



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

«Βιώσιμη Χωροθέτηση και Εγκατάσταση Μονάδων Ηλιακής Αφαλάτωσης στην Κρήτη»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κέρογλου

Χανιά, Μάιος, 2023



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

Κατεύθυνση: Μηχανικών Περιβάλλοντος

«Βιώσιμη Χωροθέτηση και Εγκατάσταση Μονάδων Ηλιακής Αφαλάτωσης στην Κρήτη»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κέρογλου

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Θεοχάρης Τσούτσος (Επιβλέπων)

Γεώργιος Καρατζάς

Διονυσία Κολοκοτσά

«Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα φαινόμενο που μαστίζει τα ελληνικά νησιά, είναι αυτό της λειψυδρίας. Η εντατικοποίησή του, οφείλεται κατά κύριο λόγο στην κλιματική αλλαγή, τον τουρισμό και τη γεωργία. Συνεπώς, απαιτείται η εύρεση άμεσων και βιώσιμων λύσεων για τη παραγωγή πόσιμου νερού, προκειμένου να εξυπηρετηθεί η αυξανόμενη ζήτηση του, χωρίς την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και το στραγγαλισμό της οικονομίας. Ως λύση του προβλήματος, παρουσιάζονται οι μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης, οι οποίες μπορούν να εξασφαλίσουν βιωσιμότητα στο τρόπο παραγωγής του αφαλατωμένου νερού.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη της δυνατότητας βιώσιμης χωροθέτησης και εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης στο νησί της Κρήτης. Σκοπός της μελέτης, είναι η ανάπτυξη δύο μεθοδολογιών για την χαρτογράφηση, σε πρώτο σκέλος, των διαθέσιμων και βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης, εφαρμόζοντας μια απλοποιημένη προσέγγιση λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-criteria decision making approach - (MCDM)), σε συνδυασμό με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Σε δεύτερη φάση, προσδιορίζονται τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μιας μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης δυναμικότητας 1850 m³/d, που πρόκειται να εγκατασταθεί στη Δημοτική Κοινότητα Κουνουπιδιανών, Χανίων, για την κάλυψη της επιπλέον ζήτησης νερού την καλοκαιρινή περίοδο. Η ανάλυση της, επιτυγχάνεται με τη χρήση του λογισμικού SEDAT, μέσω του οποίου πραγματοποιούνται προσομοιώσεις 10 διαφορετικών σεναρίων σχεδιασμού. Τα σενάρια αυτά, βασίζονται σε παραμέτρους όπως η δυναμικότητα του ηλιακού θερμικού συστήματος της μονάδας και η συμμετοχή ή μη, συμβατικών καυσίμων (φυσικού αερίου) στην κάλυψη των θερμικών αναγκών της. Παράλληλα, εξετάζεται η ενεργειακή κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας, που απαιτεί η διεργασία της αφαλάτωσης, είτε μέσω σύνδεσης της μονάδας στο ηλεκτρικό δίκτυο, είτε μέσω της τροφοδοσίας της από φωτοβολταϊκό (Φ/Β) σύστημα.

Τα κύρια ευρήματα που προέκυψαν από τη χαρτογράφηση και την τεchnο-οικονομική ανάλυση, αναδεικνύουν τη μεγάλη δυνατότητα χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης, κυρίως όμως στο παραλιακό της μέτωπο. Παράλληλα, απεικονίζουν το μεγάλο αποτύπωμα άνθρακα, που συνοδεύεται από τη χρήση συμβατικών καυσίμων στην κάλυψη της θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, μέσω της σύγκρισης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων των μοντέλων προσομοίωσης, προκύπτει ότι το 8^ο σενάριο σχεδιασμού θεωρείται ως το πιο κατάλληλο για εφαρμογή. Σύμφωνα με αυτό, επιτυγχάνεται παραγωγή πόσιμου νερού με κόστος χαμηλότερο από 3 €/m³ και ελάχιστες (0,64 kg CO₂/m³) έως μηδενικές εκπομπές CO₂. Καταληκτικά, αναδεικνύεται το πλεονέκτημα τροφοδότησης της μονάδας από Φ/Β σύστημα, έναντι της σύνδεσής της στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η συγκεκριμένη εργασία, συμβάλλει στην κατανόηση του τρόπου ανάδειξης περιοχών βιώσιμης χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης. Συνεισφέρει, παράλληλα, στη διαδικασία προσδιορισμού και αξιολόγησης σημαντικών τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.

ABSTRACT

A phenomenon that plagues the Greek islands, is that of water scarcity. Its intensification is mainly due to climate change, tourism and agriculture. Therefore, it is necessary to find immediate and sustainable solutions to produce potable water, in order to serve its increasing demand, avoiding the environmental degradation and the strangulation of the economy. As a solution to the problem, solar desalination plants are presented, which can ensure sustainability in the way desalinated water is produced.

The subject of this thesis, is the study of the potential for sustainable siting and installation of solar desalination plants on the island of Crete. The purpose of the study, is the development of two methodologies, firstly, for the mapping of the available and optimal siting areas, applying a simplified multi-criteria decision making approach (MCDM), associated with the use of Geographical Information Systems (GIS). Secondly, for the determination of the technical and financial characteristics of a solar desalination plant with capacity 1850 m³/d, which is to be installed in the Municipal Community of Kounoupidiana, Chania, in order to cover the additional water demand during the summer season. Its analysis is achieved, by using the SEDAT software to simulate ten different design scenarios. These scenarios are based on parameters, such as the capacity of plant's solar thermal system and the participation or not, of fossil fuels (natural gas) in covering the plant's thermal energy needs. At the same time, is examined the energy coverage of the electricity required for the desalination process, either by connecting the plant to the electrical grid, or by supplying it with energy produced by a photovoltaic (PV) system.

The main findings raised by the mapping and the techno-economic analysis, highlight the great potential for sustainable siting of solar desalination plants in the wider region of Crete, but mainly on its coastal areas. At the same time, they illustrate the large carbon footprint that arises by using conventional fuels to cover thermal and electrical energy. Furthermore, through the comparison and evaluation of the results produced by the simulation models, the 8th design scenario is considered as the most suitable to be applied. According to this scenario, potable water production is succeeded, with a cost lower than 3 €/m³ and a few (0,64 kg CO₂/m³) or zero CO₂ emissions. Last but not least, the advantage of supplying the plant with electrical energy produced by a PV system, compared to its connection to the electrical grid, is highlighted.

This study contributes to the understanding of the way to identify areas suitable for sustainable siting of solar desalination plants. At the same time, it is decisive in determining and evaluating the technical and financial parameters, that should be taken into consideration, during the study of a solar desalination plant's installation.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τσούτσο Θεοχάρη, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου σε όλη τη διάρκεια του έτους και για τις πολύτιμες συμβουλές του, όσον αφορά στις δύσκολες αποφάσεις που καλούμαι να πάρω για το μέλλον. Παράλληλα, ευχαριστώ τον καθηγητή του Columbia University κ. Φθενάκη Βασίλειο και το διδακτορικό του φοιτητή Zhuoran Zhang, για την επικοινωνία που είχαμε, όσο αφορά τη χρήση του λογισμικού SEDAT. Ένα μεγάλο ευχαριστώ, σε όλο το ακαδημαϊκό προσωπικό του Πολυτεχνείου Κρήτης, που συνέβαλε στην εκπλήρωση των προπτυχιακών μου σπουδών. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να δώσω, επίσης, στον καθηγητή κ. Καρατζά Γεώργιο για τη στήριξή του όσες φορές χρειάστηκα την έμπειρη γνώμη του και τη βοήθεια του σε προσωπικά και ακαδημαϊκά ζητήματα. Επιπλέον, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όσους ανθρώπους και φίλους γνώρισα κατά τη διάρκεια των πέντε ετών φοίτησής μου, με τους οποίους πέρασα αξέχαστες ευχάριστες στιγμές και με στήριξαν στις όποιες δυσκολίες μεσολάβησαν σε όλη αυτή την πορεία. Καταληκτικά, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια μου, τους γονείς μου Λευτέρη και Άλκηστη και την αδερφή μου Φωτεινή, για την αγάπη τους και την καθημερινή και ανιδιοτελή τους στήριξη σε όλες τις φάσεις της ζωής μου.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	6
Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Διαγραμμάτων/Εικόνων/Χαρτών	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1 Αντικείμενο και στόχοι διπλωματικής εργασίας	11
1.2 Σχετική βιβλιογραφία	12
1.2.1 Χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης.....	12
1.2.2 Τεχνο-οικονομική μελέτη εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	14
2.1 Απόσταση πολλαπλών βαθμίδων με θερμική συμπίεση ατμών (MED – TVC)	14
2.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης (Solar Collector-Flat Plate)	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	16
3.1 Χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ).....	16
3.1.1 Νομοθετικό πλαίσιο.....	16
3.1.2 Κριτήρια Αποκλεισμού	20
3.1.3 Κριτήρια Αξιολόγησης	20
3.1.4 Ταξινόμηση κριτηρίων αξιολόγησης	23
3.1.5 Σταθμισμένη Ανάλυση.....	24
3.1.6 Χαρτογράφηση περιοχής μελέτης (ΓΣΠ)	25
3.2 Τεχνο-οικονομική μελέτη εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.....	28
3.2.1 Περιοχή μελέτης και σενάριο σχεδιασμού	28
3.2.2 Προσομοιώσεις με το εργαλείο SEDAT	30
3.2.3 Ανάλυση εξισώσεων SEDAT.....	32
3.2.4 Ενεργειακές ανάγκες δικτύου άντλησης	34
3.2.5 Ενεργειακή ανάλυση (ΑΠΕ - Συμβατικά)	35
3.2.6 Ανάλυση βιωσιμότητας	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
4.1 Αποτελέσματα χαρτογράφησης Κρήτης	40
4.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	43
4.3 Αποτελέσματα υπολογισμών για την άντληση, το Φ/Β σύστημα και τη βιωσιμότητα της εγκατάστασης.....	47
4.4 Διαγράμματα παραγόμενου νερού και ενέργειας	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ	51
5.1 Σχολιασμός δυναμικών χαρτών.....	51
5.2 Σχολιασμός και σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	56

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	61

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1. Ταξινόμηση κριτηρίων αξιολόγησης σε κλίμακα καταλληλότητας	23
Πίνακας 3.2. Σχετική σημασία κριτηρίων αξιολόγησης	24
Πίνακας 3.3. Σταθμισμένες τιμές κλίμακας καταλληλότητας	26
Πίνακας 3.4. Σταθερές παράμετροι σχεδιασμού.....	30
Πίνακας 3.5. Σενάρια Προσομοίωσης	31
Πίνακας 3.6. Δεδομένα δικτύου άντλησης	35
Πίνακας 3.7. Σενάρια Προσομοίωσης, σύνδεση μονάδας με ηλεκτρικό δίκτυο ή Φ/Β σύστημα.....	39
Πίνακας 4.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος αφαλάτωσης.....	44
Πίνακας 4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακού θερμικού συστήματος.....	44
Πίνακας 4.3. Χαρακτηριστικά απόδοσης συστήματος αφαλάτωσης	44
Πίνακας 4.4. Χαρακτηριστικά απόδοσης ηλιακού θερμικού συστήματος	45
Πίνακας 4.5. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με το ηλεκτρικό δίκτυο.....	45
Πίνακας 4.6. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με το ηλεκτρικό δίκτυο.....	45
Πίνακας 4.7. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με Φ/Β σύστημα.....	46
Πίνακας 4.8. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με Φ/Β σύστημα.....	46
Πίνακας 4.9. Ενεργειακές απαιτήσεις μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης	46
Πίνακας 4.10. Χαρακτηριστικά συστήματος άντλησης.....	47
Πίνακας 4.11. Χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος	47
Πίνακας 4.12. Ετήσια έσοδα μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.....	48
Πίνακας 4.13. Συνοπτική περιγραφή μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης στο ηλεκτρικό δίκτυο.....	48
Πίνακας 4.14. Συνοπτική περιγραφή μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με Φ/Β σύστημα.....	48

Κατάλογος Διαγραμμάτων/Εικόνων/Χαρτών

Εικόνα 2.1. Σύστημα MED-TVC (πηγή: www.veoliawatertechnologies.com).....	14
Εικόνα 2.2. Επίπεδο ηλιακός συλλέκτης (πηγή: Olympic sun).....	15
Διάγραμμα 3.1. Μεθοδολογία χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης.....	16
Διάγραμμα 3.2. Νομοθετικοί Περιορισμοί.....	19
Διάγραμμα 3.3. Κριτήρια Αξιολόγησης.....	22
Εικόνα 3.1. Μετατροπή vector σε raster	25
Εικόνα 3.2. Χρήση του Proximity tool	26
Εικόνα 3.3 Κλίμακα καταλληλότητας με χρήση του raster calculator	27
Διάγραμμα 3.4. Μεθοδολογία τεchnο-οικονομικής μελέτης εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.....	28
Εικόνα 3.4. Περιοχή μελέτης (Google Earth, [05/2023])	29
Εικόνα 3.5. Χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ SHARP 450Wp/Mono: NU-JD450	37
Χάρτης 4.1. Διαθέσιμες περιοχές εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, μετά την εφαρμογή των νομοθετικών περιορισμών.....	40

Χάρτης 4.2. Διαθέσιμες περιοχές εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, μετά την εφαρμογή των κριτηρίων αποκλεισμού	41
Χάρτης 4.3. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, ίσα σταθμισμένο σενάριο για παραλιακές περιοχές (4 km)	41
Χάρτης 4.4. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, κοινωνικο-περιβαλλοντικό σενάριο για παραλιακές περιοχές (4 km)	42
Χάρτης 4.5. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, τεχνο-οικονομικό σενάριο για παραλιακές περιοχές (4 km)	42
Χάρτης 4.6. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, στις παραλιακές περιοχές της Δημοτικής Ενότητας Ακρωτηρίου (4 km)	43
Διάγραμμα 4.1. Παραγόμενη θερμική ενέργεια ανά εβδομάδα, ανάλογα με τη δυναμικότητα του συστήματος	49
Διάγραμμα 4.2. Παραγόμενος όγκος αφαλατωμένου νερού ανά εβδομάδα	49
Διάγραμμα 4.3. Παραγόμενος όγκος αφαλατωμένου νερού ημερησίως το καλοκαίρι.....	50
Διάγραμμα 4.4. Εβδομαδιαία χρήση συμβατικών καυσίμων	50
Διάγραμμα 5.1. Σύγκριση κόστους παραγωγής αφαλατωμένου νερού (LCOW)	52
Διάγραμμα 5.2. Σύγκριση εκπομπών CO ₂ της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.....	53
Διάγραμμα 5.3. Σύγκριση ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λειψυδρία αποτελεί ένα διαχρονικό ζήτημα για τα ελληνικά νησιά, το οποίο γίνεται όλο και πιο έντονο με την πάροδο του χρόνου. Η κλιματική αλλαγή και η αυξημένη ζήτηση νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αποτελούν δύο από τις βασικότερες αιτίες της εμφάνισής της. Συγκεκριμένα, το καλοκαίρι εμφανίζεται η αιχμή της ζήτησης νερού, λόγω των αυξημένων αναγκών άρδευσης και του υπερπληθυσμού που προκαλεί η μαζική προσέλευση τουριστών. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Κομισιόν (European Commission), πάνω από ένας στους πέντε κατοίκους της Μεσογείου υποφέρει από λειψυδρία.

Ειδικότερα, η Ελλάδα κατατάσσεται 26^η στη λίστα των χωρών που πάσχουν από έλλειψη νερού [Resource Watch, [04/2023]], με το πρόβλημα να είναι ιδιαίτερα εμφανές κυρίως στα απομακρυσμένα και απομονωμένα νησιά, όπως τις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα. Ως εκ τούτου, τεράστιες ποσότητες πόσιμου νερού μεταφέρονται ετησίως δια θαλάσσης στα νησιά αυτά, ως μια έμμεση λύση του προβλήματος. Με βάση τα στοιχεία που δημοσίευσε η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής [Secretariat General for the Aegean and Island Policy, [04/2023]], το κόστος της θαλασσομεταφοράς νερού είναι αρκετά υψηλό, της τάξης των 10 €/m³ και διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο του έτους και την απόσταση μεταφοράς. Γίνεται κατανοητό, συνεπώς, ότι η εγχώρια οικονομία υποφέρει από τις υπέρογκες χρηματοδοτήσεις που απαιτούνται για αυτό το σκοπό. Παράλληλα, αυξάνεται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα άνθρακα (carbon footprint), καθώς η μεταφορά επιτυγχάνεται μέσω πλοίων, που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα, εκπέμποντας μεγάλες ποσότητες CO₂ στην ατμόσφαιρα.

Όσον αφορά το νησί της Κρήτης, που αποτελεί την περιοχή μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, η ζήτηση νερού είναι εξαιρετικά υψηλή το καλοκαίρι. Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης [JMD 163/2015, OGHE B' 570/08-04-15, 2015], οι βασικοί λόγοι είναι η άρδευση περίπου 1000 km² καλλιεργήσιμης γης και ο μεγάλος αριθμός επισκεπτών, που προσέρχεται κάθε χρόνο στο νησί. Οι Δημοτικές Επιχειρήσεις Ύδρευσης – Αποχέτευσης (ΔΕΥΑ), προκειμένου να ανταποκριθούν στις ανά περιόδους αυξημένες ανάγκες του νησιού, αναγκάζονται να ανοίξουν καινούριες γεωτρήσεις. Η συγκεκριμένη στρατηγική είναι μη βιώσιμη, καθώς η άντληση των υπόγειων νερών είναι ταχύτερη από τη φυσική τους τροφοδοσία, με αποτέλεσμα τη συνεχή αποστράγγιση του υδροφόρου ορίζοντα.

Με σκοπό την εύρεση μιας αποτελεσματικότερης πολιτικής ενάντια στο φαινόμενο της λειψυδρίας, οι ελληνικές κυβερνήσεις εφάρμοσαν τη στρατηγική της επένδυσης σε μικρές μονάδες αφαλάτωσης, κυρίως σε άνυδρα νησιά. Με το τρόπο αυτό, επιτεύχθηκε η αύξηση της διαθεσιμότητας πόσιμου νερού, όπου ήταν αναγκαίο, όχι όμως με τον πιο βιώσιμο τρόπο. Η μη βιωσιμότητα, έγκειται στο γεγονός ότι οι μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις των διεργασιών αφαλάτωσης, ικανοποιούνται με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, οδηγώντας σε υψηλές εκπομπές CO₂. Μια εναλλακτική λύση για την αποφυγή της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, κατά την παραγωγή πόσιμου αφαλατωμένου νερού, αποτελούν οι μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης, οι οποίες αναπτύσσονται ραγδαία εμφανίζοντας μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησης. Μεγάλο τους πλεονέκτημα θεωρείται το χαμηλό τους περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε άνθρακα, καθώς μπορούν να λειτουργήσουν υπό περιπτώσεις εντελώς αυτόνομα, χωρίς τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Η ηλιακή αφαλάτωση είναι απολύτως συμβατή με το Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα [JMD 4/2019, OGHE B' 4893/23-12-19, 2019], το οποίο στοχεύει, πρώτον, σε 42% μείωση των εκπομπών CO₂ έως το 2030 σε σχέση με το 1990 και δεύτερον σε 32% αύξηση της

συμμετοχής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στη συνολική παραγωγή ενέργειας, έως το 2030.

1.1 Αντικείμενο και στόχοι διπλωματικής εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η μελέτη της δυνατότητας βιώσιμης χωροθέτησης και εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης στην Κρήτη. Έχοντας το προνόμιο του υψηλού ηλιακού δυναμικού, η Κρήτη εκτιμάται ότι μπορεί να αποτελέσει την αιχμή του δόρατος, πανελλαδικά, στη φιλοξενία μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης. Η μελέτη γίνεται σε δύο επίπεδα, όπου στο πρώτο χαρτογραφείται η περιοχή μελέτης, προκειμένου να προσδιορισθούν οι βέλτιστες περιοχές εγκατάστασης των μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης και στο δεύτερο παρουσιάζεται ένα παράδειγμα τεchnο-οικονομικής ανάλυσης εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης. Η ανάλυση αυτή στοχεύει στην ανάδειξη των τεχνικών και οικονομικών παραμέτρων, που παίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό μιας τέτοιας μονάδας, αποτελώντας παράδειγμα εκπόνησης και αντικείμενο αξιολόγησης παρόμοιων μελλοντικών μελετών.

Η ανάδειξη των διαθέσιμων και βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης, επιτυγχάνεται μέσω μιας απλοποιημένης προσέγγισης λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-criteria decision making approach - (MCDM)), σε συνδυασμό με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Επιλέγονται ποικίλα κριτήρια αξιολόγησης και αποκλεισμού, που αφορούν την κοινωνία, το περιβάλλον, την οικονομία, τον πολιτισμό, την ασφάλεια κτλ. Βασικός παράγοντας της χαρτογράφησης αποτελεί, επίσης, η ανασκόπηση και εφαρμογή του νομοθετικού πλαισίου, που αφορά τις μονάδες αφαλάτωσης και τις ΑΠΕ. Ακολουθεί η ταξινόμηση των κριτηρίων, με σκοπό τον προσδιορισμό της κλίμακας καταλληλότητας των διαθέσιμων περιοχών χωροθέτησης, από ακατάλληλες έως βέλτιστες. Καταληκτικά, εφαρμόζεται σταθμισμένη ανάλυση για την ανάδειξη της σχετικής σημασίας κάθε κριτηρίου, υιοθετώντας τρία διαφορετικά σταθμισμένα σενάρια, ώστε να παραχθούν μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) οι επιθυμητοί δυναμικοί χάρτες της περιοχής μελέτης.

Το δεύτερο σκέλος της διπλωματικής εργασίας, επικεντρώνεται στην εκπόνηση τεchnο-οικονομικής μελέτης για την εγκατάσταση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης στην περιοχή της Δημοτικής Κοινότητας Κουνουπιδιανών, Χανίων. Η συγκεκριμένη μονάδα, πρόκειται να λειτουργεί με επίπεδους στατικούς συλλέκτες (Static Collector-Flat Plate), ως ηλιακό θερμικό σύστημα και απόσταξη πολλαπλών αποτελεσμάτων με θερμική συμπίεση ατμών (Multi-effect Distillation – Thermal Vapor Compression), ως σύστημα αφαλάτωσης. Για την πραγματοποίηση της μελέτης αξιοποιείται το λογισμικό SEDAT (Solar Energy Desalination Analysis Tool) [Fthenakis et al., 2022], το οποίο προσομοιώνει μοντέλα ηλιακής αφαλάτωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, υιοθετούνται 10 διαφορετικά σενάρια (μοντέλα), όπου στα πρώτα 4 συμμετέχουν συμβατικά καύσιμα (φυσικό αέριο) στην κάλυψη των θερμικών αναγκών της μονάδας, ενώ τα υπόλοιπα αξιοποιούν μόνο τη θερμική παραγωγή των στατικών συλλεκτών. Παράλληλα, εφαρμόζονται δύο σενάρια για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, όπου στο πρώτο η μονάδα είναι συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο και στο δεύτερο τροφοδοτείται από Φ/Β σύστημα, που σχεδιάζεται και εγκαθίσταται πλησίον της μονάδας. Εν κατακλείδι, τα ευρήματα των προσομοιώσεων συγκρίνονται και αξιολογούνται, με σκοπό την ανάδειξη των βέλτιστων σεναρίων σχεδιασμού της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.

Συνοψίζοντας, οι βασικοί στόχοι της διπλωματικής εργασίας δίνονται παρακάτω:

- Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την απλοποίηση της χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης.
- Ταξινόμηση σε κλίμακα καταλληλότητας, των διαθέσιμων περιοχών χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, αξιολογώντας τα επιλεγμένα κριτήρια.
- Τεχνο-οικονομική ανάλυση εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, για την ανάδειξη των βασικών τεχνικών και οικονομικών της παραμέτρων, που μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια αξιολόγησης μελλοντικών μελετών.

1.2 Σχετική βιβλιογραφία

Η διεθνής επιστημονική κοινότητα ασχολείται αρκετά χρόνια με την ηλιακή αφαλάτωση, εκπονώντας συνεχώς νέες και καινοτόμες μελέτες για τη βελτίωση των τεχνολογιών που τη συνθέτουν. Παράλληλα, υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφικών πηγών, όσο αφορά τη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, με τα κριτήρια αξιολόγησης και αποκλεισμού που λαμβάνονται υπόψιν, να είναι ποικίλα και πολυδιάστατα σε κάθε περίπτωση, καλύπτοντας πολλές διαφορετικές συνθήκες και καταστάσεις. Έπειτα από βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρατίθενται ορισμένες μελέτες, που παρουσιάζουν μεθοδολογικές ομοιότητες με την παρούσα διπλωματική εργασία.

1.2.1 Χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης

Είναι πολλές οι μελέτες οι οποίες εξετάζουν τη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, μέσω μιας προσέγγισης λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-criteria decision making approach - (MCDM)), σε συνδυασμό με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Αρχικά, οι [Aydin, Sarptas, 2020] αξιολόγησαν χωρικά την καταλληλότητα των παραλιακών περιοχών της Τουρκίας για μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης. Συγκεκριμένα, ανέπτυξαν ένα μοντέλο βασισμένο στην αξιολόγηση πολλαπλών κριτηρίων και τη χρήση GIS, λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικά, δημογραφικά και κλιματικά δεδομένα ως κριτήρια αξιολόγησης, παραλείποντας την εξέταση των οικονομικών και ενεργειακών απαιτήσεων. Ειδικότερα, τα κριτήρια αυτά αφορούσαν τη θερμοκρασία και αλατότητα του θαλασσινού νερού, την ηλιακή ακτινοβολία, το ύψος της βροχής, τον πληθυσμό και την τιμή του νερού. Ως εκ τούτου, κατάφεραν να ιεραρχήσουν τις παραλιακές περιοχές της Τουρκίας, που κρίθηκαν κατάλληλες για εγκατάσταση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης. Παρόμοιες μεθοδολογίες έχουν αναπτυχθεί σε πολλές περιοχές παγκοσμίως, όπως για παράδειγμα αυτή που αναπτύχθηκε από τους [Grubert et.al, 2014], με σκοπό τον προσδιορισμό των καταλληλότερων περιοχών για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, μέσω αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούμενης με ηλιακή ενέργεια.

Επιπρόσθετα, η προσέγγιση MCDM/GIS έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως και σε περιπτώσεις εγκατάστασης συστημάτων ΑΠΕ. Οι [Giamalaki, Tsoutsos, 2019] παρουσίασαν και εξέτασαν μια μεθοδολογία για την καταλληλότητα χωροθέτησης εγκαταστάσεων ηλιακής ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, χρησιμοποιώντας τη Μέθοδο Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process-AHP) σε συνδυασμό με GIS. Η Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης, είναι ίσως η πιο διαδεδομένη μέθοδος λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, για την ταυτοποίηση των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης ΑΠΕ. Η μεθοδολογία τους βασίστηκε στη χρήση κριτηρίων αξιολόγησης και αποκλεισμού, τα οποία αναλύθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική τους σημασία, με την εφαρμογή της μεθόδου AHP από ομάδες ανθρώπων σχετικές με το τομέα της ενέργειας. Η ίδια προσέγγιση ακολουθήθηκε από τους [Gkeka-Serpetsidaki, Tsoutsos, 2022], με σκοπό την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τη βέλτιστη χωροθέτηση υπεράκτιων

αιολικών πάρκων στο νησί της Κρήτης. Η Μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης στη συγκεκριμένη περίπτωση, βασίστηκε στη γνώμη των τοπικών φορέων και των ειδικών.

1.2.2 Τεχνο-οικονομική μελέτη εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

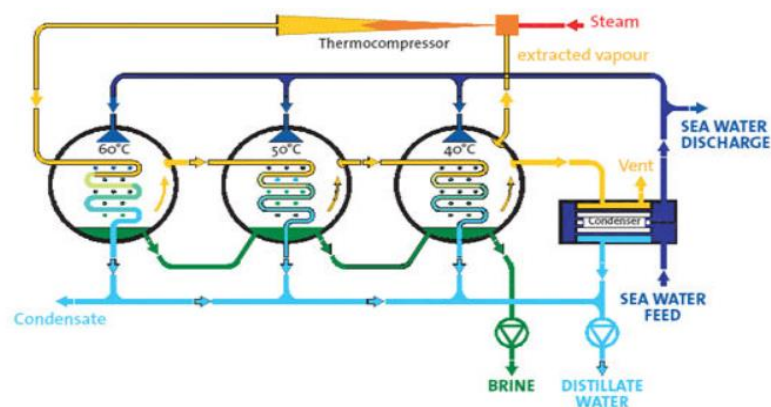
Πληθώρα τεχνο-οικονομικών μελετών για μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης, παρόμοια με αυτή που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, διατίθεται βιβλιογραφικά. Οι [Zheng, Hatzell, 2020] ανέλυσαν τεχνο-οικονομικά μονάδα ηλιακής θερμικής αφαλάτωσης, λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο ζωής και την κλίμακα της μονάδας, την επίδοση συγκεκριμένων παραμέτρων του εκάστοτε συστήματος της μονάδας, καθώς και την επίδραση της τοπικής αγοράς και των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής εγκατάστασης, στο κόστος παραγωγής του νερού και στο χρόνο αποπληρωμής. Σκοπός τους ήταν η πρόβλεψη της οικονομικής βιωσιμότητας της μονάδας, η οποία λειτουργεί με σύστημα απόσταξης πολλαπλώς σταδίων, καταλήγοντας ότι η οικονομικά καλύτερη πιθανή τοποθεσία χωροθέτησης της, είναι το Μαιάμι, Φλώριντα. Μια επιπλέον μελέτη των [Ebrahimpour et.al, 2022], διερεύνησε το σχεδιασμό μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης δύο σταδίων με ποσοστό ανάκτησης 50%. Η μελέτη βασίστηκε σε τρία διαφορετικά σενάρια, αξιολογώντας τη συνολική παραγωγή νερού και τις εκπομπές CO₂ κάθε σεναρίου. Στην πρώτη περίπτωση, η ενέργεια παραγόταν από Φ/Β σύστημα (photovoltaic power plant), στη δεύτερη περίπτωση από ηλιακούς συλλέκτες με οργανικούς κύκλους Rankine (solar collector power plant with organic Rankine Cycles) και στην τελευταία περίπτωση από Φ/Β σύστημα θερμικής ισχύος με οργανικούς κύκλους Rankine (photovoltaic thermal power plant with organic Rankine Cycles). Τα ευρήματα έδειξαν ότι στην τελευταία περίπτωση, η παραγόμενη ποσότητα νερού ήταν η μεγαλύτερη και η χρήση Φ/Β συστήματος θερμικής ισχύος με οργανικούς κύκλους Rankine οδήγησε σε μεγάλη μείωση των εκπομπών CO₂, συγκριτικά με τις εκπομπές της ίδιας μονάδας αν λειτουργούσε με φυσικό αέριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, προσομοιώνεται μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες (Solar Collector-Flat Plate) ως ηλιακό θερμικό σύστημα και απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων με θερμική συμπίεση ατμών (Multi-effect Distillation – Thermal Vapor Compression) ως σύστημα αφαλάτωσης. Ως εκ τούτου, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας των δύο παραπάνω συστημάτων, προκειμένου να γίνει κατανοητή η τεχνολογία στην οποία βασίζεται η μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης, η οποία μελετάται σε παρακάτω κεφάλαιο.

2.1 Απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων με θερμική συμπίεση ατμών (MED – TVC)

Ένας εξατμιστής πολλαπλών βαθμίδων, αποτελείται από πολλές διαδοχικές δεξαμενές (effects), που διατηρούνται σε φθίνουσες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας από την πρώτη (η πιο ζεστή) μέχρι την τελευταία δεξαμενή (η πιο κρύα). Κάθε δεξαμενή, αποτελείται από οριζόντιες δέσμες σωλήνων, οι οποίες ψεκάζονται στην κορυφή τους με θαλασσινό νερό, το οποίο ρέει βαρυτικά από σωλήνα σε σωλήνα. Έπειτα, θερμός αέρας εισάγεται στους σωλήνες και συμπυκνώνεται σε απόσταγμα (γλυκό νερό), καθώς υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ατμού και του θαλασσινού νερού, το οποίο ψύχει εξωτερικά τους σωλήνες [VEOLIA, [05/2023]]. Ταυτόχρονα, το θαλασσινό νερό θερμαίνεται και εξατμίζεται μερικώς, ανακτώντας τη θερμότητα συμπύκνωσης ή αλλιώς λανθάνουσα θερμότητα. Εξαιτίας της εξάτμισης το θαλασσινό νερό συγκεντρώνεται σε μικρό βαθμό, καθώς ρέει προς τα κάτω τη δέσμη, δίνοντας άλμη στον πυθμένα της δεξαμενής. Σημειώνεται, ότι ο ατμός που προκύπτει από την εξάτμιση του θαλασσινού νερού, έχει μικρότερη θερμοκρασία από το θερμό ατμό που εισάγεται αρχικά στους σωλήνες. Παρόλα αυτά, μπορεί να τροφοδοτηθεί ως μέσο θέρμανσης στην επόμενη δεξαμενή, όπου επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία. Η φθίνουσα πίεση από τη μια δεξαμενή στην άλλη, επιτρέπει την εξαγωγή της άλμης και του αποστάγματος στην επόμενη δεξαμενή, με σκοπό την απελευθέρωση επιπλέον ποσότητας ατμού στη χαμηλότερη πίεση. Αυτός ο επιπλέον ατμός, συμπυκνώνεται σε απόσταγμα στην επόμενη δεξαμενή. Η συγκεκριμένη διαδικασία επαναλαμβάνεται για μια σειρά από δεξαμενές, έως την τελευταία δεξαμενή, όπου ο παραγόμενος ατμός συμπυκνώνεται από ένα συμβατικό εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος ονομάζεται «εναλλάκτης απόσταξης» και ψύχεται με θαλασσινό νερό. Καταληκτικά, η άλμη και το απόσταγμα συλλέγονται από δεξαμενή σε δεξαμενή μέχρι και την τελευταία, όπου και εξάγονται με τη βοήθεια φυγοκεντρικών αντλιών [VEOLIA, [05/2023]]. Η απεικόνιση του συστήματος που αναλύθηκε παραπάνω δίνεται στην εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1. Σύστημα MED-TVC (πηγή: VEOLIA)

2.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης (Solar Collector-Flat Plate)

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης [Τσούτσος, Κανάκης, 2013], μετατρέπει μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα και χρησιμοποιεί θερμικό ρευστό, προκειμένου να τη μεταφέρει στα υπόλοιπα μέρη της μονάδας. Γενικότερα, οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (εικόνα 2.2), διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν υγρό ή αέριο θερμικό ρευστό, ενώ υπάρχουν και οι συλλέκτες κενού. Ένας τυπικός συλλέκτης χρησιμοποιεί νερό, ως θερμικό ρευστό και αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Απορροφητής

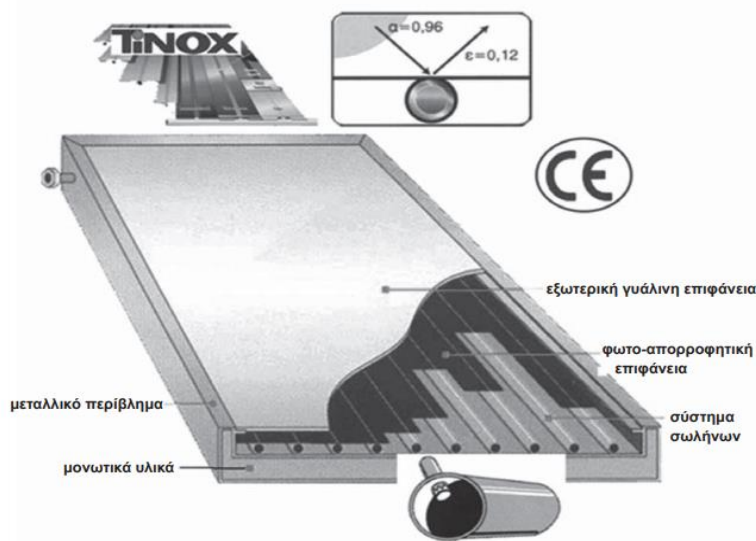
Είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος σε θερμότητα. Θερμαίνεται και ο ίδιος μέσω αυτής της διαδικασίας και εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία. Συνεπώς, προτιμάται συντελεστής απορρόφησης κοντά στο 1, και συντελεστής εκπομπής κοντά στο 0. Καλό είναι να έχει, επίσης, μεγάλη θερμική αγωγιμότητα για τη μεταφορά της θερμότητας στο θερμικό ρευστό, άμεσα και αποτελεσματικά. Καταληκτικά, πρέπει να έχει αντοχή έναντι υψηλών θερμοκρασιών (έως 200 °C), που εμφανίζονται στο τμήμα μεταξύ απορροφητή και διαφανούς καλύμματος.

2. Διαφανές κάλυμμα

Τοποθετείται πάνω από την εξωτερική όψη του απορροφητή και πρέπει να έχει συγκεκριμένες ιδιότητες. Αρχικά, να έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας ηλιακής ακτινοβολίας, ώστε να καταφθάνει στον απορροφητή η μέγιστη δυνατή τιμή της. Από την άλλη, να έχει μικρό συντελεστή διαπερατότητας της υπέρυθρης ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από τον απορροφητή. Συνηθέστερο υλικό που χρησιμοποιείται ως διαφανές κάλυμμα, είναι το γυαλί.

3. Πλαίσιο συλλέκτη – μόνωση

Περιβάλλει το συλλέκτη και κατασκευάζεται κυρίως από αλουμίνιο, ή άλλο συνθετικό υλικό. Η χρήση του επιδιώκει την αύξηση της μηχανικής αντοχής του συλλέκτη και την προστασία του από το γύρω περιβάλλον. Παράλληλα, το πλαίσιο έχει μικρό άνοιγμα, έτσι ώστε να επιτρέπει τον αερισμό του συλλέκτη για την εξισορρόπηση της πίεσης, λόγω των μεταβολών της θερμοκρασίας και για την απομάκρυνση της υγρασίας. Εν κατακλείδι, μονώνεται περιμετρικά για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών του συλλέκτη.



Εικόνα 2.2. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης (πηγή: Olympic sun)

ΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ)

Η βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης στην περιοχή της Κρήτης, είναι μια σύνθετη διαδικασία που λαμβάνει υπόψη πολλές διαφορετικές παραμέτρους. Στην παρούσα εργασία, η διαδικασία που ακολουθείται αποτελείται από έξι βήματα, όπως δίνονται στο διάγραμμα 3.1.



Διάγραμμα 3.1. Μεθοδολογία χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης

Αρχικά, εξετάζονται οι νομοθετικοί περιορισμοί που αφορούν την εγκατάσταση των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των μονάδων αφαλάτωσης, καθώς επίσης και οι πολεοδομικοί κανονισμοί, σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Σε δεύτερη φάση, προτείνονται και εφαρμόζονται επιπλέον κριτήρια αποκλεισμού, τα οποία βασίζονται σε λογικές υποθέσεις και σε εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Ακολουθεί ο προσδιορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης, βάσει των οποίων εν συνεχεία θα γίνει η ταξινόμηση σε κλίμακα καταλληλότητας, των περιοχών χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης. Έπειτα, πραγματοποιείται σταθμισμένη ανάλυση των κριτηρίων αξιολόγησης, προκειμένου να προσδιορισθεί η επιμέρους σημαντικότητα τους. Η συγκεκριμένη ανάλυση βασίζεται στην εφαρμογή μιας απλοποιημένης προσέγγισης λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-criteria decision making approach - (MCDM)). Εν τέλει, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) επιτυγχάνεται η χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης, προσδιορίζοντας τις κατάλληλες θέσεις χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης.

3.1.1 Νομοθετικό πλαίσιο

Η νομοθεσία που πλαισιώνει τον κλάδο της ηλιακής αφαλάτωσης είναι δισδιάστατη, καθώς λαμβάνει υπόψη τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις μονάδες αφαλάτωσης, ως δύο ξεχωριστές κατηγορίες και όχι ως μονάδα. Με αντίστοιχο τρόπο έγινε και η ανασκόπηση του νομοθετικού πλαισίου, που αφορά αυτές τις δύο κατηγορίες, με σκοπό τον προσδιορισμό των εκάστοτε περιορισμών που υφίστανται στη χωροθέτησή τους, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω και δίνονται συνοπτικά στο διάγραμμα 3.2.

1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης που εξετάζονται, περιλαμβάνουν ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκούς σταθμούς στη στεριά και από ηλιοθερμικούς σταθμούς. Σύμφωνα με το ΦΕΚ 841/Β/24-02-2022 «Τροποποίηση και κωδικοποίηση της υπουργικής απόφασης

1958/2012 - Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με την παρ. 4 του άρθρου 1 του ν. 4014/21.9.2011 (Α' 209), όπως αυτή έχει τροποποιηθεί και ισχύει», τα εν λόγω συστήματα ΑΠΕ κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Παράρτημα Χ - Ομάδα 10^η «ΑΠΕ και Μεμονωμένοι Σταθμοί Αποθήκευσης Ενέργειας»

Α) Είδος έργου: Ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκούς σταθμούς στη στεριά

- Υποκατηγορία Α1: $P \geq 200 \text{ MW}$ ή $L \geq 20 \text{ km}$
- Υποκατηγορία Α2: $10 < P < 200 \text{ MW}$ και $L < 20 \text{ km}$
- Κατηγορία Β: $1 < P \leq 10 \text{ MW}$ ή $P \leq 1 \text{ MW}$ και ισχύει η Ξ

Β) Είδος έργου: Ηλεκτροπαραγωγή από ηλιοθερμικούς σταθμούς

- Υποκατηγορία Α1: $P > 50 \text{ MW}$
- Υποκατηγορία Α2: $10 < P \leq 50 \text{ MW}$
- Κατηγορία Β: $1 < P \leq 10 \text{ MW}$ ή $P \leq 1 \text{ MW}$ και ισχύει η Ξ

Όπου:

P: εγκατεστημένη ισχύς

L: μήκος υπόγειας ή εναέριας διασυνδετικής γραμμής μεταφοράς υψηλής τάσης ($\geq 150 \text{ kV}$)

Ξ: το έργο εγκαθίστανται σε γήπεδο που βρίσκεται σε περιοχή του δικτύου Natura 2000 ή σε παράκτια θέση που απέχει λιγότερο από 100 m από την οριογραμμή του αιγιαλού εκτός βραχονησίδων.

Εν συνεχεία, σύμφωνα με το νόμο 3851/2010 «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής», και πιο συγκεκριμένα το άρθρο 17 του ΦΕΚ 2464/Β/3-12-2008 «Έγκριση ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού», τα κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- Παράγραφος 1 – Άρθρο 17

«Περιοχές προτεραιότητας θεωρούνται οι μη υψηλής παραγωγικότητας, κατά προτίμηση αθέατες από πολυσύχναστους χώρους (αποφυγή οπτικής όχλησης) και με δυνατότητες διασύνδεσης με το Δίκτυο ή το Σύστημα».

- Παράγραφος 2 – Άρθρο 17

Ζώνες αποκλεισμού:

- i. Μνημεία & οριοθετημένες αρχαιολογικές ζώνες προστασίας Α
- ii. Περιοχές απόλυτου προστασίας της φύσης και του τοπίου
- iii. Πυρήνες Εθνικών δρυμών, κηρυγμένα μνημεία της φύσης, αισθητικά δάση
- iv. Οικότοποι προτεραιότητας περιοχών της επικράτειας
- v. Δάση και γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας
- vi. Άλλες περιοχές ή ζώνες που υπάγονται σήμερα σε ειδικό καθεστώς χρήσεων γης

- Παράγραφος 3 – Άρθρο 17

«Οι αποστάσεις των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας από τις ζώνες αποκλεισμού της Παρ. 2 και οι ειδικότεροι όροι χωροθέτησης των συνοδευτικών

τους έργων καθορίζονται, κατά περίπτωση στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης».

2. Μονάδες Αφαλάτωσης

Όσο αφορά τις μονάδες αφαλάτωσης, σύμφωνα με την ΚΥΑ Αριθμ. οικ. 92108/1045/Φ.15 (ΦΕΚ 3833/Β/2020) «Νέα περιβαλλοντική κατάταξη των μεταποιητικών δραστηριοτήτων/κατάργηση οχλήσεων», κατατάσσονται ως εξής:

Πίνακας 1 - Ομάδα 9^η «Μεταποιητικές και συναφείς δραστηριότητες»

Υποομάδα: Συλλογή, καθαρισμός και διανομή νερού

Αριθμός 202 - Είδος έργου: Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης θαλασσινού νερού

- Υποκατηγορία Α2: $> 4000 \text{ m}^3/\text{d}$ ή $> 2000 \text{ m}^3/\text{d}$ & > 90 μόρια ή $\leq 2000 \text{ m}^3/\text{d}$ & > 150 μόρια
- Κατηγορία Β: Οι δραστηριότητες που δεν υπάγονται στην κατηγορία Α

Παρατήρηση: «Τα όρια αναφέρονται στη δυναμικότητα της εγκατάστασης ως προς την παραγόμενη ποσότητα αφαλατωμένου νερού. Εξαιρούνται οι κινητές εγκαταστάσεις με δυναμικότητα $< 200 \text{ m}^3/\text{d}$ ».

Εν συνεχεία, με βάση το ΦΕΚ 151/ΑΑΠ/13-04-2009 «Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τη βιομηχανία και της στρατηγικής μελέτης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού», η χωροθέτηση των μονάδων αφαλάτωσης υπόκειται στους εξής περιορισμούς:

- Παράγραφος 3 – Άρθρο 5 «Κατευθύνσεις κλαδικού και ειδικού χαρακτήρα για τη στρατηγική χωρική οργάνωση της βιομηχανίας»
«Οι μονάδες αφαλάτωσης υπάγονται στις κατηγορίες βιομηχανικών δραστηριοτήτων με ανάγκη χωροθέτησης σε άμεση επαφή με το θαλάσσιο μέτωπο».
- Παράγραφος 2 – Άρθρο 8 «Κριτήρια και συμβατότητες χωροθέτησης των βιομηχανικών μονάδων και υποδοχέων που συνδέονται με τα χαρακτηριστικά της περιοχής χωροθέτησης»

Ζώνες αποκλεισμού:

- i. Περιοχές του δικτύου Natura 2000 περιλαμβανομένων των Ζωνών Ειδικής Προστασίας της орνιθοπανίδας (ΖΕΠ).
- ii. Οικότοποι προτεραιότητας, περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης και προστασίας της φύσης, πυρήνες εθνικών δρυμών, διατηρητέα μνημεία της φύσης, στα τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους.

3. Προστασία Αρχαιοτήτων

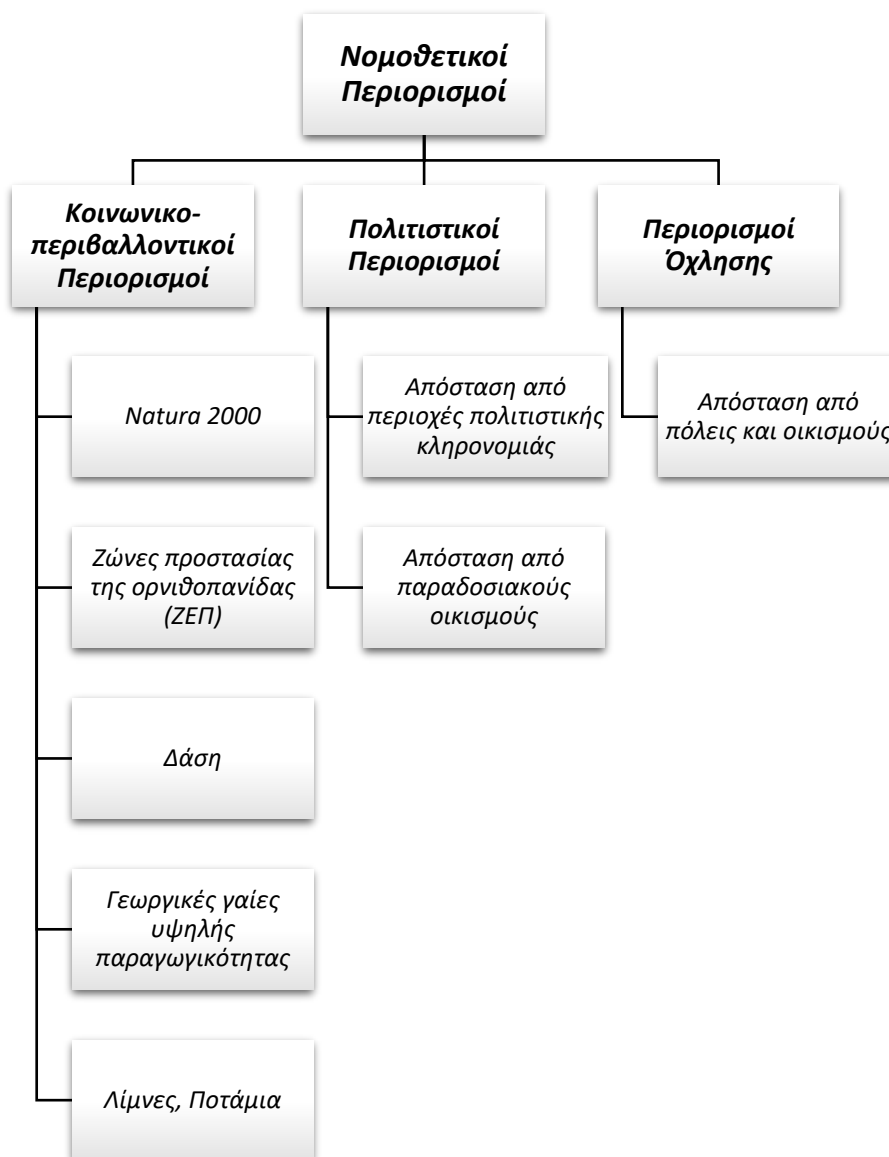
Σημαντική παράμετρος στη χωροθέτηση των μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, αποτελεί η προστασία των αρχαιοτήτων. Σύμφωνα με το νόμο 3028/2002 - ΦΕΚ Α-153/28-6-2002 «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς», υπάρχει το εξής νομοθετικό πλαίσιο:

- Παράγραφος 3 – Άρθρο 10 «Ενέργειες σε ακίνητα μνημεία και στο περιβάλλον τους»
«Η εγκατάσταση ή η λειτουργία βιομηχανικής, βιοτεχνικής ή εμπορικής επιχείρησης, η τοποθέτηση τηλεπικοινωνιακών ή άλλων εγκαταστάσεων, η επιχείρηση οποιουδήποτε

τεχνικού ή άλλου έργου ή εργασίας, καθώς και η οικοδομική δραστηριότητα πλησίον αρχαίου επιτρέπεται μόνο μετά από έγκριση του Υπουργού Πολιτισμού, η οποία εκδίδεται ύστερα από γνώμη του Συμβουλίου. Η έγκριση χορηγείται εάν η απόσταση από ακίνητο μνημείο ή η σχέση με αυτό είναι τέτοια ώστε να μην κινδυνεύει να επέλθει άμεση ή έμμεση βλάβη αυτού λόγω του χαρακτήρα του έργου ή της επιχείρησης ή της εργασίας».

• Παράγραφος 1 – Άρθρο 17 «Ζώνες προστασίας γύρω από μνημεία»

- i. «Γύρω από μνημεία μπορεί να καθορίζεται Ζώνη Προστασίας Α', σύμφωνα με το άρθρο 13».
- ii. «Ο καθορισμός χώρου, σε περιοχή εκτός σχεδίου πόλεως ή νομίμως υφισταμένων οικισμών, ως Ζώνης Α', συνεπάγεται την αναγκαστική απαλλοτρίωσή του, εάν αναιρείται η κατά προορισμό χρήση του».
- iii. «Γύρω από μνημεία μπορεί να καθορίζεται επίσης Ζώνη Προστασίας Β', σύμφωνα με το άρθρο 13».



Διάγραμμα 3.2. Νομοθετικοί Περιορισμοί

4. Δόμηση Οικισμών

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 3.2, λαμβάνεται υπόψη και ο περιορισμός δόμησης των οικισμών, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε οπτική ή ακουστική όχληση από την εγκατάσταση των μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, με βάση το προεδρικό διάταγμα της 25-4-89, τροποποίηση του από 24-4-85 προεδρικού διατάγματος «Τρόπος καθορισμού ορίων οικισμών της χώρας μέχρι 2000 κατοίκους κατηγορίες αυτών και καθορισμός όρων και περιορισμών δόμησης τους», ισχύει ότι:

- Παράγραφος 3 – Άρθρο 7

«Απαγορεύεται η ανέγερση βιομηχανικών και βιοτεχνικών εγκαταστάσεων μέσης και υψηλής όχλησης εντός των εγκεκριμένων ορίων των οικισμών και εντός ζώνης που εκτείνεται περιμετρικά του οικισμού και σε απόσταση 500 m από τα όρια του οικισμού όπως αυτά ισχύουν».

Σημειώνεται ότι, στην παρούσα εργασία θα εφαρμοσθεί ο συγκεκριμένος περιορισμός των 500 m σε όλους του οικισμούς της περιοχής μελέτης, συμπεριλαμβανομένων των οικισμών άνω των 2000 κατοίκων και των παραδοσιακών οικισμών.

3.1.2 Κριτήρια Αποκλεισμού

Έπειτα από την ταυτοποίηση των νομοθετικών περιορισμών που πλαισιώνουν τις μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης, προτείνονται επιπρόσθετα κριτήρια αποκλεισμού, τα οποία βασίζονται σε προσωπικές προτάσεις, έπειτα από ανασκόπηση της αντίστοιχης βιβλιογραφίας [Gkeka-Serpetsidaki, Tsoutsos, 2022]. Συγκεκριμένα, εξυπηρετούν τεχνο-οικονομικούς σκοπούς και την ενίσχυση της ασφάλειας των εγκαταστάσεων και των εργαζομένων τους. Συνεπώς, προτείνεται ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης 500 m από στρατόπεδα και λατομεία αντίστοιχα και 3000 m από αεροδρόμια, προκειμένου να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των υποδομών και των εργαζομένων από τις δραστηριότητες που διενεργούνται στους συγκεκριμένους χώρους. Επιπρόσθετα, εφαρμόζεται ζώνη αποκλεισμού εντός περιοχών που απέχουν απόσταση μεγαλύτερη από 4 km από την ακτογραμμή. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται μικρότερο κόστος λειτουργίας και εγκατάστασης των μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, όπως θα αναλυθεί περαιτέρω στα κριτήρια αξιολόγησης.

3.1.3 Κριτήρια Αξιολόγησης

Επόμενο βήμα αποτελεί ο προσδιορισμός των κριτηρίων αξιολόγησης, με σκοπό την αξιολόγηση των διαθέσιμων περιοχών χωροθέτησης. Τα κριτήρια αυτά, συνοψίζονται στο διάγραμμα 3.3 και περιγράφονται παρακάτω ανά κατηγορία:

- 1) Κοινωνικο-περιβαλλοντικά κριτήρια

Απόσταση από Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (Sites of Community Importance - SCI): Η εγκατάσταση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης προτιμάται σε περιοχές όσο το δυνατόν πιο μακρινές από τις περιοχές Natura 2000, προκειμένου να προστατευτούν οι τελευταίες από πιθανούς κινδύνους που μπορεί να προκληθούν λόγω της λειτουργίας των μονάδων.

Απόσταση από Λίμνες, ποτάμια: Σε ορισμένες περιπτώσεις η άλμη και η ιλύς που παράγονται κατά τη διεργασία της αφαλάτωσης, απορρίπτονται στο έδαφος. Με σκοπό την προστασία των λιμνών και ποταμιών, από τις βλαβερές χημικές ουσίες και τα υψηλά ποσοστά άλμης που περιέχονται σε αυτές τις απορρίψεις [Balfaqi et.al, 2017], είναι προτιμότερη η εγκατάσταση των μονάδων μακριά από αυτά τα υδατικά συστήματα.

2) Κριτήρια ασφαλείας

Απόσταση από αεροδρόμια: Λαμβάνονται υπόψη ζώνες αποκλεισμού γύρω από τα αεροδρόμια, για την αποφυγή τυχόν προβλημάτων πρόσκρουσης, που μπορεί να προκληθούν κατά τη διάρκεια την απογείωσης ή προσγείωσης των αεροσκαφών.

Απόσταση από στρατόπεδα: Λαμβάνονται υπόψη ζώνες αποκλεισμού γύρω από τα στρατόπεδα, για την αποφυγή τυχόν αναστάτωσης από τις στρατιωτικές ασκήσεις και πιθανών ατυχημάτων, που μπορεί να προκληθούν κατά τη διάρκεια αυτών, από τη χρήση οπλικών συστημάτων.

Απόσταση από λατομεία: Εφαρμόζονται ζώνες αποκλεισμού γύρω από τα λατομεία, ως μέτρο προστασίας ενάντια στις εκρήξεις που λαμβάνουν χώρα στις δομές αυτές.

3) Τεχνο-οικονομικά κριτήρια

Απόσταση από οδικό δίκτυο: Η απόσταση από το οδικό δίκτυο είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό κριτήριο για την ελαχιστοποίηση της αρχικής επένδυσης. Ένα εύρος απόστασης των μονάδων από το οδικό δίκτυο μεταξύ 100 – 4000 m βρέθηκε από τη βιβλιογραφία [Giamalaki, Tsoutsos, 2019], ως το πιο κατάλληλο για την αποφυγή επιπλέον κόστους προς επέκταση του δικτύου.

Απόσταση από γραμμές υψηλής τάσης: Η απόσταση από τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας βαρυσήμαντος παράγοντας για τις μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης, τόσο για την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών τους απωλειών, όσο και για τη μείωση του κόστους εγκατάστασης επιπλέον γραμμών [Mohamed, 2020]. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [Gkeka-Serpetsidaki, Tsoutsos, 2022], ένα ιδανικό εύρος απόστασης μεταξύ των μονάδων και των γραμμών υψηλής τάσης, κυμαίνεται μεταξύ 1000 – 10000 m.

Απόσταση από ακτογραμμή: Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα συστήματα ΑΠΕ προτιμάται να μην εγκαθίστανται κοντά στην ακτή, κυρίως για αισθητικούς λόγους. Παρόλα αυτά, μια μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης είναι σημαντικό να βρίσκεται κοντά στην ακτογραμμή, κάτι το οποίο επιτρέπεται και από τη νομοθεσία, με σκοπό να διευκολύνεται η άντληση και απόρριψη του νερού. Όσο πιο κοντά βρίσκεται, τόσο χαμηλότερο είναι το κόστος άντλησης, αλλά και κατασκευής του δικτύου αποχέτευσης. Για τους παραπάνω λόγους, επιλέχθηκε ο ορισμός μέγιστης απόστασης εγκατάστασης 4 km από την ακτογραμμή.

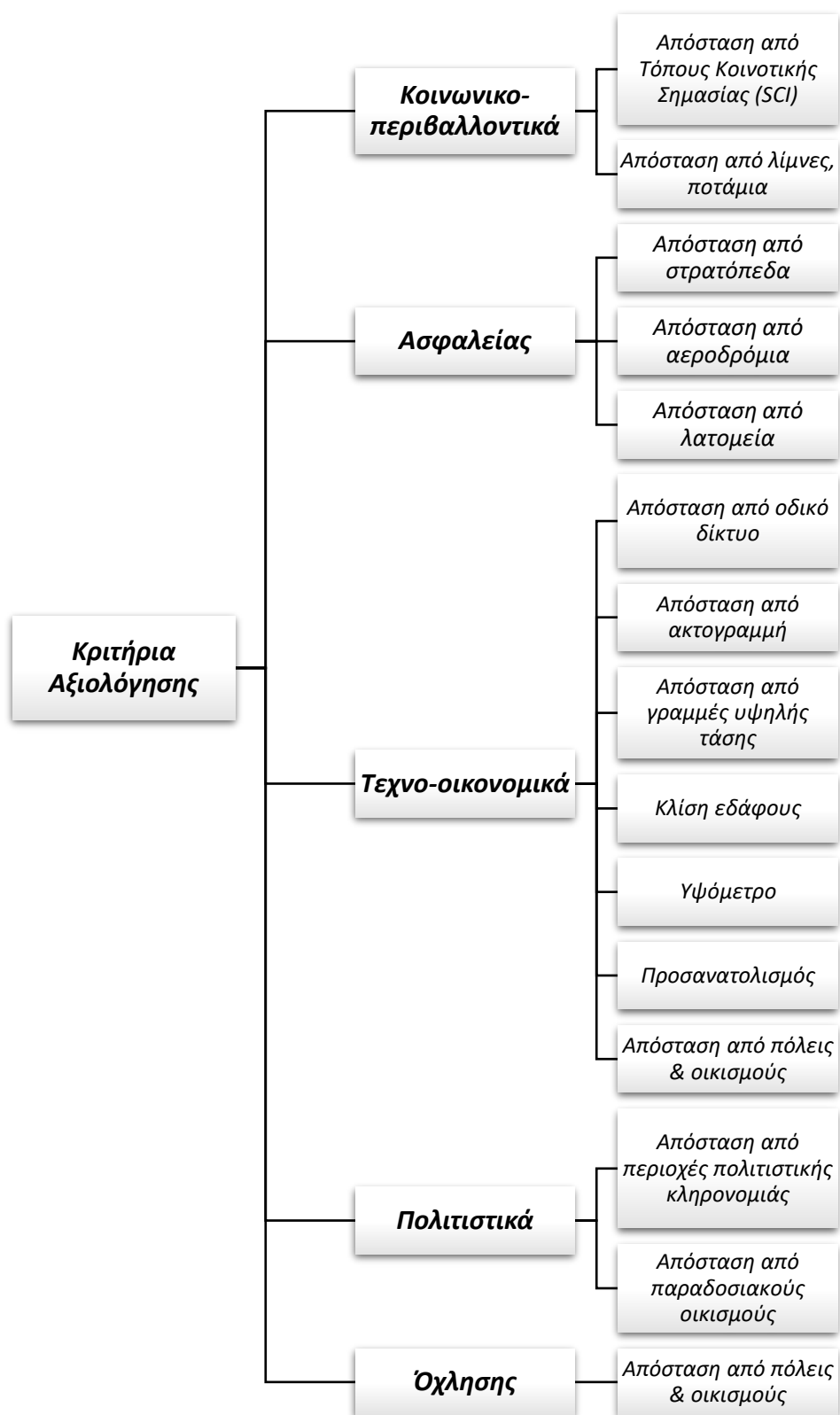
Κλίση εδάφους: Με βάση αυτό το κριτήριο, η καταλληλότητα των διαθέσιμων θέσεων χωροθέτησης, εξαρτάται από το πόσο απότομη ή ήπια είναι η κλίση του εδάφους. Περιοχές με μικρότερες κλίσεις, θεωρούνται πιο κατάλληλες για χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, καθώς μειώνουν το κόστος εκσκαφών και αυξάνουν την ευκολία πρόσβασης των συνεργείων, κατά την εγκατάσταση της μονάδας [Mohamed, 2020].

Προσανατολισμός: Ο προσανατολισμός των πλαγιών, είναι σημαντικός για τη μεγιστοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από τα ηλιοθερμικά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [Giamalaki, Tsoutsos, 2019] & [Mohamed, 2020], ο νότιος προσανατολισμός είναι ο πιο κατάλληλος, καθώς επιτυγχάνει τη μέγιστη απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Υψόμετρο: Με σκοπό τον περιορισμό των ενεργειακών αναγκών για άντληση θαλασσινού νερού, οι περιοχές με υψόμετρο μικρότερο από 300 m, θεωρούνται οι πιο κατάλληλες. Επιπρόσθετα, το μεγάλο υψόμετρο δεν είναι επιθυμητό, καθώς αυτές οι περιοχές αποικούνται από είδη της πανίδας και χλωρίδας που βρίσκονται υπό εξαφάνιση.

Απόσταση από πόλεις & οικισμούς: Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, απαγορεύεται η εγκατάσταση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης σε απόσταση μικρότερη των 500 m από τα

όρια των οικισμών. Εάν εξαιρέσουμε αυτή τη ζώνη αποκλεισμού, επιδιώκεται η εγκατάσταση των μονάδων κοντά στις πόλεις και τους οικισμούς, έτσι ώστε να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο αποχέτευσης και ύδρευσης. Έτσι εξυπηρετείται η απόρριψη της άλμης στη θάλασσα και η παροχή του αφαλατωμένου νερού εντός των πόλων και οικισμών.



Διάγραμμα 3.3. Κριτήρια Αξιολόγησης

4) Πολιτιστικά κριτήρια

Απόσταση από περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς: Λαμβάνοντας υπόψη το νόμο 3028/2002, περί προστασίας αρχαιοτήτων και εν γένη της πολιτιστικής κληρονομιάς, εφαρμόζονται προτεινόμενες ζώνες αποκλεισμού γύρω από ιστορικά μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους.

Απόσταση από παραδοσιακούς οικισμούς: Οι παραδοσιακοί οικισμοί αποτελούν περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς, ως εκ τούτου ορίζεται ελάχιστη απόσταση χωροθέτησης μονάδων από τα όρια τους, ίση με 500 m, με σκοπό τη διασφάλιση της πολιτιστικής τους ακεραιότητας.

5) Κριτήρια όχλησης

Απόσταση από πόλεις και οικισμούς: Επιδιώκεται η βέλτιστη απόσταση χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης από πόλεις και οικισμούς, έτσι ώστε να μην επιτευχθεί η αποφυγή οπτικών και ακουστικών οχλήσεων, αλλά παράλληλα να έχουν πρόσβαση στο υφιστάμενο δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης.

3.1.4 Ταξινόμηση κριτηρίων αξιολόγησης

Τα επιλεγμένα κριτήρια αξιολόγησης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, ταξινομούνται σε κλίμακα βάσει της οποίας προκύπτει η καταλληλότητα ή μη των διαθέσιμων θέσεων χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας τους νομοθετικούς περιορισμούς, τα κριτήρια αποκλεισμού και προσωπικές υποθέσεις ή βιβλιογραφικές πηγές, όσον αφορά τα εύρη αποστάσεων ή παραμέτρων για κάθε κριτήριο αντίστοιχα, προκύπτει ο πίνακας 3.1. Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1, διαμορφώθηκε η κλίμακα καταλληλότητας από ακατάλληλο έως βέλτιστο, αποτυπώνοντας ουσιαστικά ποια είναι εκείνα τα εύρη αποστάσεων ή ποσοστών ή παραμέτρων σε άλλες περιπτώσεις, κατά τα οποία η χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης κρίνεται ως ακατάλληλη, ελάχιστα κατάλληλη, μέτρια κατάλληλη, κατάλληλη και βέλτιστη. Η εν λόγω ταξινόμηση, διευκολύνει την τελική χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης και είναι μια πιο εξειδικευμένη διαδικασία, που επιτυγχάνει κατά κύριο λόγο τη βιωσιμότητα και βελτιστοποίηση της χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης.

Κριτήρια Αξιολόγησης	Ακατάλληλο	Ελάχιστα κατάλληλο	Μέτρια Κατάλληλο	Κατάλληλο	Βέλτιστο
Απόσταση από Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (m)	<100	100-500	500-1000	1000-1500	>1500
Απόσταση από λίμνες & ποτάμια (m)	<100	100-200	200-300	300-400	>400
Απόσταση από στρατόπεδα (m)	<500	500-750	750-1000	1000-1250	>1250
Απόσταση από αεροδρόμια (m)	<3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000	>6000
Απόσταση από λατομεία (m)	<500	500-750	750-1000	1000-1250	>1250
Απόσταση από οδικό δίκτυο (m)	<100 & >4000	3000-4000	2000-3000	1000-2000	100-1000
Απόσταση από ακτογραμμή (m)	>4000	3000-4000	2000-3000	1000-2000	<1000
Απόσταση από γραμμές υψηλής τάσης (m)	>10000	7000-10000	4000-7000	1000-4000	<1000
Κλίση εδάφους (%)	>28	21-28	14-21	7-14	0-7
Υψόμετρο (m)	>1500	1100-1500	700-1100	300-700	0-300
Προσανατολισμός	North	Northeast/ Northwest	East/West	Southeast/ Southwest	South
Απόσταση από περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς (m)	<500	500-1000	1000-1500	1500-2000	>2000
Απόσταση από παραδοσιακούς οικισμούς (m)	<500	500-1000	1000-1500	1500-2000	>2000
Απόσταση από πόλεις & οικισμούς (m)	<500 & >4000	500-1000 & 3500-4000	1000-1500 and 3000- 3500	1500-2000 & 2500-3000	2000-2500

Πίνακας 3.1. Ταξινόμηση κριτηρίων αξιολόγησης σε κλίμακα καταλληλότητας

3.1.5 Σταθμισμένη Ανάλυση

Έχοντας ταξινομήσει τα κριτήρια αξιολόγησης σύμφωνα με τον πίνακα 3.1, απομένει ο προσδιορισμός της σχετικής σημασίας κάθε κριτηρίου. Για αυτό το σκοπό, εφαρμόζεται μια απλοποιημένη προσέγγιση λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-criteria decision making approach - (MCDM)). Ειδικότερα, πραγματοποιείται σταθμισμένη ανάλυση (weighted analysis) των κριτηρίων αξιολόγησης, υιοθετώντας τρία διαφορετικά σενάρια (Πίνακας 3.2) τα οποία βασίζονται κατά αποκλειστικότητα σε προσωπικές προτάσεις με λογικές υποθέσεις. Επί της ουσίας, μέσω της σταθμισμένης ανάλυσης αποτυπώνεται η σπουδαιότητα και η βαρύτητα κάθε κριτηρίου στο τελικό αποτέλεσμα, έναντι των υπολοίπων. Τα σενάρια που εφαρμόζονται είναι τα εξής:

1) Ίσα σταθμισμένο σενάριο

Σε αυτό το σενάριο, όλα τα κριτήρια είναι ίσα σταθμισμένα με τιμή 1.

2) Τεχνο-οικονομικό σενάριο

Στο σενάριο αυτό, τα τεχνο-οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης έχουν διπλάσια σχετική σημασία (βαρύτητα) από τα υπόλοιπα κριτήρια. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια που αφορούν την κλίση εδάφους, το υψόμετρο, τον προσανατολισμό, καθώς επίσης και την απόσταση από οδικό δίκτυο, ακτογραμμή, περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς, πόλεις & οικισμούς και γραμμές υψηλής τάσης, λαμβάνουν την τιμή 2, σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα κριτήρια, που λαμβάνουν την τιμή 1.

3) Κοινωνικο-περιβαλλοντικό σενάριο

Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο, τα κοινωνικο-περιβαλλοντικά κριτήρια αξιολόγησης έχουν διπλάσια σχετική σημασία (βαρύτητα) από τα υπόλοιπα κριτήρια. Συγκεκριμένα, τα κριτήρια που αφορούν την απόσταση από Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (SCI) και από λίμνες & ποτάμια λαμβάνουν την τιμή 2, σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα κριτήρια που λαμβάνουν την τιμή 1.

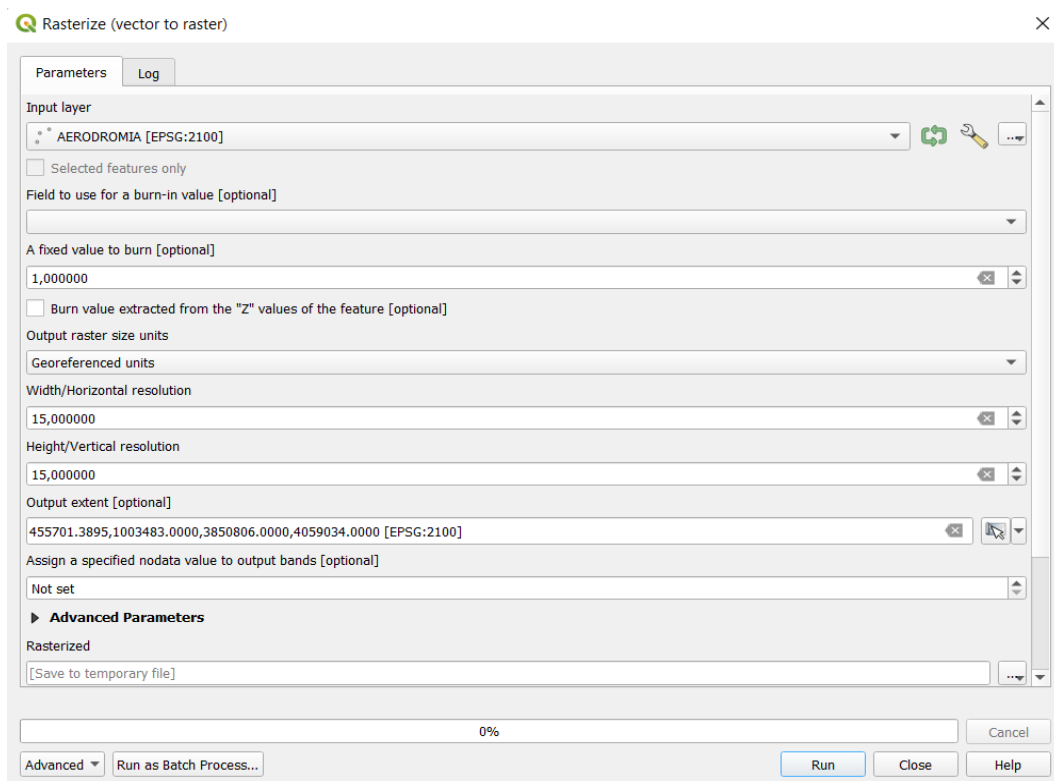
Κριτήρια Αξιολόγησης	Ίσα σταθμισμένο σενάριο	Τεχνο- οικονομικό σενάριο	Κοινωνικο- περιβαλλοντικό σενάριο
Απόσταση από Τόπους Κοινοτικής Σημασίας	1	1	2
Απόσταση από λίμνες & ποτάμια	1	1	2
Απόσταση από στρατόπεδα	1	1	1
Απόσταση από αεροδρόμια	1	1	1
Απόσταση από λατομεία	1	1	1
Απόσταση από οδικό δίκτυο	1	2	1
Απόσταση από ακτογραμμή	1	2	1
Απόσταση από γραμμές υψηλής τάσης	1	2	1
Κλίση εδάφους	1	2	1
Υψόμετρο	1	2	1
Προσανατολισμός	1	2	1
Απόσταση από περιοχές πολιτιστικής κληρονομιάς	1	1	1
Απόσταση από παραδοσιακούς οικισμούς	1	1	1
Απόσταση από πόλεις & οικισμούς	1	1	1

Πίνακας 3.2. Σχετική σημασία κριτηρίων αξιολόγησης

3.1.6 Χαρτογράφηση περιοχής μελέτης (ΓΣΠ)

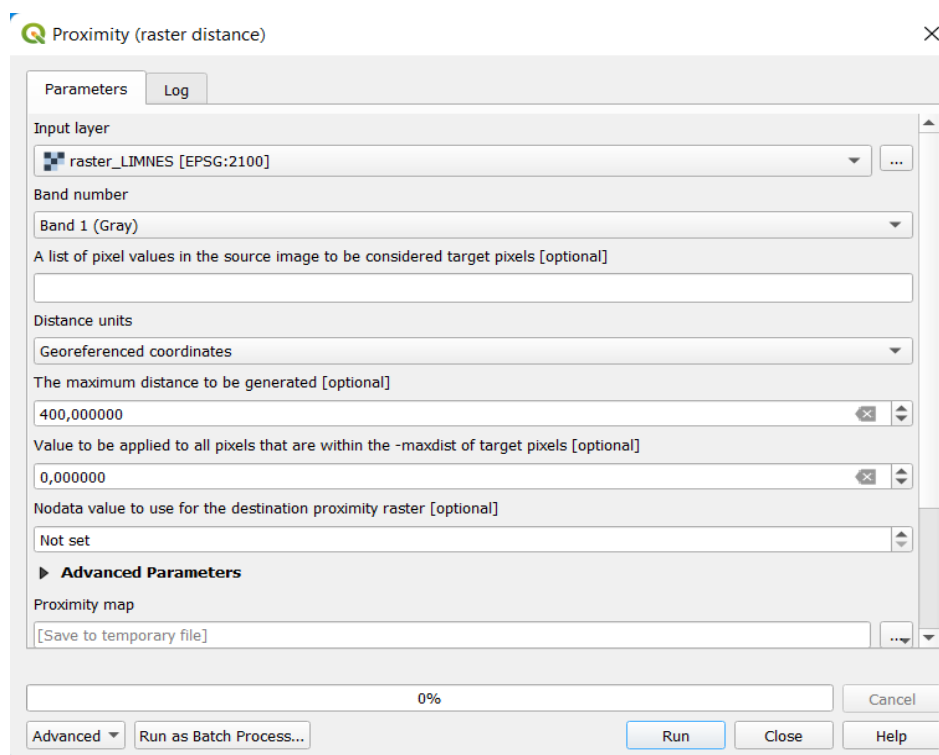
Η χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης, με σκοπό τον προσδιορισμό των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, επιτυγχάνεται με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information Systems – GIS). Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό QGIS 3.30.1, στο οποίο έγινε η επεξεργασία των δεδομένων και η παραγωγή των τελικών δυναμικών χαρτών. Η διαδικασία της χαρτογράφησης είχε τα εξής βήματα:

- 1) Συλλογή και κατέβασμα των αρχείων, που πρόκειται να μεταφορτωθούν στο λογισμικό από βάσεις δεδομένων. Τα αρχεία αφορούν τα κριτήρια αξιολόγησης και τους νομοθετικούς περιορισμούς, για παράδειγμα οικισμούς, λίμνες, ποτάμια, αεροδρόμια, στρατόπεδα κτλ.
- 2) Μεταφόρτωση των αρχείων εντός του λογισμικού με τη μορφή διανύσματος (vector). Το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων που χρησιμοποιείται, είναι το GGRS87 / Greek Grid (EPSG:2100). Τα μέτρα, ορίζονται ως μονάδα μέτρησης της απόστασης και τα τετραγωνικά μέτρα, ως μονάδα μέτρησης της επιφάνειας.
- 3) Μετατροπή των διανυσματικών δεδομένων (vector data) σε δεδομένα πλέγματος (raster data), προκειμένου να είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία τους. Οι ιδιότητες των raster, οι οποίες ρυθμίζονται κατά τη μετατροπή των αρχείων (rasterize), είναι ίδιες για όλα τα αρχεία raster. Στην εικόνα 3.1 δίνονται ως παράδειγμα, οι ρυθμίσεις μετατροπής για το αρχείο που αφορά τα αεροδρόμια, ομοίως ισχύει και για τα υπόλοιπα αρχεία.



Εικόνα 3.1. Μετατροπή vector σε raster

- 4) Χρήση του εργαλείου Buffer, με σκοπό τη δημιουργία των ζωνών αποκλεισμού γύρω από τα αεροδρόμια, τα στρατόπεδα και τα λατομεία, όπως έχει αναφερθεί στα κριτήρια αποκλεισμού. Επίσης, με το εργαλείο buffer ρυθμίζεται και ο περιορισμός χωροθέτησης σε απόσταση μεγαλύτερη από 4 km από την ακτογραμμή.
- 5) Χρήση του εργαλείου Proximity (raster distance), με σκοπό τον προσδιορισμό της μέγιστης απόστασης από τα raster. Με απλά λόγια προσδιορίζεται η επιθυμητή μέγιστη απόσταση από οικισμούς, λίμνες, ποτάμια κτλ. Για κάθε κριτήριο, αυτή η απόσταση είναι διαφορετική και προκύπτει από τον πίνακα 3.1. Συγκεκριμένα, λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη απόσταση από όλες όσες αναγράφονται στα εύρη αποστάσεων, για κάθε κριτήριο. Για παράδειγμα, η μέγιστη απόσταση για τις λίμνες είναι τα 400 m, αντιστοίχως και για τα υπόλοιπα κριτήρια. Στην εικόνα 3.2, δίνεται το παράδειγμα χρήσης του εργαλείου, για το raster που αντιστοιχεί στις λίμνες.



Εικόνα 3.2. Χρήση του Proximity tool

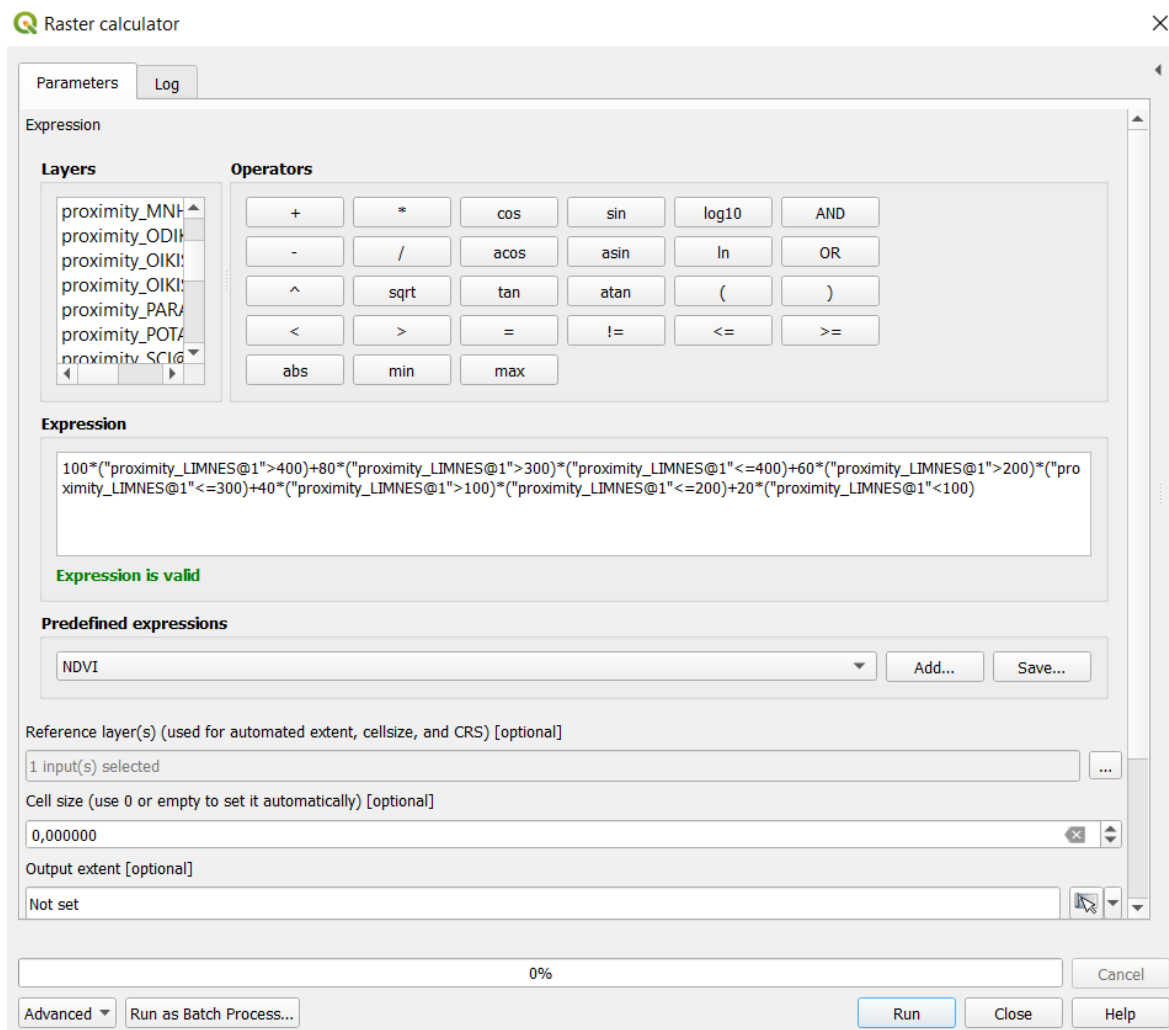
- 6) Εφαρμογή της ταξινόμησης των κριτηρίων αξιολόγησης του πίνακα 3.1 εντός του λογισμικού, χρησιμοποιώντας το εργαλείο raster calculator. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η κλίμακα καταλληλότητας από το λογισμικό, κάθε σκέλος της κλίμακας λαμβάνει μια σταθμισμένη τιμή, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3.

Κλίμακα	Ακατάλληλο	Ελάχιστα Κατάλληλο	Μέτρια Κατάλληλο	Κατάλληλο	Βέλτιστο
Σταθμισμένη Τιμή	20	40	60	80	100

Πίνακας 3.3. Σταθμισμένες τιμές κλίμακας καταλληλότητας

Συνεπώς, τα εύρη κάθε σκέλους (πίνακας 3.1) πολλαπλασιάζονται με την αντίστοιχη σταθμισμένη τους τιμή (πίνακας 3.3), δημιουργώντας μια εξίσωση που χρησιμοποιείται στο raster calculator, με σκοπό την απεικόνιση της κλίμακας

καταλληλότητας του κάθε κριτηρίου. Στην εικόνα 3.3, δίνεται ως παράδειγμα η χρήση του εργαλείου, για την διαμόρφωση της κλίμακας καταλληλότητας του proximity- λίμνες. Αντίστοιχα χρησιμοποιείται και για τα υπόλοιπα κριτήρια.

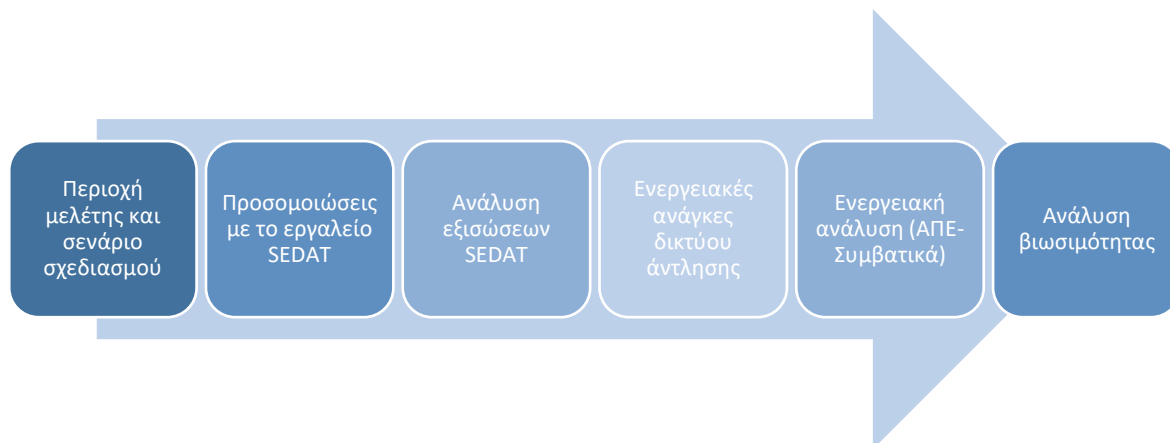


Εικόνα 3.3 Κλίμακα καταλληλότητας με χρήση του raster calculator

- 7) Εφαρμογή των νομοθετικών περιορισμών, προκειμένου να δημιουργηθούν οι ζώνες αποκλεισμού χωροθέτησης, βάση της νομοθεσίας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται overlay και επιτυγχάνεται με τη χρήση του raster calculator, όπου αθροίζονται όλα τα raster που αντιστοιχούν στους περιορισμούς του διαγράμματος 3.2, διαμορφώνοντας ένα καινούριο raster, στο οποίο απεικονίζονται μόνο οι επιτρεπόμενες θέσεις χωροθέτησης.
- 8) Εφαρμογή overlay μεταξύ των νομοθετικών περιορισμών και των κριτηρίων αποκλεισμού, με σκοπό την απεικόνιση των τελικών διαθέσιμων περιοχών χωροθέτησης.
- 9) Καταληκτικά, εφαρμόζονται τα τρία σενάρια της σταθμισμένης ανάλυσης, στις διαθέσιμες περιοχές που προέκυψαν μετά το overlay του βήματος 7. Κάθε σενάριο είναι και ένα διαφορετικό overlay, με αποτέλεσμα την παραγωγή των τελικών δυναμικών χαρτών. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, στην εξίσωση που δημιουργείται εντός του raster calculator, χρησιμοποιούνται τα raster που προέκυψαν από την ταξινόμηση του βήματος 6. Η χαρτογράφηση αυτή, επιτυγχάνει την ταξινόμηση των διαθέσιμων περιοχών χωροθέτησης, σε ακατάλληλες έως βέλτιστες.

3.2 Τεχνο-οικονομική μελέτη εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία της χαρτογράφησης, ακολουθεί η τεχνο-οικονομική μελέτη εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, μέσω της διαδικασίας που απεικονίζεται στο διάγραμμα 3.4. Για τη μελέτη αυτή, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο SEDAT (Solar Energy Desalination Analysis Tool), ένα εύχρηστο λογισμικό προσομοιώσεων μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, που παρέχει αρκετούς διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνολογιών [Fthenakis et al., 2022].



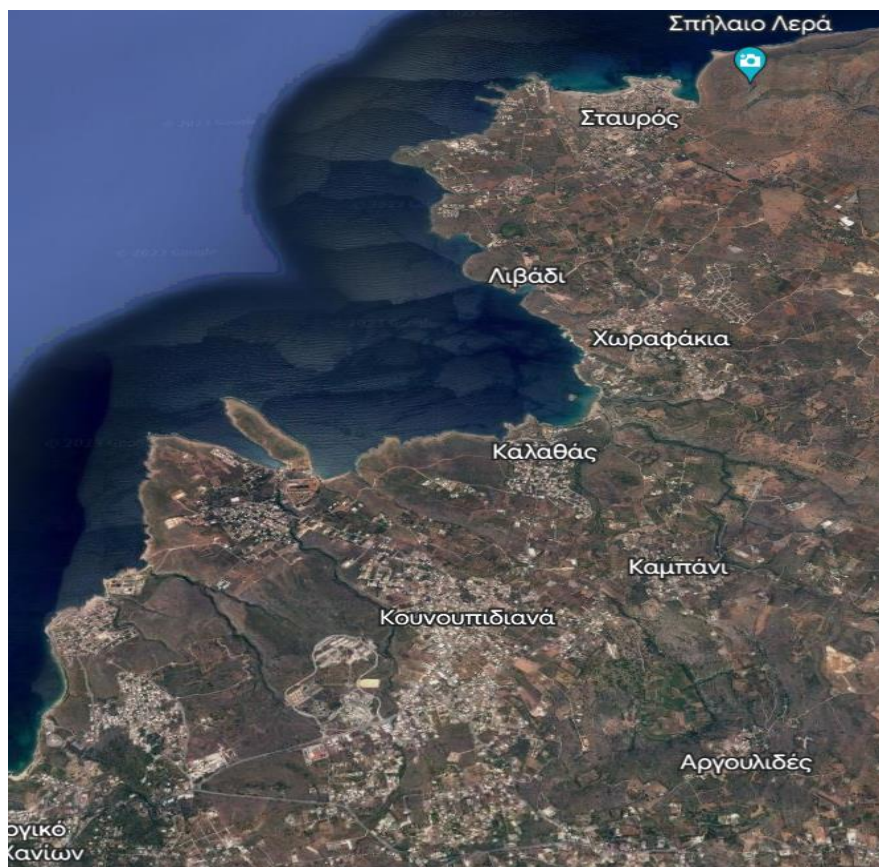
Διάγραμμα 3.4. Μεθοδολογία τεχνο-οικονομικής μελέτης εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

Η μεθοδολογία της μελέτης, περιλαμβάνει έξι στάδια. Αρχικά, επιλέγεται η περιοχή μελέτης σε τοπικό επίπεδο και εκτιμάται η απαιτούμενη ζήτηση νερού του εξυπηρετούμενου πληθυσμού. Έπειτα, αφού επιλεγθεί ο συνδυασμός τεχνολογιών ηλιοθερμικών συστημάτων και συστημάτων αφαλάτωσης, που θα απαρτίζουν την μονάδα, γίνονται οι προσομοιώσεις μέσω του εργαλείου SEDAT. Προκύπτουν λεπτομερή και πολυδιάστατα τεχνικά και οικονομικά αποτελέσματα, τα οποία εν συνεχεία υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία. Επόμενο βήμα, αποτελεί η ενεργειακή ανάλυση του δικτύου άντλησης, προκειμένου να υπολογιστούν οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες για την άντληση της επιθυμητής ποσότητας θαλασσινού νερού από τη μονάδα. Προτελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας, αποτελεί η ενεργειακή ανάλυση της συνολικής εγκατάστασης, προκειμένου να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες της σε ηλεκτρική ενέργεια. Εφαρμόζονται δύο σενάρια, όπου στην πρώτη περίπτωση η ενέργεια καλύπτεται από το δίκτυο (συμβατικά καύσιμα) και στη δεύτερη περίπτωση από φωτοβολταϊκό πάρκο (ΑΠΕ), που σχεδιάζεται και εγκαθίσταται δίπλα στη μονάδα. Εν κατακλείδι, αναλύεται η βιωσιμότητα της εγκατάστασης λαμβάνοντας υπόψη το περιβαλλοντικό της αντίκτυπο, αλλά και την οικονομική της βιωσιμότητα.

3.2.1 Περιοχή μελέτης και σενάριο σχεδιασμού

Ως περιοχή μελέτης, επιλέχθηκε η Δημοτική Κοινότητα Κουνουπιδιανών Χανίων, της Δημοτικής Ενότητας Ακρωτηρίου, που υπάγεται στην Περιφερειακή Ενότητα Χανίων. Η Δημοτική Κοινότητα Κουνουπιδιανών, περιλαμβάνει τους οικισμούς Κουνουπιδιανά, Καλαθά, Σταυρό, Καμπάνι και Χωραφάκια, όπως αυτοί φαίνονται στην εικόνα 3.3. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) και ειδικότερα την απογραφή του 2021, ο μόνιμος πληθυσμός της υπό εξέταση δημοτικής κοινότητας, ανέρχεται στους 9.220

κατοίκους, οι οποίοι πρόκειται να αποτελέσουν τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.



Εικόνα 3.4. Περιοχή μελέτης (πηγή: Google Earth)

Σενάριο Σχεδιασμού

Προκειμένου να προσδιορισθεί η επιθυμητή ημερήσια παραγωγή πόσιμου νερού (design capacity) από τη μονάδα, εκτιμάται αρχικά η απαιτούμενη ζήτηση πόσιμου νερού. Η δυσκολία και αδυναμία εύρεσης πραγματικών δεδομένων από τις δημοτικές επιχειρήσεις ύδρευσης-αποχέτευσης (ΔΕΥΑ) της περιοχής, αλλά και ολόκληρης της Κρήτης, οδήγησε στην εκτίμηση της ζήτησης, με βάση τον πληθυσμό και την ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο. Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία [Londra et al., 2015], η ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο στην Ελλάδα, κυμαίνεται από 100 L/capita/d έως 200 L/capita/d. Στην παρούσα εργασία λαμβάνεται υπόψη η τιμή 200 L/cap/d, προκειμένου να καλύπτεται σε κάθε περίπτωση η ζήτηση. Επιπλέον, επεξεργάζοντας τα περιορισμένα δεδομένα που ελήφθησαν από τη ΔΕΥΑ Χανίων και τη ΔΕΥΑ Βόρειου Άξονα και αξιολογώντας πληροφορίες από τοπικούς φορείς και επιχειρήσεις, εκτιμήθηκε η επιπλέον ζήτηση πόσιμου νερού, κατά τη θερινή περίοδο (15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου). Συγκεκριμένα, έγινε η υπόθεση ότι κατά το διάστημα αυτό, η ζήτηση πόσιμου νερού είναι διπλάσια από τον υπόλοιπο χρόνο, κυρίως λόγω του τουρισμού. Ως εκ τούτου, εφαρμόστηκε το εξής σενάριο σχεδιασμού της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης:

Οι απαιτήσεις του μόνιμου εξυπηρετούμενου πληθυσμού (9220 κάτοικοι), ανέρχονται σε περίπου 1850 m³/d. Εφαρμόζοντας την υπόθεση που αναφέρθηκε παραπάνω, την περίοδο 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου, η ζήτηση είναι διπλάσια της κανονικής και ανέρχεται στα 3700

m³/d. Συνεπώς, σχεδιάζεται μονάδα η οποία πρόκειται να καλύψει την επιπλέον αυτή αύξηση που παρατηρείται το καλοκαίρι, δηλαδή το 50% της συνολικής ζήτησης, που αντιστοιχεί σε 1850 m³/d. Σημειώνεται, ότι η μονάδα θα λειτουργεί και τους υπόλοιπους μήνες, αλλά με μειωμένη ημερήσια παραγωγή, καθώς βασικός στόχος είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής, κατά τους θερινούς μήνες.

3.2.2 Προσομοιώσεις με το εργαλείο SEDAT

Ο σχεδιασμός της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης του λογισμικού SEDAT (Solar Energy Desalination Analysis Tool), το οποίο προσομοιώνει μοντέλα ηλιακής αφαλάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται η δυνατότητα επιλογής των τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση, όπου επιλέγεται ένας συνδυασμός μεταξύ θερμικών συστημάτων και συστημάτων αφαλάτωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι προσομοιώσεις γίνονται για μονάδα που χρησιμοποιεί επίπεδους στατικούς συλλέκτες (Static Collector-Flat Plate), ως ηλιακό θερμικό σύστημα και απόσταση πολλαπλών βαθμίδων με θερμική συμπίεση ατμών (Multi-effect Distillation – Thermal Vapor Compression), ως σύστημα αφαλάτωσης.

Ρύθμιση παραμέτρων

Το SEDAT λαμβάνει υπόψη πολλές διαφορετικές παραμέτρους, προκειμένου να προσομοιώσει τα μοντέλα. Αυτές οι παράμετροι, αφορούν το σύστημα αφαλάτωσης, το θερμικό σύστημα και οικονομικές παραμέτρους. Οι περισσότερες παράμετροι, έχουν προεπιλεγμένη τιμή (default), που έχει ορισθεί από τους ίδιους τους σχεδιαστές του λογισμικού. Ορισμένες τιμές, ωστόσο, μεταβλήθηκαν προκειμένου να προσαρμόζονται στις τωρινές συνθήκες και στις συνθήκες που αφορούν την περιοχή μελέτης. Επιπλέον, ορισμένες παράμετροι αποτέλεσαν μεταβλητές ελέγχου, για τη διεξαγωγή 10 σεναρίων προσομοίωσης. Στον πίνακα 3.4, δίνονται ορισμένες σταθερές παράμετροι που αξίζουν αναφοράς. Αναφέρεται, επίσης, ότι ελήφθησαν δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας από το PVGIS - Photovoltaic Geographical Information Systems [EU Science Hub, [12/2022]], τα οποία ενσωματώθηκαν στο SEDAT, ώστε τα αποτελέσματα να βασίζονται σε πραγματικές συνθήκες, που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης.

Παράμετροι	Τιμή	Πηγή
Plant Capacity	1850 m ³ /d	-
Specific Electricity Consumption	1,5 kWh/m ³	Default
Levelized Cost of Electricity	0,0445 €/kWh	Default
Feed Concentration	35 g/L	Default
Average interest rate	5 %	Default
Land Cost	20.000 €/acre	Real estate agents
Collector Cost	220 €/m ²	Estimation
Plant lifetime	20 years	-

Πίνακας 3.4. Σταθερές παράμετροι σχεδιασμού

Οι προσομοιώσεις που έλαβαν χώρα, βασίστηκαν σε 10 διαφορετικά σενάρια, από τα οποία τα τελευταία δύο ήταν διερευνητικά, προκειμένου να αποκλειστούν δύο συγκεκριμένες υποθέσεις. Τα υπόλοιπα 8 σενάρια, βασίστηκαν σε δύο παραμέτρους, τη

συμμετοχή ή μη συμβατικών καυσίμων (fossil fuel participation) στην κάλυψη των θερμικών αναγκών της μονάδας και την ονομαστική δυναμικότητα (Design Thermal Energy Consumption) του θερμικού συστήματος. Ειδικότερα, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.5, τα πρώτα 4 σενάρια εισάγουν τη χρήση συμβατικών καυσίμων στην κάλυψη των θερμικών ενεργειακών αναγκών της μονάδας, όταν το ηλιακό θερμικό σύστημα δεν μπορεί να καλύψει περισσότερο από το 80% αυτών. Παράλληλα, σε κάθε επιμέρους σενάριο μεταβάλλεται η ονομαστική δυναμικότητα του θερμικού συστήματος ανά 4 MW (4-16 MW). Ομοίως και στα υπόλοιπα 4 σενάρια, μόνο που σε αυτά δεν υπάρχει καθόλου συμμετοχή συμβατικών καυσίμων. Σημειώνεται, ότι και στα 8 σενάρια το ποσοστό ανάκτησης νερού - διαπερατό/τροφοδοσίας (assumed recovery rate), έχει ορισθεί στο 40% και ταυτόχρονα λειτουργεί 12 h/d θερμική αποθήκευση (thermal storage), με σκοπό την αύξηση της απόδοσης της μονάδας σε ώρες με χαμηλή ηλιοφάνεια. Τα τελευταία δύο σενάρια, στα οποία δεν υπάρχει συμμετοχή συμβατικών καυσίμων και η ονομαστική δυναμικότητα του θερμικού συστήματος είναι 16 MW, είναι διερευνητικά. Πιο συγκεκριμένα, στο 9^ο σενάριο δεν υπάρχει καθόλου θερμική αποθήκευση, ενώ στο 10^ο σενάριο το ποσοστό ανάκτησης νερού ορίστηκε 30%. Οι εν λόγω διερευνήσεις, στοχεύουν στην ανάδειξη της σημαντικότητας των δύο αυτών παραμέτρων, στην αυξομείωση της απόδοσης της μονάδας. Η μετέπειτα αξιολόγηση των σεναρίων, έχει ως βασικά κριτήρια το μέγεθος του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού (Water Production), κατά το διάστημα 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου και το κόστος της παραγωγής του (Levelized Cost of Water-LCOW).

Σενάρια	Design Thermal Energy Consumption (MW)	Fossil Fuel Participation	Assumed Recovery Rate (%)	Thermal Storage (h)
1 ^ο	4	0,8	40	12
2 ^ο	8	0,8	40	12
3 ^ο	12	0,8	40	12
4 ^ο	16	0,8	40	12
5 ^ο	4	0	40	12
6 ^ο	8	0	40	12
7 ^ο	12	0	40	12
8 ^ο	16	0	40	12
9 ^ο	16	0	40	0
10 ^ο	16	0	30	12

Πίνακας 3.5. Σενάρια Προσομοίωσης

Η μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης, εκτός από τη θερμική ενέργεια που παράγεται από το θερμικό σύστημα, απαιτεί και ηλεκτρική ενέργεια για την διεργασία της άντλησης και αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού. Το λογισμικό SEDAT, προσομοιώνει θεωρώντας ότι η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο (electricity grid). Παρόλα αυτά, στη συγκεκριμένη μελέτη θα εφαρμοσθεί ένα επιπλέον σενάριο, βάσει του οποίου η ηλεκτρική ενέργεια θα παράγεται από φωτοβολταϊκό πάρκο (ΑΠΕ), που εγκαθίσταται πλησίον της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης. Η πιθανή θέση εγκατάστασης της μονάδας, δίνεται στα αποτελέσματα, όπου θα έχουν προσδιορισθεί οι βέλτιστες θέσεις εγκατάστασης στη Δημοτική Ενότητα Ακρωτηρίου.

3.2.3 Ανάλυση εξισώσεων SEDAT

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η παραγωγή ορισμένων αποτελεσμάτων, που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4, δίνονται ορισμένες από τις εξισώσεις (μοντέλα) στις οποίες βασίζεται το εργαλείο SEDAT. Επιπλέον, παρουσιάζονται και ορισμένες απλές εξισώσεις, που χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων, με σκοπό την εξαγωγή πιο σύνθετων συμπερασμάτων.

Οικονομικά μοντέλα

1) Σταθμισμένο κόστος θερμότητας (LCOH)

$$LCOH = \frac{FCR \times TCC + FOC}{AEP} + VOC \quad [\$ / kWh] \quad (3.1)$$

Όπου:

LCOH: σταθμισμένο κόστος θερμότητας (συμβατικά καύσιμα) [\$/kWh]

FCR: πάγιο επιτόκιο χρέωσης

TCC: κόστος κεφαλαίου [€]

FOC: πάγιο ετήσιο κόστος λειτουργίας [€]

VOC: μεταβλητό κόστος λειτουργίας [\$/kWh]

AEP: ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [kWh]

2) Μοναδιαίο κόστος επένδυσης (CAPEX)

$$CAPEX = \frac{C_o}{Q_p} \times \frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \quad [\$ / m^3] \quad (3.2)$$

Όπου:

CAPEX: μοναδιαίο κόστος κεφαλαίου [\$/m³]

C_o: αρχικό κόστος κεφαλαίου για τη μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης [€]

Q_p: ετήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού [m³]

r: επιτόκιο

t: χρόνος ζωής μονάδας [yr]

3) Μοναδιαίο ενεργειακό κόστος (Unit energy cost)

$$\text{Unit energy cost} = SEC \times LCOE + STEC \times LCOH \quad [\$ / m^3] \quad (3.3)$$

Όπου:

Unit energy cost: συνολικό κόστος ενέργειας [\$/m³]

SEC: ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [kWh/m³]

STEC: ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας [kWh/m³]

LCOE: σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας [\$/kWh]

LCOH: σταθμισμένο κόστος θερμότητας [\$/kWh]

Σημειώνεται, ότι στο σενάριο όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ΑΠΕ, η εξίσωση (3.3) δεν λαμβάνει υπόψη το πρώτο σκέλος (SEC × LCOE), καθώς δεν αγοράζεται ενέργεια από το δίκτυο, αλλά παράγεται αυτόνομα από το Φ/Β πάρκο.

4) Κόστος λειτουργίας & συντήρησης (OPEX)

$$\text{OPEX} = \text{Unit energy cost} + \text{Ope}_{\text{other}} \text{ [$/m}^3\text{]} \quad (3.4)$$

Όπου:

OPEX: κόστος λειτουργίας & συντήρησης ανά μονάδα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του κόστους ενέργειας και άλλα κόστη [\$/m³]

Unit energy cost: συνολικό κόστος ενέργειας [\$/m³]

Ope_{other}: άλλα κόστη λειτουργίας και συντήρησης όπως εργασία, ασφάλεια κτλ. [\$/m³]

5) Σταθμισμένο κόστος νερού (LCOW)

$$\text{LCOW} = \text{CAPEX} + \text{OPEX} \text{ [$/m}^3\text{]} \quad (3.5)$$

Όπου:

LCOW: σταθμισμένο κόστος νερού [\$/m³]

CAPEX: μοναδιαίο κόστος κεφαλαίου [\$/m³]

OPEX: κόστος λειτουργίας & συντήρησης ανά μονάδα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του κόστους ενέργειας και άλλα κόστη [\$/m³]

Επιπρόσθετες εξισώσεις

1) Ετήσιες ανάγκες θερμικής ενέργειας (Thermal Energy)

$$\text{Thermal Energy} = \text{STEC} \times \text{Water Production} \text{ [kWh]} \quad (3.6)$$

Όπου:

Thermal Energy: ετήσιες ανάγκες θερμικής ενέργειας [kWh]

STEC: ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας [kWh/m³]

Water Production: ετήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού [m³]

2) Ετήσιες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας (Electricity)

$$\text{Electricity} = \text{SEC} \times \text{Water Production} \text{ [kWh]} \quad (3.7)$$

Όπου:

Electricity: ετήσιες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας [kWh]

SEC: ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [kWh/m³]

Water Production: ετήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού [m³]

3) Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης (OPEX)

$$\text{OPEX}_{\text{annual}} = \text{OPEX} \times \text{Water Production} \text{ [\$]} \quad (3.8)$$

Όπου:

OPEX_{annual}: ετήσιο κόστος λειτουργίας & συντήρησης ανά μονάδα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του κόστους ενέργειας και άλλα κόστη [\$/m³]

OPEX: κόστος λειτουργίας & συντήρησης ανά μονάδα παραγωγής, συμπεριλαμβανομένου του κόστους ενέργειας και άλλα κόστη [\$/m³]

Water Production: ετήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού [m³]

3.2.4 Ενεργειακές ανάγκες δικτύου άντλησης

Το λογισμικό SEDAT, δεν λαμβάνει υπόψη την άντληση του θαλασσινού νερού, παρά μόνο τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εντός της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης. Προκειμένου η μελέτη να είναι ολοκληρωμένη, υπολογίζεται προσεγγιστικά η ενέργεια που απαιτείται ετησίως για την άντληση της επιθυμητής ποσότητας νερού. Μετά από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας [Λαγγούσης, Φουρνιώτης, 2020], χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εξισώσεις:

1) Απαιτούμενη ισχύς αντλίας (P)

$$P = \frac{\gamma \times Q_{κατ} \times H_{μαν}}{n} \text{ [kW]} \quad (3.9)$$

Όπου:

P: η ισχύς της αντλίας [kW]

γ : το ειδικό βάρος του νερού [$\gamma=9,81 \text{ kN/m}^3$]

$Q_{κατ}$: η παροχή του καταθλιπτικού αγωγού [m^3/s]

$H_{μαν}$: το μανομετρικό ύψος της αντλίας [m]

n: ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας [0,75]

2) Απαιτούμενη ενέργεια ετησίως (E)

$$E = \frac{\gamma \times V \times H_{μαν}}{3600 \times n} \text{ [kWh]} \quad (3.10)$$

Όπου:

E: η καταναλισκόμενη ενέργεια [kWh]

γ : το ειδικό βάρος του νερού [$\gamma=9,81 \text{ kN/m}^3$]

V: ο όγκος του νερού που ανυψώνεται σε ύψος $H_{μαν}$ [m^3]

$H_{μαν}$: το μανομετρικό ύψος της αντλίας [m]

n: ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας [0,75]

3) Μανομετρικό ύψος της αντλίας ($H_{μαν}$)

$$H_{μαν} = h_{υψομετρικό} + h_f + \frac{v^2}{2g} \text{ [m]} \quad (3.11)$$

Όπου:

$H_{μαν}$: το μανομετρικό ύψος της αντλίας (m)

$h_{υψομετρικό}$: η υψομετρική διαφορά μεταξύ της θάλασσας και της θέσης εγκατάστασης της μονάδας [m]

h_f : οι γραμμικές απώλειες ενέργειας κατά μήκος του αγωγού [m]

v: η μέση ταχύτητα ροής στον αγωγό [m/s]

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

4) Γραμμικές απώλειες ενέργειας – Darcy Weisbach (h_f)

$$h_f = f \times \frac{L \times v^2}{D \times 2g} \text{ [m]} \quad (3.12)$$

Όπου:

h_f : οι γραμμικές απώλειες ενέργειας κατά μήκος του αγωγού [m]

L : το μήκος του αγωγού [m]

D : η εσωτερική διάμετρος του αγωγού [m]

v : η μέση ταχύτητα ροής στον αγωγό [m/s]

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

f : ο αδιάστατος συντελεστής γραμμικών απωλειών

5) Μέση ταχύτητα ροής (v)

$$v = \frac{Q_{κατ}}{A} = \frac{4Q_{κατ}}{\pi \times D^2} \text{ [m/s]} \quad (3.13)$$

Όπου:

v : η μέση ταχύτητα ροής στον αγωγό [m/s]

$Q_{κατ}$: η παροχή του καταθλιπτικού αγωγού [m^3/s]

π : μαθηματική σταθερά (3,14)

D : η εσωτερική διάμετρος του αγωγού [m]

6) Παροχή καταθλιπτικού αγωγού ($Q_{κατ}$)

$$Q_{κατ} = \frac{\text{Water production}}{\text{Assumed Recovery Rate}} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (3.14)$$

Όπου:

$Q_{κατ}$: η παροχή του καταθλιπτικού αγωγού [m^3/s]

Water Production: παραγωγή αφαλατωμένου νερού [m^3/s]

Assumed Recovery Rate: το ποσοστό ανάκτησης νερού της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

Τα δεδομένα του πίνακα 3.6, χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων. Αναφέρεται, ότι η τιμή του αδιάστατου συντελεστή γραμμικών απωλειών, θεωρήθηκε ίση με 0,025.

Παράμετρος	Τιμή
Μήκος αγωγού (L)	250 m
Διάμετρος αγωγού (D)	0,30 m
Υψομετρική διαφορά ($h_{\text{υψομετρικό}}$)	20 m

Πίνακας 3.6. Δεδομένα δικτύου άντλησης

3.2.5 Ενεργειακή ανάλυση (ΑΠΕ - Συμβατικά)

Εφαρμόζονται δύο σενάρια κάλυψης των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία απαιτείται τόσο για την άντληση, όσο και για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Τα σενάρια δίνονται παρακάτω:

1) Σενάριο 1^ο – Ηλεκτρικό Δίκτυο (Συμβατικά καύσιμα)

Το λογισμικό SEDAT προσομοιώνει με βάση αυτό το σενάριο, δηλαδή η μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο (electricity grid) και προμηθεύεται αποκλειστικά από αυτό ηλεκτρική ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, προμηθεύεται ενέργεια με κόστος 0,0445 €/kWh (σταθμισμένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας).

2) Σενάριο 2^ο - Φωτοβολταϊκό πάρκο (ΑΠΕ)

Στην περίπτωση αυτή, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την αφαλάτωση και την άντληση του θαλασσινού νερού, πρόκειται να παραχθεί μέσω φωτοβολταϊκού (Φ/Β) πάρκου, που θα βρίσκεται πλησίον της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης.

Με βάση το εργαλείο PVGIS, η ολική ηλιακή ακτινοβολία (GHI) στην περιοχή μελέτης, είναι περίπου 1900 kWh/m²/yr. Μετά από έρευνα αγοράς, επιλέχθηκε η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ SHARP 450Wp/Mono: NU-JD450. Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας SHARP (<http://global.sharp/>), το συγκεκριμένο πάνελ έχει τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στην εικόνα 3.5. Γνωρίζοντας ότι έχει μέγιστη ισχύ 450 W και απόδοση 20,4%, γίνεται η διαστασιολόγηση του Φ/Β συστήματος, με βάση τις παρακάτω εξισώσεις:

1) *Συνολική ισχύς συστήματος (PV Power)*

$$PV \text{ Power} = \frac{E_{\text{απαιτούμενη}}}{365 \times 24} \times \frac{1}{n_{pv}} \text{ [kW]} \quad (3.15)$$

Όπου:

PV Power: η συνολική ισχύς του συστήματος [kW]

E_{απαιτούμενη}: η συνολική ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την αφαλάτωση και άντληση του θαλασσινού νερού [kWh]

n_{pv}: η απόδοση του Φ/Β πάνελ

2) *Αριθμός εγκατεστημένων Φ/Β πάνελ (Number of Solar Panels)*

$$\text{Solar Panels} = \frac{PV \text{ Power}}{\text{Maximum Power}} \quad (3.16)$$

Όπου:

PV Power: η συνολική ισχύς του συστήματος [kW]

Maximum Power: η μέγιστη ισχύς του πάνελ [450 Wp]

3) *Επιφάνεια Φ/Β συστήματος (Photovoltaic surface)*

$$\text{Photovoltaic surface} = \text{Solar Panels} \times A_{\text{panel}} \times \Sigma.\Pi \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.17)$$

Όπου:

Photovoltaic surface: η επιφάνεια του Φ/Β συστήματος [m²]

Solar Panels: ο αριθμός των εγκατεστημένων Φ/Β πάνελ

A_{panel}: η επιφάνεια κάθε πάνελ [2,108×1,048 m²]

Σ.Π: Συντελεστής προσαύξησης [1,2], προκειμένου να ληφθεί υπόψιν ο χώρος που καταλαμβάνεται από εξαρτήματα κτλ.

4) *Επενδυτικό κόστος (Capital cost)*

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, το κόστος εγκατάστασης 1 kW, κυμαίνεται μεταξύ 1000-1500 €. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρείται τιμή 1200 €/kW, η οποία περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των Φ/Β πάνελ και των λοιπών εξοπλισμών του συστήματος. Συνεπώς:

$$\text{Capital cost} = 1200 \text{ €/kW} \times PV \text{ Power [€]} \quad (3.18)$$

Όπου:

Capital cost: το επενδυτικό κόστος του Φ/Β συστήματος [€]

PV Power: η συνολική ισχύς του συστήματος [kW]

5) Ετήσιο κόστος λειτουργίας & συντήρησης (OPEX)

Εκτιμάται ότι το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του Φ/Β συστήματος, θα ανέρχεται στο 1,5 % του επενδυτικού κόστους. Άρα:

$$\text{OPEX} = 0,015 \times \text{Capital cost [€]} \quad (3.19)$$

Όπου:

OPEX: το ετήσιο κόστος λειτουργίας & συντήρησης του Φ/Β συστήματος [€]

Capital cost: το επενδυτικό κόστος του Φ/Β συστήματος [€]

SOLAR PANEL

450 Wp/ Mono: NUJD450

144 half-cell solar panel designed for large free-field and commercial rooftop photovoltaic systems, optimized for long-term reliability and performance.

Key features

- The project solution (1,500 V)
- High module efficiency (20.4%)
- 144 Half-cells, M6 wafer (panel size: 2,108 x 1,048 x 35 mm)
- 9 busbar technology + temperature coefficient of -0.347%/°C increasing the power gain
- Robust product design (tests passed: PID resistance, Salt mist IEC61701, Ammonia IEC62716, Sand and Dust IEC60068)
- Proven quality (VDE IEC/EN 61215 + IEC/EN61730, Safety Class II, CE, Fire Rating Class C)
- Reliable Guarantee: 25 years linear power output guarantee and 15 years product guarantee (Applicable for modules installed within the EU and additional listed countries. Please check the guarantee conditions for your area before purchasing.)
- Guaranteed positive power tolerance (at least the specified value and up to 5 % more is achieved)

Εικόνα 3.5. Χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ SHARP 450Wp/Mono: NU-JD450 (πηγή: Sharp Global)

3.2.6 Ανάλυση βιωσιμότητας

Η βιωσιμότητα της εγκατάστασης, αναλύεται σε δύο ξεχωριστά σκέλη, όπου το πρώτο αφορά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα που αφήνει και το δεύτερο αφορά την οικονομική της βιωσιμότητα.

ι. Περιβαλλοντικό αποτύπωμα

Στα πρώτα 4 σενάρια, όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 3.2.2, υπάρχει συμμετοχή συμβατικών καυσίμων, προς κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται η χρήση φυσικού αερίου, προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες θερμικής ενέργειας της μονάδας, όταν το ηλιακό θερμικό σύστημα αδυνατεί να τις καλύψει. Σύμφωνα με την αμερικανική υπηρεσία ενημέρωσης για θέματα ενέργειας (EIA, 2023), οι εκπομπές CO₂ από τη χρήση φυσικού αερίου ως καύσιμο, ανέρχονται στους 52,91×10⁶ tn CO₂/ 10¹⁵ Btu. Αναλογικά, η τιμή αυτή ισούται με 180,5 g

CO₂/kWh. Επιπλέον, στο σενάριο όπου η μονάδα είναι συνδεδεμένη και τροφοδοτείται από το δίκτυο υψηλής τάσης της περιοχής μελέτης (ΔΕΗ), υπάρχει επιπλέον εκπομπή CO₂ ίση με 407,35 g CO₂/kWh. Λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές εκπομπής του CO₂, υπολογίζονται οι ετήσιες εκπομπές CO₂, κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης για τα δύο σενάρια (ΑΠΕ – Συμβατικά), σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

1) Σενάριο 1^ο – Ηλεκτρικό Δίκτυο (Συμβατικά καύσιμα)

Στα πρώτα 4 σενάρια προσομοίωσης, περιλαμβάνονται εκπομπές CO₂ από τη χρήση φυσικού αερίου και την τροφοδότηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο (ΔΕΗ):

$$E_{CO_2} = \text{Total Fuel Usage} \times 180,5 \frac{g CO_2}{kWh} \times 10^{-6} \frac{tn}{g} + (\text{Electricity} + E) \times 407,35 \frac{g CO_2}{kWh} \times 10^{-6} \frac{tn}{g} \quad (3.20)$$

[tn/yr]

Όπου:

E_{CO_2} : οι ετήσιες εκπομπές CO₂ [tn/yr]

Total Fuel Usage: η ετήσια θερμική ενέργεια από τη χρήση φυσικού αερίου [kWh]

Electricity: η ετήσια απαίτηση της μονάδας σε ηλεκτρική ενέργεια [kWh]

E: η ετήσια καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια για άντληση [kWh]

Στα υπόλοιπα 6 σενάρια προσομοίωσης, δεν χρησιμοποιείται φυσικό αέριο, συνεπώς οι εκπομπές CO₂ διαμορφώνονται ως εξής:

$$E_{CO_2} = (\text{Electricity} + E) \times 407,35 \frac{g CO_2}{kWh} \times 10^{-6} \frac{tn}{g} \quad (3.21)$$

[tn/yr]

2) Σενάριο 2^ο - Φωτοβολταϊκό πάρκο (ΑΠΕ)

Στο σενάριο αυτό, οι εκπομπές CO₂ είναι περιορισμένες και οφείλονται εξ ολοκλήρου στη χρήση φυσικού αερίου, συνεπώς μόνο στα πρώτα 4 σενάρια προσομοίωσης παρατηρούνται εκπομπές, στα υπόλοιπα είναι μηδενικές:

$$E_{CO_2} = \text{Total Fuel Usage} \times 180,5 \frac{g CO_2}{kWh} \times 10^{-6} \frac{tn}{g} \quad (3.22)$$

[tn/yr]

Στον πίνακα 3.7, δίνονται συνοπτικά όλα τα σενάρια προσομοίωσης, στα οποία η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζεται, είτε από το ηλεκτρικό δίκτυο, είτε από το Φ/Β σύστημα.

ii. Οικονομική βιωσιμότητα

Η οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, βασίζεται στο ύψος του κόστους επένδυσης και κόστους λειτουργίας και συντήρησης, σε κάθε σενάριο προσομοίωσης, αντίστοιχα. Επιπλέον, λαμβάνει υπόψη τα έσοδα της μονάδας, από την πώληση της περίσσειας θερμικής ενέργειας και την πώληση δικαιωμάτων εκπομπών CO₂. Συγκεκριμένα, η μονάδα σε ορισμένες περιπτώσεις παράγει περισσότερη θερμική ενέργεια από αυτή που καταναλώνει (curtailed thermal energy), με αποτέλεσμα να ενδείκνυται η πώλησή της σε δημόσιους ή ιδιωτικούς φορείς, σε τιμή πώλησης ίση με το σταθμισμένο κόστος θερμότητας (Levelized Cost of Heat). Επιπλέον, στο 2^ο σενάριο όπου η ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από ΑΠΕ, προκύπτει οικονομικό όφελος από την πώληση δικαιωμάτων εκπομπής CO₂. Το ύψος των δικαιωμάτων που πωλούνται,

αντιστοιχεί στη διαφορά εκπομπής CO₂ μεταξύ των σεναρίων 1 (Συμβατικά καύσιμα) και 2 (ΑΠΕ), η οποία οφείλεται αποκλειστικά στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Σύμφωνα με το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών της ΕΕ (EU ETS), η τρέχουσα τιμή αγοράς-πώλησης, ανέρχεται στα 89,25 €/tn CO₂. Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα, σε μορφή πινάκων.

Σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο / Σύνδεση με Φωτοβολαϊκό σύστημα				
Σενάρια	Δυναμικότητα ηλιακού θερμικού συστήματος (MW)	Συμμετοχή συμβατικών καυσίμων	Ποσοστό ανάκτησης (%)	Θερμική αποθήκευση (h)
1 ^ο	4	0,8	40	12
2 ^ο	8	0,8	40	12
3 ^ο	12	0,8	40	12
4 ^ο	16	0,8	40	12
5 ^ο	4	0	40	12
6 ^ο	8	0	40	12
7 ^ο	12	0	40	12
8 ^ο	16	0	40	12
9 ^ο	16	0	40	0
10 ^ο	16	0	30	12

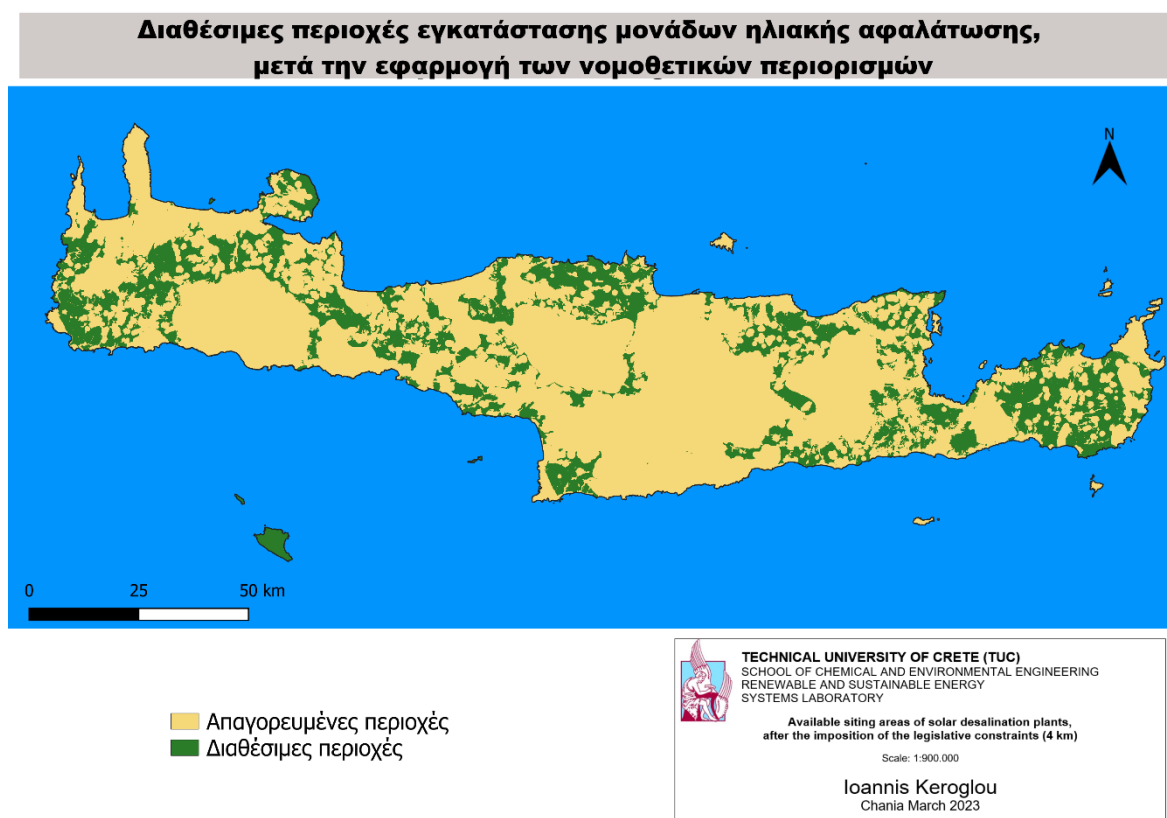
Πίνακας 3.7. Σενάρια Προσομοίωσης, σύνδεση μονάδας με ηλεκτρικό δίκτυο ή Φ/Β σύστημα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο 4, δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, έπειτα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Σε πρώτη φάση, παρουσιάζονται οι χάρτες που σχεδιάστηκαν ακολουθώντας τη μεθοδολογία της χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης και σε δεύτερη φάση, δίνονται τα αριθμητικά αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις με το λογισμικό SEDAT. Επιπλέον, παρουσιάζονται αποτελέσματα περαιτέρω επεξεργασίας των δεδομένων που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις και υπολογισμοί που αφορούν την άντληση του θαλασσινού νερού και το σχεδιασμό του Φ/Β συστήματος. Εν τέλει, δίνονται οι εκπομπές CO₂, έτσι όπως υπολογίστηκαν βάσει της ανάλυσης βιωσιμότητας της μονάδας.

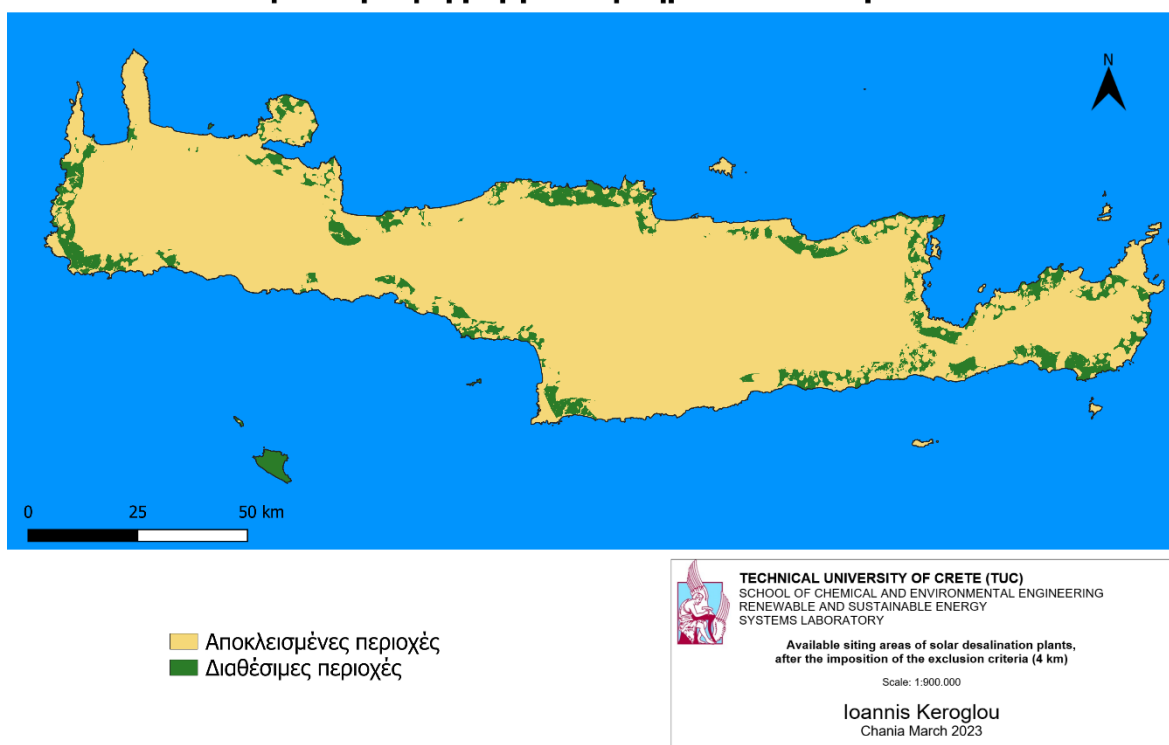
4.1 Αποτελέσματα χαρτογράφησης Κρήτης

Έχοντας μελετήσει το νομοθετικό πλαίσιο, που αφορά τις μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης και εφαρμόζοντας τα κριτήρια αποκλεισμού, προέκυψαν οι χάρτες 4.1 και 4.2, αντίστοιχα. Έπειτα, επιλέγοντας και ταξινομώντας τα κριτήρια αξιολόγησης και εφαρμόζοντας παράλληλα σταθμισμένη ανάλυση, προέκυψαν οι χάρτες 4.3, 4.4 και 4.5, απεικονίζοντας τα επιμέρους σταθμισμένα σενάρια χωροθέτησης. Εν κατακλείδι, στο χάρτη 4.6 δίνεται η διαθεσιμότητα χωροθέτησης στη Δημοτική Ενότητα Ακρωτηρίου, στην οποία επρόκειτο να εγκατασταθεί η υπό μελέτη μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης, όπως αυτή περιεγράφηκε στην υποενότητα 3.2.



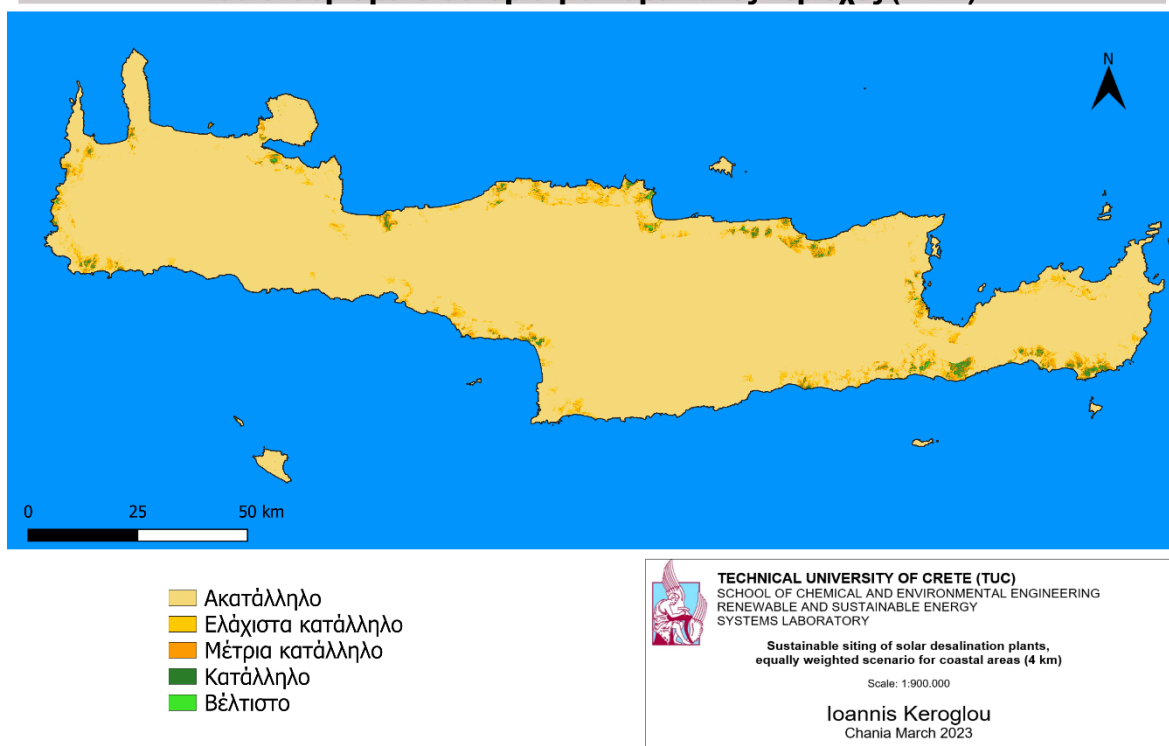
Χάρτης 4.1. Διαθέσιμες περιοχές εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, μετά την εφαρμογή των νομοθετικών περιορισμών

**Διαθέσιμες περιοχές εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης,
μετά την εφαρμογή των κριτηρίων αποκλεισμού**

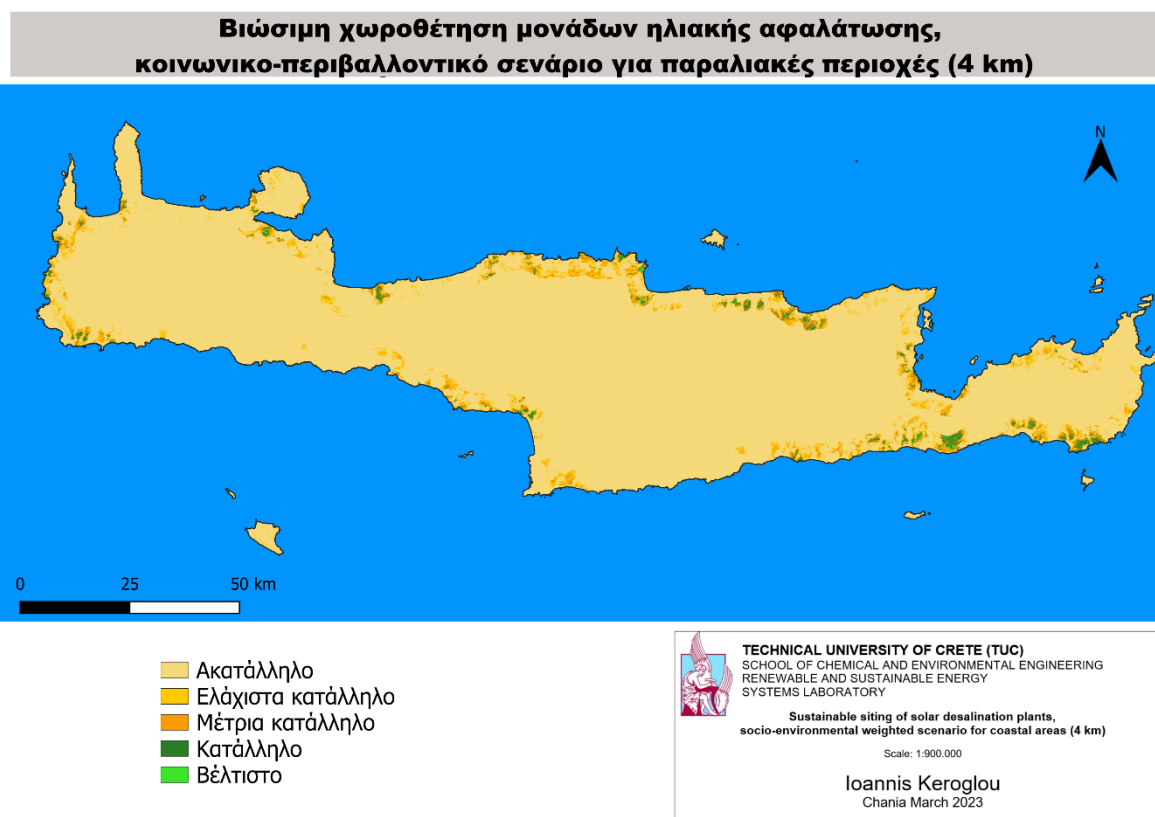


Χάρτης 4.2. Διαθέσιμες περιοχές εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, μετά την εφαρμογή των κριτηρίων αποκλεισμού

**Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης,
ίσα σταθμισμένο σενάριο για παραλιακές περιοχές (4 km)**



Χάρτης 4.3. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, ίσα σταθμισμένο σενάριο για παραλιακές περιοχές (4 km)

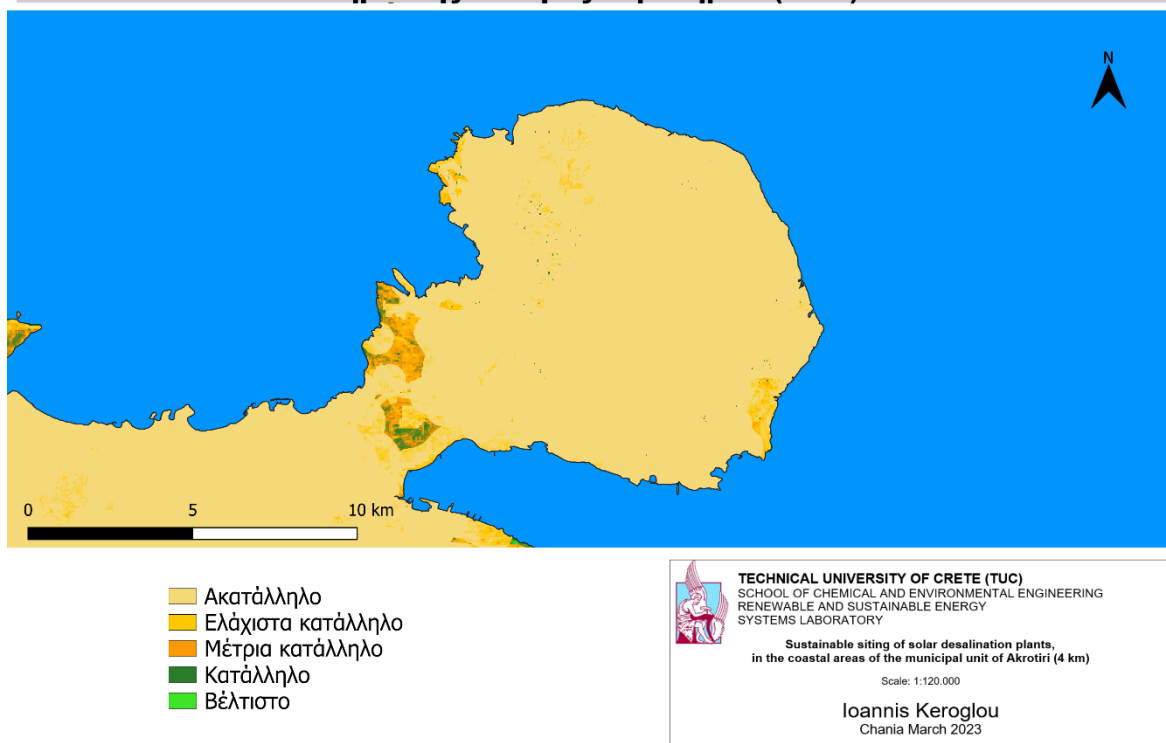


Χάρτης 4.4. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, κοινωνικο-περιβαλλοντικό σενάριο για παραλιακές περιοχές (4 km)



Χάρτης 4.5. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, τεχνο-οικονομικό σενάριο για παραλιακές περιοχές (4 km)

Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, στις παραλιακές περιοχές της Δημοτικής Ενότητας Ακρωτηρίου (4 km)



Χάρτης 4.6. Βιώσιμη χωροθέτηση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, στις παραλιακές περιοχές της Δημοτικής Ενότητας Ακρωτηρίου (4 km)

4.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Εφαρμόζοντας τα 10 διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης και την ενεργειακή ανάλυση σε δύο σκέλη (ΑΠΕ – Συμβατικά), προέκυψαν τα αποτελέσματα που δίνονται στους παρακάτω πίνακες. Αρχικά, δίνονται τα αποτελέσματα που αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος αφαλάτωσης (Πίνακας 4.1) και του ηλιακού θερμικού συστήματος (Πίνακας 4.2). Έπειτα, παρουσιάζονται στους πίνακες 4.3 και 4.4, τα δεδομένα που αφορούν την απόδοση των δύο συστημάτων, αντίστοιχα. Εν κατακλείδι, δίνεται η οικονομική ανάλυση για τα δύο σενάρια της ενεργειακής κάλυψης, σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο (πίνακας 4.5 & πίνακας 4.6) και σύνδεση με Φ/Β σύστημα (πίνακας 4.7 & πίνακας 4.8), ενώ παράλληλα στον πίνακα 4.9 απεικονίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας. Στους τέσσερις αυτούς πίνακες, περιλαμβάνονται αποτελέσματα που προέκυψαν από το λογισμικό SEDAT, αλλά και τιμές που προσδιορίστηκαν έπειτα από περαιτέρω επεξεργασία. Υπενθυμίζεται, ότι στα πρώτα 4 σενάρια υπάρχει συμμετοχή συμβατικών καυσίμων, ενώ στα υπόλοιπα απουσιάζει. Καταληκτικά, σημειώνεται ότι η έκταση που καταλαμβάνει η μονάδα σε κάθε σενάριο, δίνεται από το λογισμικό SEDAT προσεγγιστικά μεταξύ ενός εύρους τιμών, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2.

Scenarios	Thermal Storage (h)	Thermal Storage Capacity (kWh)	Specific Thermal Energy Consumption (kWh/m ³)	Required Thermal Energy (MW)
1	12	41.913	45,31	3,49
2	12	41.913	45,31	3,49
3	12	41.913	45,31	3,49
4	12	41.913	45,31	3,49
5	12	41.913	45,31	3,49
6	12	41.913	45,31	3,49
7	12	41.913	45,31	3,49
8	12	41.913	45,31	3,49
9	0	0	45,31	3,49
10	12	44.166	47,75	3,68

Πίνακας 4.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος αφαλάτωσης

Scenarios	Design Thermal Energy Consumption (MW)	Land Footprint Area (acres)	Number of collectors per row	Number of collector rows	Total number of collectors
1	4	24-32	2	391	782
2	8	48-64	2	782	1.564
3	12	72-96	2	1.173	2.346
4	16	96-128	2	1.564	3.128
5	4	24-32	2	391	782
6	8	48-64	2	782	1.564
7	12	72-96	2	1.173	2.346
8	16	96-128	2	1.564	3.128
9	16	96-128	2	1.564	3.128
10	16	96-128	2	1.564	3.128

Πίνακας 4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακού θερμικού συστήματος

Scenarios	Average Daily Water Production (m3)	Brine Concentration (g/L)	Assumed Recovery Rate (%)	Total Fuel Usage (MWh)	Energy from Solar Field (%)	Energy from Other Sources (%)
1	1.844	58,33	40	23.313	24	77
2	1.847	58	40	16.327	47	54
3	1.848	58	40	13.679	55	45
4	1.849	58	40	12.197	60	40
5	434	58	40	0	100	0
6	859	58	40	0	100	0
7	1.021	58	40	0	100	0
8	1.111	58	40	0	100	0
9	500	58	40	0	100	0
10	1.094	50	30	0	100	0

Πίνακας 4.3. Χαρακτηριστικά απόδοσης συστήματος αφαλάτωσης

Scenarios	Annual Thermal Energy Production (GWh)	Curtailed Thermal Energy (GWh)	Curtailment (%)
1	7,18	0,0	0,0
2	14,35	0,1	1,0
3	21,53	4,7	21,6
4	28,71	10,3	36,0
5	7,18	0,0	0,0
6	14,35	0,1	1,0
7	21,53	4,7	21,6
8	28,71	10,3	36,0
9	28,71	20,4	71,2
10	28,71	9,6	33,6

Πίνακας 4.4. Χαρακτηριστικά απόδοσης ηλιακού θερμικού συστήματος

Scenarios	LCOW (€/m3)	LCOH from Other Sources (€/kWh)	LCOH from Solar Field (€/kWh)	Capital Cost (€)	CAPEX (€/m3)
1	1,74	0,0089	0,0294	6.268.511	0,69
2	1,90	0,0089	0,0276	6.278.709	0,69
3	1,97	0,0089	0,0267	6.282.109	0,69
4	2,00	0,0089	0,0267	6.285.508	0,69
5	5,28	0	0,0294	6.246.260	2,90
6	3,36	0	0,0276	6.257.342	1,47
7	3,04	0	0,0267	6.265.465	1,24
8	2,90	0	0,0267	6.229.175	1,13
9	4,24	0	0,0267	5.165.336	2,08
10	3,02	0	0,0267	6.327.052	1,17

Πίνακας 4.5. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με το ηλεκτρικό δίκτυο

Scenarios	OPEXannual (€)	OPEX (€/m3)	Unit Energy Cost (€/m3)	OPEX other (€/m3)
1	706.848	1,05	0,69	0,36
2	827.997	1,23	0,86	0,36
3	870.468	1,29	0,93	0,36
4	888.959	1,32	0,95	0,36
5	376.430	2,38	1,39	0,99
6	594.368	1,90	1,32	0,58
7	673.294	1,81	1,29	0,52
8	718.208	1,77	1,28	0,49
9	393.069	2,15	1,28	0,87
10	735.649	1,84	1,34	0,50

Πίνακας 4.6. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με το ηλεκτρικό δίκτυο

Scenarios	LCOH from Other Sources (€/kWh)	LCOH from Solar Field (€/kWh)	Capital Cost (€)	CAPEX (€/m3)
1	0,0089	0,0294	6.268.511	0,69
2	0,0089	0,0276	6.278.709	0,69
3	0,0089	0,0267	6.282.109	0,69
4	0,0089	0,0267	6.285.508	0,69
5	0	0,0294	6.246.260	2,90
6	0	0,0276	6.257.342	1,47
7	0	0,0267	6.265.465	1,24
8	0	0,0267	6.229.175	1,13
9	0	0,0267	5.165.336	2,08
10	0	0,0267	6.327.052	1,17

Πίνακας 4.7. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με Φ/Β σύστημα

Scenarios	OPEXannual (€)	OPEX (€/m3)	Unit Energy Cost (€/m3)	OPEX other (€/m3)
1	661.921	0,98	0,62	0,36
2	782.997	1,16	0,80	0,36
3	825.444	1,22	0,86	0,36
4	843.910	1,25	0,89	0,36
5	365.856	2,31	1,32	0,99
6	573.440	1,83	1,25	0,58
7	648.418	1,74	1,22	0,52
8	691.139	1,70	1,21	0,49
9	380.887	2,09	1,21	0,87
10	708.995	1,78	1,28	0,50

Πίνακας 4.8. Οικονομική ανάλυση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με Φ/Β σύστημα

Scenarios	Total Fuel Usage (MWh)	Fossil Fuel Participation	Thermal Energy (kWh)	Electricity (kWh)	Total Energy (GWh)
1	23.313	0,8	30.496.349	1.009.590	31,51
2	16.327	0,8	30.545.963	1.011.233	31,56
3	13.679	0,8	30.562.501	1.011.780	31,57
4	12.197	0,8	30.579.039	1.012.328	31,59
5	0	0,0	7.177.557	237.615	7,42
6	0	0,0	14.206.271	470.303	14,68
7	0	0,0	16.885.451	558.998	17,44
8	0	0,0	18.373.885	608.273	18,98
9	0	0,0	8.269.075	273.750	8,54
10	0	0,0	19.067.053	598.965	19,67

Πίνακας 4.9. Ενεργειακές απαιτήσεις μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

4.3 Αποτελέσματα υπολογισμών για την άντληση, το Φ/Β σύστημα και τη βιωσιμότητα της εγκατάστασης

Από τις εξισώσεις 3.9 έως 3.14, προέκυψαν τα χαρακτηριστικά του συστήματος άντλησης, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.10. Έπειτα, εφαρμόζοντας τις εξισώσεις 3.15 έως 3.19, προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά του Φ/Β συστήματος που δίνονται στον πίνακα 4.11. Εν συνεχεία, στον πίνακα 4.12 παρουσιάζονται τα ετήσια έσοδα της μονάδας, από την πώληση περίσσειας θερμικής ενέργειας και την πώληση δικαιωμάτων εκπομπών CO₂. Καταληκτικά, δίνονται συνοπτικά στους πίνακες 4.13 και 4.14, τα κύρια τεχνικά και οικονομικά στοιχεία της υπό σχεδιασμό μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, όταν αυτή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο και στο Φ/Β σύστημα, αντίστοιχα.

Scenarios	Desired Pumping Q (m3/s)	Pipe Surface A (m2)	Flow Rate (m/s)	Manometric Height (m)	Pumping Power P (kW)	Annual Pumping Electricity (kWh)
1	0,053	0,071	0,76	20,63	14,40	50.461
2	0,053	0,071	0,76	20,64	14,43	50.548
3	0,053	0,071	0,76	20,64	14,43	50.577
4	0,054	0,071	0,76	20,64	14,44	50.606
5	0,013	0,071	0,18	20,04	3,29	11.531
6	0,025	0,071	0,35	20,14	6,55	22.940
7	0,030	0,071	0,42	20,19	7,80	27.344
8	0,032	0,071	0,46	20,23	8,51	29.807
9	0,014	0,071	0,20	20,05	3,79	13.293
10	0,042	0,071	0,60	20,40	11,26	29.593

Πίνακας 4.10. Χαρακτηριστικά συστήματος άντλησης

Scenarios	Photovoltaic surface (m2)	Total Electricity Produced (kWh)	PV Power (kW)	Solar Panels	Capital Cost (€)	OPEX (€)
1	3.495	1.060.051	593	1.318	711.826	10.677
2	3.500	1.061.781	594	1.320	712.987	10.695
3	3.502	1.062.357	594	1.321	713.375	10.701
4	3.504	1.062.934	595	1.322	713.762	10.706
5	821	249.146	139	310	167.302	2.510
6	1.626	493.243	276	613	331.213	4.968
7	1.933	586.341	328	729	393.729	5.906
8	2.103	638.079	357	793	428.471	6.427
9	946	287.043	161	357	192.750	2.891
10	2.072	628.558	352	782	422.077	6.331

Πίνακας 4.11. Χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος

Scenarios	Curtailed Thermal Energy Selling (€)	Carbon Permits Selling (PVs scenario) (€)
1	0	38.539
2	3.863	38.602
3	124.155	38.623
4	275.811	38.644
5	0	9.058
6	3.863	17.932
7	124.155	21.317
8	275.811	23.198
9	545.748	10.436
10	257.121	22.852

Πίνακας 4.12. Ετήσια έσοδα μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

Scenarios	CO2 Emissions (tn/yr)	Annual Water Production (m3/yr)	LCOW (€/m3)	Capital Cost (€)	OPEX (€/yr)
1	4.640	673.060	1,74	6.268.511	706.848
2	3.380	674.155	1,90	6.278.709	824.135
3	2.902	674.520	1,97	6.282.109	746.313
4	2.635	674.885	2,00	6.285.508	613.148
5	101	158.410	5,28	6.246.260	376.430
6	201	313.535	3,36	6.257.342	590.506
7	239	372.665	3,04	6.265.465	549.139
8	260	405.515	2,90	6.229.175	442.397
9	117	182.500	4,24	5.165.336	-152.680
10	256	399.310	3,02	6.327.052	478.528

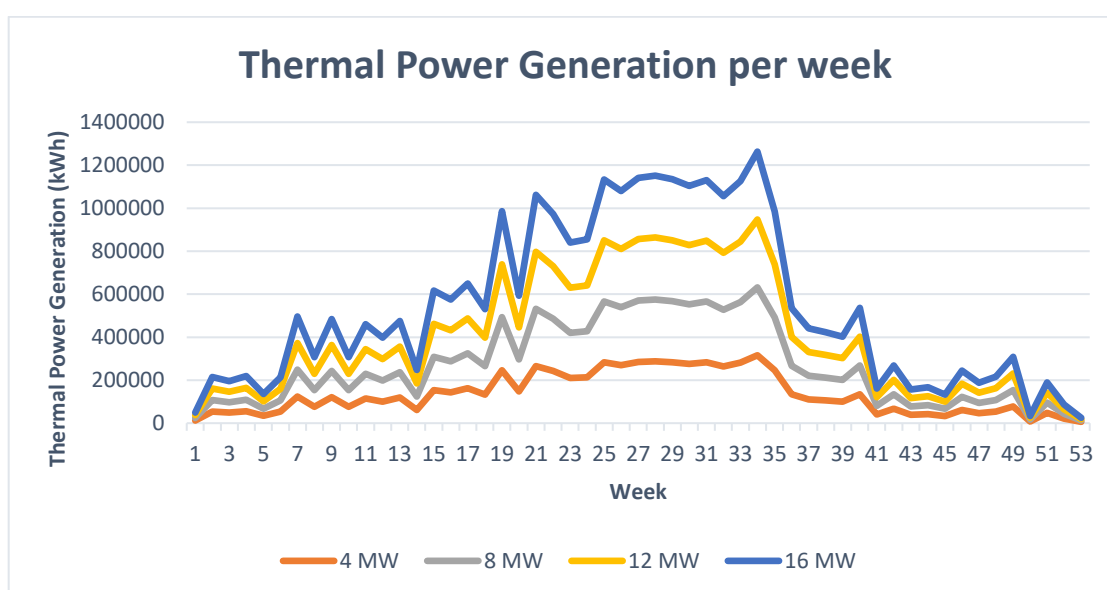
Πίνακας 4.13. Συνοπτική περιγραφή μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης στο ηλεκτρικό δίκτυο

Scenarios	CO2 Emissions (tn/yr)	Water Production (m3/yr)	LCOW (€/m3)	Capital Cost (€)	OPEX (€/yr)
1	4.208	673.060	1,67	6.980.337	634.059
2	2.947	674.155	1,85	6.991.697	751.227
3	2.469	674.520	1,91	6.995.483	673.366
4	2.202	674.885	1,94	6.999.270	540.161
5	0	158.410	5,21	6.413.563	359.307
6	0	313.535	3,30	6.588.555	556.613
7	0	372.665	2,98	6.659.194	508.852
8	0	405.515	2,83	6.657.646	398.558
9	0	182.500	4,17	5.358.086	-172.406
10	0	399.310	2,94	6.749.129	435.353

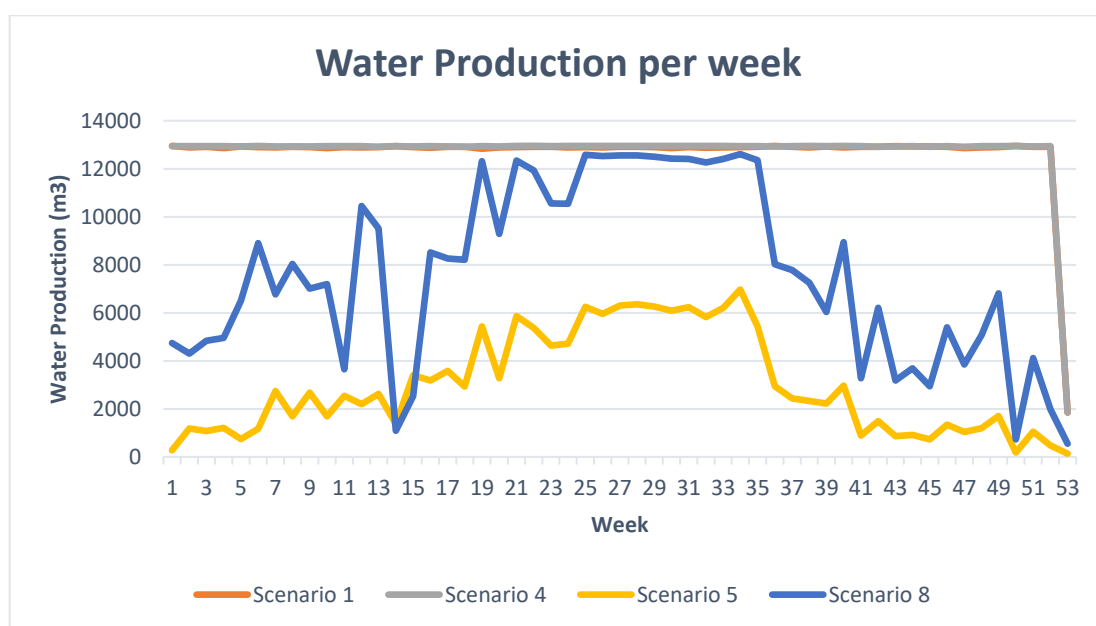
Πίνακας 4.14. Συνοπτική περιγραφή μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, συνδεδεμένης με Φ/Β σύστημα

4.4 Διαγράμματα παραγόμενου νερού και ενέργειας

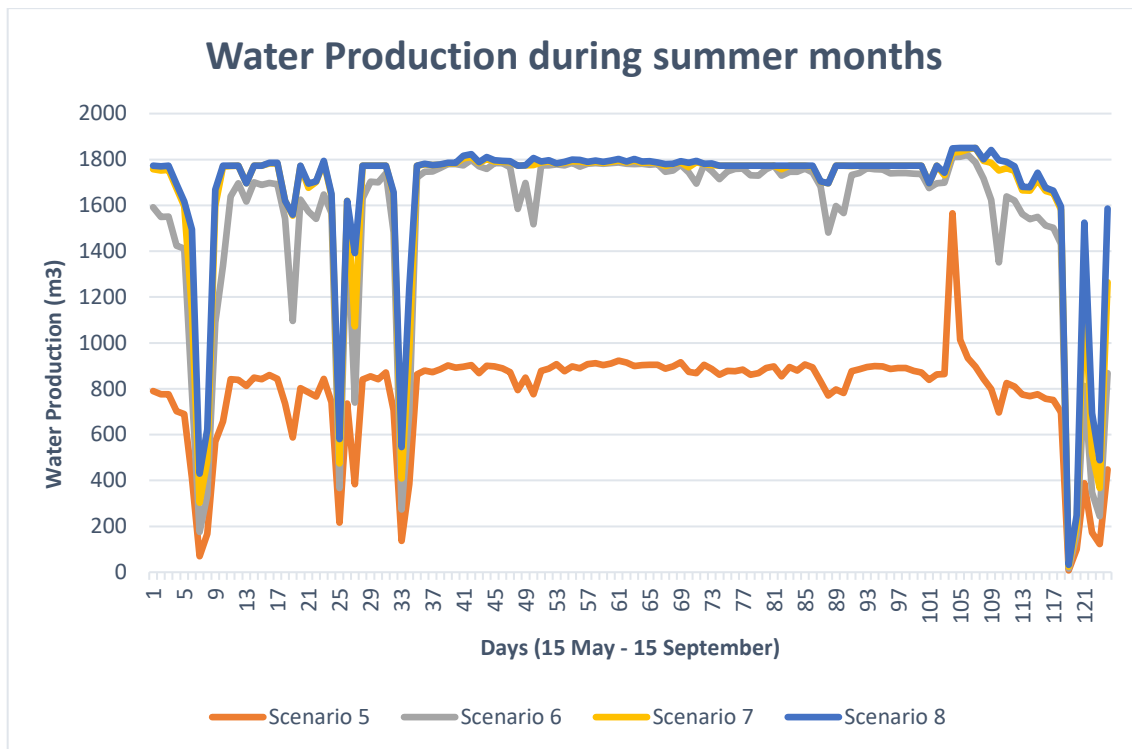
Από τα δεδομένα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, κατασκευάστηκε το διάγραμμα 4.1, το οποίο απεικονίζει την εβδομαδιαία παραγωγή θερμικής ενέργειας (διάγραμμα 4.1), ανάλογα με τη δυναμικότητα του ηλιακού θερμικού συστήματος. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα 4.2 και 4.3, τα οποία παρουσιάζουν τον παραγόμενο όγκο αφαλατωμένου νερού, για ορισμένα από τα σενάρια. Πιο συγκεκριμένα, στο διάγραμμα 4.2 απεικονίζεται η εβδομαδιαία παραγωγή νερού, για το 1^ο και 4^ο σενάριο, στα οποία υπάρχει συμμετοχή συμβατικών καυσίμων και για το 5^ο και 8^ο σενάριο, τα οποία δεν περιλαμβάνουν συμβατικά καύσιμα. Από την άλλη, στο διάγραμμα 4.3 δίνεται η ημερήσια παραγωγή νερού, για το διάστημα 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου, για τα σενάρια 5,6,7 και 8. Καταληκτικά, στο διάγραμμα 4.4 απεικονίζεται η χρήση συμβατικών καυσίμων σε εβδομαδιαία βάση, για τα σενάρια 1,2,3 και 4.



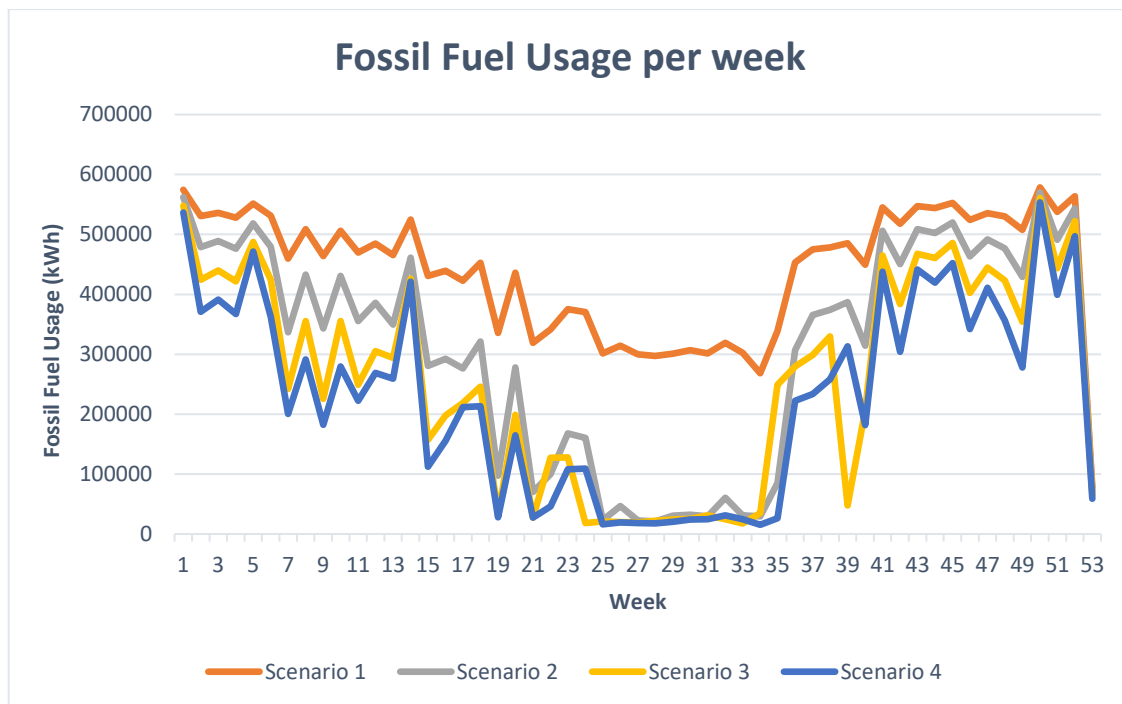
Διάγραμμα 4.1. Παραγόμενη θερμική ενέργεια ανά εβδομάδα, ανάλογα με τη δυναμικότητα του συστήματος



Διάγραμμα 4.2. Παραγόμενος όγκος αφαλατωμένου νερού ανά εβδομάδα



Διάγραμμα 4.3. Παραγόμενος όγκος αφαλατωμένου νερού ημερησίως το καλοκαίρι



Διάγραμμα 4.4. Εβδομαδιαία χρήση συμβατικών καυσίμων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με την ολοκλήρωση της μελέτης βιώσιμης χωροθέτησης και εγκατάστασης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης στην Κρήτη, είναι σκόπιμο να αξιολογηθούν τα ευρήματα και να συγκριθούν με τυχόν αντίστοιχα ευρήματα της βιβλιογραφίας. Η μελέτη, όπως έγινε κατανοητό, περιλάμβανε δύο σκέλη. Αρχικά, χαρτογραφήθηκε η περιοχή της Κρήτης ως προς τις διαθέσιμες και καταλληλότερες θέσεις χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης και έπειτα πραγματοποιήθηκε τεχνο-οικονομική μελέτη, για την εγκατάσταση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης στη Δημοτική Κοινότητα Κουνουπιδιανών. Ο σχολιασμός και η σύγκριση των αποτελεσμάτων, βασίζονται σε συγκεκριμένες παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί, συνοψίζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας για κάθε σενάριο προσομοίωσης. Πρώτα όμως, πραγματοποιείται σχολιασμός των δυναμικών χαρτών, που προέκυψαν από τη χαρτογράφηση.

5.1 Σχολιασμός δυναμικών χαρτών

Είναι εμφανές από το χάρτη 4.1, ότι οι δυνατότητες χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης στην Κρήτη είναι μεγάλες, καθώς το νομοθετικό πλαίσιο επιτρέπει την εγκατάσταση των μονάδων σε ένα μεγάλο μέρος του νησιού, σε παραλιακό και μη μέτωπο. Προκειμένου να περιορισθούν οι δαπάνες εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων, εφαρμόστηκαν επιπλέον αποκλειστικές ζώνες, περιορίζοντας την χωροθέτηση μόνο σε παραλιακές περιοχές, με μέγιστη απόσταση 4 km από την ακτογραμμή. Ως εκ τούτου, όπως φαίνεται και στο χάρτη 4.2, οι διαθέσιμες θέσεις εγκαταστάσεις μειώθηκαν εκ των πραγμάτων, αλλά εξακολουθούν να είναι διάσπαρτες και πολυάριθμες σε όλο το εύρος του νησιού. Συγκριτικά με την επιφάνεια του, ο νομός Λασιθίου εμφανίζεται ως ο πιο δεκτικός για μονάδες ηλιακής αφαλάτωσης τόσο στο Βόρειο, όσο και στο Νότιο τμήμα του, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι υπόλοιποι τρεις νομοί δεν παρουσιάζουν καλές δυνατότητες χωροθέτησης.

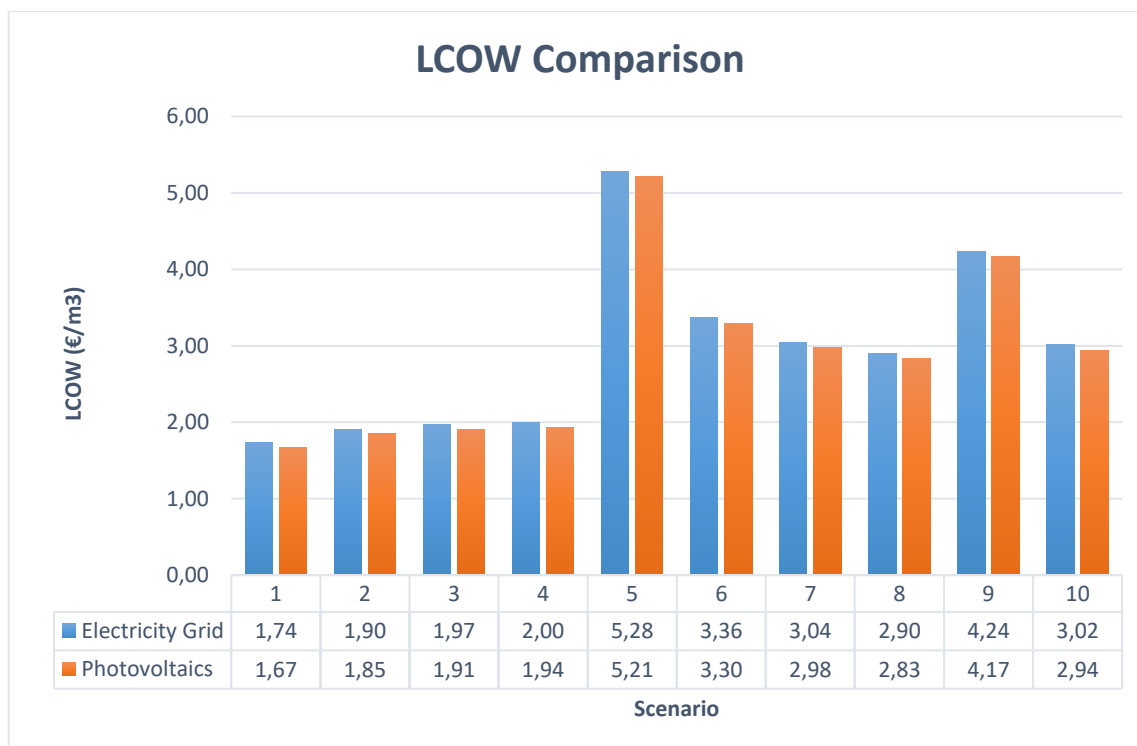
Στους υπόλοιπους τρεις χάρτες, οι οποίοι απεικονίζουν τις βιώσιμες θέσεις χωροθέτησης μετά την εφαρμογή των σταθμισμένων σεναρίων, παρατηρούνται μικρές διαφορές μεταξύ τους. Ειδικότερα, οι συγκεκριμένοι χάρτες προσδιορίζουν στοχευμένα τις βέλτιστες θέσεις στις οποίες ενδείκνυται εγκατάσταση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, ταξινομώντας και διαβαθμίζοντας τις συνολικές διαθέσιμες θέσεις, που προέκυψαν στο χάρτη 4.2. Οι χάρτες 4.3 και 4.4, που αφορούν το ίσα σταθμισμένο και κοινωνικο-περιβαλλοντικό σενάριο αντίστοιχα, είναι πανομοιότυποι υποδηλώνοντας ότι τα κοινωνικο-περιβαλλοντικά κριτήρια δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την χωροθέτηση, παρόλο που έχουν αξιολογηθεί με μεγαλύτερη βαρύτητα. Αυτό συμβαίνει κυρίως, διότι είναι τέτοιοι οι νομοθετικοί περιορισμοί που προστατεύουν εξ αρχής το περιβάλλον και την κοινωνία από αυτού του είδους τα έργα. Όσον αφορά το χάρτη 4.5, που λαμβάνει υπόψη το τεχνο-οικονομικό σενάριο, παρατηρείται ότι στη περίπτωση αυτή, που τα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια χρήζουν μεγαλύτερης σημασίας, η διαθεσιμότητα θέσεων εγκατάστασης περιορίζεται αρκετά. Σε κάθε περίπτωση, επιβάλλεται αναλυτική τεχνο-οικονομική μελέτη, προτού αποφασισθεί η επιλογή της βέλτιστης θέσης χωροθέτησης, καθώς μια μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης εξαρτάται από μεταβλητές οικονομικές παραμέτρους, όπως είναι για παράδειγμα η τιμή του νερού. Καταληκτικά, στο χάρτη 4.6 απεικονίζονται οι βέλτιστες θέσεις στην ευρύτερη περιοχή της Δημοτικής Ενότητας Ακρωτηρίου, στις οποίες είναι δυνατή η εγκατάσταση της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, που μελετάται στην παρούσα εργασία. Πιο συγκεκριμένα, είναι εμφανές ότι στη Δημοτική Κοινότητα Κουνουπιδιανών, υπάρχουν δυνατότητες

χωροθέτησης, με την ακριβή τοποθεσία της εγκατάστασης να εξαρτάται και από την έκταση της μονάδας, όπως αυτή προκύπτει από την προσομοίωση κάθε σεναρίου. Πιθανές αδυναμίες της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τη χαρτογράφηση, μπορεί να οφείλονται στον τρόπο επιλογής και ταξινόμησης των κριτηρίων, ο οποίος βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό σε προσωπικές υποθέσεις με λογική υπόσταση.

5.2 Σχολιασμός και σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοιώσεων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο σχολιασμός και η σύγκριση των αποτελεσμάτων λαμβάνουν υπόψη εκείνες τις παραμέτρους που συνοψίζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, για κάθε σενάριο προσομοίωσης. Ειδικότερα, η σύγκριση βασίζεται στο κόστος παραγωγής του αφαλατωμένου νερού (LCOW), στις εκπομπές CO₂ της μονάδας κατά τη λειτουργία της, στον όγκο του παραγόμενου νερού τη καλοκαιρινή περίοδο (15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου), όπως ορίζει το σενάριο σχεδιασμού και στο ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας (OPEX). Προς διευκόλυνση της ανάλυσης που ακολουθεί, παρατίθενται τα διαγράμματα σύγκρισης 5.1, 5.2 και 5.3, που αφορούν τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

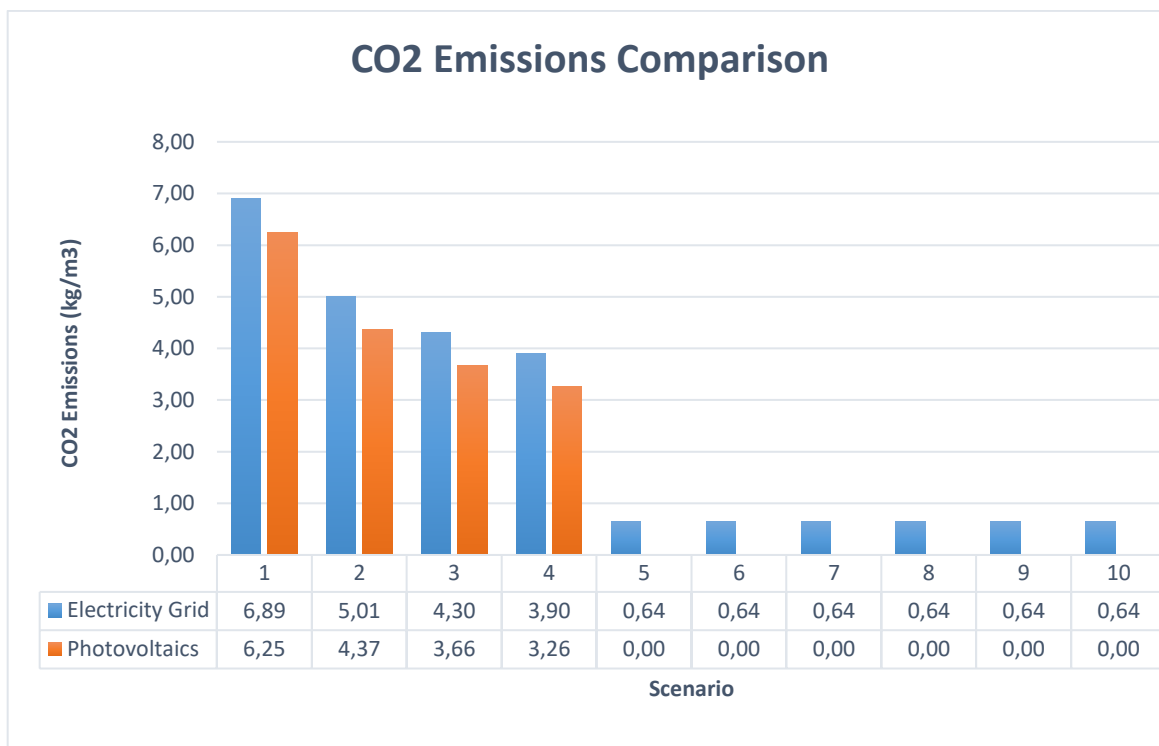
Σημαντικά ευρήματα προκύπτουν αρχικά από τα διαγράμματα 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4. Το διάγραμμα 4.1 επιβεβαιώνει το γεγονός ότι, όσο πιο μεγάλη είναι η δυναμικότητα του ηλιακού θερμικού συστήματος, τόσο περισσότερη θερμική ενέργεια παράγει. Έπειτα, το διάγραμμα 4.2 απεικονίζει το πλεονέκτημα των σεναρίων που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα ως επιπρόσθετη πηγή θερμότητας, έναντι των υπολοίπων σεναρίων, για το γεγονός ότι παρουσιάζουν σταθερή και μέγιστη ημερήσια παραγωγικότητα νερού, κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Παρόλα αυτά, στη συγκεκριμένη μελέτη δεν μας ενδιαφέρει η ετήσια παραγωγικότητα νερού, αλλά το μέγεθος της τους καλοκαιρινούς μήνες, κατά τους οποίους είναι αρκετά αυξημένη και για τα σενάρια που δεν καλύπτουν τις ανάγκες τους με τη χρήση φυσικού αερίου.



Διάγραμμα 5.1. Σύγκριση κόστους παραγωγής αφαλατωμένου νερού (LCOW)

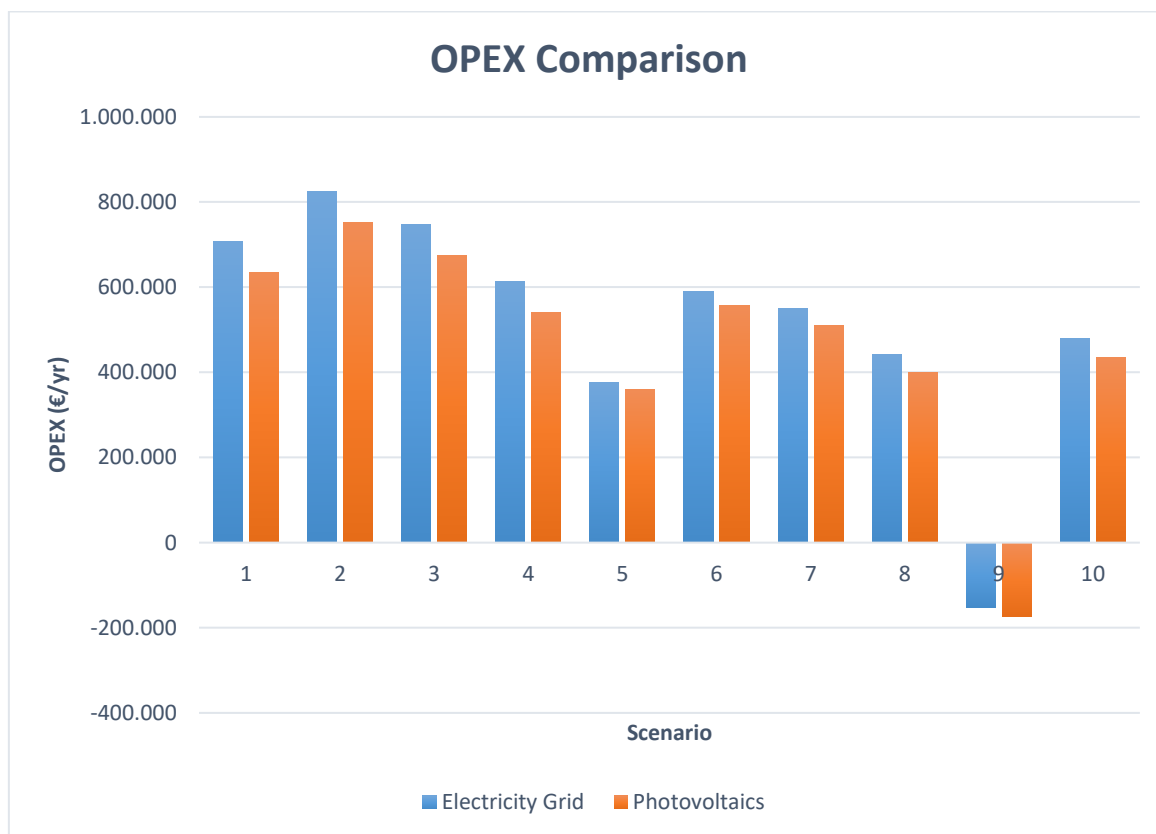
Αυτό επιβεβαιώνεται από το διάγραμμα 4.3, όπου παρουσιάζεται ο όγκος παραγόμενου νερού κατά το διάστημα της καλοκαιρινής περιόδου, για την οποία και προορίζεται η μονάδα ηλιακής αφαλάτωσης. Ειδικότερα, παρατηρείται ότι το σενάριο 8 εμφανίζει μεγαλύτερη παραγωγικότητα από τα υπόλοιπα σενάρια που δεν χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, στα περισσότερα διαστήματα αυτής της περιόδου, κάτι το οποίο το καθιστά μία από τις καλύτερες επιλογές, ως σενάριο σχεδιασμού. Καταληκτικά, στο διάγραμμα 4.4 γίνεται αισθητή η σχέση μεταξύ της δυναμικότητας του ηλιακού θερμικού συστήματος και της απαίτησης χρήσης φυσικού αερίου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Με λίγα λόγια, όσο μικρότερη η δυναμικότητα του ηλιακού θερμικού συστήματος, τόσο μεγαλύτερες οι απαιτήσεις σε φυσικό αέριο.

Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια αξιολόγησης και σύγκρισης των σεναρίων, είναι το κόστος παραγωγής του αφαλατωμένου νερού (LCOW). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [Colciaghi et.al., 2022], το κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού, έχει μεγάλη διακύμανση. Τιμολογείται γύρω στα 1,65 €/m³, σε περιπτώσεις αντίστροφης ώσμωσης (reverse osmosis) τροφοδοτούμενης με ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β και το ελάχιστο 2,5 €/m³, σε περιπτώσεις φυσικής ώσμωσης (forward osmosis) με χρήση απορριπτόμενης θερμότητας (waste heat) και Φ/Β. Οι συγκεκριμένες τιμές, αυξομειώνονται ανάλογα με τη χωρητικότητα της μονάδας και άλλους σημαντικούς παράγοντες, όπως την πηγή της ενέργειας και τη μέθοδο της αφαλάτωσης. Λαμβάνοντας υπόψη τις βιβλιογραφικές τιμές, γίνεται αντιληπτό ότι τα σενάρια 1 έως 4 έχουν αρκετά χαμηλό LCOW, με τα σενάρια 7,8 και 10 να εμφανίζουν τη χαμηλότερη τιμή από τα σενάρια που δεν χρησιμοποιούν φυσικό αέριο. Αντιθέτως, τα σενάρια 5,6 και 9 έχουν υψηλό κόστος παραγωγής νερού, κάτι το οποίο τα καθιστά πιο ακατάλληλα για εφαρμογή. Παρατηρείται επίσης, ότι όταν η μονάδα τροφοδοτείται από Φ/Β εμφανίζει ελάχιστα χαμηλότερο κόστος LCOW, σε σχέση με όταν είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο. Σε γενικές γραμμές, όλα τα σενάρια απεικονίζουν κόστη που ανταποκρίνονται σε ρεαλιστικές συνθήκες.



Διάγραμμα 5.2. Σύγκριση εκπομπών CO₂ της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

Μέχρι στιγμής, τα πρώτα 4 σενάρια (fossil fuel participation) παρουσιάζουν πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων. Παρόλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές CO₂ που τα συνοδεύουν, γίνεται αντιληπτό ότι στην πραγματικότητα έχουν μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα άνθρακα και η εφαρμογή τους, μπορεί να προκαλέσει αρνητικά αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει, διότι δεν είναι σύμφωνα με τους στόχους της Ελλάδας και της Ε.Ε, περί αισθητής μείωσης των εκπομπών CO₂ μέχρι το 2030. Βιβλιογραφικές πηγές [Cornejo et.al., 2014] αναφέρουν ότι τεχνολογίες αφαλάτωσης, όπως αυτή που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εργασία (Multi-effect Distillation), συνοδεύονται από εκπομπές CO₂, που κυμαίνονται μεταξύ 0,3 – 26,9 kg CO₂/m³. Το διάγραμμα 5.2, επιβεβαιώνει ότι οι τιμές των εκπομπών CO₂, που προέκυψαν από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, συμφωνούν με το εύρος που αναφέρθηκε παραπάνω. Είναι σημαντικό να αναφερθεί όμως, ότι τα σενάρια 5 έως 10 εμφανίζουν πολύ μικρές εκπομπές CO₂ (0,64 kg/m³) και μάλιστα είναι μηδενικές στη περίπτωση που η μονάδα συνδέεται με Φ/Β σύστημα. Ως εκ τούτου, με γνώμονα τη σημαντικότητα περιορισμού των εκπομπών CO₂ από κάθε είδους δραστηριότητα, τα πρώτα 4 σενάρια καθίστανται μη επιθυμητά.



Διάγραμμα 5.3. Σύγκριση ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης

Τελευταίο κριτήριο σύγκρισης, αποτελεί το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης (OPEX) της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, σε κάθε περίπτωση. Σύμφωνα με το διάγραμμα 5.3, το OPEX της μονάδας στα σενάρια 1 έως 4 είναι αρκετά υψηλό, το οποίο οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η μονάδα λειτουργεί στο μέγιστο όλο το χρόνο. Αντιθέτως, στα υπόλοιπα σενάρια, αλλά κυρίως στα σενάρια 5, 8 και 9, το OPEX είναι χαμηλότερο, καθώς η μονάδα λειτουργεί με μεγάλες αποδόσεις μόνο κατά το επιθυμητό διάστημα του

καλοκαιριού. Συνεπώς, στην περίπτωση του σεναρίου 8, με δυναμικότητα ηλιακού θερμικού συστήματος 16 MW και μηδενική συμμετοχή φυσικού αερίου, επιτυγχάνεται πολύ υψηλή απόδοση κατά την περίοδο του τετράμηνου 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου, με ταυτόχρονο πλεονέκτημα το χαμηλό ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Τα σενάρια 5 και 9 από την άλλη, μπορεί να έχουν χαμηλό ή και αρνητικό OPEX, παρόλα αυτά εμφανίζουν χαμηλή παραγωγή ασφαλατωμένου νερού. Σημειώνεται, ότι στο σενάριο 9 προκύπτει αρνητικό OPEX, καθώς είναι τόσο υψηλή η περίσσεια (curtailment) παραγόμενης θερμικής ενέργειας, λόγω της απουσίας θερμικής αποθήκευσης, που με την πώλησή της αντισταθμίζει τα όποια έξοδα προκύπτουν. Όπως και στα προηγούμενα κριτήρια, παρατηρείται για άλλη μια φορά, πλεονέκτημα του σεναρίου περί τροφοδοσίας της μονάδας από Φ/Β σύστημα, έναντι αυτού περί σύνδεσής της στο ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς το OPEX για όλα τα σενάρια είναι εμφανώς μικρότερο στην πρώτη περίπτωση. Καταληκτικά, δεν γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο κόστος της αρχικής επένδυσης της μονάδας, καθώς σε όλα τα σενάρια, εκτός του σεναρίου 9, η τιμή της παρουσιάζει πολύ μικρές αποκλίσεις. Η μοναδική παρατήρηση, αφορά το σενάριο σχεδιασμού του Φ/Β συστήματος, όπου εκ των πραγμάτων απαιτείται μεγαλύτερο επενδυτικό κεφάλαιο, προκειμένου να καλυφθούν τα έξοδα για την εγκατάστασή του.

Στην περίπτωση της τεchnο-οικονομικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε, πρέπει να αναφερθεί ότι τα ευρήματα χρήζουν περαιτέρω εξειδικευμένης ανάλυσης, καθώς το λογισμικό SEDAT που χρησιμοποιήθηκε για τις προσομοιώσεις, βρίσκεται ακόμα σε πιλοτικό στάδιο και βελτιώνεται συνεχώς. Επιπλέον, έγιναν ορισμένες τροποποιήσεις στα αποτελέσματα που προέκυψαν από το SEDAT, με σκοπό την ενσωμάτωση των ενεργειακών αναγκών του δικτύου άντλησης και του σεναρίου περί τροφοδοσίας της μονάδας από ανεξάρτητο Φ/Β σύστημα. Επιπρόσθετα, αναφέρεται ότι το σενάριο σχεδιασμού, που είχε ως σκοπό τον σχεδιασμό μονάδας ηλιακής αφάλατωσης για την κάλυψη της ζήτησης πόσιμου νερού τους θερινούς μήνες, προσαρμόστηκε στις δυνατότητες του λογισμικού SEDAT. Ειδικότερα, το SEDAT παράγει αποτελέσματα για όλο το χρόνο και δεν μπορεί να περιοριστεί για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας. Συνεπώς, η παραγόμενη ποσότητα νερού τους υπόλοιπους μήνες, δεν λήφθηκε ιδιαίτερα υπόψη, κατά τη σύγκριση και αξιολόγηση των σεναρίων. Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα της μελέτης, μπορούν να αποτελέσουν παράδειγμα και αντικείμενο αξιολόγησης παρόμοιων μελλοντικών μελετών, που πρόκειται να πραγματοποιηθούν σε νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας και γενικότερα της Μεσογείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χαρτογράφηση της Κρήτης, ανέδειξε τις μεγάλες δυνατότητες που διαθέτει το νησί για την εγκατάσταση μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, κυρίως στις παραλιακές της περιοχές (4 km). Η ταξινόμηση των διαθέσιμων θέσεων χωροθέτησης και η υιοθέτηση των τριών σταθμισμένων σεναρίων, αποτέλεσε σημαντικό βήμα για τον προσδιορισμό των βέλτιστων περιοχών χωροθέτησης, λαμβάνοντας υπόψη πληθώρα διαφορετικών κριτηρίων αξιολόγησης. Παρόλα αυτά, προτείνεται περαιτέρω ανάλυση και μελέτη των επιλεγμένων θέσεων πριν την εγκατάσταση μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, καθώς η χωροθέτησή της εξαρτάται και από μεταβλητές παραμέτρους, κυρίως οικονομικές.

Όσον αφορά την τεchnο-οικονομική μελέτη, που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης στη Δημοτική ενότητα Κουνουπιδιανών, Χανίων, προέκυψαν σημαντικά ευρήματα. Η εφαρμογή των δέκα διαφορετικών μοντέλων προσομοίωσης, οδήγησε στην ανάδειξη των καταλληλότερων σεναρίων σχεδιασμού της μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης δυναμικότητας 1850 m³/d, έπειτα από σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, αναδείχθηκε το πλεονέκτημα της τροφοδότησης της μονάδας από Φ/Β σύστημα, προκειμένου να καλύψει της ανάγκες της σε ηλεκτρική ενέργεια, έναντι της σύνδεσής της στο ηλεκτρικό δίκτυο. Με το τρόπο αυτό, η μονάδα επιτυγχάνει αυτονομία και αποφεύγονται οι επιπλέον εκπομπές CO₂, λόγω της χρήσης συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, που εισέρχεται στο δίκτυο και πρόκειται έπειτα να παροχετευτεί στη μονάδα.

Επιπρόσθετα, εκτιμήθηκε ότι η χρήση συμβατικών καυσίμων (φυσικού αερίου) για την κάλυψη των απαιτήσεων της μονάδας σε θερμική ενέργεια, είναι μη βιώσιμη. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα ανέδειξαν τεράστιες εκπομπές CO₂ για τα μοντέλα 1 έως 4, όπου συμμετέχουν συμβατικά καύσιμα (natural gas), ως πηγή θερμότητας. Παράλληλα, η χρήση αυτών μπορεί να εξασφαλίζει μέγιστη παραγωγικότητα νερού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, το οποίο όμως είναι περιττό αν ληφθεί υπόψη, ότι το σενάριο σχεδιασμού στοχεύει στη μέγιστη παραγωγή νερού μόνο για το διάστημα 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου. Συνεπώς, όπως προέκυψε από την αξιολόγηση όλων των σεναρίων, το σενάριο 8 (16 MW, μηδενική συμμετοχή φυσικού αερίου), είναι εκείνο που ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό τα κριτήρια αξιολόγησης. Αναλυτικότερα, το 8^ο μοντέλο προσομοίωσης εξασφαλίζει παραγωγή αφαλατωμένου νερού σε κόστος μικρότερο από 3 €/m³ και πολύ υψηλή παραγωγικότητα κατά το διάστημα του καλοκαιριού, που είναι και το επιθυμητό. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνει ελάχιστες (0,64 kg CO₂/m³) έως και μηδενικές εκπομπές (zero emissions) CO₂, καθιστώντας το εξαιρετικά βιώσιμο και σύμφωνο με το νομοθετικό πλαίσιο και τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, με την πώληση δικαιωμάτων εκπομπής CO₂ και την πώληση της περίσσειας θερμικής ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα, μειώνονται τα κόστη λειτουργίας και συντήρησής της. Συμπερασματικά, η τεchnο-οικονομική μελέτη, είχε ως αποτέλεσμα την ανάδειξη του 8^ο σεναρίου προσομοίωσης, ως εκείνου που εξασφαλίζει αποτελεσματικότερα την οικονομική βιωσιμότητα της μονάδας και επιτυγχάνει ελάχιστο έως μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα άνθρακα.

Ανακεφαλαιώνοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία ανέπτυξε δύο μεθοδολογίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποδείγματα για παρόμοιες μελλοντικές μελέτες, επιτυγχάνοντας τα εξής:

1. Ταυτοποίηση των διαθέσιμων περιοχών χωροθέτησης μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης, μετά την εφαρμογή των νομοθετικών περιορισμών και επιπλέον κριτηρίων αποκλεισμού.

2. Αξιολόγηση των κατάλληλων θέσεων εγκατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικά, περιβαλλοντικά, οικονομικά, τεχνικά και πολιτιστικά κριτήρια, καθώς και κριτήρια ασφάλειας και όχλησης.
3. Ταξινόμηση των κριτηρίων αξιολόγησης, σε κλίμακα καταλληλότητας από ακατάλληλο έως βέλτιστο.
4. Προσδιορισμό της σχετικής σημασίας των κριτηρίων αξιολόγησης, μέσω της εφαρμογής τριών σταθμισμένων σεναρίων.
5. Ανάδειξη πολυδιάστατων τεχνο-οικονομικών σεναρίων σχεδιασμού εγκατάστασης μονάδας ηλιακής αφαλάτωσης, μέσω προσομοίωσης με το λογισμικό SEDAT.
6. Προσδιορισμός του βέλτιστου σεναρίου σχεδιασμού, έπειτα από αξιολόγηση και σύγκριση του LCOW, του παραγόμενου όγκου αφαλατωμένου νερού, του ετήσιου κόστους λειτουργίας και συντήρησης και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της μονάδας.

Καταληκτικά, σημαντικό πεδίο μελλοντικής έρευνας αποτελεί η διαχείριση της άλμης, που παράγεται κατά τη διεργασία της αφαλάτωσης. Η ερευνητική κοινότητα, καλείται να βρει λύσεις σε αυτό το ζήτημα που χρίζει άμεσης αντιμετώπισης, καθώς αποτελεί το μεγαλύτερο μειονέκτημα των μονάδων, ηλιακής και όχι μόνο, αφαλάτωσης. Οι περισσότερες μονάδες επιλέγουν την απόρριψη της άλμης στη θάλασσα ή στο έδαφος, προκαλώντας τη σταδιακή τους υποβάθμιση, λόγω της υψηλής της συγκέντρωσης σε άλας, συνήθως χλωριούχο νάτριο (NaCl). Επιπλέον, υπάρχουν εκείνοι που υποστηρίζουν ότι η εμπορία της άλμης, αντί για την απόρριψή της, μπορεί να αποτελέσει τη λύση του προβλήματος, κάτι το οποίο φαντάζει αδύνατο αν αναλογιστεί κανείς τις τεράστιες ποσότητες που παράγονται από κάθε μονάδα παγκοσμίως. Συνεπώς, μελλοντικές έρευνες καλούνται να επικεντρωθούν στο ζήτημα αυτό, προκειμένου να προτιμηθεί στο μέλλον η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης σε μεγαλύτερη κλίμακα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, D. W. Rhind, 2010, «*Συστήματα και Επιστήμη Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)*», 2^η Αμερικανική Έκδοση, Εκδόσεις ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.

A. Σ. Λαγγούσης, Ν. Θ. Φουρνιώτης, 2020, «*Στοιχεία Σχεδιασμού Έργων Ύδρευσης και Αποχέτευσης*», Εκδόσεις GOTSIS.

Θ. Δ. Τσούτσος, Ι. Ν. Κανάκης, 2013, «*Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Τεχνολογίες & Περιβάλλον*», Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Διεθνής Βιβλιογραφία

A. Kartalidis, M. Georgopoulou, G. Arampatzis, D. Assimacopoulos. Desalination in Greek islands by using RES. *Clean Energy and Sustainability – Proceedings CEST2011*, 2011.

B. Ebrahimpour, P. Hajjaligol, M. Boroushaki, M. B. Shafii. Modeling and techno-economic study of a solar reverse osmosis desalination plant. *International Journal of Environmental Science and Technology* 19, 8727-8742, 2022.

E. A. Grubert, A. S. Stillwell, M. E. Webber. Where does solar-aided seawater desalination make sense? A method for identifying sustainable cities. *Desalination* 339, 10-17, 2014.

F. Audyn, H. Sarptas. Spatial assessment of site suitability for solar desalination plants: a case study of the coastal regions of Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy* 22, 309-323, 2020.

Greek legislation, *For the Protection of Antiquities and in general of Cultural Heritage*, Law 3028/2002, OGHE A' 153/28-06-02, 2002.

H. Balfaqih, M. T. Al-Nory, Z. M. Nopiah, N. Saibani. Environmental and economic performance assessment of desalination supply chain. *Desalination* 406, 2-9, 2017.

I. Keroglou, T. Tsoutsos. Sustainable siting areas for solar desalination plants in Crete, Greece. *Sixth International Scientific Conference on "Alternative Energy Sources, Materials and Technologies (AESMT'23)"*. 16/5-17/5/2023, Sofia Proceedings pp 21-22.

M. Giamalaki, T. Tsoutsos. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. *Renewable Energy* 141, 64-75, 2019.

Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MEECC), *River Basin Management Plans (GR13)*, JMD 163/2015, OGHE B' 570/08-04-15, 2015.

Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MEECC), *National Energy and Climate Plan (NECP)*, JMD 4/2019, OGHE B' 4893/23-12-19, 2019.

Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MEECC), *Specific Framework for Spatial Planning and Sustainable Development for Renewable Energy Sources*, JMD 49828/2008, OGHE B' 2464/03-12-08, 2008.

Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MEECC), *Accelerating the Development of Renewable Energy Sources to Deal with Climate Change and Other Regulations Addressing Issues under the Authority of the Ministry of Environment, Energy and Climate Change*, Law 3851/2010, OGHE A' 85/04-06-10, 2010.

Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MEECC), *Specific Framework for Spatial Planning and Sustainable Development for Industry and the Strategic Study of its Environmental Impact*, JMD 11508/2009, OGHE 151/13-04-09, 2009.

Ministry of Environment, Energy and Climate Change (MEECC), *Way of defining the boundaries of the country's settlements up to 2,000 inhabitants, their categories and defining their building conditions and restrictions*, Presidential Decree 25-04-89, OGHE D' 293/16-05-89, 1989.

P. A. Londra, A. T. Theocharis, E. Baltas, V. A. Tsihrintzis. Optimal Sizing of Rainwater Harvesting Tanks for Domestic Use in Greece. *Water Resources Management* 29, 4357-4377, 2015.

P. Gkeka-Serpetsidaki, T. Tsoutsos. A methodological framework for optimal siting of offshore wind farms: A case study on the island of Crete. *Energy* 239, Part D, 2022.

P. K. Cornejo, M. V. E. Santana, D. R. Hokanson, J. R. Mihelcic, Q. Zhang. Carbon footprint of water reuse and desalination: A review of greenhouse gas emissions and estimation tools. *Journal of Water Reuse and Desalination* 4, 238, 2014.

R. Colciaghi, R. Simonetti, L. Molinaroli, M. Binotti, G. Manzolini. Levelized cost of water assessment for small-scale desalination plant based on forward osmosis process. *Energy Conversion and Management* 271, 116336, 2022.

S. A. Mohamed. Application of geo-spatial Analytical Hierarchy Process and multi-criteria analysis for site suitability of the desalination solar stations in Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 164, 103767, 2020.

SEDAT User Manual, Prepared by the Center for Life Cycle Analysis & Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, New York, NY, 2018.

U.S. Energy Information Administration (EIA), *Assumptions to the Annual Energy Outlook 2023: Energy -Related Carbon Dioxide*, 2023.

V. Fthenakis, G. Yetman, Z. Zhang, J. Squires, A. A. Atia, D. Cesar, A. Padilla, P. Palenzuela, V. Vicraman, G. Zaragoza. A solar energy desalination analysis tool, sedat, with data and models for selecting technologies and regions. *Scientific Data* 9, 223, 2022.

VEOLIA Brochure Dessalement, *Multiple Effect Distillation: Processes for Seawater Desalination*.

Y. Zheng, K. B. Hatzell. Technoeconomic analysis of solar thermal desalination. *Desalination* 474, 114168, 2022.

Διαδικτυακή Βιβλιογραφία

European Commission, Horizon, The EU research & Innovation Magazine, Water in a loop: how to combat water scarcity on remote islands, <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/water-loop-how-combat-water-scarcity-remote-islands>, [04/2023].

European Commission, EU Science Hub, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/, [12/2022].

Google Earth, <https://www.google.com/intl/el/earth/>, [05/2023].

National Geographic, Science, Preventing a water crisis in Greece, <https://www.nationalgeographic.com/science/article/partner-content-where-our-water-goes-greece>, [04/2023].

OLYMPIC SUN, <http://olympicsun.gr/>, [05/2023].

QGIS, <https://qgis.org/en/site/>, [02/2023].

Resource Watch, Water Stress Country Ranking, <https://resourcewatch.org>, [04/2023].

Secretariat General for the Aegean and Island Policy, Water supply of arid islands, http://www.ypai.gr/site/home/Basic+Menu/Programs/Se_Ekseliksi/Nationally.csp?loc=en_US, [04/2023].

Sharp Global, <https://global.sharp/> , [05/2023].

Skroutz, <https://www.skroutz.gr/> , [02/2023].

Spitogatos, <https://www.spitogatos.gr/pwliseis-agrotemaxia/nomos-chanion>, [02/2023].

TRADING ECONOMICS, Eu Carbon Permits, <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon> , [04/2023].

VEOLIA, <https://www.veoliawatertechnologies.com/en>, [05/2023].

ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%86%CF%81%CE%BC%CE%B7> , [05/2023].

Δ.Ε.Υ.Α. ΧΑΝΙΩΝ, <https://deyach.gr/> , [11/2022].

ΔΗΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ, <https://www.chania.gr/> , [04/2023].

Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, <https://www.statistics.gr/> , [04/2023].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Week	Thermal Power Generation (kWh)			
	4 MW	8 MW	12 MW	16 MW
1	12394,37	24788,74	37183,11	49577,48
2	53774,56	107549,1	161323,7	215098,2
3	48809,12	97618,23	146427,4	195236,5
4	54814,85	109629,7	164444,5	219259,4
5	33833,11	67666,22	101499,3	135332,4
6	53225,54	106451,1	159676,6	212902,2
7	124211,3	248422,6	372633,9	496845,2
8	76638,33	153276,7	229915	306553,3
9	121216,4	242432,7	363649,1	484865,4
10	76747,3	153494,6	230241,9	306989,2
11	114954,8	229909,7	344864,5	459819,3
12	99294,53	198589,1	297883,6	397178,1
13	118873,3	237746,5	356619,8	475493
14	61789,25	123578,5	185367,7	247157
15	154179,1	308358,1	462537,2	616716,3
16	143942,3	287884,6	431826,9	575769,2
17	162564,9	325129,8	487694,6	650259,5
18	132699,1	265398,2	398097,3	530796,4
19	246435	492870,1	739305,1	985740,2
20	148298,1	296596,2	444894,3	593192,4
21	265586,2	531172,4	796758,6	1062345
22	243202,4	486404,8	729607,1	972809,5
23	210187,5	420375,1	630562,6	840750,2
24	213658,3	427316,6	640974,9	854633,2
25	283371,9	566743,8	850115,7	1133488
26	269882,3	539764,6	809646,9	1079529
27	285309,1	570618,1	855927,2	1141236
28	287871,2	575742,5	863613,7	1151485
29	283585,2	567170,3	850755,5	1134341
30	276046,2	552092,3	828138,5	1104185
31	282789,3	565578,5	848367,8	1131157
32	264072,2	528144,3	792216,5	1056289
33	281451,4	562902,7	844354,1	1125805
34	315792,8	631585,6	947378,4	1263171
35	246200,1	492400,2	738600,3	984800,4
36	133542	267084,1	400626,1	534168,2
37	110331,4	220662,8	330994,2	441325,6
38	105805	211609,9	317414,9	423219,8
39	100665,9	201331,8	301997,7	402663,5
40	134269,2	268538,5	402807,7	537077
41	40395,18	80790,36	121185,5	161580,7
42	67215,06	134430,1	201645,2	268860,3
43	39005,26	78010,51	117015,8	156021
44	41730,94	83461,88	125192,8	166923,8

45	33323,12	66646,24	99969,36	133292,5
46	61098,41	122196,8	183295,2	244393,7
47	47144,6	94289,2	141433,8	188578,4
48	53959,46	107918,9	161878,4	215837,9
49	77121,06	154242,1	231363,2	308484,3
50	8316,025	16632,05	24948,08	33264,1
51	47454,49	94908,97	142363,5	189817,9
52	21625,19	43250,38	64875,57	86500,76
53	6213,679	12427,36	18641,04	24854,72

Πίνακας 1. Εβδομαδιαία παραγωγή θερμικής ενέργειας από το ηλιακό θερμικό σύστημα

Water Production (m ³)					
Week	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	12950	12950	12910,2	12936,34	273,538
2	12893,71	12942,94	12922,71	12938,23	1186,78
3	12911,42	12942	12941,18	12937,23	1077,195
4	12864,87	12927,61	12933,3	12937,74	1209,738
5	12923,58	12936,09	12943,86	12932,72	746,6812
6	12900,56	12926,61	12945,55	12950	1174,663
7	12888,09	12915,18	12950	12932,82	2741,286
8	12916,56	12940,88	12922,34	12932,44	1691,373
9	12907,08	12920,78	12930,21	12925,3	2675,189
10	12861,59	12896,02	12924	12939,04	1693,778
11	12904,54	12913,67	12927,35	12940,59	2537
12	12889,43	12903,78	12930,75	12946,47	2191,384
13	12896,53	12916,11	12939,26	12918,79	2623,478
14	12942,79	12946,5	12950	12943	1363,66
15	12907,98	12884,23	12919,22	12934,95	3402,661
16	12871,13	12918,96	12917,61	12946,69	3176,74
17	12919,69	12934,99	12940,85	12934,66	3587,732
18	12913,66	12918,23	12940,09	12920,43	2928,608
19	12841,84	12908,63	12918,1	12937,38	5438,708
20	12894,43	12902,01	12944,46	12928,43	3272,871
21	12903,62	12918,5	12943,43	12950	5861,365
22	12909,96	12920,05	12938,8	12949,29	5367,364
23	12916,39	12941,41	12947,35	12943,12	4638,742
24	12892,84	12946,64	12950	12950	4715,34
25	12907,22	12929,53	12940,79	12950	6253,887
26	12893,03	12933,84	12950	12950	5956,178
27	12910,41	12949,26	12950	12950	6296,639
28	12912,94	12936,91	12943,24	12950	6353,186
29	12901,95	12943,27	12946,17	12950	6258,594
30	12864,17	12900,49	12944,38	12950	6092,211
31	12898,64	12910	12948,2	12950	6241,028
32	12869,29	12890,87	12950	12950	5827,951
33	12884,9	12890,3	12943,5	12950	6211,502
34	12896,35	12950	12936,37	12948,2	6969,401
35	12915,61	12933,78	12950	12938,48	5433,522

36	12950	12943,43	12937,23	12924,38	2947,211
37	12921,86	12938,25	12939,3	12940,62	2434,963
38	12894,58	12931,67	12909,37	12950	2335,066
39	12932,07	12919,97	12948	12945,82	2221,65
40	12883,95	12925,89	12945,81	12950	2963,26
41	12917,1	12950	12936,79	12938,36	891,503
42	12911,71	12910,95	12916,72	12915,31	1483,405
43	12941,84	12943,91	12904,47	12931,49	860,828
44	12922,82	12933,46	12935,36	12943,1	920,9826
45	12928,39	12945,28	12928,96	12919,89	735,4258
46	12920,02	12928,2	12922,73	12939,13	1348,414
47	12860,58	12937,03	12932,55	12921,98	1040,46
48	12895,42	12898,49	12909,36	12936,35	1190,86
49	12904,83	12872,27	12931,32	12941,92	1702,026
50	12950	12950	12929,45	12950	183,5308
51	12916,18	12932,15	12930,09	12928,62	1047,299
52	12920,76	12949,91	12949,97	12944,12	477,258
53	1850	1850	1850	1850	137,133

Πίνακας 2. Εβδομαδιαία παραγωγή αφαλατωμένου νερού (Σενάρια 1 έως 5)

Water Production (m ³)					
Week	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9	Scenario 10
1	547,076	820,614	4747,119	659,0294	1038,3466
2	2373,559	3560,339	4308,779	2150,532	4504,9998
3	2154,389	3231,584	4838,954	1893,051	4089,0168
4	2419,477	3629,215	4957,526	1926,389	4592,1511
5	1493,362	2183,832	6502,681	1240,579	2461,3139
6	2349,326	3580,201	8903,056	1666,08	4787,8101
7	5482,572	7610,022	6775,11	3202,407	8362,0754
8	3382,745	5074,118	8032,492	2711,629	6206,4064
9	5350,378	7950,019	7009,605	3615,649	8826,3954
10	3387,555	5081,333	7195,25	2646,444	6429,5572
11	5074	7429,146	3650,131	3432,494	7926,6741
12	4382,769	6195,3	10453,74	2900,111	6831,8015
13	5201,947	6456,333	9512,397	3157,224	7044,5012
14	2772,329	3546,973	1094,152	1561,272	3629,085
15	6696,218	9454,383	2531,454	4291,838	10265,352
16	6462,584	8550,896	8513,209	4231,478	9369,2744
17	6833,432	8118,093	8258,85	3962,879	8245,6012
18	5835,189	7509,71	8213,928	3505,131	8121,3054
19	10755,33	12218,6	12320,71	5922,794	12309,56
20	6771,886	8552,747	9294,764	4061,575	9152,3594
21	11374,17	12336,07	12345,75	5870,748	12345,115
22	10716,82	11893,15	11928,95	5453,95	11922,055
23	9242,112	10124,83	10559,84	4851,114	10479,663
24	9407,159	10125,02	10545,17	4887,642	10459,452
25	12421,75	12544,01	12588,54	6121,337	12579,452
26	11908,7	12475,35	12526,49	6061,846	12520,57

27	12447,03	12516,45	12551,79	6069,285	12544,58
28	12472,64	12523,39	12561,04	6083,816	12553,362
29	12270,64	12456,5	12502,34	6022,372	12497,655
30	12189,8	12413,64	12419,83	5935,417	12419,352
31	12255,66	12389,28	12410,42	5935,417	12410,417
32	11561,07	12261,03	12265,01	5790,014	12264,567
33	12207,51	12410,42	12410,42	5935,417	12410,417
34	12298,38	12554,71	12609,45	6211,537	12601,217
35	11053,82	12171,75	12358,75	5781,291	12322,067
36	6177,646	7458,871	8019,478	3494,616	7952,4989
37	4869,926	6773,717	7781,23	3065,725	7659,2626
38	4670,133	6342,758	7254,959	3216,806	7093,7285
39	4376,641	5631,183	6038,815	3074,517	5966,7055
40	5993,178	8395,015	8937,832	3603,038	8827,9459
41	1783,006	2674,509	3273,954	1294,961	3158,081
42	2966,811	4450,216	6207,44	2415,904	5857,0402
43	1721,656	2582,484	3184,844	1340,924	3093,1736
44	1841,965	2762,948	3683,93	1503,443	3496,0377
45	1470,852	2206,278	2941,703	1392,978	2791,6668
46	2696,828	4045,241	5393,655	2385,614	5118,561
47	2080,919	3121,379	3854,476	1736,307	3716,8576
48	2381,721	3572,581	5070,804	1968,998	4753,2038
49	3404,053	5106,079	6808,105	2752,309	6460,8693
50	367,0617	550,5925	734,1234	428,4806	696,68065
51	2094,597	3141,896	4117,987	1903,792	3966,9286
52	954,516	1431,774	1980,239	923,918	1820,2681
53	274,2661	411,3991	548,5321	261,8197	520,55518

Πίνακας 3. Εβδομαδιαία παραγωγή αφαλατωμένου νερού (Σενάρια 6 έως 10)

Storage Status (kWh)					
Week	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
1	0	5022,483	17835,77	44162,25	0
2	0	87506,14	340067,1	774513,7	0
3	0	81466,29	335477,7	782480,7	0
4	64,11483	115000,9	418500,4	914983,4	64,11483
5	10,3787	85891,98	298529,4	543812,7	10,3787
6	407,1828	126121,1	423223,6	901066,1	407,1828
7	64121,41	646186,2	1580606	2301065	64121,41
8	2065,478	187682	703364,9	1149823	2065,478
9	10824,7	555082	1833799	2512272	10824,7
10	1390,396	170890	590400	1279724	1390,396
11	14336,47	576566,8	1704067	2231059	14336,47
12	17239,02	527306,7	1395831	1657630	17239,02
13	40587,42	805149,3	1627804	2044497	40587,42
14	16636,16	446619	972983,3	1071641	16636,16
15	25609,62	873384,3	2270691	2946745	25609,62
16	43042,17	957329,6	1916100	2475211	43042,17
17	53349,75	1347697	2514499	2780462	53349,75

18	34374,51	977217	1918798	2367822	34374,51
19	104593	2417505	3756744	4098564	104593
20	38270,63	1055487	2158735	2561259	38270,63
21	168661,1	2920152	3932236	4187876	168661,1
22	129204,2	2530464	3009624	3981290	129204,2
23	114640	2169629	2961595	3391093	114640
24	117957,4	2239647	4055645	3287369	117957,4
25	198234,6	3375240	4002773	4323952	198234,6
26	157762,6	3032256	4047038	4293702	157762,6
27	217744,8	3394333	4056097	4319800	217744,8
28	241275,9	3430239	4021446	4325967	241275,9
29	237603,4	3353339	3941224	4277107	237603,4
30	216404,5	3267396	3944587	4187780	216404,5
31	249422,7	3349993	3878827	4187513	249422,7
32	192157,9	2945414	3957802	4131668	192157,9
33	269356,8	3350631	4085474	4197187	269356,8
34	423619,8	3435170	3808600	4304037	423619,8
35	164540,4	2641043	1940098	4120842	164540,4
36	65064,01	1182667	1410409	2302592	65064,01
37	23578,39	563007,5	1383041	1967531	23578,39
38	24933,86	565173,9	1414038	1851812	24933,86
39	31077,97	675711	3724663	1554827	31077,97
40	30970,74	859849	2113153	2473256	30970,74
41	563,08	110094,7	365950,2	748331,5	563,08
42	2814,08	169958,8	592553,3	1270615	2814,08
43	1276,68	117376,2	370842,8	611734,9	1276,68
44	399,5713	85784,21	296277,1	639097,7	399,5713
45	0	31041,28	172289,2	396761,4	0
46	64,14881	73890,22	325234,8	780820,1	64,14881
47	0	117190,3	447192,9	952617,6	0
48	191,9504	137874,9	504724,4	1127242	191,9504
49	1,770822	146712,1	585076,7	1327447	1,770822
50	0	2263,063	9565,111	25524,33	0
51	0	78926,57	314022	706467	0
52	0	19373,73	100673,2	241312,3	0
53	0	3133,17	21025,34	49801,24	0

Πίνακας 4. Εβδομαδιαία αποθήκευση θερμικής ενέργειας (Σενάρια 1 έως 5)

Storage Status (kWh)					
Week	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 9	Scenario 10
1	5022,483	17835,77	44162,25	0	39666,336
2	87506,14	340067,1	774513,7	0	707435,8
3	81466,29	335477,7	782480,7	0	713042,94
4	115000,9	418500,4	914983,4	0	841483,13
5	85891,98	298529,4	543812,7	0	542624,12
6	126121,1	423223,6	901066,1	0	872585,51
7	646186,2	1580606	2301065	0	2283186
8	187682	703364,9	1149823	0	1100548,5

9	555082	1833799	2512272	0	2574946,4
10	170890	590400	1279724	0	1176207,8
11	576566,8	1704067	2231059	0	2239176
12	527306,7	1395831	1657630	0	1686471,9
13	805149,3	1627804	2044497	0	2061306,8
14	446619	972983,3	1071641	0	1114252,8
15	873384,3	2270691	2946745	0	2955188,6
16	957329,6	1916100	2475211	0	2511644,5
17	1347697	2514499	2780462	0	2890026,4
18	977217	1918798	2367822	0	2427910,7
19	2417505	3756744	4098564	0	4270950,3
20	1055487	2158735	2561259	0	2617229,9
21	2920152	3932236	4187876	0	4372588,6
22	2530464	3724663	3981290	0	4153219,9
23	2169629	3009624	3391093	0	3499231,9
24	2239647	2961595	3287369	0	3397202,9
25	3375240	4055645	4323952	0	4508649,3
26	3032256	4002773	4293702	0	4477838,5
27	3394333	4047038	4319800	0	4503761,8
28	3430239	4056097	4325967	0	4509928,8
29	3353339	4021446	4277107	0	4462838,2
30	3267396	3941224	4187780	0	4371741,7
31	3349993	3944587	4187513	0	4371474,2
32	2945414	3878827	4131668	0	4314128,1
33	3350631	3957802	4197187	0	4381148,6
34	3435170	4085474	4304037	0	4500773,4
35	2641043	3808600	4120842	0	4290728,2
36	1182667	1940098	2302592	0	2385588,1
37	563007,5	1410409	1967531	0	1980903,2
38	565173,9	1383041	1851812	0	1878532,4
39	675711	1414038	1554827	0	1615520,3
40	859849	2113153	2473256	0	2528407,5
41	110094,7	365950,2	748331,5	0	698249,73
42	169958,8	592553,3	1270615	0	1176623,8
43	117376,2	370842,8	611734,9	0	607887,75
44	85784,21	296277,1	639097,7	0	583436,31
45	31041,28	172289,2	396761,4	0	362474,18
46	73890,22	325234,8	780820,1	0	709265,94
47	117190,3	447192,9	952617,6	0	883435,24
48	137874,9	504724,4	1127242	0	1026950,2
49	146712,1	585076,7	1327447	0	1214345
50	2263,063	9565,111	25524,33	0	22896,308
51	78926,57	314022	706467	0	647781,16
52	19373,73	100673,2	241312,3	0	218265,97
53	3133,17	21025,34	49801,24	0	45453,727

Πίνακας 5. Εβδομαδιαία αποθήκευση θερμικής ενέργειας (Σενάρια 6 έως 10)

Fossil Fuel Usage (kWh)				
Week	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
1	574387,3	561992,9	547795	536585,2
2	530456,6	478912,6	424221,4	371150,3
3	536224,3	488800,9	439954,5	390966,4
4	528109,6	476137,3	421580,6	366966,9
5	551751,6	518484,9	487551	471295,2
6	531316	479270,7	424356,3	362149,6
7	459765,1	336781,1	241961,5	200258,6
8	508628,3	433092	355613,3	291340,9
9	463620,4	343024,7	225659,1	182253,3
10	506028,5	430841,2	355361,4	279295,9
11	469767,1	355225,8	249130,8	222392,4
12	484742,7	386098,2	305192,3	269007,3
13	465485,5	349538,9	293749,8	259341,2
14	524665,8	461005,2	426063,6	421072,4
15	430698,5	280387,2	156996,5	112426,5
16	439265,5	292546,8	197861,4	155612,4
17	422843,4	276469,5	218525,5	211867,1
18	452435,7	320941,9	246057,5	213257,9
19	335445,6	97569,15	31695,42	27941,98
20	435965,5	277764,1	198994,2	164646,3
21	319094,1	69975,72	27520,1	27379,47
22	341764,8	99831,32	127504,8	46232,76
23	375071,4	167619,9	127883,5	107989,4
24	370533,4	160378,5	18396,1	108966,1
25	301471,3	23007,93	21089,69	16378,39
26	314318	46450,28	19644,85	19189,82
27	299678,6	22756,97	19330,36	18043,39
28	297231	21036,65	22055,04	17624,07
29	301019,5	30477,92	24129,27	20283,91
30	306846,3	32202,6	25152,29	24022,62
31	301665,4	29648,98	31136,91	24449,24
32	319052,4	60254,95	24449,24	31037,63
33	302380,3	30938,51	17616,71	24449,24
34	268558,1	29525,68	34645,69	15349,1
35	339023,3	85183,46	248810,3	26268,46
36	453239,6	306566,7	279277	222247,5
37	475175,3	365586,6	298897,8	233778,6
38	478465,3	374341,3	329784,2	258049,9
39	485303,4	387109,5	47796,63	312965,8
40	449519,7	314130,5	206202,4	181796,6
41	544895,5	505991,3	464997,5	437906,8
42	517831,8	450581,9	383628,6	303942,3
43	547406,5	508495,3	467702,6	441633,2
44	543819,2	502570,3	460925,7	419545,4
45	552479,3	519921,7	485859,1	452124,8
46	524324,8	463597	402250,8	341895,5

47	535585,2	491904,6	444557,3	410860,8
48	530349,3	476528,5	423061,8	356398,5
49	507613,8	429017,5	354572,2	277931,1
50	578465,6	570149,6	560902,3	553517,5
51	537794,9	491063,8	443515,9	399221,4
52	563831,6	543527,2	521904,9	496788,1
53	77612,27	71398,59	65184,91	58971,23

Πίνακας 6. Εβδομαδιαία χρήση φυσικού αερίου σε kWh (Σενάρια 1 έως 4)

Water Production (m ³)					
Day	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8	Scenario 10
135	790,5897	1590,923	1757,546	1772,917	1772,9167
136	776,5386	1549,005	1751,537	1770,105	1766,3169
137	775,9377	1551,394	1754,762	1772,917	1770,3977
138	701,8083	1423,99	1673,455	1691,69	1687,9703
139	689,6488	1410,779	1597,497	1616,107	1612,3101
140	411,8612	785,8105	1140,174	1494,538	1422,2428
141	69,12736	176,1667	302,7917	429,4166	403,58348
142	167,8365	335,673	485,9319	622,2147	594,41123
143	569,3047	1088,073	1598,135	1667,881	1661,4438
144	657,9221	1336,208	1768,291	1772,917	1772,9167
145	841,3979	1638,476	1770,972	1772,917	1772,9167
146	839,3731	1695,67	1772,917	1772,917	1772,9167
147	811,9475	1616,639	1695,833	1695,833	1695,8333
148	848,8148	1699,57	1772,917	1772,917	1772,9167
149	841,8844	1689,587	1772,917	1772,917	1772,9167
150	859,4434	1698,021	1782,228	1785,331	1784,698
151	842,4145	1692,425	1781,888	1784,878	1784,268
152	735,8577	1542,051	1618,75	1618,75	1618,75
153	587,3057	1096,379	1555,01	1559,457	1558,55
154	802,3434	1624,45	1770,915	1772,917	1772,9167
155	784,081	1572,886	1676,027	1695,119	1691,2244
156	766,1509	1541,742	1702,197	1704,318	1703,8856
157	843,5968	1646,888	1788,362	1793,511	1792,4602
158	740,4519	1565,514	1641,744	1649,408	1647,8445
159	216,7043	367,3753	473,9796	580,5839	558,83518
160	735,0819	1536,197	1618,75	1618,75	1618,75
161	383,919	740,0753	1071,571	1392,304	1335,4377
162	840,4141	1630,166	1772,953	1772,965	1772,9625
163	853,7783	1702,875	1772,917	1772,917	1772,9167
164	841,9789	1699,91	1772,917	1772,917	1772,9167
165	870,6502	1739,723	1772,917	1772,917	1772,9167
166	706,7958	1482,324	1647,021	1656,445	1654,5227
167	136,4835	272,9669	409,4504	545,9338	518,08941
168	384,168	697,0939	968,5576	1240,021	1184,6391
169	862,5592	1721,505	1772,917	1772,917	1772,9167
170	878,8824	1746,323	1778,792	1780,751	1780,3515
171	872,5662	1747,223	1775,366	1776,183	1776,0162

172	884,2655	1763,244	1777,391	1778,882	1778,5778
173	901,3343	1779,46	1782,732	1786,004	1785,3361
174	892,0705	1779,29	1782,476	1785,662	1785,0123
175	895,7703	1773,777	1804,839	1815,479	1813,3083
176	902,5461	1797,244	1810,444	1822,953	1820,4009
177	867,7853	1769,513	1784,545	1788,421	1787,6301
178	900,3898	1759,223	1801,581	1811,135	1809,1861
179	898,1629	1784,502	1790,294	1796,087	1794,9051
180	888,4472	1783,644	1789,008	1794,372	1793,2779
181	872,5888	1765,874	1787,624	1792,526	1791,526
182	793,5532	1584,786	1772,917	1772,917	1772,9167
183	849,0306	1697,052	1773,815	1774,115	1774,0538
184	775,4837	1517,952	1775,431	1805,759	1804,084
185	878,0844	1774,89	1786,264	1790,714	1789,806
186	887,774	1774,789	1791,008	1797,039	1795,8085
187	907,425	1778,061	1780,633	1783,205	1782,6801
188	876,8384	1774,298	1785,865	1790,181	1789,3001
189	896,7929	1785,37	1792,702	1799,296	1797,951
190	889,0847	1769,294	1791,335	1797,474	1796,2214
191	906,6503	1780,924	1784,927	1788,931	1788,114
192	912,1103	1784,291	1789,978	1795,665	1794,505
193	903,4243	1781,225	1785,379	1789,533	1788,6852
194	910,4067	1784,124	1789,727	1795,331	1794,1878
195	922,4455	1787,298	1794,489	1801,68	1800,213
196	914,6831	1781,791	1786,229	1790,666	1789,7608
197	898,2069	1780,266	1794,536	1801,743	1800,2727
198	903,1915	1781,591	1785,928	1790,265	1789,3803
199	904,3676	1776,345	1787,099	1791,827	1790,8624
200	905,0048	1780,11	1783,707	1787,304	1786,5697
201	888,1576	1746,462	1771,776	1780,408	1780,0259
202	897,9208	1752,393	1779,281	1781,403	1780,9699
203	915,5142	1777,298	1787,19	1791,948	1790,977
204	873,5613	1742,871	1766,389	1785,689	1785,0373
205	867,7416	1694,24	1788,705	1793,968	1792,8945
206	903,9181	1777,265	1779,448	1781,625	1781,1805
207	886,6039	1749,374	1776,144	1782,332	1781,8517
208	861,7288	1714,152	1772,917	1772,917	1772,9167
209	877,8731	1747,328	1772,917	1772,917	1772,9167
210	876,6163	1758,568	1772,917	1772,917	1772,9167
211	883,0362	1759,826	1772,917	1772,917	1772,9167
212	861,3574	1730,825	1772,917	1772,917	1772,9167
213	868,3116	1729,725	1772,917	1772,917	1772,9167
214	890,0664	1757,767	1772,917	1772,917	1772,9167
215	897,7616	1772,193	1772,917	1772,917	1772,9167
216	854,2094	1730	1757,401	1772,917	1772,9167
217	895,3458	1746,686	1772,113	1772,917	1772,9167
218	878,654	1745,709	1772,917	1772,917	1772,9167
219	906,3012	1759,698	1772,917	1772,917	1772,9167

220	893,9563	1743,606	1768,099	1772,917	1772,9167
221	832,1563	1682,401	1702,406	1704,597	1704,1502
222	769,783	1481,334	1695,833	1695,833	1695,8333
223	797,1238	1597,14	1772,917	1772,917	1772,9167
224	782,0315	1566,248	1772,917	1772,917	1772,9167
225	877,0779	1732,678	1771,121	1772,917	1772,9167
226	884,447	1740,253	1772,917	1772,917	1772,9167
227	894,7179	1761,014	1772,917	1772,917	1772,9167
228	898,3286	1757,517	1772,917	1772,917	1772,9167
229	898,0335	1756,052	1772,917	1772,917	1772,9167
230	885,623	1739,226	1772,917	1772,917	1772,9167
231	889,8379	1740,311	1772,917	1772,917	1772,9167
232	890,7338	1740,617	1772,917	1772,917	1772,9167
233	877,3633	1737,627	1772,917	1772,917	1772,9167
234	871,3003	1736,156	1772,917	1772,917	1772,9167
235	839,178	1674,417	1695,833	1695,833	1695,8333
236	862,5213	1695,856	1772,917	1772,917	1772,9167
237	864,3611	1698,504	1730,835	1742,502	1740,1221
238	1565,104	1810,559	1829,38	1848,201	1844,3617
239	1012,976	1812,467	1832,242	1850	1847,9828
240	933,2034	1819,974	1843,502	1850	1850
241	896,626	1786,604	1850	1850	1850
242	843,2529	1717,307	1793,875	1800,862	1799,4363
243	798,002	1623,592	1785,213	1840,701	1829,381
244	696,1062	1351,409	1752,506	1797,091	1787,9955
245	824,4875	1639,167	1761,117	1790,038	1785,2332
246	810,0622	1620,094	1750,147	1770,695	1766,8766
247	774,1082	1562,448	1664,839	1680,202	1677,068
248	767,5807	1539,807	1664,055	1679,157	1676,0763
249	775,9133	1549,573	1711,126	1741,918	1735,6363
250	757,053	1512,169	1662,279	1676,789	1673,8289
251	750,4416	1501,683	1652,206	1663,358	1661,083
252	698,2352	1431,627	1581,243	1594,435	1591,7435
253	7,980923	15,96185	23,94277	31,92369	30,29548
254	100,032	162,9612	205,9002	248,8391	240,07903
255	387,8408	812,7844	1257,718	1524,191	1517,2196
256	173,5683	347,1367	520,705	694,2733	658,86312
257	122,254	244,5079	366,7619	489,0159	464,07445
258	447,8462	868,6048	1264,366	1585,877	1579,3859

Πίνακας 7. Ημερήσια παραγωγή αφαλατωμένου νερού τη χρονική περίοδο μεταξύ 15 Μαΐου – 15 Σεπτεμβρίου

Design output - Scenarios 1 to 9 (Recovery Rate 40%)

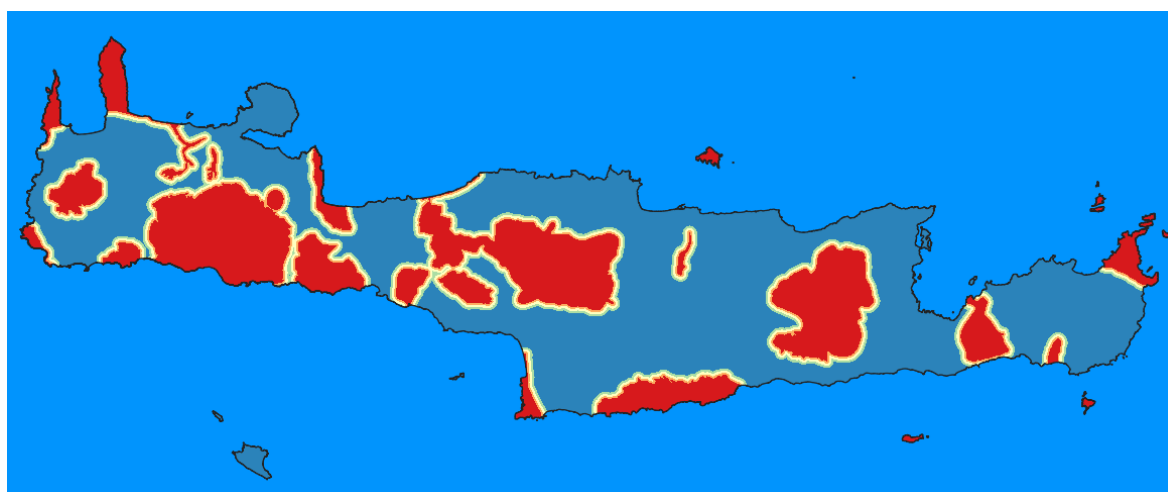
Parameter	Value	Unit
Thermal power requirement	3,49274787	MW(th)
Specific thermal power consumption	45,31132372	kWh(th)/m ³
Brine concentration	58,33333333	g/L
Feedwater flow rate	192,7083333	m ³ /h
Cooling water flow rate	132,9044523	m ³ /h
Heating steam mass flow rate entering the first effect	1,992746253	kg/s
Motive steam mass flow rate entering the thermocompressor	0,73498638	kg/s
Specific area	6,28076316	m ² per m ³ /day
Gained output ratio	15,28683243	kg permeate/kg steam
Mean temperature difference between effects	1,848476593	°C

***Πίνακας 8.** Αποτελέσματα απόδοσης σεναρίων 1 έως 9, μετά τη προσομοίωσή τους*

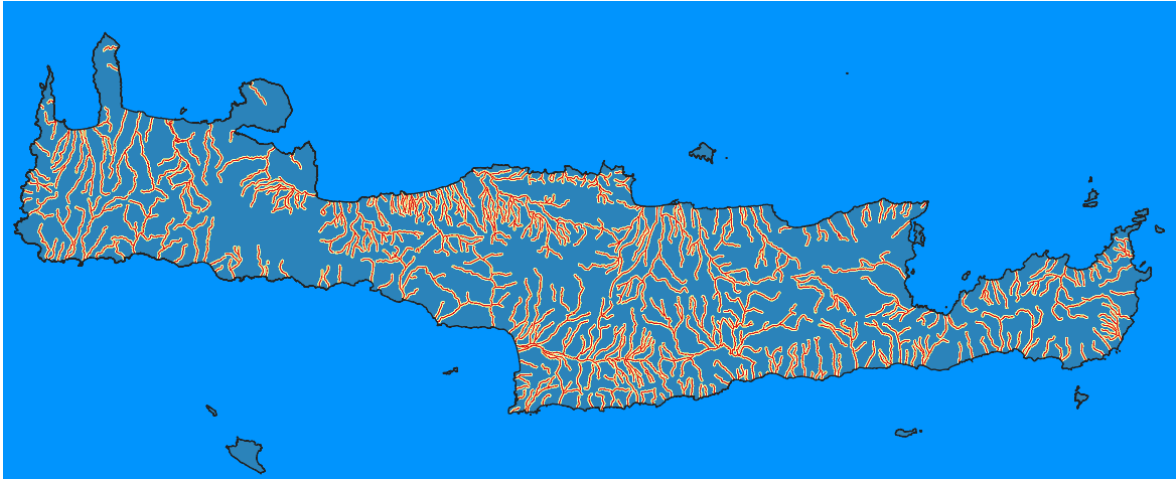
Design output - Scenario 10 (Recovery Rate 30%)

Parameter	Value	Unit
Thermal power requirement	3,680464	MW(th)
Specific thermal power consumption	47,74656	kWh(th)/m ³
Brine concentration	50	g/L
Feedwater flow rate	256,9444	m ³ /h
Cooling water flow rate	60,70582	m ³ /h
Heating steam mass flow rate entering the first effect	2,190323	kg/s
Motive steam mass flow rate entering the thermocompressor	0,963327	kg/s
Specific area	6,4256	m ² per m ³ /day
Gained output ratio	14,50715	kg permeate/kg steam
Mean temperature difference between effects	1,979117	°C

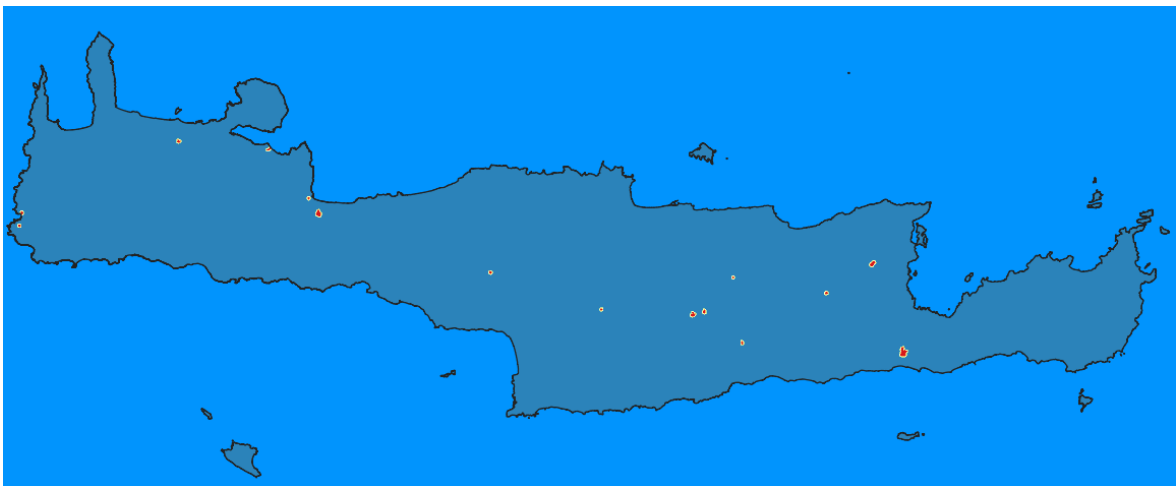
***Πίνακας 9.** Αποτελέσματα απόδοσης σεναρίου 10, μετά τη προσομοίωσή του*



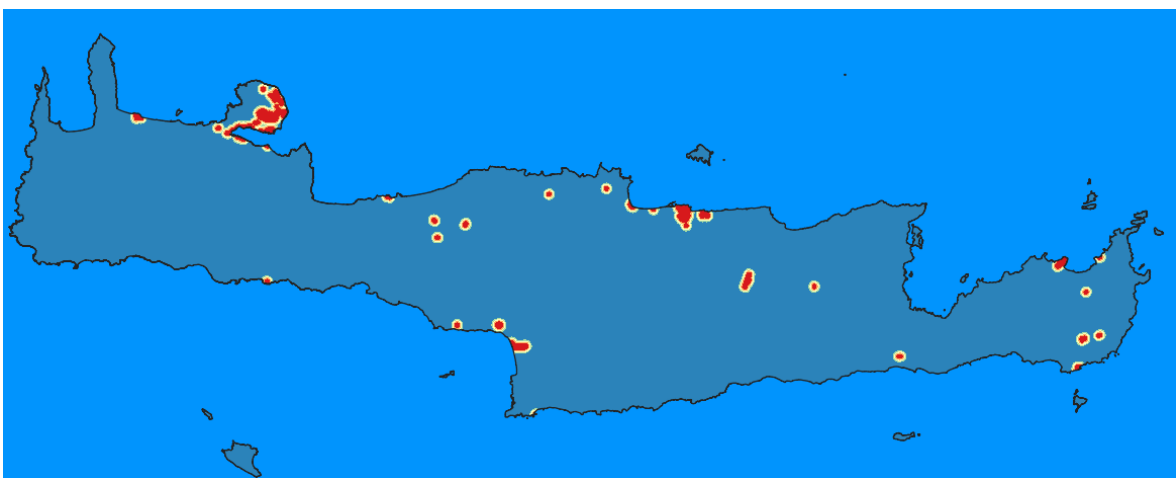
***Εικόνα 1.** Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από Τόπους Κοινωνικής Σημασίας (SCI) (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)*



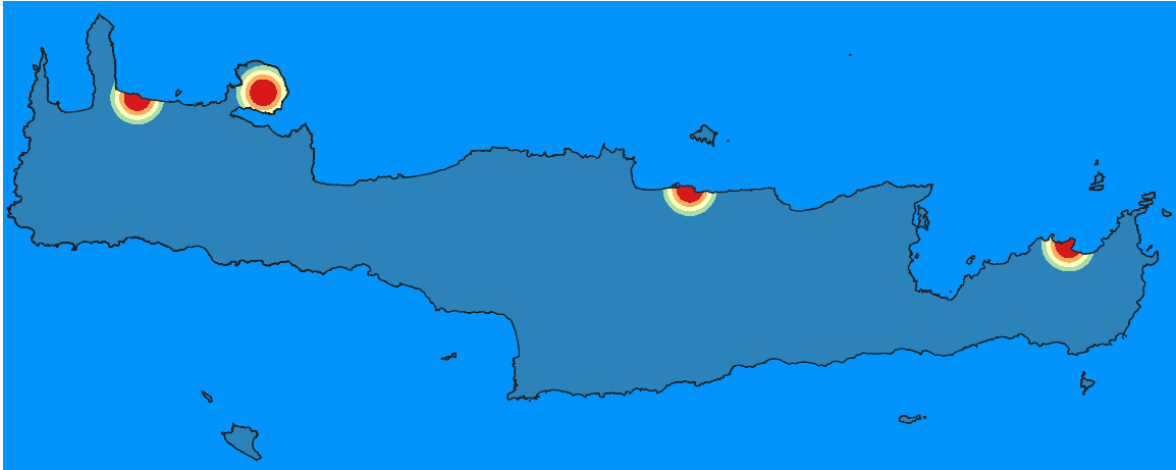
Εικόνα 2. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από ποτάμια (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



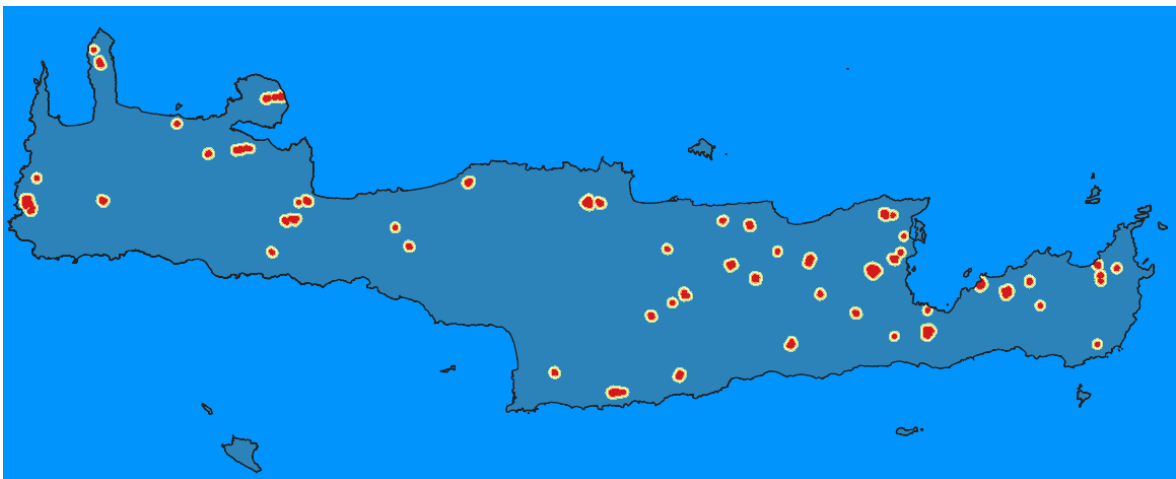
Εικόνα 3. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από λίμνες (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



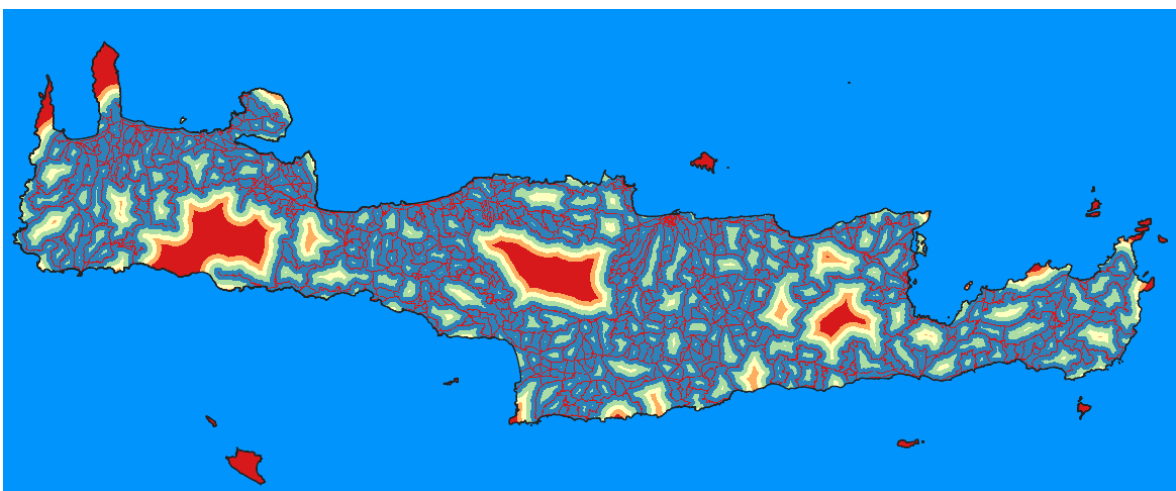
Εικόνα 4. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από στρατόπεδα (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



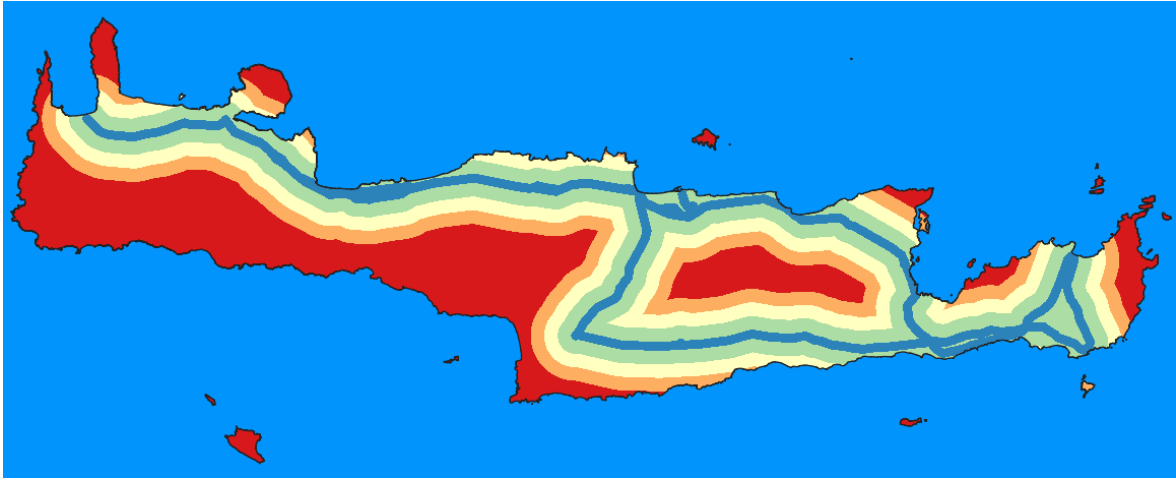
Εικόνα 5. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από αεροδρόμια (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



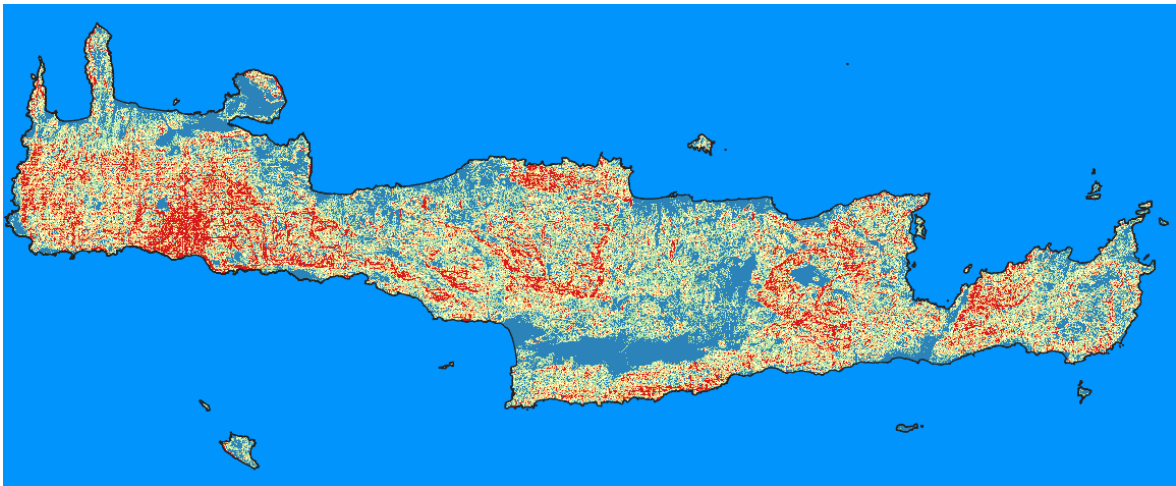
Εικόνα 6. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από λατομεία (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



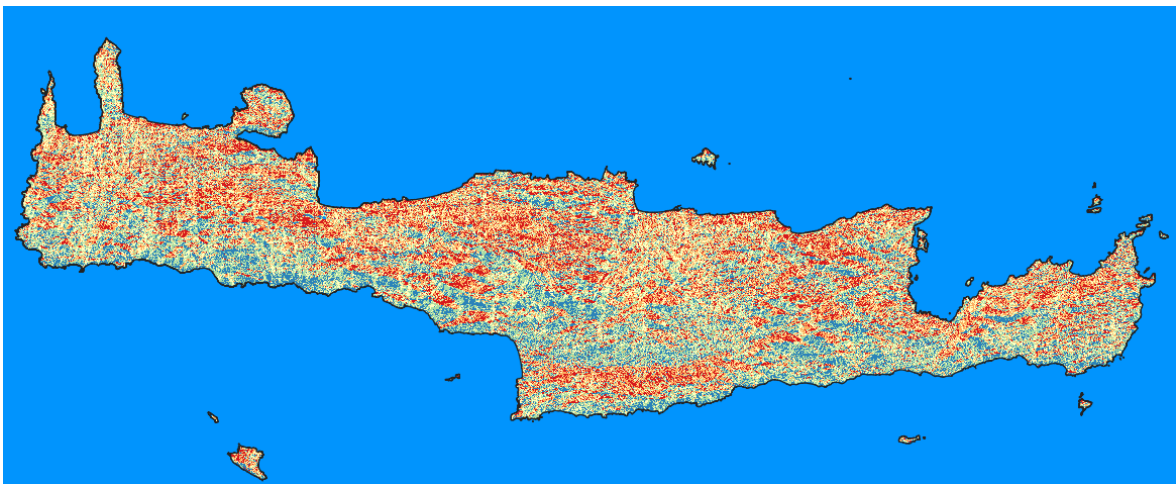
Εικόνα 7. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από οδικό δίκτυο (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



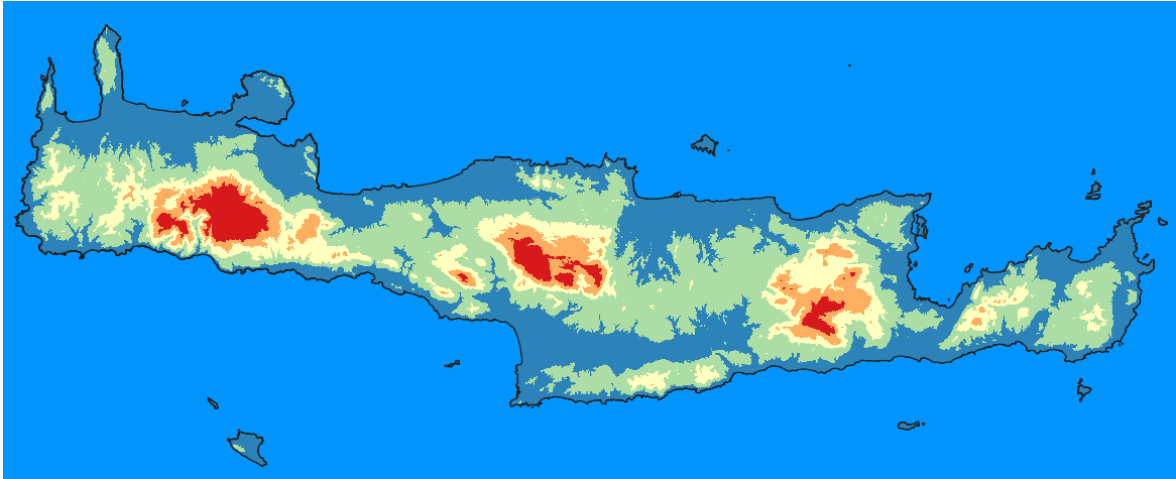
Εικόνα 8. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από γραμμές υψηλής τάσης (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



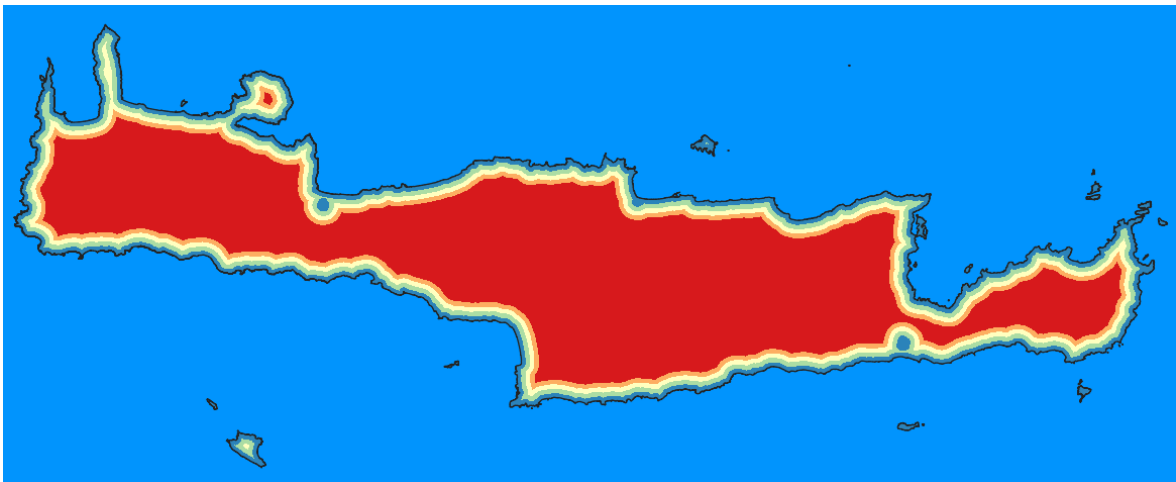
Εικόνα 9. Ταξινόμηση κριτηρίου – Κλίση εδάφους (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



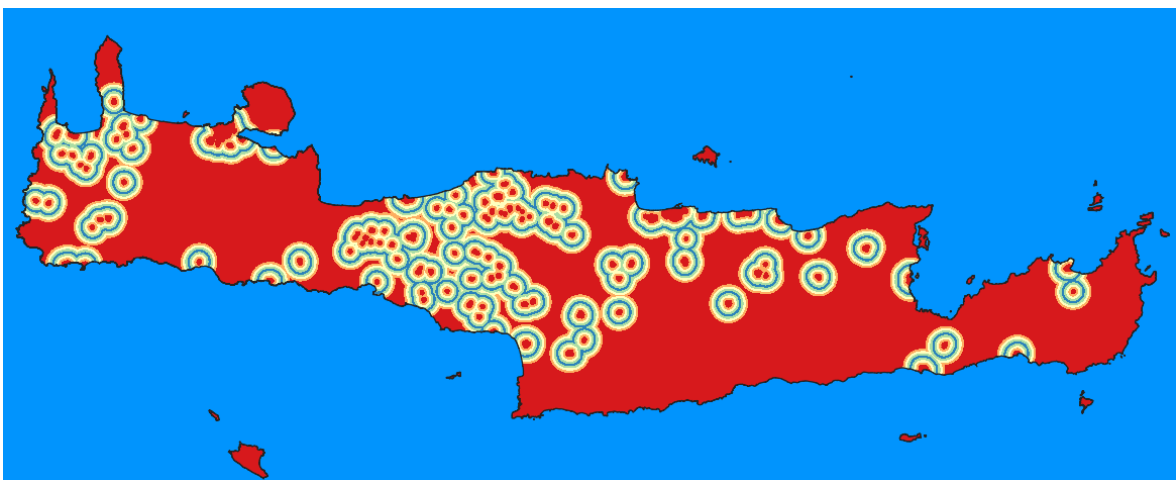
Εικόνα 10. Ταξινόμηση κριτηρίου – Προσανατολισμός (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



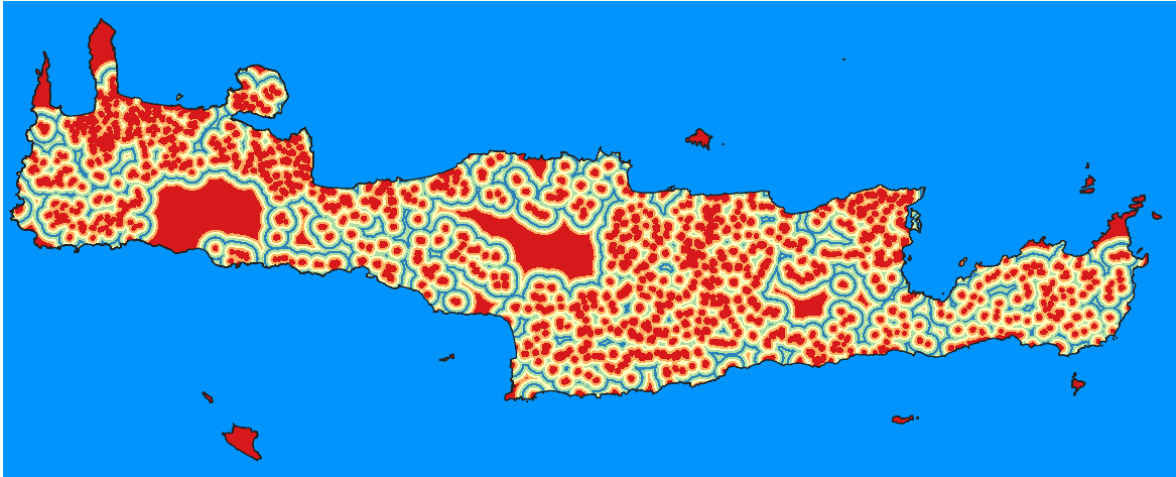
Εικόνα 11. Ταξινόμηση κριτηρίου – Υψόμετρο (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



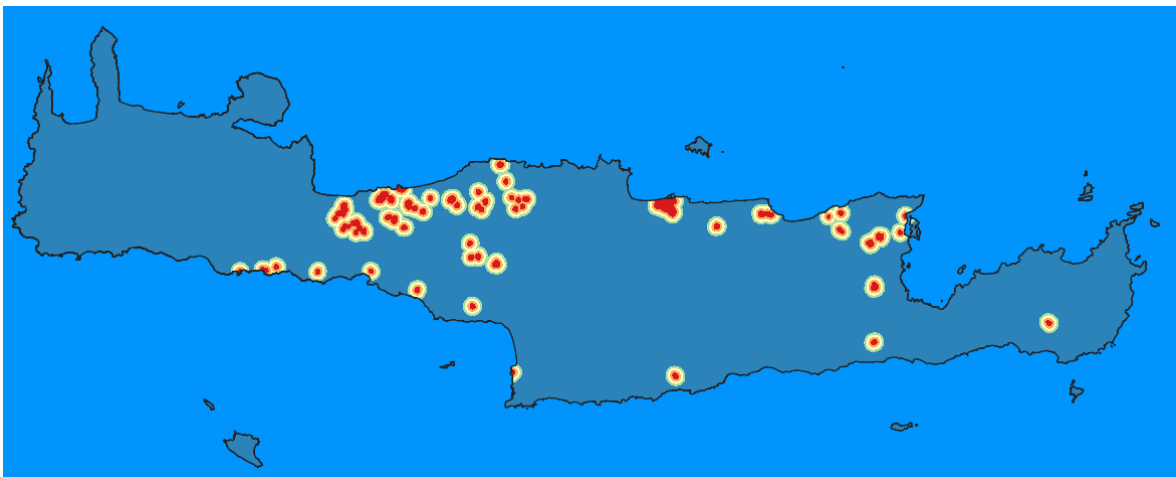
Εικόνα 12. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από ακτογραμμή (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



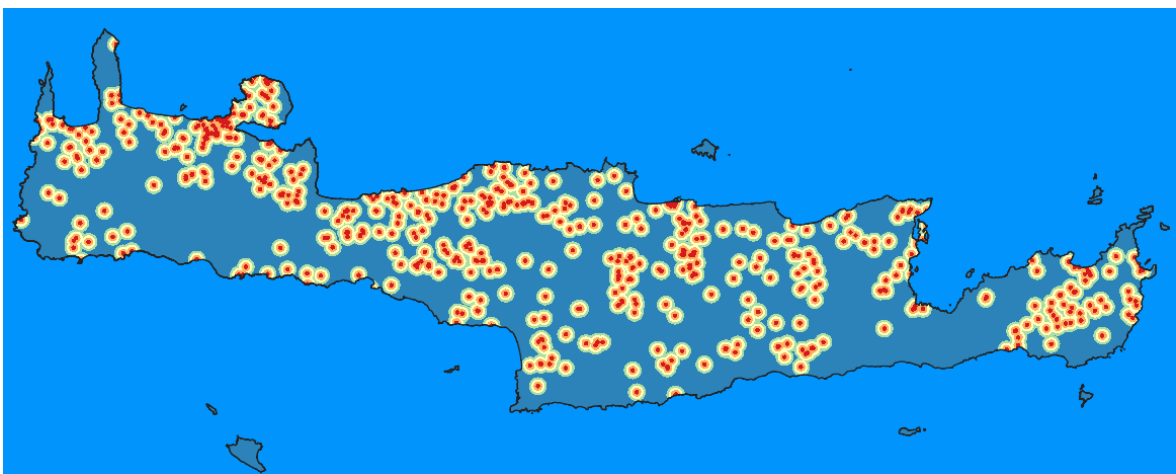
Εικόνα 13. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από πόλεις & οικισμούς με πληθυσμό μικρότερο από 2000 κατοίκους (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



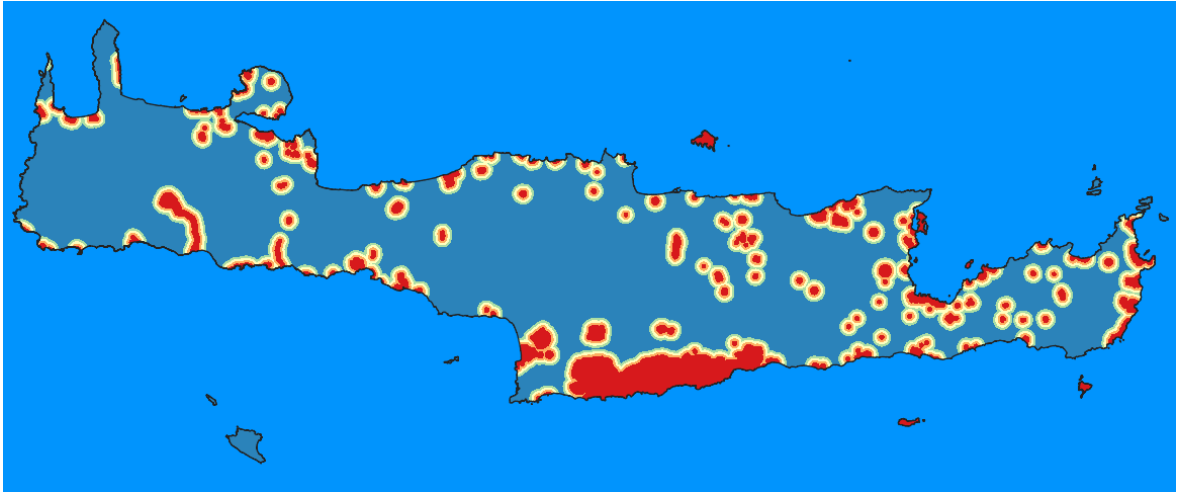
Εικόνα 14. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από πόλεις & οικισμούς με πληθυσμό μεγαλύτερο από 2000 κατοίκους (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



Εικόνα 15. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από παραδοσιακούς οικισμούς (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



Εικόνα 16. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από μνημεία (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)



Εικόνα 17. Ταξινόμηση κριτηρίου – Απόσταση από αρχαιολογικούς χώρους (κόκκινο:ακατάλληλο έως μπλε:βέλτιστο)