.6	36.87	2.14	1206.2	174	1.81	6.2		
201.15	7->GMA4	35.45	0	1256.7	36.16	0	1307.5	-	0	-		
381.72	8->GMO24	-	0	-	-	0	-	-	0	-		
160.01	9->D42	-	0	-	-	0	-	135	0.00013	18225		
	10->D66	-	-421.62	-	-	-453.49	-	152	-458.43	372625	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			437878			370609			779033	1587519	247.1
	Ετήσια			295.93			272.25			360.33		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
15η προσπάθεια		TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	466.08	100000	117.69	477.89	100000	525	559.69	1203.4		
131.41	2->GST13	-	217.2	-	-	238.08	-	-	285.47	-		
197.57	3->GMA8	-	344.08	-	-	341.62	-	-	273.9	-		
79.72	4->GMA1	165.91	751.79	300000	289.27	574.86	81562	533	567.98	1223.6		
117.42	5->GMA3	24.11	260.11	55696	19.85	259.92	57634	43	183.66	19785		
162.4	6->GMA6	74.45	171.88	9493	36.87	165.14	16453	174	137.97	17868		
201.15	7->GMA4	35.45	3.84	999.2	36.16	3.86	1043	-	4.01	-		
381.72	8->GMO24	-	-0.03	-	-	-0.03	-	-	-0.024	-		
160.01	9->D42	-	9.3	-	-	14.99	-	135	44.57	8177.6		
	10->D66	-	58.19	-	-	27.66	-	152	26.72	15695	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			500000			300000			65176	886413	235.37
	Ετήσια			327			239.3			104.22		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
17η προσπάθεια		TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	210.67	9732	117.69	223.43	11181	525	322.69	40929		
131.41	2->GST13	-	73.93	-	-	87.95	-	-	143.58	-		
197.57	3->GMA8	-	299.04	-	-	296.6	-	-	260.93	-		
79.72	4->GMA1	165.91	732.69	300000	289.27	619.03	100000	533	565.02	1025.3		
117.42	5->GMA3	24.11	230.72	42688	19.85	233.25	45540	43	177.76	18160		
162.4	6->GMA6	74.45	142.1	4577	36.87	136.73	9972	174	120.88	13591		
201.15	7->GMA4	35.45	1.43	1157	36.16	1.47	1203	-	1.93	-		
381.72	8->GMO24	-	-0.011	-	-	-0.012	-	-	-0.015	-		
160.01	9->D42	-	-14.33	-	-	-12.42	-	135	0.74	18026		
	10->D66	-	-57.64	-	-	-55.94	-	152	-123.57	75939	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			400000			200000			168696	724726	212.83
	Ετήσια			275.5			188			167.68		
Βαθμονόμηση	MC=Συγκέντρωση μάζας	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC		
20η προσπάθεια-4o layer		TE=Τιμή Excel	TM=Τιμή Μοντέλου	RMSE	TE	TM	RMSE	TE	TM	RMSE		
Υψόμετρο (m)	Σημείο παρατήρησης->Πηγάδι	9/8/2007	9/8/2007		2/5/2008	2/5/2008		28/9/2010	28/9/2010			
99.83	1->GST8	112.02	222.59	12226	117.69	226.91	11929	525	251.46	74824		
131.41	2->GST13	-	92.78	-	-	93.75	-	-	99.99	-		
197.57	3->GMA8	-	200.91	-	-	196.07	-	-	173.74	-		
79.72	4->GMA1	165.91	620.71	200000	289.27	610.12	100000	533	724.26	36580		
117.42	5->GMA3	24.11	159.84	18423	19.85	157.66	18992	43	127.96	7218		
162.4	6->GMA6	74.45	107.06	1063	36.87	104.33	4551	174	92.25	7735		
201.15	7->GMA4	35.45	1.76	1135	36.16	1.9	1174	-	2.74	-		
381.72	8->GMO24	-	0.025	-	-	0.03	-	-	0.06	-		
160.01	9->D42	-	26.26	-	-	29.67	-	135	53.15	6699		
	10->D66	-	112.48	-	-	117.03	-	152	209.1	3260	Ολικό άθροισμα	Ολικό RMSE
	Άθροισμα			200000			100000			172898	552178	185.77
	Ετήσια	RMSE		218.9			167.1			169.75		

9.3. Παράρτημα παρουσίασης αποτελεσμάτων των σεναρίων του Retscreen

Σε αυτό το υποκεφάλαιο του δέκατου κεφαλαίου παρουσιάζονται όλοι οι πίνακες, δηλαδή ο Πίνακας 66. και ο Πίνακας 67. που αφορούν το υβριδικό έργο των Μαλίων και όλα τα υπόλοιπα σενάρια, τα οποία εφαρμόστηκαν και υπολογίστηκαν με την βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος του Retscreen. Στην συνέχεια παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο τα δεδομένα του υβριδικού έργου των Μαλίων, του βιώσιμου υβριδικού έργου, του ενιαίου αιολικού πάρκου Χανίων-Ρεθύμνου, το αιολικό πάρκο των Χανίων και το αιολικό πάρκο του Ρεθύμνου.

Πίνακας 66. Αποτελέσματα Διαφορετικών Σεναρίων	Σενάριο 1.2 (Wind turbine capacity factor= 34.6% και εγγυημένη ισχύ)	Σενάριο 2.1 (Wind turbine capacity factor= 27.6% χωρίς εγγυημένη ισχύ)
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια	Εναλλακτικό βιώσιμο υβριδικό έργο Μαλίων
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1	35,7
Αριθμός Α/Γ	106	42
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	75	40
Αριθμός Υδροστροβίλων	3	2
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	221,24	221,24
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	272.722	86.448
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	167.535	89.352
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	440.257	175.8
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	340.022	135.775
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000	178.175.653
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	44.550.949	17.817.279
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	96.945.272	38.813.422
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	2.089.443	833.84 €
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	98.945.570	39.496.510
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	1.978.911.400	790.262.324 €
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets	12.60%	12.50%
Αποπλήρωση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	8,1	8,2
Equity payback (years)	7,6	7,6
	O&M costs=44.550.949 €	Υπολογισμός με μέση απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 27,6%)
	Υπολογισμός με υψηλή απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 34,6%)	και με την εγγυημένη ισχύ των υδροστροβίλων 75 MW
	και με την μέγιστη δυνατή ισχύ των υδροστροβίλων	
Αποτελέσματα Διαφορετικών Σεναρίων	Σενάριο 1.3 (Wind turbine capacity factor= 27.6% και εγγυημένη ισχύ)	Σενάριο 2.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6% με εγγυημένη ισχύς)
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Υβριδικό έργο στα Μάλια	Εναλλακτικό βιώσιμο υβριδικό έργο Μαλίων
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1	35,7
Αριθμός Α/Γ	106	42
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	75	30
Αριθμός Υδροστροβίλων	3	2
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	221,24	221,24
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	218.177	86.448
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	167.535	67.014
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	385.712	153.462
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	297.896	118.523
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	450.000.000	178.175.653
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	44.550.949	17.817.279
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	85.169.796	33.796.974
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	1.829.552	728.13 €
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	86.668.548	34.477.721
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	1.733.370.960	689.554.420
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - assets	8.90%	8.80%
Αποπλήρωση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	10,5	10,6
Equity payback (years)	9,6	9,7
	O&M costs=44.550.949 €	Υπολογισμός με μέση απόδοση Α/Γ
	Υπολογισμός με μέση απόδοση Α/Γ (Capacity factor= 27,6%)	(Capacity factor= 27,6%) και με την εγγυημένη ισχύ των υδροστροβίλων 75 MW
	και με την εγγυημένη ισχύ των υδροστροβίλων 75 MW	

Πίνακας 67.Αποτελέσματα Διαφορετικών Σεναρίων	Σενάριο 3.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%	Σενάριο 4.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%	Σενάριο 5.1 (Wind turbine capacity factor= 34.6%
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Ολικό Αιολικό πάρκο Χανίων-Ρεθύμνου	Αιολικό πάρκο στα Χανιά	Αιολικό πάρκο στο Ρέθυμνο
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1	40,8	49,3
Αριθμός Α/Γ	106	48	58
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0	0	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0	0	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60	99,60	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	272.722	123.497	149.225
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0	0	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	272.722	123.497	149.225
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14	6,14	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	210.63	95.38	115.251
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	71.034.251	32.168.030	38.882.883
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	7.175.008	3.784.458	3.888.100
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	27.082.128	12.269.020	14.827.090
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	1.293.971	522.11 €	707.96 €
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	28.288.647	11.414.517	15.478.011
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	565.772.940	228.290.342	309.560.220
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - asse	31.80%	30.10%	32.00%
Αποπλήρωση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	3,3	3,5	3,3
Equity payback (years)	3,2	3,4	3,2
Αποτελέσματα Διαφορετικών Σεναρίων	Σενάριο 3.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%	Σενάριο 4.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%	Σενάριο 5.2 (Wind turbine capacity factor= 27.6%
Δείκτες έργου/Τύπος και ονομασία έργου	Ολικό Αιολικό πάρκο Χανίων-Ρεθύμνου	Αιολικό πάρκο στα Χανιά	Αιολικό πάρκο στο Ρέθυμνο
Ισχύς Αιολικού (MW)	90,1	40,8	49,3
Αριθμός Α/Γ	106	48	58
Ισχύς Υδροστροβίλων (MW)	0	0	0
Αριθμός Υδροστροβίλων	0	0	0
Τιμή πώλησης ενέργειας (€/MWh)	99,60	99,60	99,60
Παραγωγή ενέργειας από Α/Γ (MWh)	218.177	98.797	119.38
Παραγωγή ενέργειας από υδροστροβίλους (MWh)	0	0	0
Συνολική παραγωγή ενέργειας (MWh)	218.177	98.797	119.38
Τιμή πώλησης CO2 (€/Tco2)	6,14	6,14	6,14
Συνολική μείωση εκπομπών CO2 (tCO2/year)	168.504	52.028	92.2
Συνολικό κόστος επένδυσης (€)	71.034.251	32.168.030	38.882.883
Ετήσια λειτουργικά έξοδα επένδυσης (€)	7.175.008	3.784.458	3.888.100
Ετήσια έσοδα από την πώληση Η/Ρ (€)	21.630.326	9.795.635	11.838.370
Ετήσια έσοδα από την πώληση δικαιωμάτων CO2 (€)	1.035.458	319.63 €	566.36 €
Συνολικά ετήσια έσοδα του έργου (€)	22.635.579	10.098.652	12.382.245
Συνολικά έσοδα του έργου στην 20 ετία (€)	452.711.580	201.973.040	247.644.900
Χωρίς φορολογία επιτόκιο της επένδυσης τον χρόνο - Pre tax IRR - asse	23.30%	21.10%	23.40%
Αποπλήρωση της επένδυσης του έργου - Simple payback (years)	4,6	5,1	4,6
Equity payback (years)	4,3	4,8	4,3

10. Πληροφοριακές πηγές επιρροής της διπλωματικής

Σε αυτό το τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται η βιβλιογραφία, οι πανεπιστημιακές εργασίες δηλαδή τα διδακτορικά, μεταπτυχιακά, προπτυχιακά και papers, η ηλεκτρονική βιβλιογραφία (ιστοσελίδες) και οι πηγές των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν ως γνωστικό και πληροφοριακό υλικό για την εν λόγω διπλωματική κατά την διάρκεια της συγγραφής της, με αποτέλεσμα να αποτελούν επιρροή για την σύνθεση και δομή αυτής.

10.1. Βιβλιογραφία

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται η ελληνική και ξένη βιβλιογραφία, που χρησιμοποιήθηκε στην εν λόγω διπλωματική και ο τρόπος παρουσίασης είναι ο εξής:

[Ονοματεπώνυμο συγγραφέα/συγγραφέων (έτος έκδοσης)

” Τίτλος εργασίας”

Είδος συγγράμματος (π.χ. Ερευνητική Αναφορά, Βιβλίο, Διπλωματική εργασία κ.α.),

Σχολή: Τμήμα Σχολής, Οργανισμός ή Επιχείρηση για τον/ την οποία έγινε η συγγραφή.]

Οι συντομογραφίες επεξηγούνται:

οδ: όχι διαθέσιμο

Ελληνική

1. Αντωνιάδης Α. και Γιαβής Κ. (2014), “Έγκριση περιβαλλοντικών όρων του έργου στην θέση «Κουτράλια – Άνω Λιμνιά”, Υποβολή Έγκρισης στο Υπουργείο Περιβάλλοντος.

2. Βουδούρης Κ., Scheidleder Α. και Δασκαλάκη Π. (οδ), “Θαλάσσια διείσδυση σε παράκτια υπόγεια υδατικά συστήματα λόγω υπεράντλησης.”, Ερευνητική Αναφορά, Σχολή Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης: Τμήμα Γεωλογίας.

3.Ενεργειακό γραφείο Ίου-Αιγαίου (οδ), “Τεχνική περιγραφή υβριδικού Ίου.” Τεχνική έκθεση, Επιχείρηση: Ενεργειακό γραφείο Ίου-Αιγαίου.

4. Καββαδάς Μ. (2005), “Βιβλίο: Στοιχεία Εδαφομηχανικής.”, “Κεφάλαιο 4: Μόνιμη υδατική ροή διαμέσου του εδάφους.”, Έκδοση: Ε.Μ. Πολυτεχνείου.

5. Καλλέργης Γ. Λαμπράκης Ν., Πεταλάς Χ. και Διαμαντής Ι. (2000), “Υδρογεωλογική Έρευνα της Περιοχής του Δήμου Μαλίων”, Ερευνητική Αναφορά, Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών: Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Υδρογεωλογίας.

6.Καρατζάς Γ.Π. (2013), “Πανεπιστημιακές σημειώσεις: Ροή υπογείων υδάτων και μεταφορά ρύπων.”, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Σχολή Πολυτεχνείου Κρήτης: Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

7. Κασσιάνου Τζέλη (2012), “Άρθρο: Στην Ικαρία στραμμένα τα <<ενεργειακά μάτια>> της Ευρώπης”, Εφημερίδα: Ημερησία (06/01/2012)

8.Νικηφοράκης Ε. (2011), “Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για το Έργο Αιολικό-Αντλητικό-Υδροηλεκτρικό Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Εγκατεστημένης Ισχύος 90,1 MW Αιολικά και 100 MW Υδροηλεκτρικό-Αντλητικό”, Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Επιχείρηση: Υδροαιολική Αιγαίου Α.Ε.

9.Παπανικολάου Π.Ν. (2007), “Σημειώσεις υπόγειας υδραυλικής.”, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Σχολή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

10.Παρίσης Σ.Ν. (2001), “Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του ΔήμουΜαλίων.”, Ηράκλειο Κρήτη Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Οργανισμός Ανάπτυξης Ανατολικής Κρήτης.

11. Περάκη Μ. (2013), “Μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και μελέτη του φαινομένου της υφλαμύρισης στον παράκτιο υδροφορέα της περιοχής Μαλίων, Κρήτης με την χρήση του μοντέλου υπόγειας ροής και μεταφοράς μάζας FEFLOW (Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System).” Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολυτεχνείου Κρήτης: Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.

12. Ρίππη Α. (2013), “Μαθηματική προσομοίωση υβριδικών συστημάτων. Το σύστημα της Ικαρίας.”, Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Σχολή Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Ξένη

1. ABC ESPANA “Topic: La Central Hidroelica de El Hierro, distinguida con uno de los premios nacionales que concede el prestigioso concurso Energy Globe”, Article, GOBIERNO DE ESPANA: ABC ESPANA NATURAL

2. Centeno F.M. Quevedo A.M. Gutierrez J.M.Q Nueda R.C. and Hart J. (2012), “Review: Creating a Hybrid – Wind System on a Spanish Island”, Review, HRW: Hydro World Review

3. Cory R.A. Hallam, Karau G., Flannery W., Leffel A. and Alarco L. (2012), “Working Paper Series: Temporal Cross-Over Points of Renewable Energy Technology Project Investment With Consideration for Energy Pricing, Carbon Tax Credits, and Implied Socio-Political Value.”, Working Paper, The University of Texas at San Antonio: College of Business.

4. Fink D. (2011), “Article:PV Direct Water Pumping”, Article: Homepower Issue #145, October/November 2011

5. Karanth K.R. (1987), “Book: Ground Water Assessment Development and Management” Tata McGraw – Hill Publishing Company Limited, Delhi, 1987.

6. Karatzas G.P. and Dokou Z. (2013), “Progress Report III: Phase 4 Simulation of the Malia Aquifer under alternative management scenarios.”, Report, Technical University of Crete: Department of Environmental Engineering

7. Kinzelbach W. & Stauffer F. (2009), “Density Flow in Groundwater”, Lecture notes, Institute of Environmental Engineering, ETH Zurich, 2009.

8. Oyate K.W. (2007), "Final Report: Lower Brule Sioux Tribe Wind-Pumped Storage Feasibility Study Project.", Report, na.
9. Iqbal T. (2010), "Feasibility Study of Pumped Hydro Energy Storage for Ramea wind-Diesel hybrid power system.", Feasibility Study, Memorial University: Faculty of Engineering and Applied Science.
10. Merino J, Veganzones C., Sanchez J.A., Martinez S. and Platero C.A. (2012), "Power System Stability of a Small Sized Isolated Network Supplied by a Combined Wind-Pumped Storage Generation System: A Case Study in the Canary Islands", Article, Energies, 2012, 5(7), 2351-2369.
11. Paritsis S.N. (2001), "Management of the water resources of the Municipality of Malia" OANAK, Heraklion, Greece (in Greek).
12. Repubblica Italy (2014), "In Spagna l'accumulo per eolico con acqua marina" Article 06/03/2014, R Italy
13. Vengosh A. (2003), "Salinization and saline environments.", Treatise on Chemistry, Volume 9. Editor: Barbara Sherwood Lollar. Executive Editors: Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. Pp. 612. ISBN 0-08-043751-6. Elsevier, 2003., p.333-365 Publication Date: 12/2003

10.2. Ηλεκτρονική βιβλιογραφία (ιστοσελίδες)

Στην ηλεκτρονική βιβλιογραφία και στις πληροφορίες που παραθέτονται στην συνέχεια και αντλήθηκαν από τις σχετικές ιστοσελίδες ο τρόπος παρουσίασης των δεδομένων είναι ο εξής:

Ιστότοπος που βρέθηκε (ημερομηνία εύρεσης πληροφορίας).

Αξίζει να σημειωθεί ότι μαζί με τις ιστοσελίδες από όπου αντλήθηκαν πληροφορίες, παρουσιάζονται και οι εικόνες που λήφθηκαν από το διαδίκτυο και παρουσιάζονται ως αναπόσπαστο κομμάτι της εν λόγω διπλωματικής και στο κείμενο μέσα έχουν το διακριτικό [Εικόνες].

Ελληνική

1. <http://www.ppcr.gr/Energy.aspx?C=%2029> (30/09/2014).
2. <http://www.dei.com.gr/redesign/Default.aspx?id=55101&nt=18&lang=1> (30/09/2014).
3. http://www.enidrio.gr/el/water/freshwater/water_table/ (11/10/2014) [Εικόνα].
4. <http://www.tanea.gr/news/economy/article/5159996/aiolika-parka-kai-ydrohlektriko-fragmento-aksias-450-ekat-tha-kataskeyasoy-n-galloi-sthn-krhth/> (30/09/2014).
5. <http://kireas.org/smf/index.php?topic=683.0> (11/10/2014) [Εικόνα]
6. <http://www.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data> (29/10/2014).

Ξένη

1. http://www.energyrating.org.uk/solar_pumps.html (07/11/2014) [Εικόνα].
2. <http://www.idom.com/en/consulting/projects/aprovechamiento-hidroeolico-en-la-isla-de-hierro/> (02/10/2014) [Εικόνα Εξώφυλλου].
3. <http://civil.iith.ac.in/mtswrm/> (06/11/2014) [Εικόνα].
4. <http://www.laopinion.es/opinion-especiales/2014/02/28/100-energias-renovables-utopia-realidad/528506.html> (02/10/2014) [Εικόνα].
5. http://www.managenenergy.net/2013_me_award_nominees.html#.VC0Wlfl_vMI (02/10/2014) [Εικόνα].
6. <http://windpoweronwildsteerbutte.com/water-pumping-windmill-memories/> (07/11/2014) [Εικόνα].
7. http://sokhcn.tayninh.gov.vn/HoatDongAnh/Filedinhkem/Bantin_thanhtuu_KHCN%20TG_3_2014.pdf (11/10/2014) [Εικόνα].
8. http://www.oksolar.com/water_pumps/ (07/11/2014) [Εικόνα].
9. <http://www.windgenerators.cn/showapplication/3.html> (07/11/2014) [Εικόνα].
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Saltwater_intrusion (21/10/2014) [Εικόνα].