



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ
ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ**

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΟΛΛΙΑΣ



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

Βόλος, 2023

© 2023 Δημήτριος Κόλλιας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Βανέσσα Κατσαρδή
(Επιβλέπουσα) Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Μέλλιος
Διδάσκων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Δημήτριος Κοφινάς
Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κ. Βανέσσα Κατσαρδή για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου αναθέτοντας μου τη συγκεκριμένη διπλωματική αλλά και για την επίβλεψη της εργασίας η οποία παρέχοντας την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της συντέλεσε σημαντικά στην επίτευξη των στόχων μου. Παράλληλα, δηλώνω ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας, κκ. Νικόλαο Μέλλιο και Δημήτριο Κοφινά για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Επιπρόσθετα ευχαριστώ θερμά τον απόφοιτο του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Μηνά Γαβαλά για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την εσωτερική ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος οι οποίοι χαρίζοντας απλόχερα τις γνώσεις τους με οδήγησαν σταδιακά στην εκπλήρωση των στόχων μου. Ευχαριστώ τους συμφοιτητές – συναδέλφους μου για την άριστη συνεργασία σε όλη αυτή την υπέροχη διαδρομή και τους φίλους μου για την ηθική στήριξη. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στην οικογένεια μου για την διαρκή ενθάρρυνση και υποστήριξη τους με κάθε τρόπο, στοιχεία τα οποία αποτέλεσαν ακρογωνιαίους λίθους για την πραγματοποίηση αυτού του εγχειρήματος.

Δημήτριος Κόλλιας.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΙΩΣΙΜΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ ΠΕΛΑΓΟΣ

Δημήτριος Κόλλιας

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2023

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κατσαρδή Βανέσσα, Καθηγήτρια

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με ιδιαίτερη έμφαση στην αιολική ενέργεια και τις τεχνολογικές προεκτάσεις αυτής. Πιο συγκεκριμένα αναλύεται διεξοδικά το εγχείρημα για μια βιώσιμη χωροθέτηση υπεράκτιων ανεμογεννητριών στο χώρο του Αιγαίου εξετάζοντας τόσο τις περιβαλλοντικές όσο και τις τεχνικές - κοινωνικές συνιστώσες που προκύπτουν. Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα κερδίζουν διαρκώς νέο έδαφος στο χώρο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από εναλλακτικές μορφές ενέργειας αφού στη θάλασσα παρατηρούνται μεγαλύτερης έντασης άνεμοι το οποίο συνεπάγεται αύξηση της ηλεκτροπαραγωγής. Η Ελλάδα ωστόσο, αν και χαρακτηρίζεται ως μια χώρα με πλούσιο αιολικό δυναμικό βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο επίπεδο όσον αφορά στην πλήρη αξιοποίησή αυτού μέσω θαλάσσιων ανεμογεννητριών. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εντοπισμού και αξιολόγησης των κατάλληλων περιοχών του Αιγαίου για χωροθέτηση υπεράκτιων αιολικών πάρκων αποκλείοντας τις ακατάλληλες θέσεις μέσω κριτηρίων και χρησιμοποιώντας τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) συνδυαστικά με την Ιεραρχική Ανάλυση. Σε πρώτο στάδιο, λαμβάνονται οι δείκτες αποκλεισμού των ακατάλληλων περιοχών οι οποίοι σχετίζονται με κριτήρια όπως η βυθομετρία, η ταχύτητα του ανέμου, οι περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές και η απόσταση από την ακτή ή από παραγωγικές δραστηριότητες. Στη συνέχεια αξιολογούνται οι πλέον κατάλληλες περιοχές μέσω νέων δεικτών συνυπολογίζοντας περιβαλλοντικά, τεχνικά, και κοινωνικά κριτήρια με βάση της Ιεραρχικής Μεθόδου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν με την ολοκλήρωση της εφαρμοστέας μεθοδολογίας συναινούν στο γεγονός ότι υπάρχουν δυνατότητες αξιοποίησης της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας για την περιοχή του Αιγαίου συνεισφέροντας αποτελεσματικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Λέξεις Κλειδιά:

Πλωτά Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, Βιώσιμη Ανάπτυξη, Βιοποικιλότητα, Γαλάζια Ενέργεια, Αιολική Ενέργεια, Ανεμογεννήτριες, Αιγαίο Πέλαγος, Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.)

ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE SITING OF OFFSHORE WIND FARMS IN THE AEGEAN SEA

Dimitrios Kollias

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2022

Supervisor: Vanessa Katsardi, Assistant Professor

Abstract

The present diploma thesis deals with the topic of renewable energy sources, giving particular emphasis on wind power and its technological implications. More specifically, the project for a sustainable siting of offshore wind turbines in the Aegean is thoroughly analyzed, examining both the environmental and the technical - social components. Offshore wind farms are constantly gaining new ground in the field of electricity production from alternative forms of energy since stronger winds are observed at sea, which implies an increase in electricity production. Greece, however, although it is characterized as a country with rich wind potential, is still at an early stage in terms of its full utilization through offshore wind turbines. The purpose of this work is to develop an integrated methodology for identifying and evaluating the suitable areas of the Aegean for siting offshore wind farms excluding the non-suitable ones through specific criteria using Geographic Information Systems (GIS) combined with the Analytic Hierarchical Process (AHP). In a first stage, the indicators for the exclusion of unsuitable areas are obtained which are related to criteria such as bathymetry, wind speed, environmentally sensitive areas and distance from the coast or from productive activities. Next, the most suitable areas are evaluated through new indicators considering environmental, technical, economic and social criteria based on the multi-Criteria Method. The results from the completion of the applicable methodology agree to the fact that there are possibilities of exploiting offshore wind energy for the Aegean region, effectively contributing to the energy autonomy of the country.

Keywords: *Floating Offshore Wind Farms, Sustainable Development, Biodiversity, Blue Energy, Wind Energy, Wind Turbines, Aegean Sea, Geographic Information Systems (GIS)*

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή	1
1.1	Κίνητρο και Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	1
1.2	Οργάνωση διπλωματικής εργασίας	2
Κεφάλαιο 2	Ενέργεια	4
2.1	Το ενεργειακό πρόβλημα	5
2.2	Η Ενεργειακή Ασφάλεια	8
2.3	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	10
2.3.1	Γενικά χαρακτηριστικά	10
2.3.2	Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ	12
2.3.3	Μειονεκτήματα των ΑΠΕ	13
2.4	Θεσμικό πλαίσιο και ισχύοντες κανονισμοί	15
2.4.1	Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	15
2.4.2	Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	16
Κεφάλαιο 3	Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια	18
3.1	Εισαγωγή στην Αιολική Ενέργεια	18
3.1.1	Στατιστικά Αγοράς Αιολικής Ενέργειας	20
3.2	Ανεμογεννήτριες	24
3.2.1	Ιστορική Αναδρομή	24
3.3	Σύγχρονες Ανεμογεννήτριες	29
3.3.1	Γενικός Τρόπος Λειτουργίας	29
3.3.2	Βασικές λειτουργίες και τμήματα μιας ανεμογεννήτριας	29
3.4	Η κατάσταση στην Ευρώπη και τον κόσμο	33
3.5	Η κατάσταση στην Ελλάδα	36

3.6	Σύγκριση Χερσαίων – Υπεράκτιων Ανεμογεννητριών	39
3.6.1	Πλεονεκτήματα Υπεράκτιων Εγκαταστάσεων	39
3.6.2	Μειονεκτήματα Υπεράκτιων Εγκαταστάσεων	42
3.6.3	Υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις και διατήρηση Βιοποικιλότητας	45
3.7	Κατηγορίες Δομών Στήριξης	46
3.7.1	Κατασκευές Σταθερής Έδρασης	46
3.7.2	Πλωτές – Αγκυρωμένες κατασκευές	53
	Κεφάλαιο 4 Χωροθέτηση Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου.....	58
4.1	Βασικά κριτήρια και εργαλεία	58
4.1.1	Διεθνές πλαίσιο χωροθέτησης υπεράκτιων αιολικών πάρκων	58
4.1.2	Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για την χωροθέτηση υπεράκτιων αιολικών πάρκων	59
4.1.3	Κριτήρια χωροθέτησης ΘΑΠ:	59
4.2	Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα	62
4.2.1	Δομή υπεράκτιων αιολικών πάρκων.	62
	Κεφάλαιο 5 Μεθοδολογία.....	64
5.1	Περιοχή Μελέτης	64
5.2	Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) / Geographic Information Systems (GIS)	65
5.3	Μεθοδολογική Προσέγγιση	66
5.3.1	Κατηγοριοποίηση Δεδομένων και Ζωνών Αποκλεισμού	70
5.3.2	Διεθνή Ύδατα	71
5.3.3	Αιολικό δυναμικό.....	75
5.3.4	Βαθυμετρία.....	76
5.3.5	Απόσταση από τις ακτές	78
5.4	Περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές – Βιοποικιλότητα	78
5.4.1	Περιοχές Natura 2000.....	79
5.4.2	Διαδρομές μεταναστευτικών πτηνών.....	81
5.4.3	Υδροβιότοποι	84
5.4.4	Λιβάδια Ποσειδωνίας	85
5.4.5	Περιοχές όπου τα επίπεδα θορύβου επηρεάζουν τα θηλαστικά.....	88
5.4.6	Ακτές με γαλάζια σημαία.....	92

5.5	Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος (ΑΗΡ)	93
5.5.1	1 ^η Ιεραρχική Ανάλυση: Περιβαλλοντικά Κριτήρια	94
5.5.2	2 ^η Ιεραρχική Ανάλυση: Τεχνικά Κριτήρια	95
5.5.3	3 ^η Ιεραρχική Ανάλυση: Κοινωνικά – Πολιτισμικά Κριτήρια	96
5.5.4	Κριτήρια Οπτικής Όχλησης	97
5.5.5	Τελική Ιεραρχική Ανάλυση – Περιοχές προς Χωροθέτηση	101
5.6	Χωροθέτηση ΘΑΠ Σταθερής Έδρασης	105
	Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και προτάσεις για το μέλλον	107
	Βιβλιογραφία	110
	Ελληνική βιβλιογραφία	110
	Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	111
	Διαδικτυακές Πηγές	113
	Παράρτημα.....	115
	Χάρτης 1: Συσσωρευμένες περιβαλλοντικά ασύμβατες προς χωροθέτηση ΘΑΠ περιοχές στο Αιγαίο συναρτήσει αιολικού δυναμικού	115
	Χάρτης 2: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Περιβαλλοντικών Κριτηρίων	116
	Χάρτης 3: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Τεχνικών Κριτηρίων.....	117
	Χάρτης 4: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Κοινωνικών-Πολιτισμικών Κριτηρίων	118
	Χάρτης 5: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Κριτηρίων Οπτικής Όχλησης	119
	Χάρτης 6: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Πυλώνων Κριτηρίων.....	120
	Χάρτης 7: Τελικές βέλτιστες προς χωροθέτηση περιοχές πλωτών ΘΑΠ στο Αιγαίο	121
	Τελικό Μοντέλο Χωροθέτησης πλωτών ΘΑΠ (Model Builder ArcGIS)	122

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Το Ενεργειακό Πρόβλημα, (ΤΕΕ Τμήμα Δυτικής Ελλάδας, 2022)	5
Εικόνα 2.2: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε GWh το 2016, (Xu et al., 2019).....	7
Εικόνα 2.2: Η Ενεργειακή Ασφάλεια, (Cambridge Insight LLC, 2020)	8
Εικόνα 2.3: Ποσοστιαία κατανομή των ΑΠΕ στην Ευρώπη, (Eurostat, 2022)	10
Εικόνα 2.4: Ετήσιες οικονομικές δεσμεύσεις παγκοσμίως στην Ανανεώσιμη Ενέργεια, (IRENA, 2023).....	11
Εικόνα 2.5: Ετήσιες οικονομικές δεσμεύσεις σε τεχνολογίες στην Ανανεώσιμη Ενέργεια, (IRENA, 2023).....	11
Εικόνα 3.1: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο, innovation network, 2020)	18
Εικόνα 3.2: Νέες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας παγκοσμίως, (GWEC, 2021)	19
Εικόνα 3.3: Εγκαταστάσεις χρήσης Αιολικής Ενέργειας στην Ευρώπη το έτος 2022 (WindEurope,2022)	20
Εικόνα 3.4: Στατιστικά για την αγορά ενέργειας σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο, (IRENA, 2018).....	21
Εικόνα 3.5: Ηλεκτροπαραγωγή από χερσαίες και υπεράκτιες ανεμογεννήτριες (MW), (IRENA, 2018).....	22
Εικόνα 3.6: Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα από αιολική ενέργεια (MW),(IRENA, 2023)	23
Εικόνα 3.7: Στατιστικά ηλεκτροπαραγωγής για offshore και onshore wind parks παγκοσμίως το έτος 2020 (IRENA, 2023)	24
Εικόνα 3.8: Ο ανεμόμυλος του Blyth, (Γράψας, 2015)	25
Εικόνα 3.9: Πρώτη ανεμο-τροφοδοτούμενη ανεμογεννήτρια του Charles F. Brush, (Γράψας, 2015).....	26
Εικόνα 3.10: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα “Savonious” , (Γράψας, 2015).....	27
Εικόνα 3.11: Ανεμογεννήτρια καμπυλωτών πτερυγίων, (Γράψας, 2015).....	27
Εικόνα 3.12: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα δύο λεπίδων, 1941, (Γράψας, 2015)	28
Εικόνα 3.13: Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, (HowStuffWorks, 2006)	30
Εικόνα 3.14: Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα, (ΚΑΠΕ, 2017)	31
Εικόνα 3.15: Υπεράκτιοι αιολικοί πόροι για πέντε χαρακτηριστικά ύψη πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας στην Ευρώπη, (Zountouridou et al., 2015).....	35
Εικόνα 3.16: Νέα εγκατεστημένη υπεράκτια ισχύς παγκοσμίως, (GWEC, 2021)	36

Εικόνα 3.17: Μέση ετήσια πυκνότητα αιολικής ενέργειας στις ελληνικές θάλασσες σε ύψος 80m από την επιφάνεια της θάλασσας, (Soukissian et al., 2020)	38
Εικόνα 3.18: Αιολικό δυναμικό για ύψος τοποθέτησης 10m και για βαθυμετρία μικρότερη ή ίση των 40m, μεταξύ 40 και 70m και μεταξύ 70 και 200m αντίστοιχα.....	39
Εικόνα 3.19: Πλήθος Υπεράκτιων Αιολικών Εγκαταστάσεων Παγκοσμίως	45
Εικόνα 3.20: Θεμέλια ανεμογεννητριών σταθερής έδρασης, (FOUNDATION OFFSHORE WIND ENERGY, 2013).....	47
Εικόνα 3.21: Θεμέλια ανεμογεννητριών σταθερής έδρασης, (2hOffshore, 2021).....	47
Εικόνα 3.22: Χαρακτηριστικά Θεμέλιου μονού πυλώνα (monopile), (4C Offshore LTD 2016)	48
Εικόνα 3.23: Χαρακτηριστικά Θεμέλιου μεταλλικού πύργου (jacket), (4C Offshore LTD 2016)	49
Εικόνα 3.24: Μεταλλικοί πύργοι jackets, (FOUNDATION OFFSHORE WIND ENERGY, 2009).....	50
Εικόνα 3.25: Χαρακτηριστικά θεμέλιου βαρύτητας (gravity based), (4C Offshore LTD 2016)	51
Εικόνα 3.26: Χαρακτηριστικά θεμέλιου Τρίποδα (tripod), (4C Offshore LTD 2016).....	52
Εικόνα 3.27: Θεμέλιο τριπλού πυλώνα (Tripile) , (4C Offshore LTD 2016)	53
Εικόνα 3.28: 3 κατηγορίες πλωτών κατασκευών, (Wind Energy Technologies Office, 2017)	56
Εικόνα 3.29: Παράγοντες Υπεράκτιων Εγκαταστάσεων, (Wind Europe, 2017)	57
Εικόνα 3.30: Ποσοστιαία Κατανομή προτιμότερων τρόπων θεμελίωσης, (Wind Europe, 2017).....	57
Εικόνα 4.1: Δομή Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, (Rodrigues et al., 2016)	63
Εικόνα 5.1: Περιοχή μελέτης: Αιγαίο Πέλαγος.....	65
Εικόνα 5.2: Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας	70
Εικόνα 5.3: Επιτρεπόμενες ζώνες χωροθέτησης με κριτήριο τα 6 ν.μ.....	73
Εικόνα 5.4: Επιτρεπόμενες ζώνες χωροθέτησης με κριτήριο τα 12 ν.μ.....	74
Εικόνα 5.5: Μέση ταχύτητα ανέμου σε m/s στο Αιγαίο Πέλαγος (Global Wind Atlas)	75
Εικόνα 5.6: Γεωπληροφοριακός χάρτης αιολικού δυναμικού για ύψος 10m από την επιφάνεια της θάλασσας	76
Εικόνα 5.7: Γεωπληροφοριακός χάρτης Βαθυμετρίας Αιγαίου Πελάγους	77
Εικόνα 5.8: Αναγκαιότητα διατήρησής της Βιοποικιλότητας κατά την κατασκευή ΘΑΠ	79

Εικόνα 5.9: Γεωπληροφοριακός χάρτης υπεράκτιων περιοχών NATURA 2000 στο Αιγαίο με τις αντίστοιχες ζώνες buffer $\geq$ 5km σε δύο επιμέρους τμήματα.....	81
Εικόνα 5.10: Γεωπληροφοριακός χάρτης ψηφιοποίησης διαδρομών μεταναστευτικών πτηνών (Buffer zones $\geq$ 3km)	83
Εικόνα 5.11: Γεωπληροφοριακός χάρτης υπεράκτιων ζωνών υδροβιότοπων Βορείου Αιγαίου (Buffer zones $\geq$ 5km).....	85
Εικόνα 5.12: Γεωπληροφοριακός χάρτης υπεράκτιων ζωνών Ποσειδωνίας Αιγαίου (Buffer zones $\geq$ 150m)	88
Εικόνα 5.13: Καταγραφή συχνότερων θαλάσσιων θηλαστικών στο Αιγαίο (Γκαραγκούνη, 2013).....	90
Εικόνα 5.14: Γεωπληροφοριακοί χάρτες συσχετισμού βαθυμετρίας και κατάλληλων περιοχών τοποθέτησης δομών σταθερής έδρασης.....	91
Εικόνα 5.15: Συσσωρευμένες περιβαλλοντικά ασύμβατες προς χωροθέτηση ΘΑΠ περιοχές στο Αιγαίο συναρτήσει αιολικού δυναμικού	92
Εικόνα 5.16: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑΗΡ Περιβαλλοντικών κριτηρίων.....	95
Εικόνα 5.17: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑΗΡ Τεχνικών κριτηρίων	96
Εικόνα 5.18: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑΗΡ Κοινωνικών-Πολιτισμικών κριτηρίων.....	97
Εικόνα 5.19: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑΗΡ Οπτικής Όχλησης	99
Εικόνα 5.20: Αποτελέσματα ερωτηματολογίου σχετικά με την δεκτικότητα των κατοίκων για εγκατάσταση ΘΑΠ στο νησί της Πάρου (Γαβαλάς, 2015).....	100
Εικόνα 5.21: Αποτελέσματα ερωτηματολογίου για την περιοχή των Κυκλάδων-Σύρος (Χριστοφόρου, 2023).....	101
Εικόνα 5.22: Ποσοστιαία κατανομή πυλώνων κριτηρίων	102
Εικόνα 5.23: Γεωπληροφοριακός χάρτης τελικής ΑΗΡ πυλώνων κριτηρίων	103
Εικόνα 5.24: Γεωπληροφοριακός χάρτης των τελικών βέλτιστων περιοχών προς χωροθέτηση πλωτών ΘΑΠ στο Αιγαίο.....	104
Εικόνα 5.25: Προτάσεις για χωροθέτηση ΘΑΠ από το ΕΠΑΥΑΠ (Η Καθημερινή, 2023).....	105

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Μορφές ΑΠΕ και χρήση αυτών	12
Πίνακας 4.1: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές	60
Πίνακας 4.2: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές	60
Πίνακας 4.3: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές	61
Πίνακας 4.4: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές	61
Πίνακας 5.1: Περιβαλλοντικά κριτήρια αποκλεισμού	71
Πίνακας 5.2: Τεχνικά κριτήρια αποκλεισμού	71
Πίνακας 5.3: Κοινωνικά-Πολιτισμικά κριτήρια αποκλεισμού	71
Πίνακας 5.4: Κριτήρια οπτικής όχλησης	71
Πίνακας 5.5: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Περιβαλλοντικών Κριτηρίων	94
Πίνακας 5.6: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Τεχνικών Κριτηρίων	95
Πίνακας 5.7: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Κοινωνικών-Πολιτισμικών Κριτηρίων	96
Πίνακας 5.8: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος κριτηρίων οπτικής όχλησης	98
Πίνακας 5.9: Τελική Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος	102

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο και Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Η βιομηχανική επανάσταση αποτέλεσε το έναυσμα για την πυροδότηση της άποψης περί αφθονίας των φυσικών και ενεργειακών πόρων. Η αντίληψη αυτή καλλιέργησε στην ανθρωπότητα μια ασύδοτη συμπεριφορά απέναντι στο περιβάλλον και στους διαθέσιμους φυσικούς πόρους. Τα αποτελέσματα αυτής της εξακολουθητικής για πάνω από δύο δεκαετίες κατάστασης έχουν αρχίσει να γίνονται εμφανή με το φαινόμενο του θερμοκηπίου να εντείνεται και τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη να ακολουθεί αυξητική τάση έχοντας ξεπεράσει τους 1.5 βαθμούς συγκριτικά με την προ-βιομηχανική εποχή σύμφωνα με έρευνες. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί πλέον γεγονός σε έναν κόσμο του οποίου οι ανάγκες για επιπλέον ενεργειακούς πόρους είναι μεγαλύτερες από ποτέ και φυσικά ο λιγνίτης δεν αποτελεί λύση.

Με αυτά ειπωμένα καθίσταται σαφής η ανάγκη για στροφή σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας, περισσότερο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Με την πολύτιμη αρωγή της επιστήμης και της τεχνολογίας πολλές εναλλακτικές τεχνικές θέτουν τα θεμέλια για έναν μελλοντικό κόσμο «πράσινο» και ενεργειακά αυτόνομο. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) καλούνται σε αυτό το σημείο να διαδραματίσουν το ρόλο τους. Οι ΑΠΕ είναι ανεξάντλητες όπως υποδηλώνει και το όνομα τους ενώ η αξιοποίησή τους σε συνδυασμό με την προσπάθεια για εξοικονόμηση και ορθολογική διαχείριση των συμβατικών πηγών ενέργειας δύναται να ανατρέψει την έλλειψη ισορροπίας στα σημερινά ενεργειακά δεδομένα. Παράλληλα το γεγονός ότι είναι φιλικές προς το περιβάλλον μιας και η χρήση τους δεν συνοδεύεται από την αποδέσμευση υδρογονανθράκων, διοξειδίου του άνθρακα και τοξικών αποβλήτων υποδηλώνει την αναγκαιότητα για την αξιοποίησή τους.

Ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής συνοψίζεται στο όραμα ,ως εν δυνάμει μηχανικός, οι ΑΠΕ με κυριότερη την αιολική ενέργεια να αποτελέσουν μοχλό ανάπτυξης για την Ελλάδα με την ορθή αξιοποίησή τους. Πιο συγκεκριμένα η βιώσιμη αξιοποίηση του υπεράκτιου

αιολικού δυναμικού σε μια χώρα όπως η Ελλάδα όπου οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές με την χωροθέτηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων (ΘΑΠ) αποτελεί την κεντρική ιδέα της παρούσας μελέτης. Υπό αυτό το πρίσμα και με σκοπό την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών στα νερά του Αιγαίου Πελάγους για αξιοποίηση του εξαιρετικού αιολικού δυναμικού επιλέχθηκε και το συγκεκριμένο θέμα. Πραγματοποιείται η σύγκριση χερσαίων και θαλάσσιων (υπεράκτιων) ανεμογεννητριών που αποτελούν την βασική μέχρι σήμερα τεχνολογία και κινητήριο δύναμη πρόσφορης εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού. Με βασικούς πυλώνες την προστασία της βιοποικιλότητας και την αειφόρο ανάπτυξη πραγματοποιείται μια εκτενής μελέτη και ανάλυση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών με τη χωροθέτηση για τη δημιουργία αιολικού πάρκου στο Αιγαίο Πέλαγος. Κοινό τόπο αποτελεί το γεγονός ότι η τεχνολογία που απαιτείται για το σχεδιασμό και την τοποθέτηση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο επίπεδο για τα ελληνικά δεδομένα. Ωστόσο τα βαθιά ελληνικά νερά αποτελούν πρόσφορο έδαφος για την εφαρμογή αυτού του εγχειρήματος και είναι κάτι το οποίο θα αποφέρει μεγάλη ενεργειακή αυτονομία στη χώρα μελλοντικά. Ένας από τους βασικότερους στόχους της συγκεκριμένης μελέτης δεν είναι άλλος από την επίτευξη της πολυπόθητης ενεργειακής αυτονομίας για περιοχές που βρίσκονται σε πλήρη εξάρτηση από συμβατικές, ρυπογόνες πηγές ενέργειας. Σαφώς και τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία μιας και η σύνδεση τους στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης δεν έχει επιτευχθεί. Στα πλαίσια της μεθοδολογίας θα χρησιμοποιηθεί το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) για την επιλογή των κατάλληλων σημείων τοποθέτησης των αιολικών εγκαταστάσεων στο χώρο του Αιγαίου (σταθερής έδρασης ή πλωτές). Στο τέλος της εργασίας, συνοψίζονται τα σημαντικότερα αποτελέσματα της ανάλυσης, διατυπώνονται προβληματισμοί, ενώ ταυτόχρονα κατατίθενται προτάσεις προς περαιτέρω διερεύνηση μελλοντικά.

1.2 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε 6 κεφάλαια. Αρχικά, στο Κεφάλαιο 2 τίθενται ορισμένοι βασικοί προβληματισμοί σχετικοί με την έννοια της ενέργειας όπως το Ενεργειακό Πρόβλημα και η Ενεργειακή Ασφάλεια. Παράλληλα γίνεται λόγος για τις μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τα θετικά και αρνητικά τους χαρακτηριστικά ενώ

παρέχεται τόσο το Ευρωπαϊκό όσο και το Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ σε συνδυασμό με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται λόγος για την Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια αφού πρώτα ο αναγνώστης εισάγεται σταδιακά στην Αιολική Ενέργεια με στοιχεία που αφορούν τις βασικές λειτουργίες μιας ανεμογεννήτριας αλλά και στατιστικά αγοράς αιολικής ενέργειας ανά τον κόσμο. Καταγράφεται η κατάσταση που επικρατεί σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο ενώ συντελείται μια σύγκριση ανάμεσα στις χερσαίες και υπεράκτιες εγκαταστάσεις. Ακολουθεί η ανάλυση των βασικών κατηγοριών δομών στήριξης μιας θαλάσσιας ανεμογεννήτριας.

Το Κεφάλαιο 4 παρέχει τις απαιτούμενες πληροφορίες σχετικά με την χωροθέτηση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου αναλύοντας σε διεθνές και εθνικό επίπεδο τα βασικά κριτήρια και εργαλεία που καθιστούν αυτό το εγχείρημα δυνατό με βάση τη νομοθεσία. Ακόμη, η δομή ενός τέτοιου πάρκου αποκτά υπόσταση.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται εξονυχιστική μελέτη της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε με σκοπό την εύρεση των πλέον κατάλληλων περιοχών περιβαλλοντικά βιώσιμης χωροθέτησης ΘΑΠ στο Αιγαίο Πέλαγος. Αναλύονται τα βασικά κριτήρια αποκλεισμού και αξιολόγησης των περιοχών με έμφαση στα περιβαλλοντικά κριτήρια ενώ διεξάγονται διαδοχικές ιεραρχικές αναλύσεις αποδίδοντας συντελεστές βαρύτητας στους βασικούς πυλώνες κριτηρίων (περιβαλλοντικά, τεχνικά, κοινωνικά-πολιτισμικά και οπτικής όχλησης) αλλά και στα υποκριτήρια τους.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 αποκρυσταλλώνεται η ουσιαστική γνώση της μελέτης που εκπονήθηκε με την εξαγωγή των συμπερασμάτων ενώ επιπρόσθετα παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω εξέλιξη σε μελλοντικό στάδιο.

Κεφάλαιο 2 Ενέργεια

Η ενέργεια, ως φυσική ποσότητα αλλά και η ροή της στο σύμπαν αποτελεί αναμφίβολα ένα αναπόσπαστο και καθοριστικό κομμάτι της ομαλής λειτουργίας και ευημερίας του σύγχρονου κόσμου. Μερικές από τις σημαντικότερες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως είναι η οικονομία και η βιομηχανία είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την έννοια της ενέργειας. Η διαρκής αύξηση της ζήτησης και κατανάλωσης των μη ανανεώσιμων μορφών ενέργειας αποτελεί πηγή γένεσης προβλημάτων που αφορούν κάθε έκφανση της ανθρώπινης δραστηριότητας (περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία, πολιτική). Το δίλλημα των ορυκτών καυσίμων δεν έγκειται στη χρήση τους αλλά στις αρνητικές παρενέργειες που βαθμιαία δημιουργούνται από αυτήν. Τα ορυκτά είναι ενώσεις υδρογονανθράκων με βασικότερα τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Η βιωσιμότητα των τελευταίων γεννά πολλά ερωτηματικά στην παγκόσμια επιστημονική κοινότητα αφού πρόκειται να εξαντληθούν. Αναμφίβολα ένα φλέγον ζήτημα της σύγχρονης εποχής είναι η ορθή χρήση των ενεργειακών πόρων που διατίθενται. Η σταδιακή ενεργειακή απεξάρτηση των κοινωνιών θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του μοντέρνου κόσμου. Η απαίτηση για μια αειφόρο και βιώσιμη λύση του προβλήματος που εκπορεύεται από την ανεπάρκεια των τυπικών (μη ανανεώσιμων) πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου έχει ενεργοποιήσει την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα να στραφεί σε εναλλακτικές διόδους.

2.1 Το ενεργειακό πρόβλημα

Μια μεταβλητή μείζονος σημασίας για την ανάπτυξη της τεχνολογίας σε ατομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η έννοια της ενέργειας. Αποτελεί κοινό τόπο ότι από την απαρχή του πολιτισμού και των οργανωμένων κοινωνιών, η πρόοδος και η εξέλιξη του ανθρώπου ταυτίστηκε με την αξιοποίηση της ενέργειας. Η Βιομηχανική Επανάσταση πυροδότησε ανακατατάξεις μεγάλου βεληνεκούς ανάμεσα στις ανεπτυγμένες δυτικές κοινωνίες και στον αναπτυσσόμενο τρίτο κόσμο κάτι που έμελλε να οδηγήσει στη συγκέντρωση υπέρογκων ποσοτήτων ενέργειας στους πρώτους και στην ασύδοτη χρήση της. Ειδικότερα κατά το τέλος της Βιομηχανικής Επανάστασης στα μέσα του 19^{ου} αιώνα επήλθε μια περίοδος ταχείας επιστημονικής ανακάλυψης και μαζικής παραγωγής. Νέες τεχνολογίες ανακαλύφθηκαν την ίδια περίοδο με τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και παραγωγής να διανύει γενναία βήματα. Η εξαντλητική χρήση ωστόσο των διάφορων μορφών ενέργειας και η ανισότητα ως προς την κατανομή από την εποχή του Μεσαίωνα μέχρι και τη σημερινή εποχή, οδήγησε με μαθηματική ακρίβεια στο λεγόμενο «Ενεργειακό Πρόβλημα»



Εικόνα 2.1: Το Ενεργειακό Πρόβλημα, (ΤΕΕ Τμήμα Δυτικής Ελλάδας, 2022)

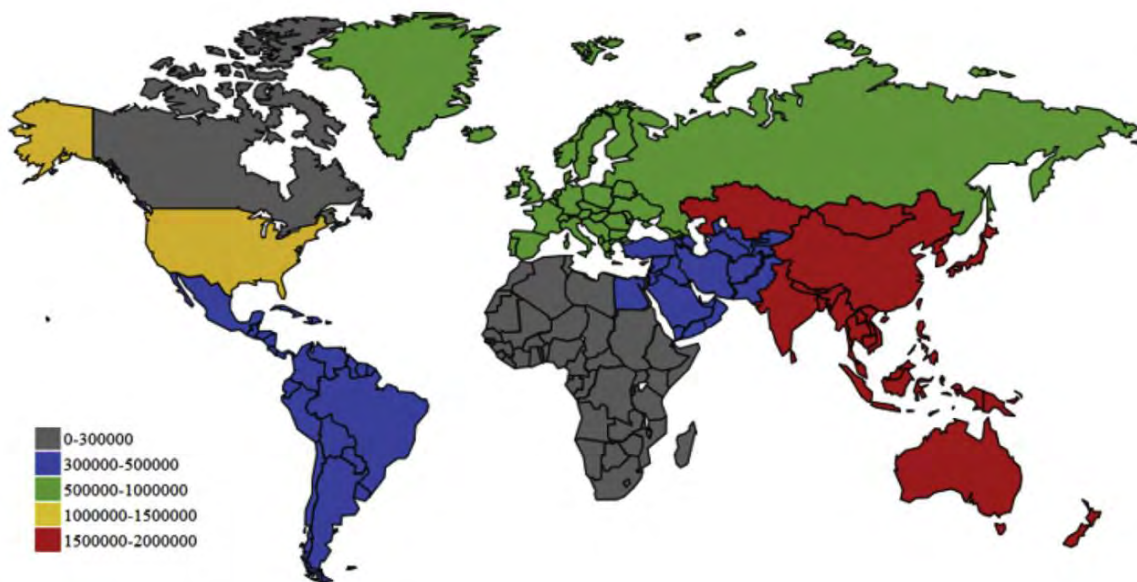
Η επάρκεια των ενεργειακών πόρων τον 21^ο αιώνα αποτελεί ένα φλέγον ζήτημα για την επιστημονική κοινότητα ενώ το ερώτημα για το αν οι ΑΠΕ μπορούν να αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα παραμένει αναπάντητο. Η κλιματική αλλαγή και οι αρνητικές επιπτώσεις που αυτή επιφέρει αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του πλανήτη και πυροδοτείται από την ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη για κατανάλωση ενέργειας. Το ενεργειακό πρόβλημα είναι ένα φαινόμενο που ταλανίζει τον άνθρωπο από την απαρχή του πολιτισμού και έχει ενταθεί ιδιαίτερα με την αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στα αποθέματα γης και κατανάλωσης ενέργειας των τελευταίων ετών. Εάν επιθυμούμε να αποφευχθεί η υποβάθμιση για τον πολιτισμό μας θα πρέπει να αυξάνουμε διαρκώς την κατανάλωση. Το ερώτημα είναι πώς αυτή η τάση μπορεί να συνάδει με το περιορισμένο δυναμικό της Γης και αποτελεί την βασική πρόκληση της κοινωνίας μας. (Vladimir S. Arutyunov and Georgiy V. Lisichkin, 2017).

Κάνοντας λόγο για ενεργειακό πρόβλημα εννοείται η μείωση της προσβασιμότητας και, ως εκ τούτου, η μείωση της αναλογίας στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο υγρών υδρογονανθράκων, που είναι η πιο σημαντική πηγή ορυκτών ενέργειας. Τα προϊόντα που προέρχονται από αυτή την πηγή, πρώτα απ' όλα, τα καύσιμα κινητήρων και τα πολυμερή υλικά, αποτελούν τη βάση του σύγχρονου πολιτισμού. Συγχρόνως, οι πόροι αργού πετρελαίου στον φλοιό της Γης είναι περιορισμένοι και ο χρόνος της ανεπάρκειας πετρελαίου μάλλον δεν είναι τόσο μακριά. Είναι γεγονός ότι η καύση των ορυκτών συνοδεύεται από την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων επιβλαβών και τοξικών αερίων με σημαντικότερο υπαίτιο για την υπερθέρμανση του πλανήτη το γνωστό διοξείδιο του άνθρακα. Η ζωή στον πλανήτη Γη τίθεται διαρκώς σε δοκιμασία από αυτό το φαινόμενο. Οι υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν βαθμιαία στο λιώσιμο των πάγων σε Αρκτική και Ανταρκτική ανεβάζοντας έτσι τη στάθμη της θάλασσας, γεγονός που επιφέρει πλημμύρες αλλά και σοβαρές ζημιές σε γεωργικές και αλιευτικές δραστηριότητες.

Γεγονός που μαστίζει την ανθρωπότητα αποτελεί η προσκόλληση των βιομηχανιών στην κατ' εξακολούθηση ευρεία χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σαφώς και τα τελευταία είναι περισσότερο αποτελεσματικά, ωστόσο κρίνεται αναγκαία η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το συντομότερο αφού μακροπρόθεσμα τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν εξαιρετική απειλή για το περιβαλλοντικό ισοζύγιο ενώ γενούν μεγάλους οικολογικούς κινδύνους. Καθίσταται λοιπόν σαφές ότι τα όρια εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχουν επέλθει και σε συνδυασμό με το μεγάλο ρίσκο μόλυνσης και ρύπανσης από τα στάδια που μεσολαβούν κατά την απαιτούμενη μεταποίηση (διύλιση,

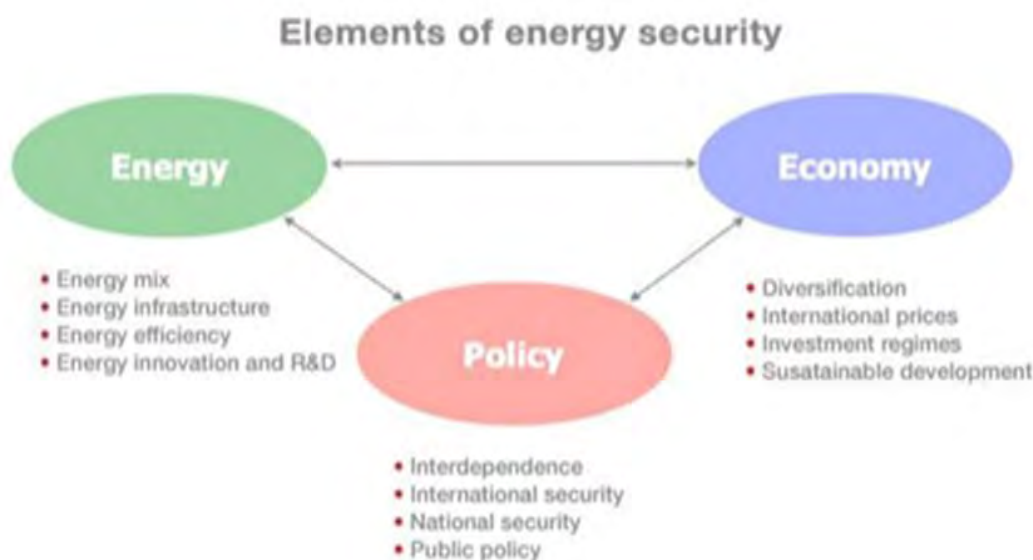
εξόρυξη), αλλά και κατά την χρήση τους (καυσαέρια) δεν αποτελούν λύση. Παράλληλα Το κόστος, η σταθερότητα, η αποτελεσματικότητα αλλά και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αποτελούν κάποιους από τους πιο κρίσιμους παράγοντες που υποδεικνύουν τον τρόπο και την συχνότητα που θα έπρεπε να χρησιμοποιείται κάθε μια από τις διαθέσιμες μορφές ενέργειας.

Αναφορικά με τους τρόπους αντιμετώπισης του φλέγοντος ενεργειακού προβλήματος, υπογραμμίζεται ότι η πλειονότητα της ερευνητικής κοινότητας συγκλίνει σε τρεις στρατηγικές που αποσκοπούν στην αειφορία. Αρχικά, ως σημαντικότερη πτυχή της προσέγγισης παρουσιάζεται η προσπάθεια για εξοικονόμηση της ήδη υπάρχουσας ποσότητας ορυκτών καυσίμων ενώ στη συνέχεια δίνεται έμφαση στη διαρκή βελτίωση αποδοτικότητας κατά την παραγωγή ενέργειας. Τέλος, παρουσιάζεται για άλλη μια φορά ως επιτακτική ανάγκη η βαθμιαία και ει δυνατόν ολοκληρωτική αντικατάσταση των διάφορων συμβατικών μορφών ενέργειας από τις ΑΠΕ (Τραγούδα, 2019). Η όλο και αυξανόμενη αύξηση της ζήτησης, ως δεδομένο πλέον των σύγχρονων ανεπτυγμένων κοινωνιών δεν θα πρέπει να οδηγεί στην περαιτέρω χρήση των ορυκτών πόρων. Αντιθέτως, η Γαλάζια και η Πράσινη ενέργεια δύνανται να αποτελούν ικανή και αναγκαία συνθήκη για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης.



Εικόνα 2.2: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε GWh το 2016, (Xu et al., 2019)

2.2 Η Ενεργειακή Ασφάλεια



Εικόνα 2.2: Η Ενεργειακή Ασφάλεια, (Cambridge Insight LLC, 2020)

Σημαντικό διακύβευμα της σημερινής εποχής αποτελεί η επανομαζόμενη ενεργειακή ασφάλεια (Energy Security) ως άρρηκτα συνδεδεμένη έννοια με την αξιοπιστία και τη φιλική προς το περιβάλλον συμπεριφορά. Η ενεργειακή ασφάλεια σταχυολογείται ανάμεσα στους βασικότερους στόχους της παγκόσμιας ενεργειακής πολιτικής, ωστόσο καθίσταται αρκετά δύσκολο, ακόμη και σήμερα να αποδοθεί κάποιος ακριβής ορισμός για αυτή, καθώς συναντάται με ξεχωριστή ερμηνεία αναλόγως τη χρονική στιγμή. Η διαφοροποίηση αυτή εξηγείται αρχικά με την ύπαρξη διαφορετικών ενεργειακών συστημάτων τα οποία ποικίλλουν από τόπο σε τόπο κάτι το οποίο γεννά τελείως διαφορετικά δεδομένα ενεργειακής ασφάλειας και δευτερευόντως ο όρος διευρύνεται από την ενεργειακή πενία έως και την κλιματική αλλαγή ανοίγοντας ένα ευρύ φάσμα σε ζητήματα ενεργειακής πολιτικής.

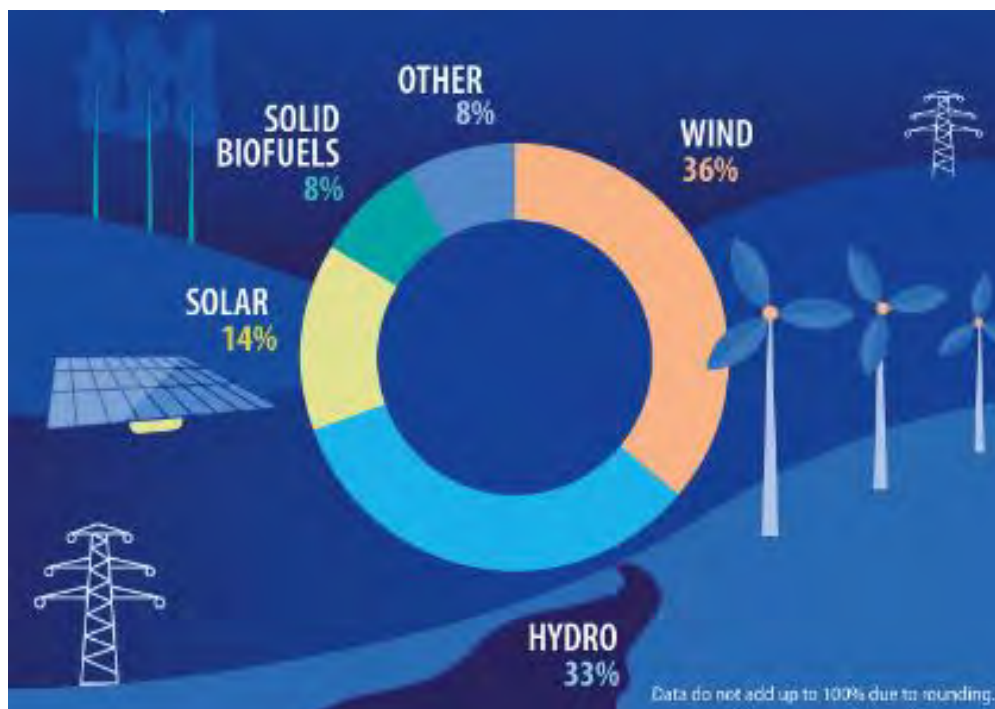
Η έννοια πάντως και οι ορισμοί της ενεργειακής ασφάλειας επεκτάθηκαν με την πάροδο των χρόνων. Στη βιβλιογραφία κυριαρχούν ερμηνείες όπως: διαθεσιμότητα της ενέργειας, προσβασιμότητα, προσιτότητα, και αποδοχή από την κοινωνία. (Kruyt et al, 2009). Αποτελεί

πλέον πραγματικότητα η αναγωγή του ζητήματος της Ενεργειακής Ασφάλειας σε μείζον κοινωνικοπολιτικό ζήτημα από τα δυτικά κυρίως κράτη αφού συνεπάγεται με παροχή ισχύος στο διεθνές σύστημα κυρίως σε πολιτικό επίπεδο. Στο σημείο αυτό, ας προστεθεί και η αντίληψη που εξετάζει την ενεργειακή ασφάλεια υπό το πρίσμα της πολιτικής και της διπλωματίας των κρατών που την κατέχουν. Αυτή η οπτική καθιστά σαφή την άρρηκτα συνδεδεμένη σχέση της οικονομίας, της βιώσιμης ανάπτυξης αλλά και της εθνικής ασφάλειας μιας χώρας με την ενεργειακή ασφάλεια που η ίδια εξασφαλίζει ασκώντας παράλληλα επιρροή.

Σύμφωνα με τον (Larry Hughes, 2009) αναφέρονται τα τέσσερα “R” της Ενεργειακής Ασφάλειας τα οποία αντιστοιχούν στις ακόλουθες έννοιες:

- i. **Review (ανασκόπηση).** Καθίσταται λοιπόν αναγκαία η επανεξέταση των δεδομένων σχετικά με τις υπάρχουσες πηγές, τους προμηθευτές, τις προμήθειες ενέργειας αλλά και τις υποδομές.
- ii. **Reduce (μείωση).** Εννοείται η όσο το δυνατόν λιγότερη κατανάλωση ενέργειας δηλαδή την αποφυγή της ασύδοτης χρήσης. Η μείωση της ενέργειας μέσω μέτρων ενεργειακής απόδοσης απαιτεί γενικά περισσότερο χρόνο και χρήμα για την εφαρμογή από ό,τι η εξοικονόμηση. Ωστόσο, μπορεί να προσφέρει μεγαλύτερες δυνατότητες μείωσης.
- iii. **Replace (αντικατάσταση).** Η ομαλή μετάδοση σε ασφαλείς, βιώσιμες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
- iv. **Restrict (περιορισμός).** Δικαιοδοσίες, όπως αυτές που υφίστανται εκβιομηχάνιση, οικονομική ανάπτυξη ή αυξανόμενη ευημερία, θα αντιμετωπίσουν συχνά αυξημένη ζήτηση για νέες προμήθειες ενέργειας. Εφόσον η αντικατάσταση αναφέρεται στην υπάρχουσα ζήτηση, προτείνεται ο περιορισμός της νέας ζήτησης σε ασφαλείς πηγές.

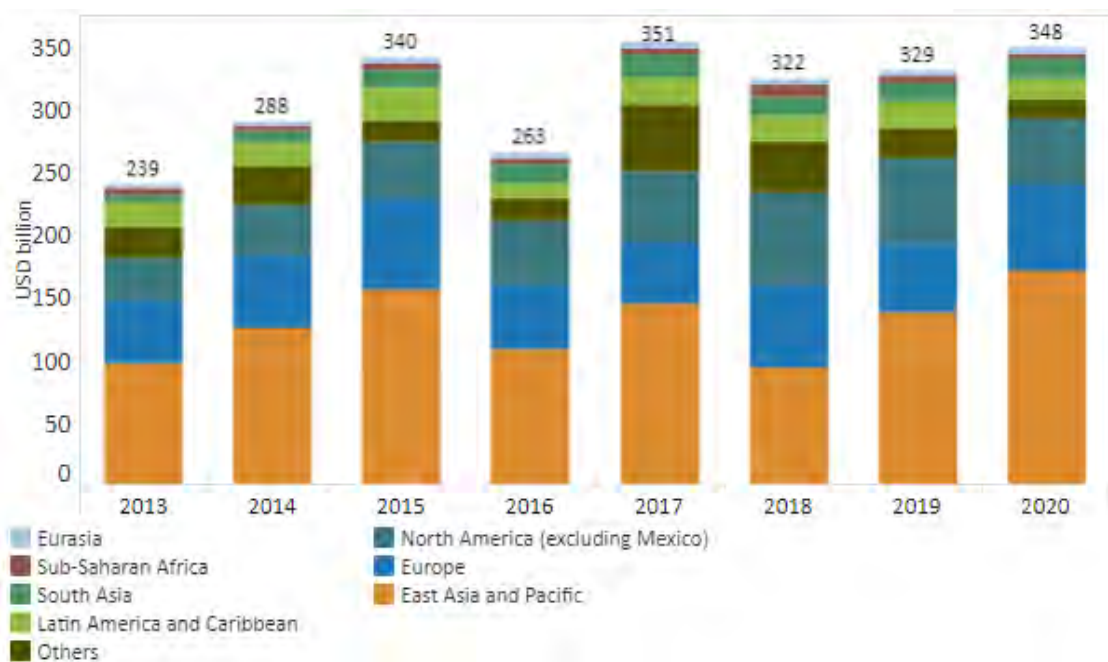
2.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)



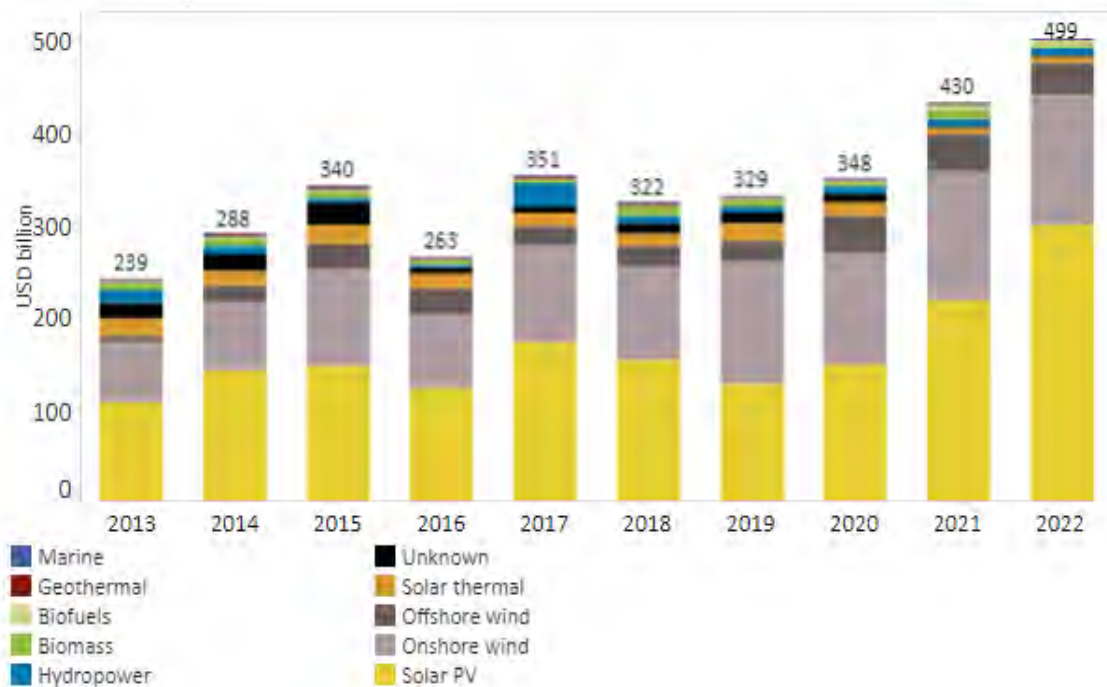
Εικόνα 2.3: Ποσοστιαία κατανομή των ΑΠΕ στην Ευρώπη, (Eurostat, 2022)

2.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το δυναμικό των ΑΠΕ είναι εξαιρετικό καθώς μπορούν κυρίως να καλύψουν πολλαπλάσια την παγκόσμια ζήτηση ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως, η αιολική, η ηλιακή, η βιομάζα, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η γεωθερμία μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες βιώσιμης ενέργειας, με βάση τη χρήση των τακτικά διαθέσιμων, εγχώριων πόρων. Κάνοντας αναφορά σε ΑΠΕ εννοούνται όλες οι μη ορυκτές πηγές ενέργειας οι οποίες ανανεώνονται με φυσικό τρόπο και συνεπώς είναι πρακτικά ανεξάντλητες. Είναι καθαρές και φιλικές προς το περιβάλλον καθώς οι ρύποι που παράγονται κατά τις διεργασίες εκμετάλλευσης και αξιοποίησης αυτών είναι ελάχιστοι (Γράβας, 2015). Καθίσταται λοιπόν σαφές ότι το βασικό τους χαρακτηριστικό καθίσταται η φιλικότητά προς το περιβάλλον. Ο περιβαλλοντικός τους αντίκτυπος είναι σχεδόν μηδενικός με ελάχιστες εκλύσεις ενώ από τις ελάχιστες περιβαλλοντικές εκπομπές τους απουσιάζουν βλαβεροί για την υγεία ρύποι όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου.



Εικόνα 2.4: Ετήσιες οικονομικές δεσμεύσεις παγκοσμίως στην Ανανεώσιμη Ενέργεια, (IRENA, 2023)



Εικόνα 2.5: Ετήσιες οικονομικές δεσμεύσεις σε τεχνολογίες στην Ανανεώσιμη Ενέργεια, (IRENA, 2023)

Πίνακας 2.1: Μορφές ΑΠΕ και χρήση αυτών

ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΕ	ΧΡΗΣΗ
Ηλιακή	Φωτοβολταϊκά πάνελ, ηλιακοί θερμοσίφωνες, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας & θερμότητας
Αιολική	Ανεμογεννήτριες - Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Γεωθερμία	Αστική θέρμανση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Βιομάζα	Παραγωγή θερμότητας & ηλεκτρικής ενέργειας
Κυματική	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
Υδροηλεκτρική	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - Φράγματα

2.3.2 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

Αρχικά, το σημαντικότερο πλεονέκτημα που διαθέτουν οι ΑΠΕ έναντι των ορυκτών καυσίμων είναι ότι υπάρχουν ανεξάντλητες στο φυσικό περιβάλλον. Η ορθή αξιοποίηση τους απαιτεί μόνο τον σχεδιασμό και την εφαρμογή αξιόπιστων και οικονομικά συμφερούσων τεχνολογιών εκμετάλλευσης του πλήρους δυναμικού που διαθέτουν. Η σταδιακά αυξανόμενη χρήση τους είναι γεγονός και συνδέεται με τη συνειδητοποίηση ότι είναι αξιόπιστες πηγές ενέργειας που δεν δημιουργούν αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, δεν εκπέμπουν τα βλαβερά αέρια του θερμοκηπίου ρυπαίνοντας την ατμόσφαιρα σε αντίθεση με τα ορυκτά. Παράλληλα η δημιουργία αποβλήτων που χρίζουν αποθήκευσης και διαχείρισης είναι μηδενική.

Αναμφισβήτητα, η εγχώρια ανάπτυξη κάθε κράτους ενισχύεται και εξελίσσεται διαρκώς από την εφαρμογή πολιτικών για περαιτέρω αξιοποίηση των ΑΠΕ. Χώρες που στηρίζουν σημαντικό τμήμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ΑΠΕ διαθέτουν μεγαλύτερη ενεργειακή ανεξαρτησία, προωθώντας συγχρόνως μια παραδειγματική, βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή προσέγγιση. Τα σχετικά με ανανεώσιμες μορφές επενδυτικά κεφάλαια αυξάνονται εκθετικά και ανάλογα με τις νέες θέσεις εργασίας που προκύπτουν και

αφορούν πληθώρα επαγγελμάτων από αυτό του κατασκευαστή επιβλέποντος μηχανικού έως του συντηρητή.

Ένα επιπλέον πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των ΑΕΠ είναι ότι οι διάφορες πηγές είναι πάντοτε γεωγραφικά διεσπαρμένες οδηγώντας αβίαστα με αυτόν τον τρόπο στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Αυτή η χωρική διαίρεση των ανανεώσιμων πηγών συνεισφέρει εποικοδομητικά στη δυνατότητα κάλυψης των ποικίλων ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο καταπραΰνοντας τα συστήματα υποδομής και αποτελώντας καταλυτικό παράγοντα στο εγχείρημα για μείωση των ενεργειακών απωλειών κατά τη μεταφορά. Επιπρόσθετα παρέχεται η ευχέρεια για επιλογή της κατάλληλης μορφής ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη προωθώντας μια πιο ορθολογική χρήση των διαθέσιμων πόρων.

Θα αποτελούσε σημαντική παράλειψη να μην αναφερθεί το ιδιαίτερα χαμηλό λειτουργικό κόστος των ΑΠΕ ως βασικό τους πλεονέκτημα. Το γνώρισμα αυτό προσδίδει ανταγωνιστικότητα έναντι των ορυκτών καυσίμων αφού οι διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικά των συμβατικών πηγών τις αφήνουν ανεπηρέαστες. Αρκετές είναι οι περιπτώσεις οικονομικής και κοινωνικής αναζωογόνησης υποβαθμισμένων περιοχών από επενδύσεις σχετικές με ΑΠΕ. Επιπρόσθετα οι εγκαταστάσεις τους απαιτούν μικρό χρόνο κατασκευής αποδίδοντας οφέλη σε σύντομο χρονικό διάστημα ενώ η συνδυαστική καταβολή τους μειώνει σημαντικά το κόστος κύκλου ζωής του έργου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα σε αυτό αποτελούν τα υβριδικά συστήματα συνδυασμού αξιοποίησης αιολικής και ηλιακής ενέργειας με την τοποθέτηση ηλιακών πάνελ επάνω στις ανεμογεννήτριες αιολικού πάρκου εξοικονομώντας χώρο και λειτουργικά έξοδα.

2.3.3 Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Σχετικά με τα μειονεκτήματα που συνοδεύουν τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας τονίζεται ότι συχνά έχουν να κάνουν με το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης με αποτέλεσμα να εγκαταλείπονται οι προσπάθειες αξιοποίησής τους. Επιπρόσθετα είναι ιδιαίτερα υπαρκτή η δυσκολία ανεύρεσης της κατάλληλης τοποθεσίας για εγκατάσταση του υλικοτεχνικού εξοπλισμού. Ιδανικές τοποθεσίες αξιοποίησης αιολικού ή ηλιακού δυναμικού συχνά

απορρίπτονται κατόπιν πολλαπλών κοινωνικών αντιδράσεων που σχετίζονται με ζητήματα οπτικής και ακουστικής όχλησης. Αποτελεί κοινό τόπο το γεγονός ότι οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται πάντοτε ως επιπρόσθετες ενεργειακές πηγές αφού το δυναμικό τους δεν είναι αρκετό για να καλύψει ολοκληρωτικά τις ανάγκες ηλεκτροδότησης ενός αστικού κέντρου. Ο συγκριτικά με τις συμβατικές μορφές ενέργειας χαμηλός συντελεστής απόδοσης τους (περίπου 30%) τις κατατάσσει ως συμπληρωματικές.

Από περιβαλλοντική σκοπιά η δημιουργία εγκαταστάσεων αξιοποίησης των ΑΠΕ οριοθετείται από την ύπαρξη προστατευόμενων περιοχών (περιοχές Natura 2000) ή εκτάσεων με έντονη χλωρίδα και πανίδα ή δασών. Συχνά παρατηρούνται έντονες αντιδράσεις για τις αρνητικές επιπτώσεις που δυνητικά μπορούν να επιφέρουν οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης ΑΠΕ στο περιβάλλον και στα διάφορα είδη ζώων και πτηνών. Για παράδειγμα οι ηχητικές συχνότητες που εκπέμπονται από τις υπεράκτιες ανεμογεννήτριες κατά τη θεμελίωση στον πυθμένα μπορούν να προκαλέσουν απώλεια ακοής και προσανατολισμού στα θηλαστικά. Χερσαίες και θαλάσσιες ανεμογεννήτριες έχουν γίνει υπαίτιες για θανάτους πτηνών τα οποία συγκρούονται στα πτερύγια αν και έχουν βρεθεί λύσεις σε αυτό το πρόβλημα με εφαρμογή τεχνολογιών που αποτρέπουν μια πιθανή σύγκρουση. Όσον αφορά τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, κυριαρχεί η άποψη ότι εκλύουν μεθάνιο λόγω της αποσύνθεσης των φυτών κάτω από την επιφάνεια του νερού οξύνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι περισσότερες εναλλακτικές πηγές ενέργειας δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως σταθερά αποδοτικές μιας και εμφανίζουν έντονες διακυμάνσεις που σχετίζονται με γεωγραφικά χαρακτηριστικά περιοχής εγκατάστασης, κλίμα, εποχή του έτους και άλλα μεταβλητά στοιχεία. Παράλληλα η αστάθεια αυτή απαιτεί τη δημιουργία χώρων αποθήκευσης, συχνά αρκετά ακριβών στη κατασκευή και συντήρηση. Έντονες διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας συνεπάγονται την ελλιπή παραγωγή ισχύος. Η φύση των ΑΕΠ είναι τέτοια ώστε η ύπαρξη τους είναι τυχαία διεσπαρμένη σε διάφορα γεωγραφικά μήκη και πλάτη της γης. Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα απαιτητική τη διαδικασία μεταφοράς και αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας ενώ το ρίσκο απωλειών είναι πάντα υπαρκτό.

2.4 Θεσμικό πλαίσιο και ισχύοντες κανονισμοί

2.4.1 Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Πολυάριθμες συμφωνίες και συμβάσεις συντελέστηκαν από μεριάς Ευρωπαϊκής Ένωσης προκειμένου να τεθεί σε προτεραιότητα το περιβαλλοντικό ζήτημα. Με χρονιά ορόσημο το 1972 και τη **Συμφωνία του Παρισιού**, κατέστησαν σαφείς οι μακροπρόθεσμοι στόχοι της Ένωσης με στόχο τη μείωση των εκπομπών από τα αέρια του θερμοκηπίου μέχρι το 2030. Εν συνεχεία η **Συνθήκη του Μάαστριχτ** που έλαβε χώρα το έτος 1999 εγκαθίδρυσε αποφασιστικά την προστασία του περιβάλλοντος με καθολικό τρόπο για κάθε τομέα δράσης της.

Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι και σήμερα, ακολούθησαν συνθήκες και συμφωνίες με επίκεντρο την βιώσιμη και αειφόρο ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και την σταδιακή προώθηση των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Διανύοντας αυτή τη σύντομη ιστορική αναδρομή και πλησιάζοντας στο σήμερα θα αποτελούσε παράλειψη να μην αναφερθεί η **Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία του 2019**, ως βασικότερη λόγω του γεγονότος ότι μέσω αυτής παρουσιάστηκε για πρώτη φορά ένα εξονυχιστικό πλάνο με απώτερο στόχο η Ευρώπη και καταστεί κλιματικά ουδέτερη (net-zero) μέχρι και το 2050. Το επίτευγμα αυτό θα ήταν δυνατό αφού η ευρωπαϊκή ήπειρος δυνητικά μπορεί να παράγει και να παρέχει ασφαλή και καθαρή ενέργεια ενώ ταυτοχρόνως τα επίπεδα της τιμολόγησης της μπορούν να χαρακτηριστούν οικονομικά φιλικά. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2019).

Ωστόσο, οι νέες ισορροπίες που νομοτελειακά άλλαξαν άρδην από τη Ρωσική εισβολή στην Ουκρανία, υποχρέωσαν την ΕΕ να επανατοποθετηθεί σχετικά με την χρονική επίτευξη των στόχων της, με τον ζυγό να ρέπει προς την επίτευξη της ενεργειακής της αυτονομίας και απεξάρτησης από τους ρωσικούς ενεργειακούς πόρους. Αναπόσπαστο κομμάτι της εισβολής ήταν φυσικά οι κυρώσεις της Ένωσης εναντίον της Ρωσίας, με την ενεργειακή ασφάλεια να τίθεται σε αμφισβήτηση και μια νέα ενεργειακή κρίση να ξεσπά.

Για τον λόγο αυτό, τον Μάιο του 2022 τέθηκε σε ισχύ το σχέδιο **REPowerEU** (για την πραγμάτωση του οποίου απαιτούνται νέες επενδύσεις 210 δισ. EUR έως το 2027) μέσω του οποίου μεταβάλλονται οι στρατηγικοί στόχοι έως και το 2030 κάτι το οποίο οδηγεί στην αύξηση του δεσμευτικού στόχου στο ποσοστό του 45% όσον αφορά στη συμμετοχή των ΑΠΕ.

Επιπρόσθετα, θεσμοθετήθηκαν νέοι στόχοι με κοινό προσανατολισμό προς την επίτευξη του προαναφερθέντος σχεδίου.

2.4.2 Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ευρωπαϊκές οδηγίες και πολιτικές σχετικά με την παραγωγή και διαχείριση της ενέργειας για τα κράτη μέλη της οδήγησαν βαθμιαία και την Ελλάδα στο να διαμορφώσει ένα θεσμικό πλαίσιο σχετικά με τις ΑΠΕ. Οι σημαντικότερες εθνικές θεσπισμένες νομοθεσίες και ισχύουσες υπουργικές αποφάσεις οι οποίες εντάσσουν τις ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναγράφονται παρακάτω.

N.4414/2016:

Ως βασικότεροι στόχοι του παρόντος νόμου αναφέρονται η ανάπτυξη ενός νέου καθεστώτος στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και από Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.) συμβατού με τις «Κατευθυντήριες Γραμμές για τις κρατικές ενισχύσεις στους τομείς του περιβάλλοντος και της ενέργειας(2014-2020)» (ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ΕΕ C200/28.6.2014).

Ακόμη, αξιοποιείται το εγχώριο δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής μέσω των ΑΠΕ, κατά προτεραιότητα στοχεύοντας στην προστασία του περιβάλλοντος, στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού αλλά και την ενίσχυση της εθνικής οικονομίας.

Λαμβάνει χώρα η ανάπτυξη και εφαρμογή του καθεστώτος στήριξης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ μέσω ενιαίας πολιτικής τη ΕΕ προκειμένου να παταχθεί η κλιματική αλλαγή. Η ολοένα και μεγαλύτερη συμμετοχή των διάφορων μορφών ΑΠΕ δύναται να συνδράμει αποφασιστικά στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας.

N.4607/2019:

Αντικαθίσταται το αρ, 14 του ν.2971/2001 από το άρθρο 33 του παρόντος νόμου ενώ προβλέπεται η δυνατότητα της απευθείας δίχως δημοπρασία παραχώρησης της χρήσης αιγιαλού, παραλίας, όχθης, παρόχθιας λιμνοθάλασσας, λίμνης και κοίτης πλεύσιμου ποταμού

σε δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς για την εκτέλεση κοινωφελών έργων ή έργων για την προστασία του περιβάλλοντος.

N. 4643/2019 :

Ουσιαστικά παρέχει περαιτέρω ενίσχυση στον Ν.4414/2016 μέσω της απευθείας συμμετοχής στην χονδρική αγορά ηλεκτρισμού για σταθμούς ΑΠΕ με σκοπό την δίχως λειτουργική ενίσχυση ωφέλεια από τους ισχύοντες μηχανισμούς.

N.5037/2023:

Ως βασικός στόχος του παρόντος νόμου αναγράφεται στο πρώτο κεφάλαιο των εισαγωγικών διατάξεων η ορθολογική ρύθμιση της παροχής υπηρεσιών ύδατος και επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, ιδίως ως προς την οργάνωση, τις υπηρεσίες, το κόστος , διαμέσου ανάθεσης αρμοδιοτήτων εποπτείας και ελέγχου στη Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων (Ρ.Α.Α.Ε.Υ.), η οποία αποτελεί μετονομασία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.). Παράλληλα θεσπίζεται εθνική στρατηγική για τα ύδατα και αποσαφηνίζονται οι αρμοδιότητες των φορέων υδατικής διαχείρισης και πολιτικής.

Κεφάλαιο 3 Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια



Εικόνα 3.1: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο, innovation network, 2020)

3.1 Εισαγωγή στην Αιολική Ενέργεια

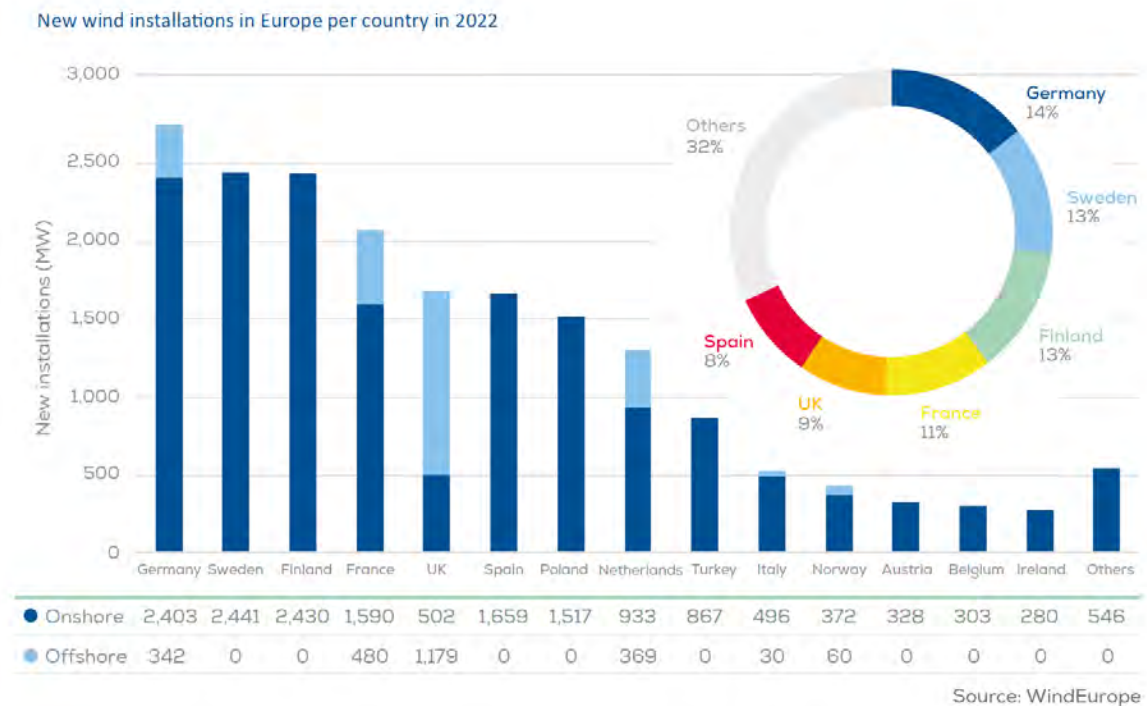
Είναι γεγονός ότι από την αρχή της εκβιομηχάνισης, η ζήτηση και κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί κατακόρυφα συγκριτικά με τον πληθυσμό του πλανήτη. Οι ορυκτοί πόροι δεν αποτελούν λύση στο ενεργειακό πρόβλημα μιας και η εξάντληση τους προβλέπεται να γίνει στο κοντινό μέλλον ενώ παράλληλα τα προϊόντα καύσης τους εντείνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ως αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καλούνται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση της ζήτησης ενέργειας που απαιτείται σε συνδυασμό με της πρόληψη της περιβαλλοντικής ρύπανσης ως απόρροια των ορυκτών καυσίμων.

Αξίζει να σημειωθεί πως η αιολική ενέργεια κατέχει εξέχουσα θέση ανάμεσα στις ήπιες μορφές ενέργειας. Η επιστημονική και τεχνολογική κοινότητα την τοποθετούν στην κορυφή ως την περισσότερο αποδοτική και οικονομική πηγή μιας και ο μηχανικός εξοπλισμός είναι πλέον ιδιαίτερα προσιτός, ενώ παράλληλα παρέχει εύκολη κατασκευή κα τοποθέτηση, δυνατότητες παραμετροποίησης σχετικά με την αποδιδόμενη ισχύ όπως και εύκολη επισκευή σε περίπτωση βλάβης.

Ως η κυριότερη και πιο αποτελεσματική μορφή ΑΠΕ, η αιολική ενέργεια θα εξετασθεί περαιτέρω. Έπειτα από εκατοντάδες επιστημονικές έρευνες στον τομέα, η αιολική έχει πλέον καθιερωθεί, ανάμεσα στις ανανεώσιμες ως η βασική τεχνολογία ηλεκτροπαραγωγής, ικανή να καλύψει σημαντικό ποσοστό της παγκόσμιας ζήτησης. Ως κινητήριος δύναμη των ανεμογεννητριών, τεχνολογικός πυλώνας της παρούσας διπλωματικής, οι διάφορες πτυχές της αιολικής ενέργειας θα αναλυθούν διεξοδικά.



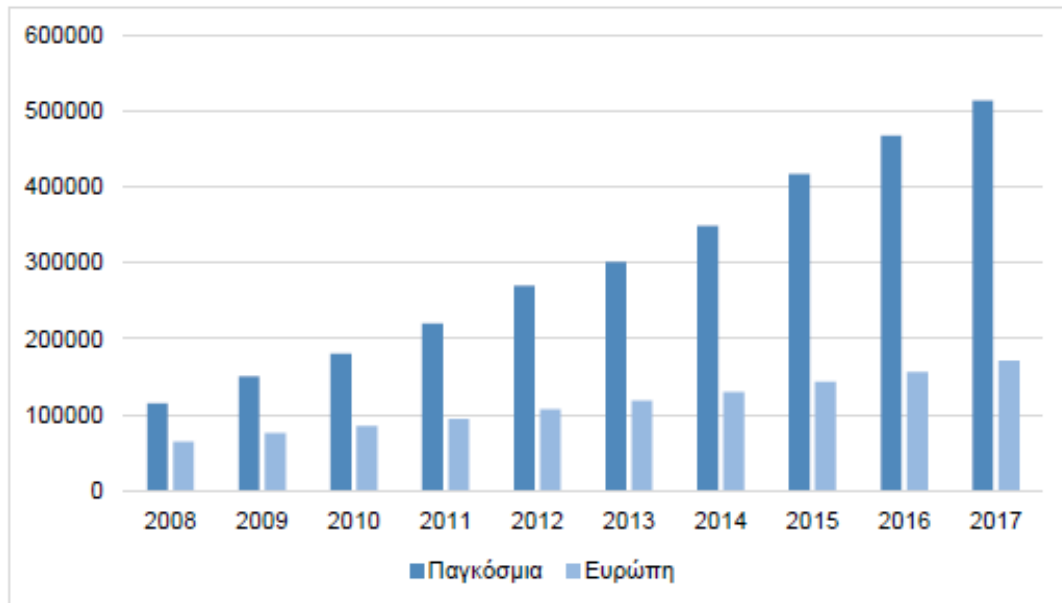
Εικόνα 3.2: Νέες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας παγκοσμίως, (GWEC, 2021)



Εικόνα 3.3: Εγκαταστάσεις χρήσης Αιολικής Ενέργειας στην Ευρώπη το έτος 2022. (WindEurope,2022)

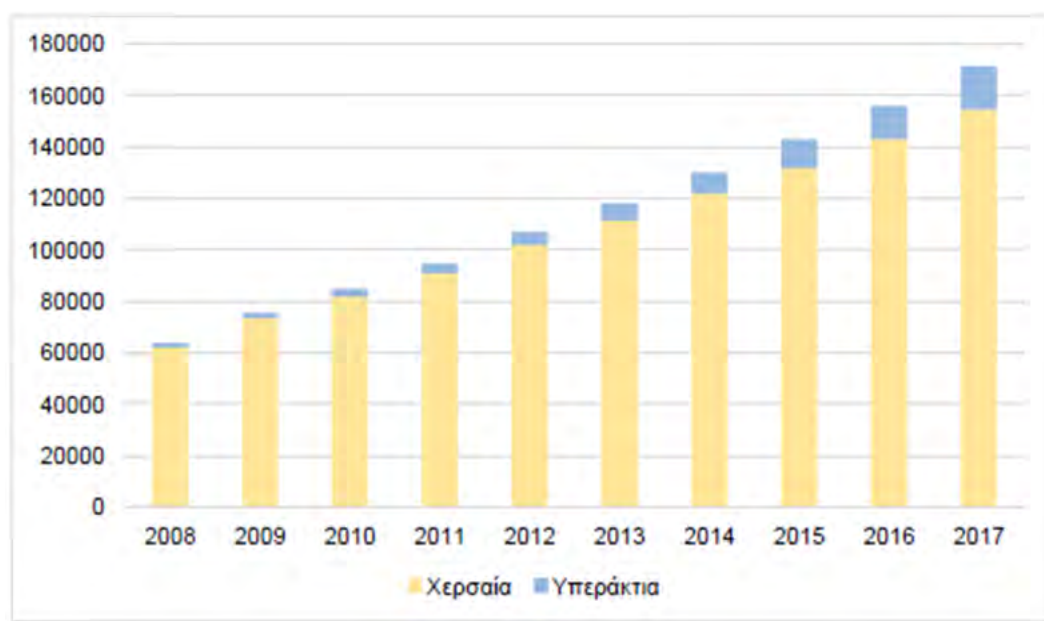
3.1.1 Στατιστικά Αγοράς Αιολικής Ενέργειας

Ως η βασική λύση έναντι των ορυκτών παρουσιάζεται η αιολική ενέργεια ενώ η ορθή αξιοποίηση της με σκοπό τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ήδη μια ώριμη τεχνολογία και υπόσχεται πολλά. (Καλδέλλης & Ζερβός, 2012). Ως μια από τις βασικότερες ανανεώσιμες πηγές, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και των περιβαλλοντικών ρύπων. Οι προαναφερθέντες λόγοι είναι μερικοί από τους οποίους, σε ευρωπαϊκό και διεθνές πλαίσιο, η αιολική ενέργεια υποστηρίζεται και προωθείται ευρέως. Το 2008 παράχθηκαν 114.799 MW αιολικής ενέργειας παγκοσμίως ενώ το 2017 η τιμή αυτή ξεπέρασε τα 500.000 MW. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο οι αντίστοιχες τιμές των MW για τα έτη 2008 και 2017 αντίστοιχα ήταν 63865 MW και 171244 MW.



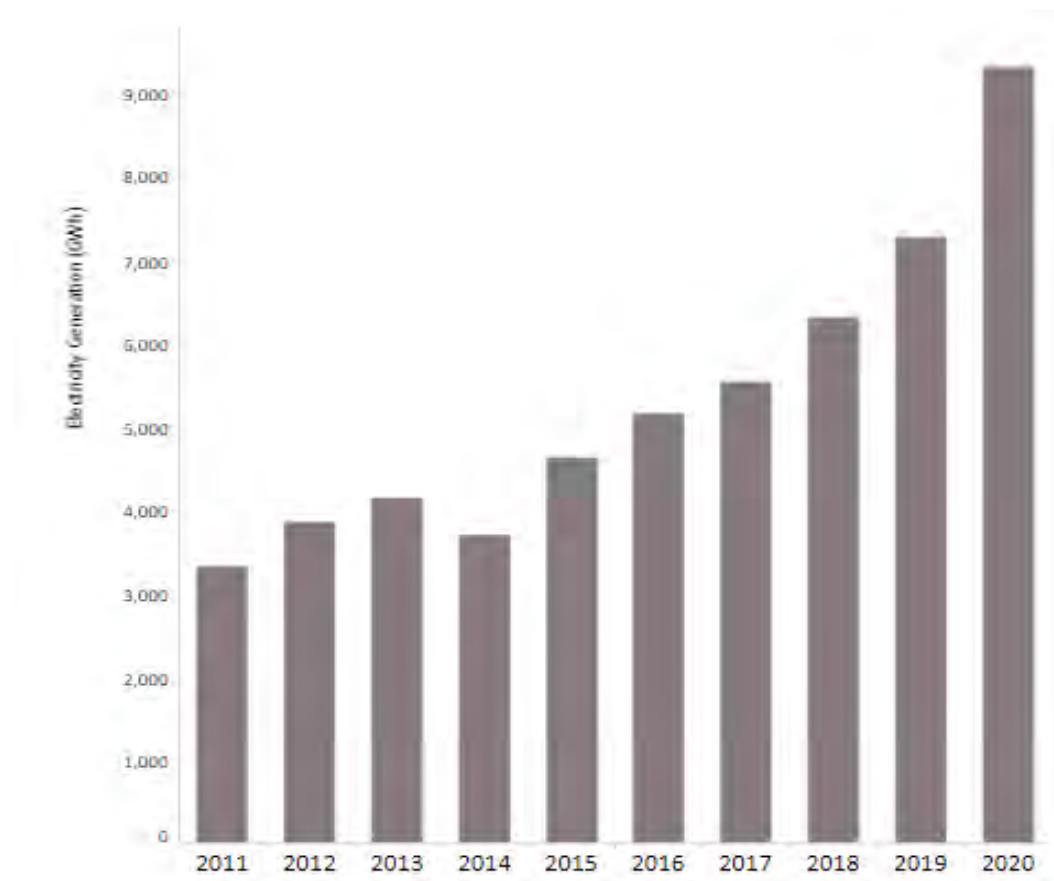
Εικόνα 3.4: Στατιστικά για την αγορά ενέργειας σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο, (IRENA, 2018)

Ως μια σχετικά νέα και διαρκώς αυξανόμενη τεχνολογία, οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες συγκριτικά με τις αντίστοιχες χερσαίες παρήγαγαν μόνο το 2% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη το 2008. Το ποσοστό αυτό ωστόσο σημείωσε εξαιρετικά σημαντική και σταθερή αύξηση καταλαμβάνοντας το 10% της ευρωπαϊκής ηλεκτροπαραγωγής το έτος 2017.



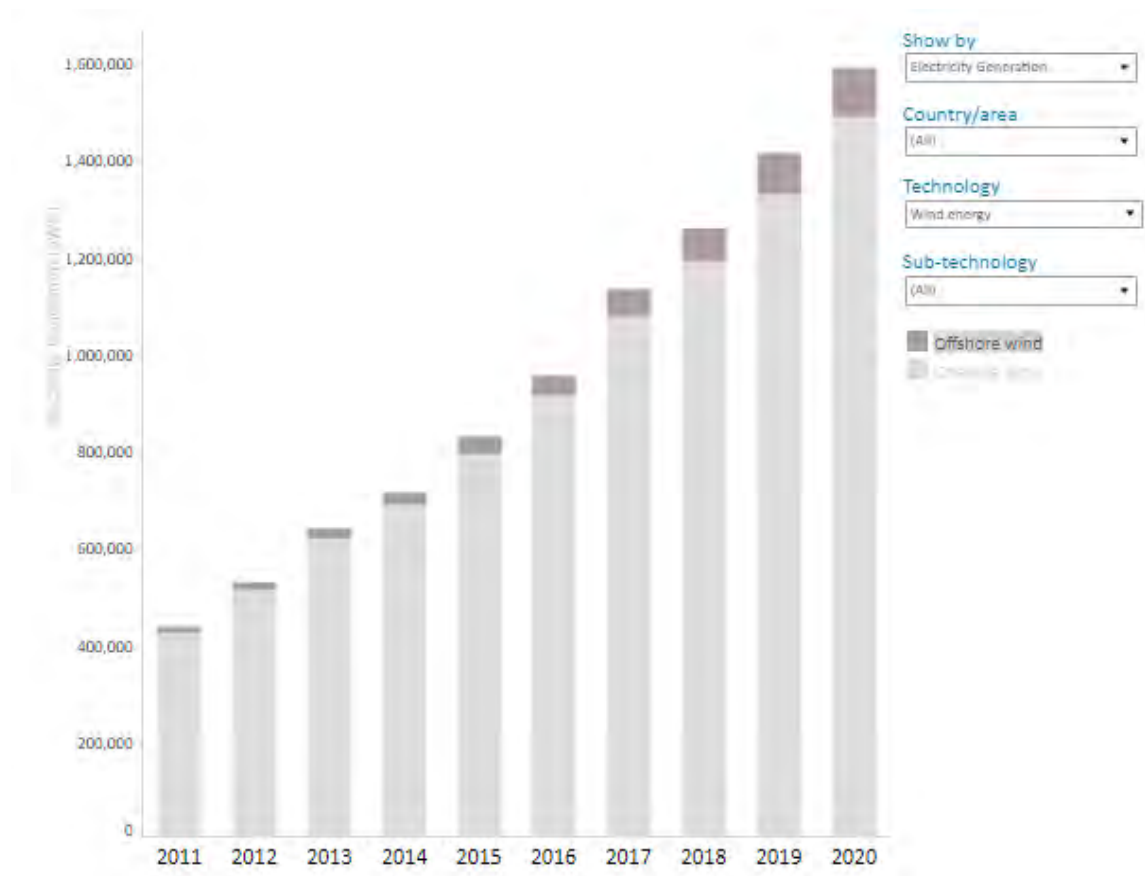
Εικόνα 3.5: Ηλεκτροπαραγωγή από χερσαίες και υπεράκτιες ανεμογεννήτριες (MW), (IRENA, 2018)

Στα πλαίσια της Ελλάδας η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε από 1022 MW σε 2652 MW από τα έτη 2008 έως 2017 αφορώντας αποκλειστικά χερσαίες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 3.6: Ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα από αιολική ενέργεια (MW), (IRENA, 2023)

Παρόμοια αυξητική τάση ηλεκτροπαραγωγής ολοκληρωτικά βασισόμενη σε onshore εγκαταστάσεις παρατηρήθηκε εντός ελληνικού πλαισίου για τα έτη 2011-2020

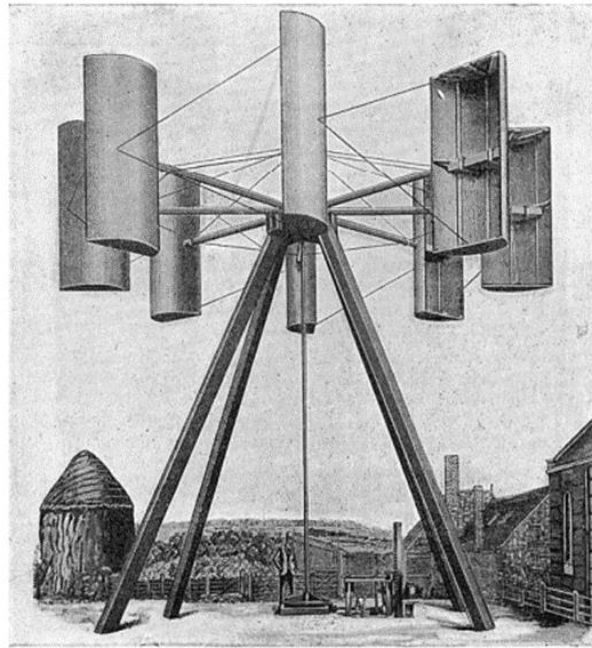


Εικόνα 3.7: Στατιστικά ηλεκτροπαραγωγής για offshore και onshore wind parks παγκοσμίως το έτος 2020 (IRENA, 2023)

3.2 Ανεμογεννήτριες

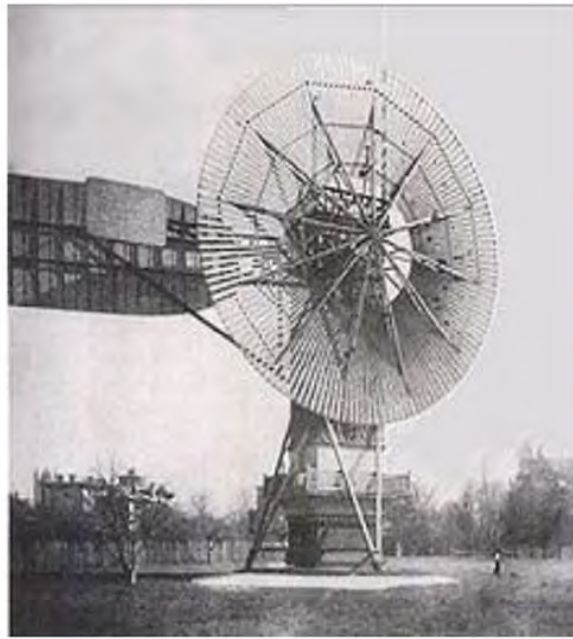
3.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Τα πρώτο είδος ανεμογεννήτριας που καταγράφηκε στα ιστορικά δρώμενα δεν άλλο από έναν ανεμόμυλο τον οποίο κατασκεύασε ο σκωτσέζος καθηγητής James Blyth με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Κατά το έτος 1887, ο καθηγητής προχώρησε στην εγκατάσταση του ανεμόμυλου στο σπίτι του τον προόριζε για τη φόρτιση συσσωρευτών. Προφανώς την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκευόταν, τη χρησιμοποίησε αργότερα για τον φωτισμό του σπιτιού μέσω λαμπτήρων. Ήταν το πρώτο στην ιστορία σπίτι που κάλυψε τις ενεργειακές απαιτήσεις του ιδιοκτήτη του αποκλειστικά με την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.



Εικόνα 3.8: Ο ανεμόμυλος του Blyth, (Γράψας, 2015)

Κατά το έτος 1887-1888 κατασκευάστηκε η πρώτη άνεμο-τροφοδοτούμενη γεννήτρια από τον Charles F. Brush. Πρόκειται για ένα πύργο κατασκευασμένο εξολοκλήρου από σίδηρο ο οποίος προσέγγιζε το βάρος των 40 τόνων ενώ αποτελούταν από 144 έλικες που κάλυπταν την επιφάνεια των 1800 τετραγωνικών ποδιών. Το εσωτερικό του σιδερένιου πύργου περιείχε το στέλεχος που γυρνούσε με δυναμό και είχε την ικανότητα να περιστρέφει 31 δυναμό έως και 500 στροφές το λεπτό. Η ποσότητα της ενέργειας που απέδιδε υπολογιζόταν κάπου στα 16kW.



Εικόνα 3.9: Πρώτη ανεμο-τροφοδοτούμενη ανεμογεννήτρια του Charles F. Brush, (Γράψας, 2015)

Ο σουηδικής καταγωγής Sigurd Johannes Savonius θα κατασκευάσει το 1922 την ομώνυμη κάθετου άξονα ανεμογεννήτρια “Savonius” της οποίας η κατασκευή και λειτουργία είναι αρκετά απλές μιας και συναρμολογείται από δυο πτερύγια ημικυκλικού σχήματος. Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί κάτωψη της ανεμογεννήτριας παραπέμπει στο γράμμα “S” του λατινικού αλφάβητου.



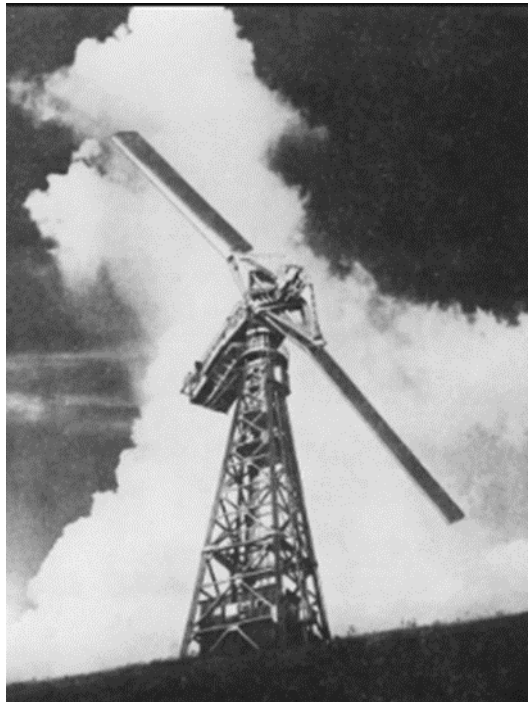
Εικόνα 3.10: Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα “Savonius”, (Γράψας, 2015)

Το 1931 ο G.J.M. Darrieus θα δημιουργήσει μια ακόμα κάθετου άξονα ανεμογεννήτρια η οποία ωστόσο διέθετε καμπυλωτά πτερύγια.



Εικόνα 3.11: Ανεμογεννήτρια καμπυλωτών πτερυγίων, (Γράψας, 2015)

Το 1941 αποτέλεσε χρονιά ορόσημο για την αιολική ενέργεια με την μεγαλύτερη έως τότε ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα να κατασκευάζεται από τους Smith και Putman. Αποτελούνταν από δύο μόνο λεπίδες, είχε τη δυνατότητα να παράγει μέχρι και 1MW ενώ παράλληλα συνδέθηκε για πρώτη φορά στο κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στο σημείο αυτό υπογραμμίζεται πως, παρά το γεγονός ότι οι ανεμογεννήτριες κέρδισαν πολύτιμο έδαφος από τα πρώτα στάδια της Βιομηχανικής Επανάστασης, με την πάροδο των χρόνων σταμάτησαν να αποτελούν κέντρο ενδιαφέροντος. Ακολούθησαν καιροί που στιγματίστηκαν από την ανακάλυψη του αερίου όπως και από την ευρεία χρήση του πετρελαίου στις πρωτοεμφανιζόμενες τότε μηχανές εσωτερικής καύσης οδηγώντας σε μια αλόγιστη χρήση των μη ανανεώσιμων διαθέσιμων ορυκτών πόρων. Αυτή η προσκόλληση συνεχίστηκε για πολλά χρόνια μέχρι και τη σημερινή εποχή όπου κρίνεται αναγκαία η δυναμική είσοδος των εναλλακτικών μορφών ενέργειας για την διατήρηση της βιωσιμότητας και της ευημερίας της ανθρωπότητας.



Εικόνα 3.12: Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα δύο λεπίδων, 1941, (Γράψας, 2015)

3.3 Σύγχρονες Ανεμογεννήτριες

3.3.1 Γενικός Τρόπος Λειτουργίας:

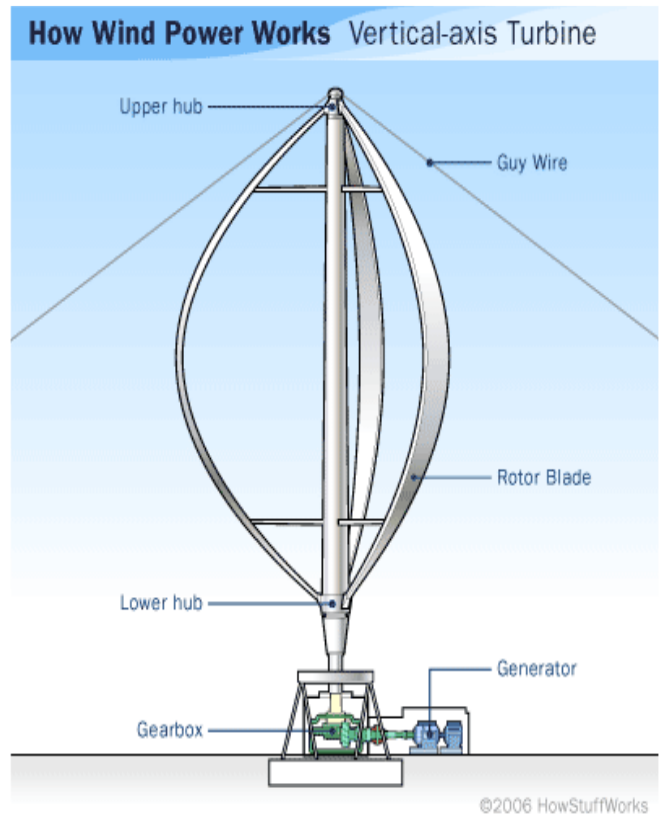
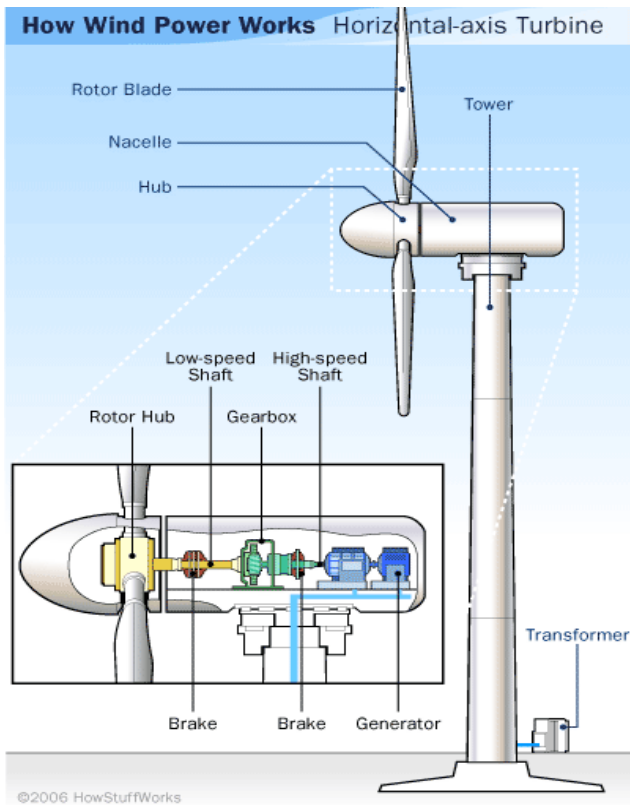
Στη σημερινή εποχή, η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά από μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του αέρα σε ηλεκτρική. Ο τρόπος λειτουργίας των ανεμογεννητριών συνοψίζεται σε δύο στάδια με το πρώτο να αφορά την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική μέσω της περιστροφής του άξονα της πτερωτής και το δεύτερο τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας πλέον σε ηλεκτρική μέσω της γεννήτριας. Η ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος που θα παραχθεί τελικά από την ανεμογεννήτρια ενδέχεται να καταναλωθεί την ίδια στιγμή ή να διοχετευτεί στο δίκτυο παροχής με σκοπό την κατανάλωση σε άλλο τόπο και χρόνο.

3.3.2 Βασικές Λειτουργίες και τμήματα μιας ανεμογεννήτριας:

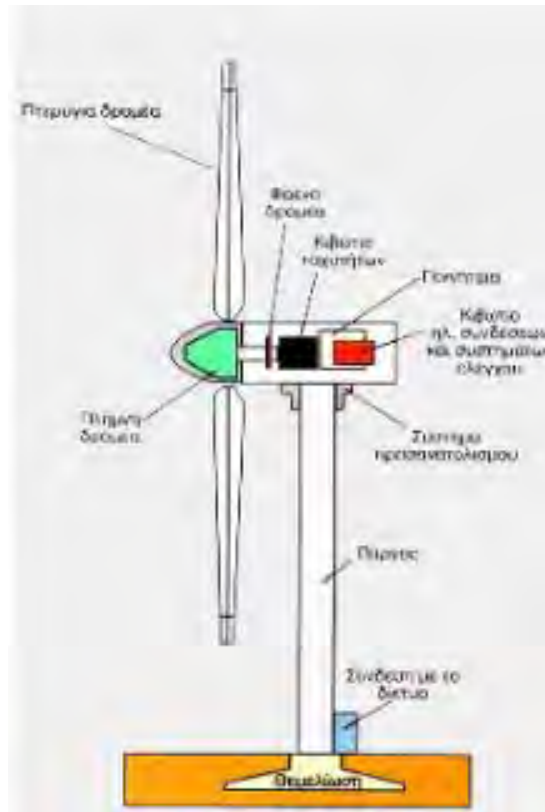
Η ταξινόμηση των ανεμογεννητριών πραγματοποιείται ως επί το πλείστον ανάλογα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους και συναρτήσει της ροής του ανέμου. Κατ' αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμογεννητριών οι οποίοι είναι είτε οριζόντιου είτε κατακόρυφου άξονα.

Όσον αφορά στις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, αυτός είναι συνήθως παράλληλος προς την πορεία του ανέμου (head on). Μια σπάνια περίπτωση είναι εκείνη ενός άξονα κάθετου προς την κατεύθυνση του ανέμου και παράλληλου προς την επιφάνεια της Γης.

Η δεύτερη κατηγορία του κατακόρυφου άξονα που είναι και η πιο διαδεδομένη παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα με το σημαντικότερο από αυτά να προκύπτει εξ ορισμού. Η γεωμετρία της κατασκευής τους με τον άξονα κάθετο στη διεύθυνση του ανέμου αλλά και στην επιφάνεια της Γης καθιστά επιτεύξιμη την αυτόματη προσαρμογή με τον άνεμο παρέχοντας έτσι σαφώς μεγαλύτερα ποσά αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.13: Χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, (HowStuffWorks, 2006)



Εικόνα 3.14: Βασικά μέρη ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα, (ΚΑΠΕ, 2017)

Η τυπική ανεμογεννήτρια αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη:

1. Τον πύργο: Συναντάται ως επί το πλείστο σαν μια χαλύβδινη, κυλινδρικού σχήματος κατασκευή η οποία φέρει στον κορμό της δύο ή και τρία τμήματα συνδεδεμένα μεταξύ τους.
2. Τον θάλαμο: περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα (κύριος άξονας, σύστημα πέδησης, κιβώτιο ταχυτήτων και ηλεκτρογεννήτρια) :
 - Ο κύριος άξονας με το σύστημα πέδησης (φρένα) είναι παρόμοιος με τον άξονα των τροχών ενός αυτοκινήτου με υδραυλικά δισκόφρενα.
 - Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι παρόμοιας κατασκευής με εκείνο του αυτοκινήτου μας με την διαφορά ότι έχει μόνον μια σχέση.

- Η ηλεκτρογεννήτρια είναι παρόμοια με αυτές που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ή με τις γεννήτριες που έχουμε στα εξοχικά μας.

3. Τα ηλεκτρονικά συστήματα: Είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο της απρόσκοπτης λειτουργίας με ασφάλεια. Θα μπορούσαν και να χαρακτηριστούν ως ο «εγκέφαλος» της ανεμογεννήτριας αφού οι επιμέρους υποδοχείς τους παρέχουν πληροφορίες για το σύστημα ρυθμίζοντας παράλληλα την ομαλή και με ασφάλεια λειτουργία της Α/Γ υπό κάθε συνθήκη.

4. Τα πτερύγια: Κατασκευάζονται από σύνθετα υλικά που περιλαμβάνουν ειδικές ρητίνες και υαλονήματα, ειδικά ώστε να προσφέρουν μεγάλη αντοχή σε εξωτερικές και εσωτερικές καταπονήσεις.

3.4 Η κατάσταση στην Ευρώπη και τον κόσμο

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα προς την κατεύθυνση επίτευξης μιας εποχής που θα χαρακτηρίζεται από την απουσία των ορυκτών καυσίμων σε παγκόσμια κλίμακα. Ως η πλέον καθιερωμένη βιομηχανία εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού χαρακτηρίζεται η χερσαία αιολική ενέργεια με τις ανεμογεννήτριες να τοποθετούνται σε χερσαίο έδαφος. Ωστόσο, παράγοντες όπως η υπερκάλυψη των γόνιμων σημείων τοποθέτησης σε χερσαίο έδαφος σε συνδυασμό με περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως οι σοβαρές επιπτώσεις στη ζωή των πτηνών αλλά και κοινωνικές όπως οι οπτική και ακουστική όχληση της τοπικής κοινωνίας δημιούργησαν γόνιμο έδαφος για την ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας.

Η τελευταία, όπως έχει αναφερθεί είναι μια πολλά υποσχόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που θα μπορούσε να συνδράμει σημαντικά στις παγκόσμιες και ευρωπαϊκές προσπάθειες για την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές της οικονομίας έως το 2050 και τη διατήρηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε περίπου 1,5°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, όπως ορίζεται στο Παρίσι Συμφωνία για την Κλιματική Αλλαγή. (Alex - Benjamin WILSON, 2020).

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η ΕΕ αναμένεται να παράγει τουλάχιστον 240 γιγαβάτ (GW) υπεράκτιας αιολικής ενέργειας έως και το έτος 2050. Η συντριπτική πλειοψηφία του παγκόσμιου υπεράκτιου αιολικού δυναμικού αναφέρεται στην Ευρώπη με το ποσοστό του 80% να συνοδεύεται από τα αντίστοιχα τεχνολογικά πλεονεκτήματα. Μέσω της αξιοποίησης του μεγάλου δυναμικού που προσφέρεται, επιτυγχάνεται μια σταθερότερη απόδοση συγκριτικά με άλλα είδη ΑΠΕ. Για τον λόγο αυτό, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας την χαρακτήρισε ως μοναδική τεχνολογία «μεταβλητού φορτίου βάσης» που μπορεί να συντελέσει στην ενσωμάτωση μελλοντικών ανθρακούχων ενεργειακών συστημάτων. Πολλά κράτη μέλη της ΕΕ έχουν ήδη θέσει συγκεκριμένους στόχους για την ανάπτυξη της υπεράκτιας ενέργειας έως το 2030 ενώ ορισμένοι από τους στόχους αυτούς έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή

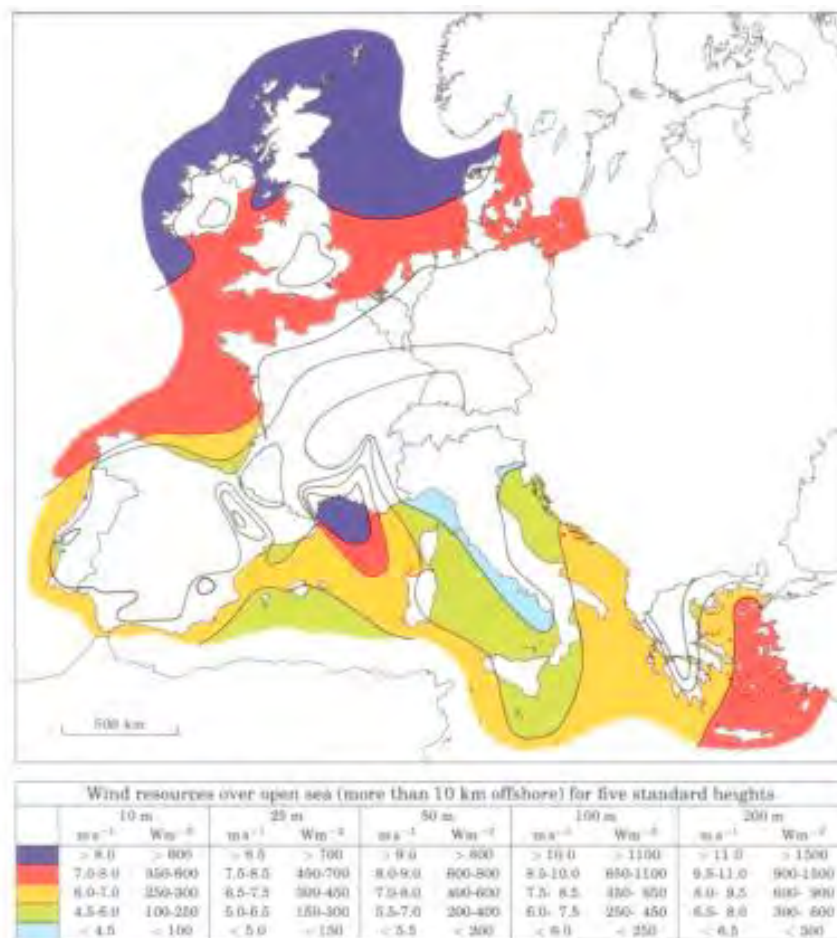
Επιτροπή, που συνοδεύονται από διάφορα μέτρα στήριξης. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο υποστηρίζει το δυναμικό της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας ,ιδίως το υπεράκτιο δίκτυο (ενεργειακός κόμβος) στη Βόρεια Θάλασσα. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια στην Ευρώπη έφτασε το ρεκόρ των 3148 μεγαβάτ (MW) συνολικής εγκατεστημένης ισχύος το 2017, που αντιστοιχεί σε 560 νέες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες και 17 OWFs (Offshore Wind Farms). Μέσα σε ένα έτος (2018) επιτεύχθηκε η διασύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας 409 νέων υπεράκτιων ανεμογεννητριών σε 18 υπεράκτια αιολικά πάρκα σε ευρωπαϊκά νερά φτάνοντας τα 18.499 MW συνολικού υπεράκτιου αιολικού δυναμικού που αντιστοιχεί σε 4543 συνδεδεμένες ανεμογεννήτριες σε 11 ευρωπαϊκές χώρες. Σήμερα, το Ηνωμένο Βασίλειο έχει τη μεγαλύτερη ποσότητα υπεράκτιας αιολικής ισχύος στην Ευρώπη με 44% του συνόλου των εγκαταστάσεων σε MW, με τη Γερμανία να ακολουθεί με 34%, τη Δανία (7%), το Βέλγιο (6,4%) και την Ολλανδία (6%) (Spyridonidou et al., 2020).

Το πρώτο υπεράκτιο, μεγάλο έργο αιολικής ενέργειας χωροθετήθηκε και κατασκευάστηκε το έτος 2009 στα ανοιχτά των νορβηγικών ακτών, στη Βόρεια Θάλασσα σε ένα βάθος 220 μέτρων περίπου. Η ονομασία ήταν “Hywind” και η ισχύς 2.3MW. Όσον αφορά στο συνολικό κόστος του έργου σημειώνεται ότι κυμάνθηκε στα 54 εκατομμύρια ευρώ. Ένα κόστος αρκετά υψηλό αιτιολογημένο ωστόσο από την πληθώρα των διάφορων έργων ανάπτυξης στην ευρύτερη περιοχή αλλά και από την πρωτιά που κατείχε απαιτώντας ενδελεχή παρακολούθηση ως προς τη λειτουργική του συμπεριφορά. (Kaldellis and Kapsali, 2013).

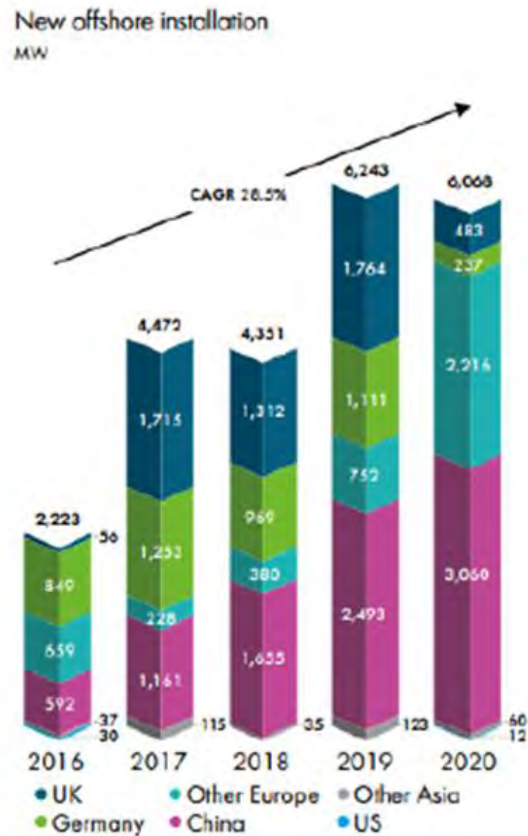
Αναφέρεται ότι η Κίνα διατηρεί την πρώτη θέση στον κόσμο στις υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις διαθέτοντας πάνω από 3 GW χωρητικότητας. Αξιοσημείωτο είναι επίσης και το ευρωπαϊκό νούμερο εγκατεστημένης ισχύος προερχόμενο κατά κύριο λόγο από τις επονομαζόμενες Κάτω Χώρες που αντιστοιχεί σε 1.5 GW υπεράκτιου αιολικού δυναμικού. (GWEC, 2021).

Η Δανία είναι μια χώρα η οποία βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο στον τομέα της υπεράκτιας ενέργειας. Στα πλαίσια των αλληπάλληλων προσπαθειών της χώρας για μείωση των βλαβερών εκπομπών άνθρακα μέχρι και το 2030, προχώρησε στην κατασκευή του Θωρ (Thor), το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο της χώρας ισχύος 1 GW. Η ευρύτερη περιοχή χωροθέτησης είναι ξανά η Βόρεια Θάλασσα με το εξαιρετικό αιολικό δυναμικό που διαθέτει και πιο συγκεκριμένα θα βρίσκεται δυτικά του Φιόρδ Νίσουμ σε απόσταση 20 km από την ακτή.

Ένας χάρτης που απεικονίζει το υπεράκτιο αιολικό στην Ευρώπη συνεισφέρει στην οπτικοποίηση και βαθύτερη κατανόηση των διαθέσιμων πόρων βασισμένος σε πέντε τυπικά ύψη. Μέσω αυτού γίνεται εμφανές το υψηλό αιολικό δυναμικού του Αιγαίου πελάγους παρατηρώντας το τμήμα της ανατολικής Μεσογείου. Οι υποψήφιες περιοχές για τοποθέτηση ΘΑΠ (Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων) περιορίζονται σε βάθη κάτω των 50 m στο συγκεκριμένο παράδειγμα εξαιτίας της δομής των θεμελίων. Αναλογικά λοιπόν με την απόσταση από την ακτή, ακολουθούν σχηματικά τα διαθέσιμα σημεία προς χωροθέτηση των ευρωπαϊκών θαλασσών.



Εικόνα 3.15: Υπεράκτιοι αιολικοί πόροι για πέντε χαρακτηριστικά ύψη πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας στην Ευρώπη, (Zountouridou et al., 2015)



Εικόνα 3.16: Νέα εγκατεστημένη υπεράκτια ισχύς παγκοσμίως, (GWEC, 2021)

3.5 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Σε εθνικά πλαίσια, καθίσταται σαφές ότι η εκμετάλλευση του υπεράκτιου ανέμου των ελληνικών θαλασσών δύναται να εγκαθιδρύσει μια νέα εποχή στην ηλεκτροπαραγωγή, πιο αποδοτική, κερδοφόρα μα πάνω απ' όλα βιώσιμη. Πέρα από τα παιδιά της ισχύος ή της χωρικής διαθεσιμότητας που όπως έχει αναφερθεί, η υπεράκτια ενέργεια υπερτερεί της χερσαίας, τονίζεται και το γεγονός ότι η Ελλάδα διαθέτει τη δεύτερη μεγαλύτερη πυκνότητα αιολικής ενέργειας στη Μεσόγειο μετά τη Γαλλία. Μια από τις τάσεις που επικρατεί τα τελευταία χρόνια ανάμεσα στην επιστημονική κοινότητα θέλει τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις να τοποθετούνται όσο το δυνατόν πιο μακριά από την ακτογραμμή και σε βαθύτερα νερά στρέφοντας το ενδιαφέρον προς τις πλωτές δομές στήριξης. (Soukissian, 2020). Ωστόσο παρά τα αισιόδοξα αυτά στοιχεία, αναφέρεται ότι η πλειοψηφία των υπεράκτιων αιολικών έργων είτε έχει

ακυρωθεί είτε παραμένει αδρανής στην Ελλάδα. Στο σημείο αυτό υπογραμμίζεται πως δεν υπάρχει κανένα λειτουργικό υπεράκτιο αιολικό πάρκο στην Ελλάδα.

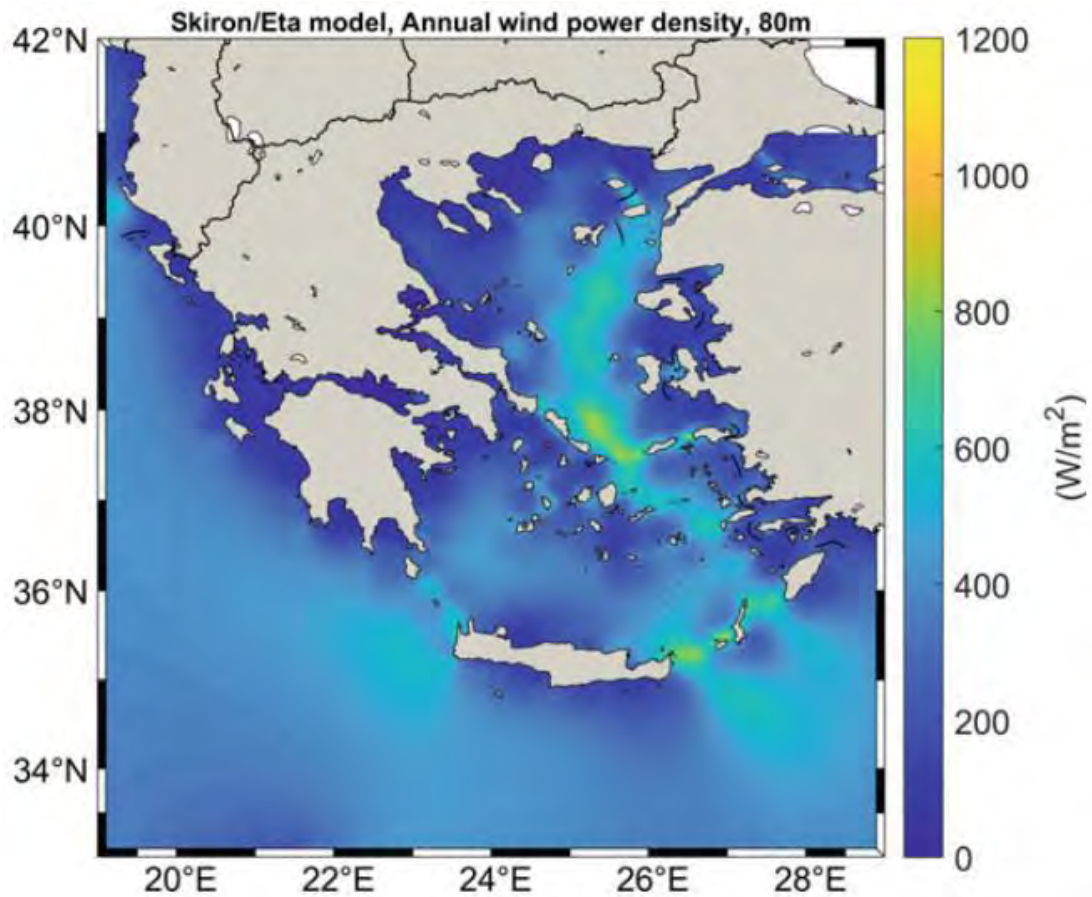
Η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια οδήγησε βαθμιαία τους σχετικούς θεσμούς όπως ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Αιολικής Ενέργειας (EWEA) στο να θέσει τον αξιοσημείωτο στόχο για παραγωγή 100 GW από αιολικά πάρκα που θα κατασκευαστούν στο μέλλον με ένα ποσοστό κοντά στο 1% να απευθύνεται στην Ελλάδα. Τα 30000 τετραγωνικά χιλιόμετρα ως υποψήφια υπεράκτια περιοχή χωροθέτησης ΘΑΠ στα ελληνικά ύδατα είναι αναμφισβήτητα μα δελεαστική περίπτωση μέσω της οποίας θα μπορέσουν εν δυνάμει να παραχθούν έως και 100000 MW ηλεκτρικής ενέργειας. (Georgiou and Areal, 2015). Στο σημείο αυτό καθίσταται σαφές ότι η συγκεκριμένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας έχει πολλά να προσφέρει στην Ελλάδα λαμβάνοντας υπόψη και τις ιδιαίτερα υψηλές τιμές μέσης ετήσιας πυκνότητας του ανέμου σε υπεράκτιες περιοχές.

Προκειμένου να προσημειωθεί ορθώς το τυπικό ύψος μιας εκάστοτε ανεμογεννήτριας, συγκεκριμένες μετρήσεις ταχύτητας και πυκνότητας ανέμου έλαβαν χώρα στο ύψος των 80 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Από αυτή τη διαδικασία, το κεντρικό και νοτιοανατολικό Αιγαίο προέκυψαν ως οι περιοχές με τα υψηλότερα και πιο επιθυμητά αποτελέσματα με τιμές που αντιστοιχούν σε 900 W/m^2 . Ακολούθησε δεύτερη στην κατάταξη η ευρύτερη περιοχή ανάμεσα σε Κρήτη και Κύθηρα. (Soukissian et al., 2020).

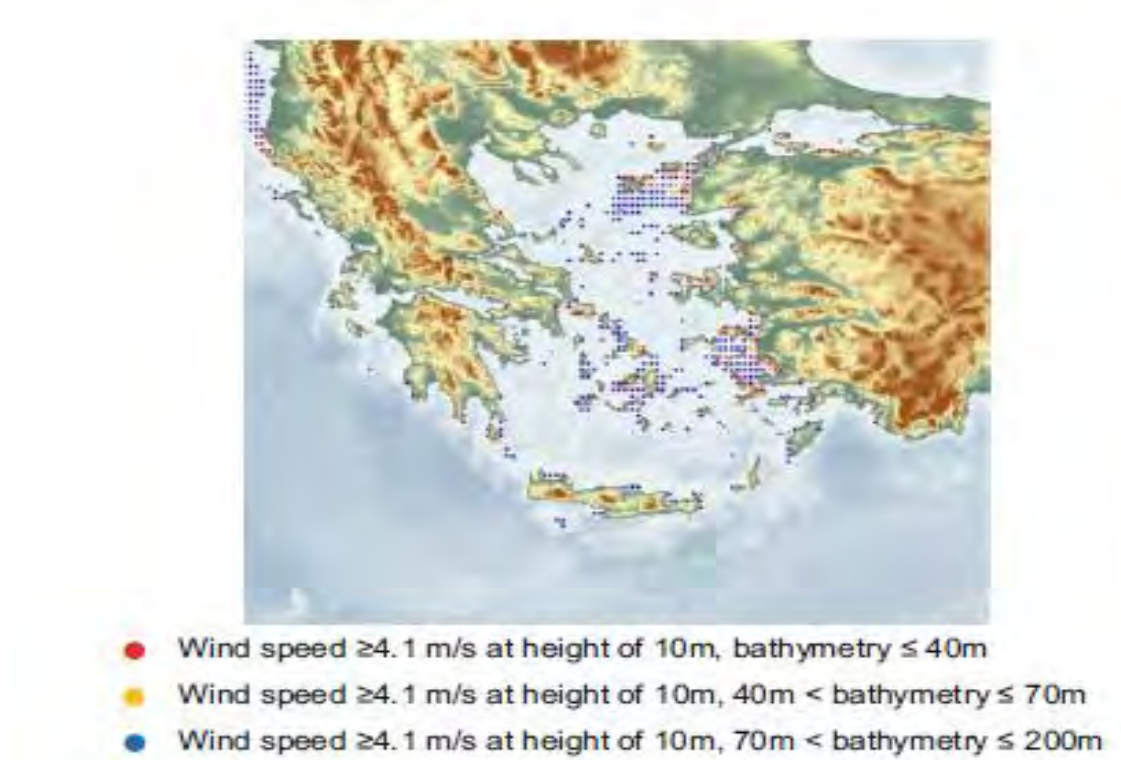
Όσον αφορά στο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας, αυτό κυμαίνεται σε μια κλίμακα από 100 έως και 600 W/m^2 στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα αποτελέσματα προέκυψαν μέσω της χρήσης 200 σταθμών μέτρησης και δεδομένων 20 ετών (1989-2008) σε διάφορα ύψη και περιόδους. Ο άτλαντας της ταχύτητας ανέμου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών μέχρι τα 50 m από την στάθμη της θάλασσας συντέλεσε αποτελεσματικά. Το αιολικό δυναμικό είναι αναγκαίο να εκτιμάται από υπάρχουσες μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης ή από τον πλησιέστερο παράκτιο.

Σχετικά με τη Νομοθεσία της χώρας, το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης είναι ο βασικός πάροχος των απαιτούμενων εργαλείων και οδηγιών. Η μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελεί βασική προδιαγραφή προκειμένου να επιτευχθεί το εγχείρημα ενός ΘΑΠ παρά το γεγονός ότι οι διάφορες μονάδες ΑΠΕ

ταξινομούνται ως περιβαλλοντικά φιλικές δραστηριότητες. Η χωροθέτηση λοιπόν στην εθνική θαλάσσια περιοχή πρέπει να επιβεβαιώνεται από τη νομοθεσία.



Εικόνα 3.17: Μέση ετήσια πυκνότητα αιολικής ενέργειας στις ελληνικές θάλασσες σε ύψος 80m από την επιφάνεια της θάλασσας, (Soukissian et al., 2020)



Εικόνα 3.18: Αιολικό δυναμικό για ύψος τοποθέτησης 10m και για βαθυμετρία μικρότερη ή ίση των 40m, μεταξύ 40 και 70m και μεταξύ 70 και 200m αντίστοιχα.

3.6 Σύγκριση Χερσαίων – Υπεράκτιων Ανεμογεννητριών

3.6.1 Πλεονεκτήματα Υπεράκτιων Εγκαταστάσεων

Ο όρος «Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια» αναφέρεται σε μια αναδυόμενη βιομηχανία η οποία έχει κάνει γενναία βήματα την τελευταία δεκαετία και έχει χαρακτηριστεί ως πολλά υποσχόμενη. Η τρέχουσα ανάπτυξη τής είναι συνυφασμένη με την έλλειψη χώρου στη γη σε ορισμένες χώρες για την ανάπτυξη χερσαίων αιολικών πάρκων, την ανταγωνιστική χρήση τοποθεσίας την κρατική υποστήριξη. Η ειδοποιός διαφορά ανάμεσα σε χερσαίες και θαλάσσιες αιολικές εγκαταστάσεις, σχετίζεται με το περιβάλλον μέσα στο οποίο αυτές χτίζονται και λειτουργούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανοιχτή θάλασσα είναι αρκετά περίπλοκη συγκριτικά με το χερσαίο έδαφος, όχι μόνο για τον σχεδιασμό αλλά και για τα έργα κατασκευής και λειτουργίας, εξαιτίας των διαφορετικών παραγόντων που δύνανται να επηρεάσουν

πολύπλευρα. Είναι γεγονός ότι μια υπεράκτια εγκατάσταση παρουσιάζει περισσότερες δυσκολίες σε σύγκριση με την αντίστοιχη χερσαία σχετικά με τον σχεδιασμό, την κατασκευή και συντήρηση της αφού βρίσκεται πάνω στη θάλασσα. Παρόλα αυτά, η υπεράκτια αιολική ενέργεια συνοδεύεται από πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την χερσαία (Esteban et al., 2011) τα οποία και θα παρουσιαστούν παρακάτω.

Αρχικά, η αδιαμφισβήτητα καλύτερη ποιότητα αιολικού δυναμικού στη θάλασσα είναι ο θεμέλιος λίθος όσων αφορά στα πλεονεκτήματα των υπεράκτιων εγκαταστάσεων μιας και παρατηρούνται πιο σταθεροί, ισχυρότεροι άνεμοι στα ανοιχτά της θάλασσας. Αυτό γίνεται καλύτερα σαφές εάν αναλογιστεί κανείς ότι στη θάλασσα δεν διακόπτεται η ροή του ανέμου αφού απουσιάζουν φυσικά εμπόδια με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούνται οι πιθανές απώλειες αιολικού δυναμικού. Το κίνητρο λοιπόν για υπεράκτιες εγκαταστάσεις πηγάζει από τον αισθητά υψηλότερο αιολικό πόρο στη θάλασσα που υπερβαίνει ακόμη και τα 8m/s στο ύψος των 50m. (J.K.Kaldellis, D.Apostolou, 2017). Οι στροβιλισμοί που αναπόφευκτα συμβαίνουν σε κάποια ανεμογεννήτρια είναι αισθητά λιγότεροι, επιτρέποντας έτσι στις εγκατεστημένες μονάδες παραγωγής να λειτουργούν απρόσκοπτα, συλλέγοντας και μετατρέποντας ενέργεια αλλά και μειώνοντας τα φορτία κόπωσης της τουρμπίνας. Ο μέσος όρος ζωής των εγκαταστάσεων λοιπόν αυξάνεται. Τα χαρακτηριστικά του στρώματος τυρβώδους αέρα δίπλα στο έδαφος και στην επιφάνεια της θάλασσας δίνουν τη δυνατότητα στο στρόβιλο να τοποθετηθεί πιο χαμηλά από το αντίστοιχο χερσαίο μηχάνημα. Συσχετισμοί με το ύψος στο οποίο τοποθετείται μια ανεμογεννήτρια (το βέλτιστο ύψος για μια δεδομένη διάμετρο υπεράκτιας τουρμπίνας είναι αυτό της οποίας τα περιστρεφόμενα πτερύγια είναι πάνω από το μέγιστο ύψος κύματος στην τοποθεσία) Βασικός παράγοντας και άρρηκτα συνδεδεμένος με την παραγωγικότητα μια αιολικής εγκατάστασης είναι η επιλογή του βέλτιστου ύψους των περιστρεφόμενων λεπίδων της ανεμογεννήτριας. Σε μια υπεράκτια εγκατάσταση καθίσταται δυνατή η τοποθέτηση του πύργου σε σημείο τέτοιο ώστε οι λεπίδες περιστροφής να βρίσκονται ακριβώς πάνω από το μέγιστο ύψος κύματος που προέκυψε από την κυματομηχανική μελέτη. Η πρακτική αυτή επιτρέπει της τοποθέτηση της τουρμπίνας χαμηλότερα από την αντίστοιχη χερσαία συμβάλλοντας στην καλύτερη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού. (Bilgili et al., 2011).

Δευτερευόντως και αναφορικά με τη χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου δηλαδή την επιλογή τοποθεσίας η οποία θα πληροί τις περιβαλλοντικές, τεχνοοικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές

προδιαγραφές, οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις πλεονεκτούν. Καθίσταται σαφές ότι τα πιθανά σημεία εγκατάστασης αυξάνονται εκθετικά όταν γίνεται λόγος για μια αισθητά μεγαλύτερη περιοχή μελέτης στα ανοικτά της θάλασσας. Η σχεδόν πληρότητα σε χερσαίες τοποθεσίες συνδυαστικά με τις αμφισβητούμενες κοινωνικοπολιτικές απόψεις όπως αναφέρθηκε παραπάνω ανοίγουν δρόμο στη θαλάσσια αιολική ενέργεια. Επιπρόσθετα η ύπαρξη μεγαλύτερου χώρου τοποθέτησης επιτρέπει την κατασκευή μεγαλύτερων αιολικών μονάδων και συνεπώς οδηγεί σε μεγαλύτερα νούμερα ηλεκτροπαραγωγής. Επιστημονικές μελέτες κατέληξαν στο γεγονός ότι ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο είναι σε θέση να παράγει παραπάνω από τέσσερις φορές μεγαλύτερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας από κάποιο αντίστοιχο χερσαίο.

Ένα ακράδαντο πλεονέκτημα των θαλάσσιων ανεμογεννητριών εκπορεύεται από τη παρουσία τεράστιων ανεκμετάλλευστων περιοχών εγκατάστασης που βρίσκονται εντός της θάλασσας. Σε μια περαιτέρω προέκταση επιλύεται και το οπτικό – αισθητικό ζήτημα αλλά και το βασικό πρόβλημα του έντονου θορύβου με την αποστασιοποίηση από τη ξηρά των μεγάλων αυτών εγκαταστάσεων. Λαμβάνοντας υπόψη και το όχι και τόσο αυξημένο κόστος μεταφοράς για την εγκατάσταση οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες κερδίζουν σημαντικά σε αυτόν τον τομέα.

Όσον αφορά στην περιβαλλοντική σκοπιά του αντικειμένου η οποία και κρίνεται καθοριστικής σημασίας για την τοπική βιοποικιλότητα, αναφέρεται ότι δεν τίθεται σε κίνδυνο η ζωή των μεταναστευτικών πουλιών. Σε αυτό το επίτευγμα έχουν συνεισφέρει αποτελεσματικά νέες πρακτικές στηριγμένες σε καινοτόμες προσπάθειες εντοπισμού και απόθησης πτηνών που πετούν κοντά στις περιστρεφόμενες λεπίδες. Ειδικοί αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται επάνω στην ανεμογεννήτρια, αναγνωρίζουν προστατευόμενα πτηνά κοντά σε αιολικά πάρκα, προβλέπουν εάν η πορεία τους ενέχει κίνδυνο πρόσκρουσης στα πτερύγια και αποτρέπουν εκπέμποντας ειδικούς ήχους και συχνότητες. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το “*Bird Monitoring System*” το οποίο συνδυάζει υλισμικό υψηλής τεχνολογίας και λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης προστατεύοντας την άγρια πανίδα σε περιοχές αιολικών πάρκων. Περιβαλλοντικές λύσεις τέτοιου είδους έχουν εγκριθεί και τοποθετηθεί σε περισσότερα από 40 αιολικά πάρκα και 180 ανεμογεννήτριες τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ιταλία, την Γαλλία και την Γερμανία. Το Bird Monitoring System είναι το μοναδικό σύστημα το οποίο έχει τοποθετηθεί με επιτυχία σε υπεράκτιο αιολικό πάρκο το οποίο είναι το πρώτο της Μεσογείου, στο Ταράντο της Ιταλίας. Παράλληλα, προβλήματα όπως η οπτική και ακουστική όχληση εκμηδενίζονται αφού πλέον υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης της αιολικής εγκατάστασης πολύ μακριά από την ακτή.

Ακόμη, οι ωκεανοί καθιστούν επιτρεπτή τη βελτιστοποιημένη απόσταση ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες, αποδίδοντας έτσι περισσότερο ομοιογενή παραγωγή ενέργειας σε σύγκριση με τις χερσαίες.

3.6.2 Μειονεκτήματα Υπεράκτιων Εγκαταστάσεων

Στον αντίποδα, είναι γόνιμο να αναφερθούν και ορισμένα μειονεκτήματα μιας υπεράκτιας αιολικής εγκατάστασης βασικότερο από τα οποία καθίσταται το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Σημειώνεται, στα πλαίσια της σύγκρισης, ότι το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών φτάνει το ποσοστό του 75% από το ολικό κόστος του έργου, ένα διόλου αμελητέο ποσοστό, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό μιας χερσαίας εγκατάστασης αφορά περίπου το 33% του συνολικού κόστους, λιγότερο από το μισό δηλαδή των υπεράκτιων. Φυσικά τα υψηλά νούμερα ενός υπεράκτιου έργου δικαιολογούνται από τα ακριβά θαλάσσια θεμέλια, την δυσκολία πρόσβασης κατά τη διάρκεια της κατασκευής λόγω καιρικών συνθηκών, τις απαιτητικές διαδικασίες εγκατάστασης, τις ακριβές τεχνολογίες και αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην αποφυγή πρόσκρουσης των πτηνών και στο μεγάλο ηλεκτρικό δίκτυο που κατασκευάζεται για να εξυπηρετήσει τη συνδεσιμότητα του έργου με τους καταναλωτές. Από εφαρμοσμένα έργα διαπιστώθηκε ότι το κόστος συντήρησης και λειτουργίας για ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο μπορεί να είναι έως και τρεις φορές υψηλότερό από το αντίστοιχο των χερσαίων. Θεμελιώδες αίτιο του υψηλού αυτού κόστους είναι κατά κοινή ομολογία η αναγκαιότητα για χρήση ακριβών μέσων μεταφοράς, έτσι ώστε το προσωπικό να μετακινείται προς το αιολικό πάρκο για να εκτελεί τις απαραίτητες εργασίες συντήρησης (Kaldellis and Kapsali, 2013).

Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι η αναγκαιότητα μιας πιο ανεπτυγμένης τεχνολογίας υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Αυτό είναι απαραίτητο για τις γεννήτριες ανεμογεννητριών (συνήθως παρόμοιες με τις χερσαίες, αλλά ορισμένα ερευνητικά έργα προσπαθούν να αποφασίσουν ποιος είναι ο καταλληλότερος τύπος γεννήτριας ανεμογεννητριών για υπεράκτια αιολικά πάρκα, ειδικά με πλωτή βάση), η οποία θα υποβληθεί σε υψηλά φορτία και πρέπει να προσαρμοστούν στο θαλάσσιο περιβάλλον και, ως εκ τούτου, να προετοιμαστούν για τις συνθήκες διάβρωσης· επίσης στα θεμέλια, στις θαλάσσιες επιχειρήσεις λόγω της σημασίας των

περιορισμών προσβασιμότητας και των δυσκολιών που υπάρχουν για εργασία σε αυτό το περιβάλλον κατά τις φάσεις κατασκευής και λειτουργίας

Όσον αφορά στην τεχνογνωσία που απαιτείται για τον σωστό σχεδιασμό και εγκατάσταση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου αυτή είναι περιορισμένη και αυτό συνιστά ένα ακόμη μειονέκτημα. Η φάση εγκατάστασης είναι ένα κρίσιμο στάδιο κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας. Λόγω της πολυπλοκότητας τους, οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις είναι μη τυποποιημένες λειτουργίες. Ανάλογα με παράγοντες όπως το μέγεθος του ρότορα, ο τύπος θεμελίωσης, η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι συνθήκες της τοποθεσίας, κάθε μια έχει μοναδικές απαιτήσεις εγκατάστασης. (Zhiyu Jiang, 2021). Αναφέρεται ότι συνήθως χρησιμοποιούνται τεχνολογίες χερσαίων ανεμογεννητριών, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μικρή χωρητικότητα και χαμηλό δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπρόσθετα, οι συνθήκες διάβρωσης που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον απαιτούν μια κατασκευή υπεράκτιων εγκαταστάσεων τέτοιο ώστε να είναι ανθεκτική.

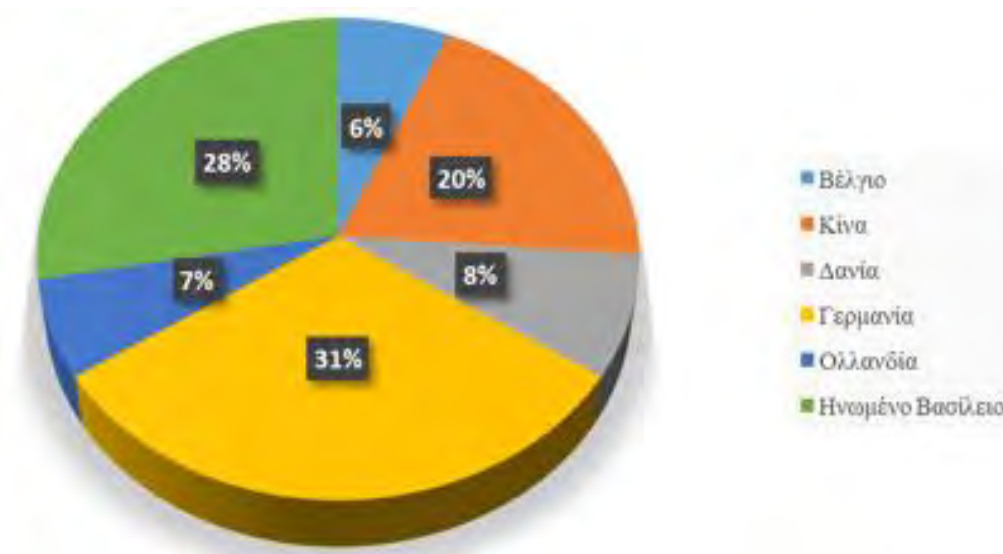
Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι ότι, λόγω της περιορισμένης τραχύτητας της επιφάνειας της θάλασσας, η διάδοση των αναταράξεων είναι υψηλότερη στην υπεράκτια παρά στην ξηρά. τότε τα φαινόμενα αφύπνισης που προκαλούνται από τις δικές τους γεννήτριες ανεμογεννητριών είναι πολύ σημαντικά που οδηγούν σε μεγάλο αντίκτυπο κατά τη διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών. Για να μειωθεί, οι ανεμογεννήτριες πρέπει να απορρίπτονται τηρώντας έναν ελάχιστο διαχωρισμό μεταξύ τους. Επίσης, η αξιολόγηση των αιολικών πόρων είναι πολύ πιο περίπλοκη και δαπανηρή από την ξηρά.

Ως προς την περιβαλλοντική προσέγγιση, ένα μειονέκτημα των υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων είναι ο θόρυβος που προκαλείται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας κατά τη θεμελίωση. Με τα περισσότερα έως σήμερα υπεράκτια έργα να εδράζονται σε ρηχά βάθη, ο τρόπος θεμελίωσης που χρησιμοποιείται είναι πλατφόρμες στερεωμένες στον πυθμένα. Ο θόρυβος λοιπόν που προκαλείται και διαχέεται φέρει αρνητικές επιπτώσεις στα θηλαστικά ενώ δύναται να προκαλέσει θνησιμότητα στα ψάρια. Παράλληλα κατά τη διάρκεια της θεμελίωσης, λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της βυθοκόρησης. Η βυθοκόρηση είναι μια ανασκαφική δραστηριότητα που περιλαμβάνει την αφαίρεση ιζήματος από θάλασσα, ποτάμι ή βυθό λίμνης και απόθεση αυτού σε νέα τοποθεσία. (Victoria L. G. Todd et al., 2015). Συνεπώς η διασπορά των ιζημάτων επιφέρει θόλωση των υδάτων βλάπτοντας έτσι μια σειρά θαλάσσιων οργανισμών. Τέλος, Θα αποτελούσε παράλειψη να μην αναφερθεί η ακουστική διαταραχή που

επιφέρει η λειτουργία της τουρμπίνας μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας απομακρύνοντας την πανίδα γύρω της.

Για μια πιο λεπτομερή προσέγγιση, κρίνεται γόνιμο να σημειωθεί πως δραστηριότητες όπως η κατασκευή μιας θαλάσσιας εγκατάστασης ανεμογεννητριών απαιτούν τη διαδικασία της βυθοκόρησης η οποία είναι μια ανασκαφική δραστηριότητα που πραγματοποιείται παγκοσμίως από πολλές βιομηχανίες. Υπάρχει ανησυχία για τον αντίκτυπο που έχει η βυθοκόρηση στη θαλάσσια ζωή, συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων θηλαστικών (κητώδη, πτερυγιόποδα και σειρήνες), αλλά οι επιπτώσεις είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστες. Η βυθοκόρηση έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει τα θαλάσσια θηλαστικά, αλλά τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τα είδη και την τοποθεσία, και ποικίλλουν επίσης ανάλογα με τον τύπο του εξοπλισμού βυθοκόρησης. Ο θόρυβος που εκπέμπεται είναι ευρυζωνικός, με την περισσότερη ενέργεια κάτω από 1 kHz και είναι απίθανο να προκαλέσει βλάβη στα ακουστικά συστήματα θαλάσσιων θηλαστικών, αλλά είναι δυνατές αλλαγές κάλυψης και συμπεριφοράς. Σχετικά με τα επίπεδα του θορύβου που παράγονται από τις δραστηριότητες, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι όσοι έχουν πιο εξειδικευμένη ακοή εμφανίζουν μεγαλύτερο επίπεδο απώλειας ακοής. (Victoria L.G Todd et al., 2015).

Συμπερασματικά, η υπεράκτια αιολική ενέργεια αναμφίβολα πρόκειται να αποτελέσει μια αυξανόμενη πηγή ενέργειας από τώρα, σύμφωνα με τη σκοπιμότητα της εγκατάστασης του αγροκτήματος και τη βελτίωση της ικανότητας διαχείρισης. Κάτι παρόμοιο αν και διαφορετικό με την πάροδο του χρόνου θα συμβεί με διάχυτες θαλάσσιες πηγές ενέργειας όπως το κύμα, το ρεύμα και η παλίρροια/σύνθεση. Αυτό θα συμβεί μόνο όταν μπορέσει να αναπτυχθεί η τεχνική ικανότητα συγκέντρωσης της ισχύος τους.



Εικόνα 3.19: Πλήθος Υπεράκτιων Αιολικών Εγκαταστάσεων Παγκοσμίως

3.6.3 Υπεράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις και διατήρηση Βιοποικιλότητας

Σχετικά με την αιολική ενέργεια και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας αναφέρεται ότι οποιαδήποτε εγκατάσταση αιολικής ενέργειας θα έχει ως αποτέλεσμα μια μικρή απώλεια της περιοχής του οικοτόπου, είτε άμεσα μέσω της κατάληψης γης από τους πύργους, είτε έμμεσα λόγω της αποφυγής ειδών από τις περιοχές γύρω από τις εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας.

Στοχευμένα για τις ανεμογεννήτριες, ανάλογα με τον τύπο του στροβίλου, τα είδη πτηνών και νυχτερίδων κινδυνεύουν σε υψόμετρα μεταξύ 20 και 180 m πάνω από το έδαφος. Παρόλα αυτά, απαιτείται αρκετή έρευνα ακόμη έτσι ώστε ο αντίκτυπος των ΘΑΠ στη θαλάσσια ζωή να γνωρίσει επαρκή ανάλυση. Η συσσώρευση διαφόρων ειδών θαλάσσιας ζωής γύρω από την περιοχή της εγκατάστασης καθίσταται ιδιαίτερα πιθανή δημιουργώντας έτσι τεχνητούς υφάλους. Σαν αλυσιδωτή αντίδραση όμως η αύξηση των ψαριών δύναται να επιφέρει περισσότερες συγκρούσεις πτηνών με τις Α/Γ λόγω της συγκέντρωσης για θήρευση. Η αύξηση του μεγέθους των πτερυγίων για την αύξηση της παραγωγής αιολικής ενέργειας ανά μονάδα γης μπορεί να έχει οριακή μόνο επίδραση στον κίνδυνο σύγκρουσης για τα πουλιά, σε σύγκριση με την ύπαρξη των κατασκευών.

Συγκρίνοντας την υπεράκτια αιολική με άλλες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται ότι οι επιδράσεις της στο θαλάσσιο περιβάλλον θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν από ουδέτερες έως και θετικές.

3.7 Κατηγορίες Δομών Στήριξης

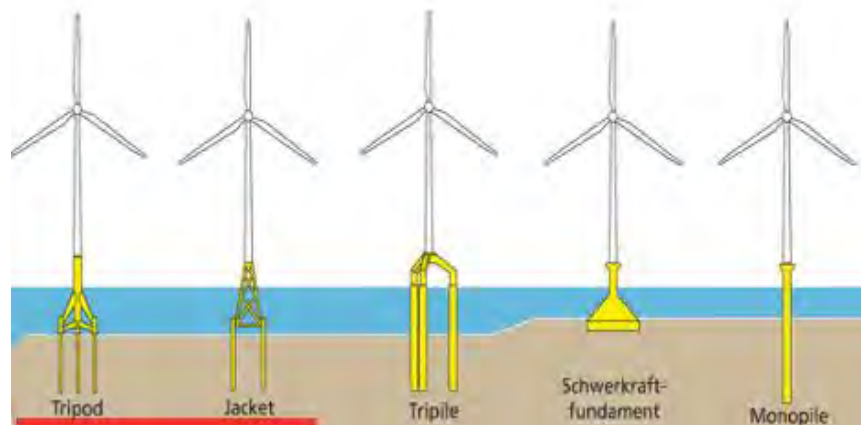
Ένα τμήμα μείζονος σημασίας για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι αναμφισβήτητα οι δομές πάνω στις οποίες στηρίζονται οι ανεμογεννήτριες οι οποίες και θα αναλυθούν εκτενώς στις επόμενες σελίδες.

Τα γενναία βήματα που έχουν σημειωθεί στις τεχνολογίες στήριξης μιας θαλάσσιας εγκατάστασης, σταθερής ή πλωτής έχουν εγείρει το ενδιαφέρον της παγκόσμιας υπεράκτιας αιολικής βιομηχανίας για περαιτέρω εξέλιξη. Αναμφισβήτητα ένας από τους βασικότερους ρυθμιστές ενός αιολικού πάρκου είναι το σύστημα στήριξης των ανεμογεννητριών το οποίο τελικά θα επιλεγεί από τον μελετητή σταθμίζοντας όλες τις απαραίτητες μεταβλητές. Σήμερα υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες που αφορούν τα συστήματα στήριξης οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από το βάθος θεμελίωσης αλλά και από άλλους παράγοντες όπως η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, το συνολικό βάρος της κατασκευής ή το μέγιστο ύψος κυματισμού που επικρατεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα θεμέλια των υπεράκτιων αιολικών σταθμών υπόκεινται διαρκώς σε πολλαπλούς συνδυασμούς φορτίσεων με κυρίαρχες την αξονική δύναμη από τη δομή στήριξης του στροβίλου και των κυκλικών φορτίων από ακραίες θαλάσσιες εγκαταστάσεις. Συνεπώς τέτοιου είδους θεμέλια είναι απαραίτητο να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντέχουν στο χρόνο. Οι δύο κατηγορίες θεμελίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το βάθος όπως αναφέρθηκε και ταξινομούνται σε εδρασμένες στον πυθμένα (<50m) και σε πλωτές κατασκευές με συνδυασμό αγκυρώσεων για μεγαλύτερα βάθη (>50m).

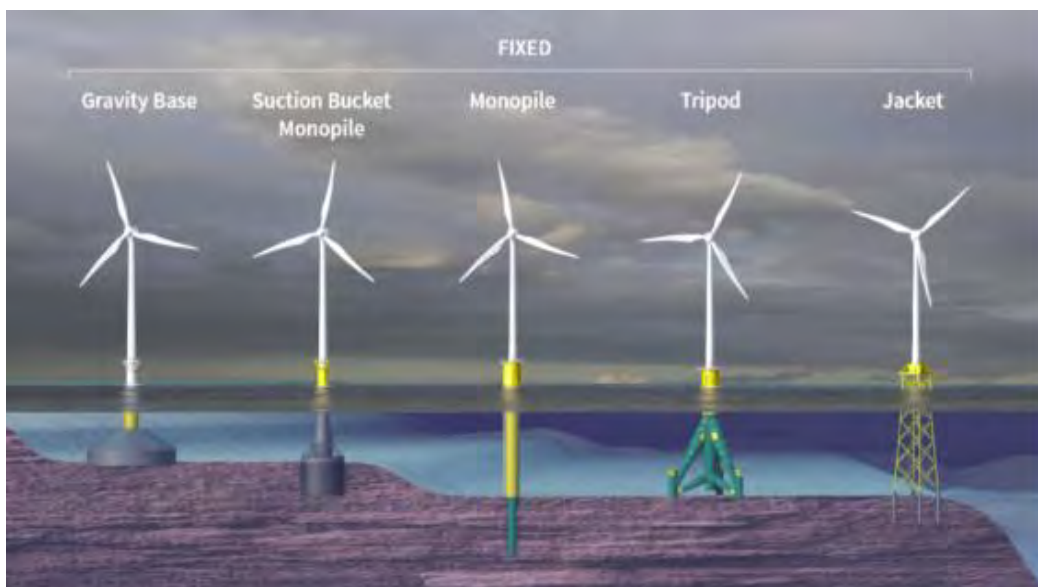
3.7.1 Κατασκευές Σταθερής Έδρασης

Οι υφιστάμενες εγκατεστημένες υπεράκτιες ανεμογεννήτριες εδράζονται κατά κύριο λόγο στον πυθμένα αφού ο μεγαλύτερος αριθμός εφαρμογών έως σήμερα λαμβάνουν χώρα σε ρηχά νερά. (<50m). **Οι γειωμένες λοιπόν κατασκευές ή αλλιώς κατασκευές σταθερής έδρασης** είναι εκείνες που θεμελιώνονται στον πυθμένα και διαχωρίζονται στις ακόλουθες υποκατηγορίες:

- Μονού πυλώνα (Monopile)
- Μεταλλικοί πύργοι (Jacket)
- Βαρύτητας (Gravity based)
- Τριπόδου (Tripod)
- Τριπλού πυλώνα (Tripile)



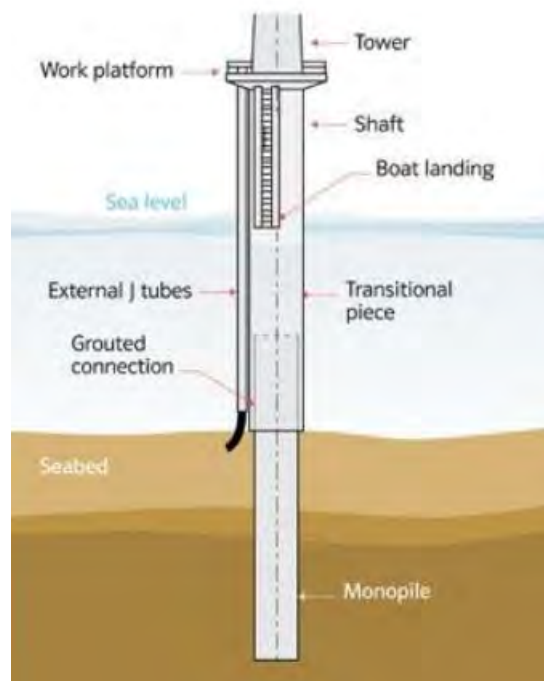
Εικόνα 3.20: Θεμέλια ανεμογεννητριών σταθερής έδρασης, (FOUNDATION OFFSHORE WIND ENERGY, 2013)



Εικόνα 3.21: Θεμέλια ανεμογεννητριών σταθερής έδρασης, (2hOffshore, 2021)

Μονού πυλώνα (Monopiles)

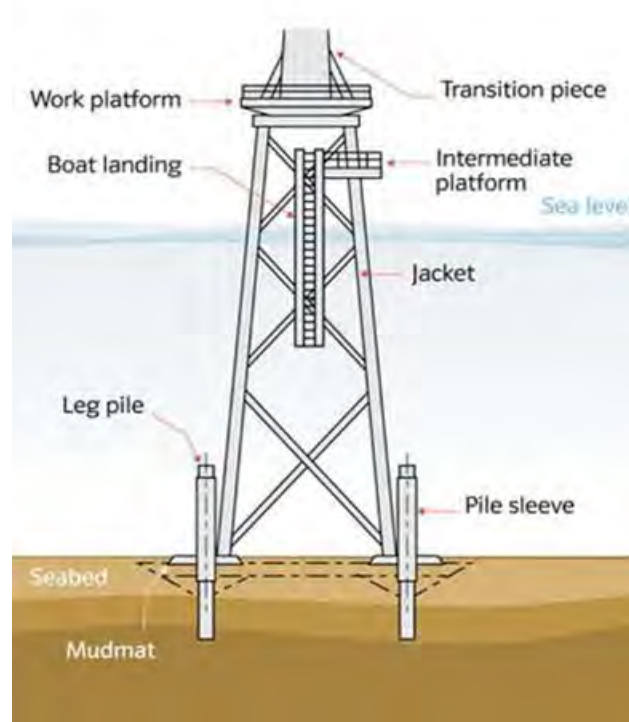
Ένα τυπικό θεμέλιο μονού πυλώνα αποτελείται από έναν χαλύβδινο, κυλινδρικό σωλήνα του οποίου η διάμετρος κυμαίνεται από 3 έως και 8 μέτρα και συναντάται σε μικρά βάθη που εκτείνονται από 20 έως 40 μέτρα κατά κανόνα. Ο απλός σχεδιασμός της κατασκευής προσφέρει οικονομικό όφελος και ευελιξία στη μεταφορά. Οι πυλώνες αυτής της μορφής εδράζονται καρφωμένοι στον πυθμένα της θάλασσας με το βάθος διείσδυσης να ρυθμίζεται έτσι ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες του έργου ανάλογα με τον περιβάλλοντα χώρο. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει σταχυολογούνται ανάμεσα στην ευκολία κατασκευής και το χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης. Για το λόγο αυτό η τεχνοτροπία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως θεμελιώνοντας πολλές υπεράκτιες εγκαταστάσεις σε παγκόσμια κλίμακα.



Εικόνα 3.22: Χαρακτηριστικά Θεμέλιου μονού πυλώνα (monopile), (4C Offshore LTD 2016)

Μεταλλικοί πύργοι (Jackets)

Οι μεταλλικοί πύργοι είναι δικτυωτές δομές τριών ή τεσσάρων πασσάλων και συναρμολογούνται από επιμέρους χαλύβδινα σωληνωτά τμήματα των οποίων η συγκόλληση γίνεται, τις περισσότερες φορές, στη στεριά. Στη συνέχεια ο πύργος μεταφέρεται στο εργοτάξιο και θεμελιώνεται στον πυθμένα της θάλασσας. Αναφέρεται ότι θεμέλια τέτοιου είδους βρίσκουν συνήθως καλή εφαρμογή σε βάθη μεταξύ των 20 και 50 μέτρων. Η δομή οδηγείται από κάθε πυλώνα που την αποτελεί στον πυθμένα με τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια έναντι πλευρικών ωθήσεων. Παράλληλα χαρακτηρίζονται σχετικά οικονομικά όσον αφορά στην κατανάλωση χάλυβα, ωστόσο η αποθήκευση, ο ανεφοδιασμός και η εγκατάσταση μπορεί να είναι ακριβά, αυξάνοντας σημαντικά το συνολικό κόστος. (Xiaoni Wu et al., 2019).



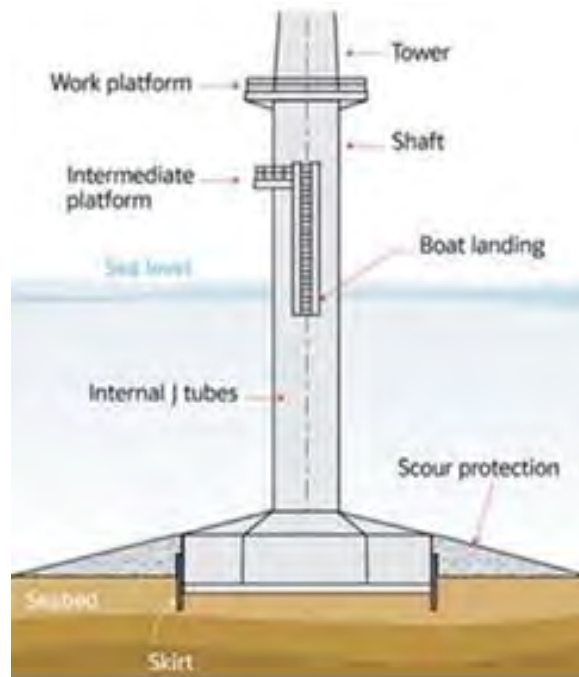
Εικόνα 3.23: Χαρακτηριστικά Θεμέλιου μεταλλικού πύργου (jacket), (4C Offshore LTD 2016)



Εικόνα 3.24: Μεταλλικοί πύργοι jackets, (FOUNDATION OFFSHORE WIND ENERGY, 2009)

Θεμέλια Βαρύτητας (Gravity based)

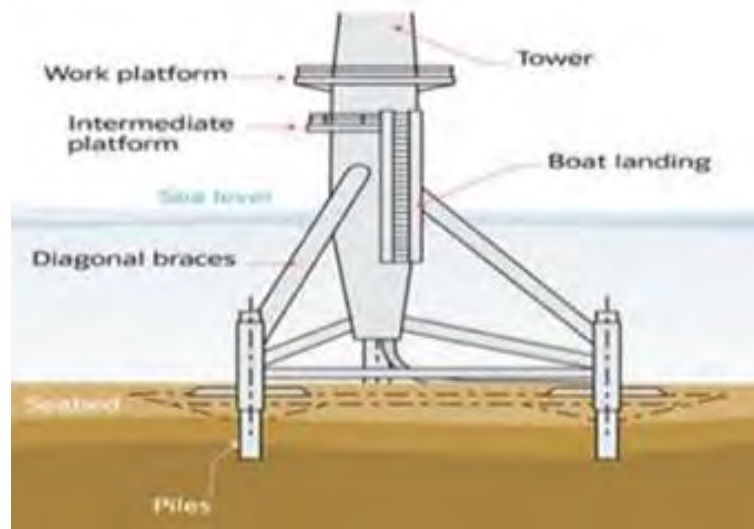
Αυτή η κατηγορία θεμελίου αφορά σε κατασκευές από σκυρόδεμα ή χάλυβα οι οποίες χρησιμοποιώντας το ίδιο τους το βάρος αντιστέκονται στις δυνάμεις που δέχονται μέσω του ανέμου και των κυμάτων. Αποτελούνται από έναν κεντρικό άξονα πάνω στον οποίο στηρίζεται ο πύργος και αυτός έπειτα σε μια μεγάλης επιφάνειας επίπεδη βάση από σκυρόδεμα ή ατσάλι. Το έρμα βρίσκεται στη βάση της κατασκευής και χρησιμεύει ως άγκυρα και αποτελείται από άμμο, σιδηρομεταλλεύματα ή πέτρα. Από οικονομικής σκοπιάς αναφέρεται ότι θεωρούνται πιο οικονομικές κατασκευές από αυτές του μονού πυλώνα, ωστόσο όσον αφορά στο κόστος εγκατάστασης μειονεκτούν αφού η βυθοκόρηση απαιτεί την προετοιμασία του πυθμένα με τη χρήση εξειδικευμένων εργαλείων και ανυψωτικών πλοίων (Kaiser and Snyder 2010).



Εικόνα 3.25: Χαρακτηριστικά θεμέλιου βαρύτητας (gravity based), (4C Offshore LTD 2016)

Τρίποδα (Tripods)

Με τις κατασκευές αυτές να αποτελούνται από τον κεντρικό άξονα ο οποίος συνδέεται με τρεις επιμέρους χαλύβδινους κυλινδρικούς σωλήνες θεωρείται μια ελαφριά κατασκευή τύπου jacket μόνο που διαθέτει τρεις πυλώνες. Οι τρεις σωλήνες μεταφέρουν τις δυνάμεις που δημιουργούνται από τα ασκούμενα φορτία με ασφάλεια στον πυθμένα της θάλασσας. Τονίζεται ότι αυτές οι κατασκευές προσδίδουν ιδιαίτερη σταθερότητα στις ανεμογεννήτριες που στηρίζονται πάνω τους αφού είναι γενικά αρκετά άκαμπτες. Οι έως και σήμερα μελέτες τις τοποθετούν σε βάθη από 30 μέτρα και άνω διότι σε μικρότερα βάθη δημιουργούνται προβλήματα στα διερχόμενα πλοία.



Εικόνα 3.26: Χαρακτηριστικά θεμέλιου Τρίποδα (tripod), (4C Offshore LTD 2016)

Τριπλού πυλώνα (Tripile)

Η λογική αυτού του είδους θεμελίου είναι παρεμφερής με εκείνα του μονού πυλώνα με τον σχεδιασμό τους να διαφοροποιείται μόνο στο ότι ο κεντρικός πύργος στηρίζεται σε τρεις επιμέρους πυλώνες αντί για έναν. Οι τρεις αυτοί πάσσαλοι θεμελιώνονται στον πυθμένα και έπειτα συνδέονται μεταξύ τους με το μήκος τους να κυμαίνεται από 60 έως 90 μέτρα και η διάμετρος τους από 1,5 έως 3 μέτρα. Βρίσκουν εφαρμογή σε βάθη που εκτείνονται από τα 25 έως και τα 40 μέτρα.



Εικόνα 3.27: Θεμέλιο τριπλού πυλώνα (Tripile) , (4C Offshore LTD 2016)

3.7.2 Πλωτές – Αγκυρωμένες κατασκευές

Μια πλωτή κατασκευή με σύστημα πρόσδεσης τοποθετημένο με άγκυρες στον πυθμένα της θάλασσας είναι ίσως η καλύτερη επιλογή για μια υπεράκτια αιολική εγκατάσταση σε νερά βάθους άνω των 60 μέτρων. (Xiaoni Wu et al., 2019). Από τη σύλληψη της ιδέας για πλωτό αιολικό πάρκο το 1972 έως και σήμερα έχουν γίνει γενναία βήματα εξέλιξης σε αυτόν τον τομέα. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι πλωτές κατασκευές έναντι των σταθερών που μόλις εξετάστηκαν είναι σημαντικά, ιδιαίτερα για χώρες με βαθιά νερά όπως είναι η Ελλάδα. Προηγείται ωστόσο η ανάλυση των κατηγοριών και των βασικών λειτουργιών μιας πλωτής κατασκευής. Αρχικά διαφέρει από τις σταθερά εδραζόμενες στον πυθμένα αφού δεν υπάρχει άμεση επαφή με το έδαφος παρά μόνο μέσω ενός συστήματος αγκύρωσης που την συγκρατεί. Η πλωτή αυτή πλατφόρμα πάνω στην οποία τοποθετείται η αιολική εγκατάσταση σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχει την απαραίτητη άνωση, υποστηρίζοντας το βάρος της ανεμογεννήτριας και διατηρώντας κινήσεις ρίψης - προνευτασμού (pitch), κύλισης – διατοιχισμού (roll) και ανύψωσης (heave) εντός των αποδεκτών ορίων.

Πλεονεκτήματα πλωτών εγκαταστάσεων

Καθίσταται σαφές ότι ο κοινός στόχος της παγκόσμιας υπεράκτιας αιολικής βιομηχανίας δεν είναι άλλος από την βέλτιστη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού που εντοπίζεται κυρίως στα βαθιά νερά. Η ευελιξία τοποθέτησης των πλωτών εγκαταστάσεων σε βάθη άνω των 50 μέτρων όπου είναι χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερα ευστάθεια και ταχύτητα, αποτελεί και το βασικότερο πλεονέκτημα τους.

Παράλληλα αναφέρεται μια σειρά από επιπλέον πλεονεκτήματα που υπεισέρχονται στις πλωτές κατασκευές:

- Μείωση συνολικού βάρους της κατασκευής και κατά συνέπεια του κόστους με την απαίτηση αισθητά λιγότερα υλικών συναρμολόγησης.
- Φιλικότερες προς το περιβάλλον κατασκευές μιας και η διακοπή χρήσης τους δεν αφήνει αρνητικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Κάθε τμήμα της απομακρύνεται ξεχωριστά μετά την αποσυναρμολόγησης.
- Είναι δυνατή η εξολοκλήρου συναρμολόγηση τους στην στεριά και στη συνέχεια η μεταφορά και τοποθέτησης τους στην περιοχή ενδιαφέροντος.
- Από τη φύση τους, οι πλωτήρες δέχονται αισθητά μικρότερα φορτία από τους έντονους κυματισμούς στα βαθιά.

Συνεπώς γίνεται αντιληπτό ότι τα πλωτά θεμέλια ανεμογεννητριών με σύστημα αγκύρωσης πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις για σταθερότητα απόδοσης και εξισορρόπησης του κόστους.

Κατηγορίες πλωτών κατασκευών

Οι κύριες κατηγορίες πλωτών κατασκευών που υπάρχουν μέχρι σήμερα και είναι κατάλληλες για την υποστήριξη ανεμογεννητριών είναι οι εξής τρεις:

Spar

Αποτελούμενη από έναν κατακόρυφο κύλινδρο που λειτουργεί ως έρμα στη βάση της πλατφόρμας, η spar είναι μια δομή αρκετά απλή και είναι ο πρώτος τύπος πλωτού θεμελίου που χρησιμοποιήθηκε για την έδραση θαλάσσιας ανεμογεννήτριας. Το βαρύ έρμα μεγάλης διαμέτρου αποτρέπει την ανατροπή, ωστόσο η κατασκευή είναι συχνά ευαίσθητη σε δονήσεις λόγω δινών.

Semi-Submersible

Ο ορισμός αυτού του είδους πλωτών κατασκευών, αναφέρεται εμφανώς σε δομές ημιβυθισμένες. Ο κύριος όγκος της πλατφόρμας βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού και αγκυρώνεται με συμβατικούς τύπους αγκύρωσης στον πυθμένα. Η κατασκευή αυτή προσφέρει ευελιξία κατά τη μεταφορά αφού συναρμολογείται εύκολα ενώ παράλληλα είναι αρκετά οικονομική μειώνοντας τον απαιτούμενο όγκο καταστρώματος.

TLP (Tension Leg Platform)

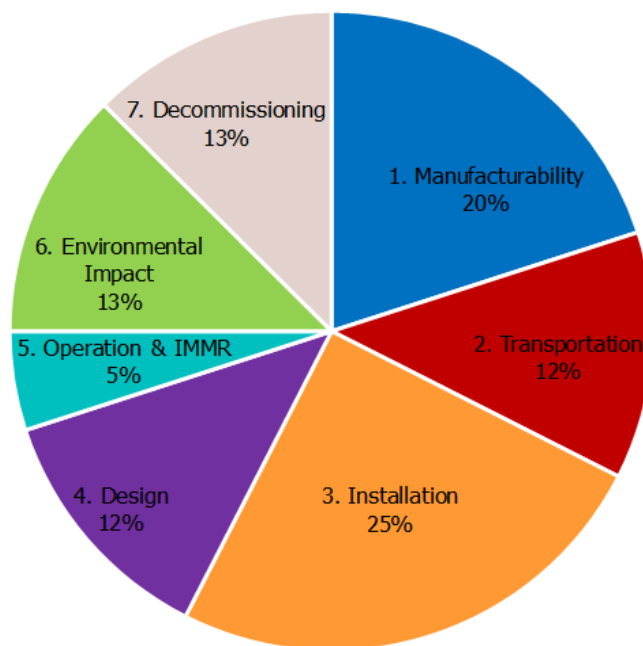
Το είδος πλωτών κατασκευών το οποίο διακρίνεται για την ιδιαίτερη ανθεκτικότητά του λόγω της δομής του που αποτελείται από προεντεταμένα συρματόσκοινα από χάλυβα (tension legs) τα οποία συνδέουν τον πλωτήρα με τον πυθμένα. Αυτός ο σχηματισμός προσδίδει ιδιαίτερη ακαμψία στο κάθετο επίπεδο και ευελιξία στο οριζόντιο κάτι που καθιστά τις TLP ιδανικές ενάντια στους κυματισμούς. Διαθέτουν εξαιρετική πλευστότητα αφού τα σκοινιά βρίσκονται διαρκώς υπό προένταση. Σημειώνεται ότι ο τρόπος με τον οποία αγκυρώνονται αφήνει ελάχιστο περιβαλλοντικό αντίκτυπο και διευκολύνει την διέλευση των πλοίων συγκριτικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες.



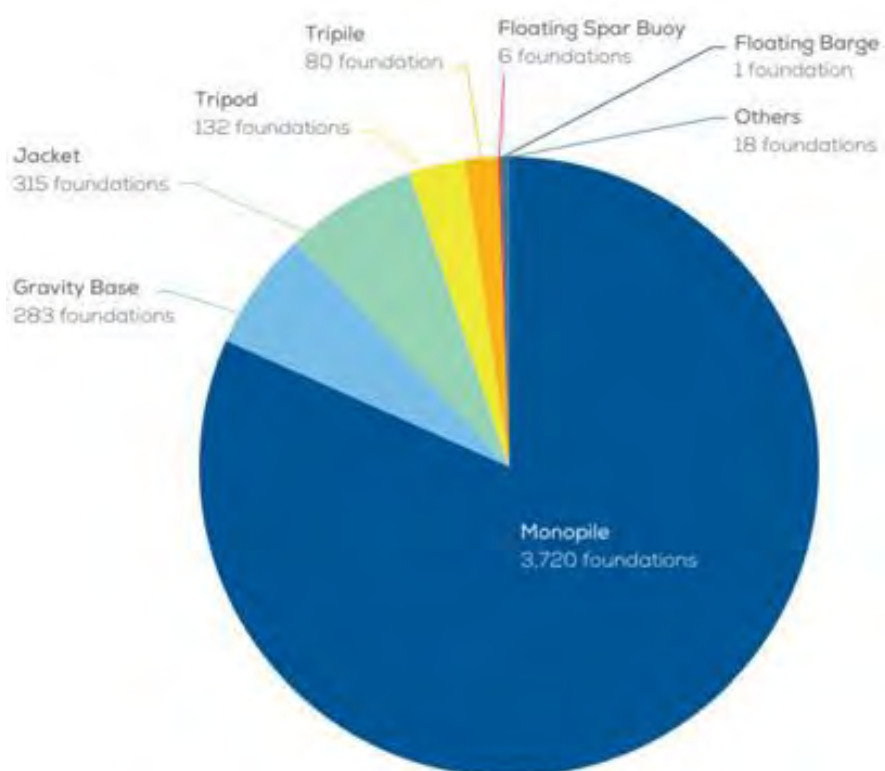
Εικόνα 3.28: 3 κατηγορίες πλωτών κατασκευών, (Wind Energy Technologies Office, 2017)

Αναφέρεται ότι με βάση τα στοιχεία της Wind Europe (2017) τα monopiles (μονού πυλώνα) αποτελούν την πιο διαδεδομένη δομή καταλαμβάνοντας το ποσοστό του 87% από το συνολικό μερίδιο αγοράς στην Ευρώπη. Ακολουθούν τα jackets (μεταλλικοί πύργοι) στο 9% και gravity based (θεμέλια βαρύτητας) στο 2%. Τα ποσοστά αυτά αιτιολογούνται εν μέρει, αφενός από το γεγονός ότι είναι οικονομικότερα από τα πλωτά και αφετέρου από τα σχετικά ρηχά νερά στην Ευρώπη.

Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση των ποσοστών χρήσης καθεμιάς από τις υποδομές υπεράκτιων Α/Γ.



Εικόνα 3.29: Παράγοντες Υπεράκτιων Εγκαταστάσεων, (Wind Europe, 2017)



Εικόνα 3.30: Ποσοστιαία Κατανομή προτιμότερων τρόπων θεμελίωσης, (Wind Europe, 2017)

Κεφάλαιο 4 Χωροθέτηση Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου

4.1 Βασικά κριτήρια και εργασία

4.1.1 Διεθνές πλαίσιο χωροθέτησης υπεράκτιων αιολικών πάρκων

Οι κατευθύνσεις για τη χωροθέτηση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων διεθνώς καθορίζονται από την οδηγία της UNESCO (2009). Με βάση αυτή διευκρινίζονται οι τρεις κατηγορίες χρήσεων (συμβατές, πιθανόν συμβατές και ασύμβατες). Ως συμβατές χαρακτηρίζονται οι υδατοκαλλιέργειες και οι λοιπές υπεράκτιες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Λιμάνια, υποθαλάσσιοι αγωγοί ή καλώδια, θαλάσσιες εγκαταστάσεις βιομηχανικής παραγωγής, εγκαταστάσεις απομόνωσης άνθρακα και η επιστημονική έρευνα θεωρούνται ως πιθανά συμβατές ενώ όλες οι υπόλοιπες χρήσεις με βάση την οδηγία κρίνονται ως ασύμβατες.

Η προώθηση των ΑΠΕ συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων αιολικών πάρκων αποτελούν βασική μέριμνα μιας βιώσιμης, ανταγωνιστικής και περιβαλλοντικά φιλικής ευρωπαϊκής στρατηγικής, δίχως ωστόσο να αναφέρονται συμβατές και μη χρήσεις. Προτείνεται ένα σχέδιο ανάπτυξης για κάθε κράτος – μέλος της ΕΕ ανάλογα με την αναπτυξιακή του δυνατότητα, την υλικοτεχνική υποδομή και τα γεωφυσικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε να αξιοποιήσει τη μορφή ΑΠΕ που αρμόζει καλύτερα στα χαρακτηριστικά του. Παράλληλα ορίστηκαν δεσμευτικοί στόχοι για τα κράτη – μέλη έτσι ώστε η Ευρώπη να καταφέρει το 20% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης να έχει προέλευση από ΑΕΠ (COM, 2010).

Καταλήγοντας, αξίζει να αναφερθεί η «Γαλάζια Ανάπτυξη», μια σπουδαία πολιτική της ΕΕ, στόχος της οποίας είναι παροχή αρωγής στην βιώσιμη ανάπτυξη του θαλάσσια και ναυτιλιακού κλάδου. Η μετριοπαθής αλιεία και ιχθυοκαλλιέργεια όπως παράλληλα και η ανάπτυξη δραστηριοτήτων με σκοπό την προστασία των υδάτινων πόρων και θαλάσσιων

οικοσυστημάτων μπορούν να συνεισφέρουν αποφασιστικά σε μια περισσότερο βιώσιμη ανάπτυξη των παραπάνω πυλώνων (COM, 2012).

4.1.2 Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για την χωροθέτηση υπεράκτιων αιολικών πάρκων

Στα πλαίσια του ελλαδικού χώρου, το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) παρέχει τις κατευθυντήριες γραμμές όσον αφορά στη χωροθέτηση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων και προτείνει δράσεις μείωσης περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω του ΦΕΚ 4964/2022. Η διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης καθίσταται πλέον απλούστερη καθώς το Κράτος αναλαμβάνει τη διαχείριση και το χωροτακτικό σχεδιασμό για τις εν δυνάμει περιοχές τοποθέτησης υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Τελικά τίθενται συγκεκριμένα κριτήρια αναφορικά με την υπεράκτια χωροθέτηση τα οποία αναφέρονται εκτενέστερα στη συνέχεια.

Η συγκεκριμένη υποενότητα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις θεσπισμένες εθνικές νομοθεσίες που αφορούν την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Καταγράφονται με αναλυτικό τρόπο οι πιο πρόσφατες εξελίξεις αναφορικά με την αδειοδότηση αλλά και την εγκατάσταση των υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων σε ελληνικά ύδατα, το οποίο ταυτίζεται και με τον στόχο της παρούσας εργασίας.

4.1.3 Κριτήρια χωροθέτησης ΘΑΠ:

1. Η χωροθέτηση αιολικών μονάδων θα είναι επιτρεπτή σε κάθε θαλάσσια περιοχή της χώρας η οποία διατηρεί το «προφίλ» της αιολικά εκμεταλλεύσιμης, υπό την προϋπόθεση πάντα να μην ανήκει σε οποιοδήποτε θεσμικό πλαίσιο ρητής απαγόρευσης. Τέτοια πλαίσια ταυτίζονται συνήθως με κριτήρια αποκλεισμού όπως για παράδειγμα οι προστατευόμενες περιοχές.
2. Καθίσταται δυνατός ο ορισμός των ελαχίστων αποστάσεων, παράγοντας ο οποίος θα διασφαλίσει αργότερα την ομαλή λειτουργία αλλά και τη μέγιστη απόδοση της εγκατάστασης.

Πίνακας 4.1: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές

Αποστάσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και απόδοσης των αιολικών εγκαταστάσεων	
A. Μέγιστη απόσταση από υφιστάμενη οδό χερσαίας προσπέλασης οποιαδήποτε κατηγορίας	- Για εγκατεστημένη ισχύ / μονάδα κάτω των 10 MWe: Σε Π.Α.Π. και Απτική: 20 χλμ. μήκους όδευσης - Σε άλλες περιοχές (Π.Α.Κ.): 15 χλμ. ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ / μονάδα - Σε νησιά: 10 χλμ. ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ / μονάδα
B. Μέγιστη απόσταση από το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.)	Όπως ορίζει η Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. στους όρους σύνδεσης της εγκατάστασης (υψηλή τάση) και η ΔΕΗ (μέση και χαμηλή τάση)
Γ. Ελάχιστη απόσταση (A) μεταξύ των ανεμογεννητριών	2,5 φορές τη διάμετρο (d) της φτερωτής ανεμογεννήτριας ($A=2,5d$)

3. Ρητή απαγόρευση εγκατάστασης ΘΑΠ σε κλειστούς κόλπους των οποίων το εύρος ανοίγματος είναι μικρότερο από 1.500 μέτρα.
4. Ορισμός της ελάχιστης απόστασης τοποθέτησης από περιοχές που διαθέτουν πολιτιστική κληρονομιά.

Πίνακας 4.2: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές

Αποστάσεις από περιοχές και στοιχεία πολιτιστικής κληρονομιάς	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
Εγγεγραμμένα στον Κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς και τα άλλα μείζονος σημασίας μνημεία, αρχαιολογικοί χώροι και ιστορικοί τόποι της παρ. 5 εδάφιο β του άρθρου 50 του Ν. 3028/02	3.000 μ.
Ζώνη απολύτου προστασίας (Ζώνη Α) λοιπών αρχαιολογικών χώρων	$A = 7d$, όπου (d) η διάμετρος της φτερωτής της ανεμογεννήτριας, τουλάχιστον 500 μ.
Κηρυγμένα πολιτιστικά μνημεία και ιστορικοί τόποι	$A = 7d$, όπου (d) η διάμετρος της φτερωτής της ανεμογεννήτριας, τουλάχιστον 500 μ.

5. Ορισμός ελάχιστης απόστασης εγκαταστάσεων από οικισμούς.

Πίνακας 4.3: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές

Αποστάσεις από οικιστικές δραστηριότητες	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
Πόλεις και οικισμοί με πληθυσμό >2.000 κατοίκων ή οικισμοί με πληθυσμό < 2.000 κατοίκων που χαρακτηρίζονται ως δυναμικοί, τουριστικοί ή αξιόλογοι κατά την έννοια του άρθρου 2 του Π.Δ. 24.2/3.5.1985	1.000 μ. από το όριο του οικισμού ή του σχεδίου πόλης κατά περίπτωση
Παραδοσιακοί οικισμοί	1.500 μ. από το όριο του οικισμού
Λοιποί οικισμοί	500 μ. από το όριο του οικισμού
Οργανωμένη δόμηση Α' ή Β' κατοικίας (Π.Ε.Ρ.Π.Ο., Συνεταιρισμοί κλπ) ή και διαμορφωμένες ζώνες Β' κατοικίας, όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της Μ.Π.Ε. κάθε μεμονωμένης εγκατάστασης αιολικού πάρκου	1.000 μ. από τα όρια του σχεδίου ή της διαμορφωμένης περιοχής αντίστοιχα
Ιερές Μονές	500 μ. από τα όρια της Μονής
Μεμονωμένη κατοικία (νομίμως υφιστάμενη)	Εξασφάλιση ελάχιστου επιπέδου θορύβου μικρότερου των 45 db

6. Ορισμός ελάχιστης απόστασης από παραγωγικές ζώνες.

Πίνακας 4.4: Ειδικό ΠΧΣΑΑ για τις ανανεώσιμες πηγές

Αποστάσεις από ζώνες ή εγκαταστάσεις παραγωγικών δραστηριοτήτων	
Ασύμβατη χρήση	Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από την ασύμβατη χρήση
Αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, ζώνες αναδασμού, αρδευόμενες εκτάσεις	Απόσταση ασφαλείας 1,5d
Ιχθυοκαλλιέργειες	Απόσταση ασφαλείας 1,5d
Μονάδες εσταυλισμένης κτηνοτροφίας	Απόσταση ασφαλείας 1,5d
Λατομικές ζώνες και δραστηριότητες	Όπως ορίζεται στην κείμενη νομοθεσία
Λειτουργούσες επιφανειακά μεταλλευτικές – εξορυκτικές ζώνες και δραστηριότητες	500 μ.
ΠΟΤΑ και άλλες Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης Παραγωγικών Δραστηριοτήτων του τριτογενούς τομέα, θεματικά πάρκα, τουριστικοί λιμένες, και άλλες θεσμοθετημένες ή διαμορφωμένες τουριστικές περιοχές (όπως αναγνωρίζονται στο πλαίσιο της ΜΠΕ του αιολικού πάρκου για κάθε μεμονωμένη εγκατάσταση) Τουριστικά καταλύματα και ειδικές τουριστικές υποδομές	1.000 μ. από τα όρια της ζώνης / περιοχής

7. Καθίσταται σαφής η αλληλεξάρτηση των σύγχρονων εφαρμοσμένων τεχνολογιών και μελετών στατικής συμπεριφοράς με την επιλογή του βάθους θεμελίωσης και αγκύρωσης της ανεμογεννήτριας στον πυθμένα.

8. Αναγκαία κρίνεται η εξασφάλιση της επαρκούς συνδεσιμότητας και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με το ήδη υπάρχον ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Καταλήγοντας, αβίαστα οδηγείται κανείς στο συμπέρασμα πως η βιώσιμη χωροθέτηση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου καθίσταται ένα παγκόσμιο ζήτημα πρωταρχικής σημασίας για τους ερευνητές, δεδομένου ότι η τοποθεσία του αποτελεί ζωτικό παράγοντα για τη βιωσιμότητα του. Η σωστή τοποθέτηση λοιπόν είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την ενεργειακή και περιβαλλοντική απόδοση του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Ακόμη και για τις ΑΠΕ, όντας φιλικές προς το περιβάλλον, απαιτείται σωστός χωροταξικός σχεδιασμός για την απρόσκοπτη εγκατάσταση και λειτουργία τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ακόμη και οι ΑΠΕ θα μπορούσαν δυνητικά να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο φυσικό ή ανθρώπινο περιβάλλον αλλά και σε άλλους παράγοντες στην ευρύτερη περιοχή των οικισμών, όπως η οικονομική ζωή. (Nikolaos Tsarknias et al., 2022). Η επιλογή λοιπόν θα πρέπει να γίνεται μέσω μιας διαδικασίας εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΕ), με βασικό σκοπό φυσικά τον εντοπισμό και τη συρρίκνωση των αρνητικών περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικοπολιτικών επιπτώσεων.

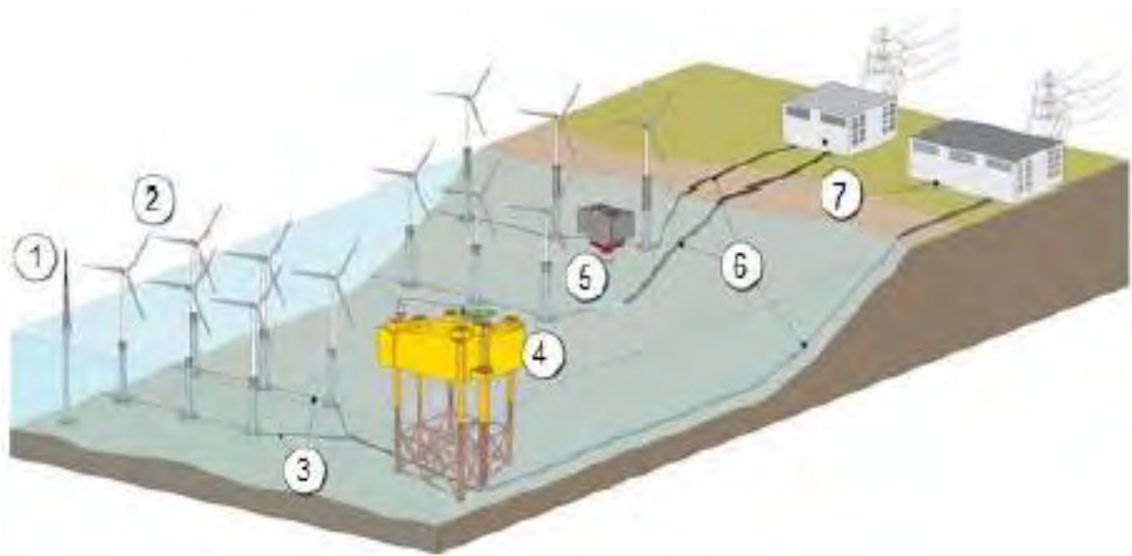
4.2 Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα

4.2.1 Δομή υπεράκτιων αιολικών πάρκων.

Ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο (offshore wind farm) αποτελείται συνήθως από τα ακόλουθα βασικά μέρη:

1. τον μετεωρολογικό σταθμό
2. τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ)
3. τα καλώδια συλλογής

4. τον υπεράκτιο υποσταθμό αύξησης της τάσης ενέργειας
5. τον υπεράκτιο υποσταθμό μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές
6. τα υποθαλάσσια καλώδια μεταφοράς ενέργειας
7. τον χερσαίο υποσταθμό (Rodrigues, et al., 2016).



Εικόνα 4.1: Δομή Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου, (Rodrigues et al., 2016)

Οι ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου παράγουν την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από ένα σύστημα υποθαλάσσιων καλωδίων μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μεταφορά της στον υπεράκτιο υποσταθμό αύξησης τάσης με σκοπό τη μείωση των απωλειών. Σειρά στην διαδικασία έχει η μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) σε συνεχές (DC). Κατόπιν πραγματοποιείται η μεταφορά του συνεχούς πλέον ρεύματος στον χερσαίο υποσταθμό μέσω των καλωδίων όπου και γίνεται η διασύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρισμού.

Κεφάλαιο 5 Μεθοδολογία

5.1 Περιοχή Μελέτης

Η Ελλάδα βρίσκεται στη νοτιοανατολική Ευρώπη αποτελώντας το νότιο άκρο της Βαλκανικής Χερσονήσου. Είναι μια χώρα που περιβάλλεται από θάλασσα, το Αιγαίο πέλαγος στα ανατολικά, το Ιόνιο στα δυτικά και τη Μεσόγειο στο νότο. Η έκτασή της είναι κάτι παραπάνω από 130.000 km ενώ χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλη ακτογραμμή η οποία προσεγγίζει τα 16.000 km με πάνω από 3000 νησιά τα περισσότερα από τα οποία υπάρχουν στο Αιγαίο. Η εκτεταμένη αυτή θαλάσσια ζώνη της Ελλάδας την καθιστά μια χώρα ιδανική για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων σχετικών με τη ναυτιλία, τον τουρισμό και την αλιεία. Επιπρόσθετα αποτελεί πρόσφορο έδαφος για το εγχείρημα της αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού μέσω υπεράκτιων αιολικών πάρκων όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Με ταχύτητες ανέμων που φτάνουν τα 8m/s, 10m πάνω από τη μέση στάθμη του νερού κυρίως στο Αιγαίο και σε υπεράκτιες περιοχές της Κρήτης, το πλάνο για χωροθέτηση υπεράκτιων αιολικών πάρκων αποκτά υπόσταση. Παράλληλα υπογραμμίζεται ότι μέχρι στιγμής καμία επένδυση για εκμετάλλευση των εναλλακτικών υπεράκτιων πηγών ενέργειας δεν έχει πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα κυρίως λόγω της πολύπλοκης διαδικασίας αδειοδότησης αλλά και σε κοινωνικούς περιορισμούς σε συνδυασμό με έλλειψη επενδυτικών πλάνων.



Εικόνα 5.1: Περιοχή μελέτης: Αιγαίο Πέλαγος

5.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) / Geographic Information Systems (GIS)

Το εγχείρημα της σωστής χωροθέτησης των υπεράκτιων εγκαταστάσεων είναι πολυπαραγοντικό και απαιτείται να εξεταστεί εκτενώς από κάθε σκοπιά. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) μιας και η βιωσιμότητα του έργου αλλά και η ενεργειακή – περιβαλλοντική του απόδοση για ηλεκτροπαραγωγή εξαρτώνται από τη σωστή τοποθέτηση. Αρκετές μελέτες επιλογής τοποθεσίας αιολικών πάρκων συνδυάζουν μεθόδους λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (MCDM) και εφαρμογές GIS για την αξιολόγηση των οικονομικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών εφαρμοζόμενων περιοχών οπτικοποιώντας και αναλύοντας μεγάλο όγκο χωρικών δεδομένων που σχετίζονται με τα επιλεγμένα κριτήρια (Latinopoulos and Kechagia 2015).

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) είναι πληροφοριακά συστήματα σχεδιασμένα με τρόπο τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται η επεξεργασία διανυσματικών ή σημειακών δεδομένων που αναφέρονται σε χωρικές και γεωγραφικές συντεταγμένες (Εμμανουηλίδης & Καραμήτσος, 2018), και αναμφισβήτητα αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο στο εγχείρημα της χωροθέτησης υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Σύμφωνα με τους Lip-Wah et al., 2012, η χωροθέτηση των θαλάσσιων ανεμογεννητριών πραγματοποιείται μέσω των Σ.Γ.Π. παρέχοντας την απαιτούμενη οπτικοποίηση των περιορισμών την οποία θα ακολουθήσει η αξιολόγηση των εν λόγω περιοχών. Συγχρόνως δίνεται η δυνατότητα για επεξεργασία υψηλής ανάλυσης δεδομένων όπως η διακύμανση της ταχύτητας ανέμου, η βυθομετρία και άλλων περιβαλλοντικών και φυσικών δεδομένων προσφέροντας αναλυτική μοντελοποίηση. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα κάνοντας χρήση κριτηρίων όπως η ταχύτητα του ανέμου, το βάθος της θάλασσας, η κλίση του πυθμένα, ή η απόσταση του καλωδίου από την ακτή προσφέρει αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Επιπλέον, οι περιοχές που δεν είναι προς το παρόν διαθέσιμες για ανάπτυξη αιολικών πάρκων για κοινωνικούς και πολιτικούς λόγους, συμπεριλαμβανομένων των οπτικών επιπτώσεων, των φυσικών καταφυγίων, των εμπορικών και ναυτιλιακών διαδρομών και των στρατιωτικών ζωνών δοκιμών μπορούν να αξιολογηθούν προκειμένου να προσδιοριστεί η συνολική ποσότητα δυνητικού αιολικού πόρου.

5.3 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Στη διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη μελέτη που αποσκοπεί στην ορθή επιλογή των κατάλληλων περιοχών των ελληνικών υδάτων του Αιγαίου όπου μπορεί απρόσκοπτα να σχεδιαστεί και να λειτουργήσει ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται συγκλίνει στη συλλογή δεδομένων τα οποία σχετίζονται με παράγοντες που αξιολογούν την καταλληλότητα της εκάστοτε περιοχής. Για συλλογή των δεδομένων αξιοποιήθηκε πληθώρα διαδικτυακών πηγών οι οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια. Η επεξεργασία και ψηφιοποίηση των δεδομένων, η μετατροπή τους σε ΕΓΣΑ '87 καθώς και η δημιουργία του μοντέλου πραγματοποιείται στο λογισμικό **ArcMap 10.8.1** με το συνδυασμό του εργαλείου μοντελοποίησης “Model Builder” και βασικών εργαλείων από τον κατάλογο του προγράμματος. Κατά την έναρξη λήφθηκαν υπόψη οι οδηγίες του Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) για τη χωροθέτηση υπεράκτιων αιολικών εγκαταστάσεων. Η εργασία περιλαμβάνει πρωτότυπο

περιεχόμενο όσον αφορά στη χωροθέτηση υπεράκτιων ανεμογεννητριών μιας και παρέχει έναν ολοκληρωμένο και κατανοητό τρόπο σάρωσης όλου του Αιγαίου Πελάγους για την ανάπτυξη της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας με τη βοήθεια των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων (GIS).

Η διαδικασία, η μετατροπή και η ανάλυση των περιβαλλοντικών δεδομένων και των shapefiles πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το εμπορικό λογισμικό ArcGIS. Αρκετά συχνά, τα δεδομένα ομαδοποιούνται με τρόπο τέτοιο ώστε να παρέχεται αποτέλεσμα σε ένα συγκεκριμένο φάσμα το οποίο μελετάται ανεξάρτητα από τους πρόσθετους περιορισμούς. Αναλύοντας πιο διεξοδικά το πρόβλημα, αναφέρεται ότι χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο “Buffer Analysis” από το “toolbox” του ArcMap για την δημιουργία ζωνών αποκλεισμού ενώ σε δεύτερο χρόνο το εργαλείο “Clip Analysis” προκειμένου να απομονωθούν οι υποψήφιες υπεράκτιες περιοχές. Για την ψηφιοποίηση των διανυσματικών δεδομένων που σχετίζονται με τις διαδρομές των μεταναστευτικών πτηνών στο Αιγαίο επιλέχθηκε ένας χάρτης που τις συμβολίζει με βέλη και έγινε χρήση του “Editor” ενώνοντας τα επιμέρους σημεία. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν επίσης μέσω του εργαλείου “Model Builder” που παρέχεται από το ArcMap και παρέχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης του αρχικού προβλήματος επιτρέποντας πιθανές αλλαγές ή προσθήκες στο μέλλον προερχόμενες είτε από αλλαγές στη νομοθεσία είτε απλώς από την επιθυμία φόρτωσης επιπλέον δεδομένων από τον χρήστη. Η δημιουργία λοιπόν ενός δυναμικού μοντέλου καθιστά δυνατή οποιαδήποτε νομοθετική, περιβαλλοντική, τεχνο-οικονομική ή κοινωνική αλλαγή μελλοντικά τροποποιώντας μόνο τα δεδομένα εισόδου.

Τα απαιτούμενα γεωχωρικά δεδομένα (διανυσματικά και σημειακά δεδομένα – shapefiles) που χρησιμοποιήθηκαν για την περιοχή μελέτης συλλέχθηκαν από επίσημα εθνικά και ευρωπαϊκά ιδρύματα και γραφεία. Σημαντικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν προκειμένου να επεξεργαστούν σε περιβάλλον GIS όπως για παράδειγμα η ελληνική ακτογραμμή προήλθαν μέσω της βάσης δεδομένων geodata (<https://geodata.gov.gr/>). Το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) παρείχε τα επίπεδα δεδομένων για την ταχύτητα του ανέμου ενώ η τα επίπεδα βαθυμετρίας προέκυψαν με τη συνεισφορά της Υδρογραφικής Υπηρεσίας Ναυτικού. Συγκεκριμένα η πληροφορία για τους οικισμούς εξασφαλίστηκε από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), αυτούσια με εκείνη που προορίζεται για σκοπούς απογραφής. Αναφορικά με τα περιβαλλοντικά δεδομένα ως βασικότερα αυτής της μελέτης, οι προστατευόμενες περιοχές Natura 2000 οπτικοποιήθηκαν μέσω της πλατφόρμας Europe Database. Τα δεδομένα

ψηφιοποίησης των νησιωτικών υδροβιότοπων μέσω του Μη Κερδοσκοπικού Οργανισμού WWF Hellas εκείνα για τα λιβάδια Ποσειδωνίας προήλθαν επίσης από το ΕΛΚΕΘΕ.

Καθίσταται σαφές πως η παγκόσμια βιβλιογραφία που σχετίζεται με τεχνικά ζητήματα χωροθέτησης και κατασκευής υπεράκτιων ενεργειακών σταθμών, εμπλουτίζεται με ταχύτατους ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Αρκετά είναι τα κριτήρια αποκλεισμού και αξιολόγησης τα οποία μηχανικοί και ερευνητές ανά τον κόσμο έλαβαν υπόψη προκειμένου να καταλήξουν σε κάποιο ασφαλές, φιλικό προς το περιβάλλον, οικονομικά συμφέρον συμπέρασμα χωροθέτησης τόσο επίγειων όσο και υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Ορισμένοι έδωσαν ιδιαίτερη έμφαση στις διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις κριτηρίων κάθε φορά (περιβαλλοντικά, τεχνικά, οικονομικά, κοινωνικοπολιτικά) καταλήγοντας σε ένα τελικό αποτέλεσμα με ουσιαστική εμβάθυνση. Μια άλλη ομάδα επιλέγει την εφαρμογή της πολυκριτηριακής μεθόδου λήψης αποφάσεων ή αλλιώς Ιεραρχική Ανάλυση (ΑΗΡ) αποδίδοντας συντελεστές βαρύτητας έπειτα από διμερείς συγκρίσεις των βασικών κριτηρίων μεταξύ τους και έπειτα των υπο-κριτηρίων που αυτά δημιουργούν. Φυσικά και οι δύο μέθοδοι έχουν θετικά και αρνητικά γνωρίσματα. Η πρώτη παρέχει τη δυνατότητα ενδελεχούς εξέτασης μια μεγάλης ομάδας παραγόντων ενώ η δεύτερη μια πιο σφαιρική εικόνα. Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντώνται μεθοδολογίες για περιοχές αποκλεισμού κάνοντας χρήση των νομοθετικών, περιβαλλοντικών κριτηρίων αλλά και της ανθρώπινης επίδρασης. (Christoforaki and Tsoutsos, 2017). Η μεθοδολογία αυτή επιλέγεται συνδυαστικά με την Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο (ΑΗΡ) για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας καλύπτοντας μεγάλο φάσμα κριτηρίων και προσεγγίζοντας τη βέλτιστη λύση.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εμπεριέχει και κατηγοριοποιεί κάθε κρίσιμο παράγοντα σχετικό με τους λειτουργικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς που υπεισέρχονται από την απρόβλεπτη φύση ενός υπεράκτιου ενεργειακού έργου. Με τον τρόπο αυτό και με γνώμονα τον σεβασμό στους οικολογικούς πόρους για μια βιώσιμη λύση χωροθέτησης, παρέχει τελικά μια αρκετά καλή προοπτική για το που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν τα εν δυνάμει θαλάσσια αιολικά πάρκα στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου.

Αναλύοντας λοιπόν περαιτέρω τη μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόζεται και διαρθρώνοντας σε επιμέρους βήματα σχηματίζεται το πλαίσιο λήψης αποφάσεων καταλληλότητας γης. Ωστόσο, πριν την εφαρμογή των παραπάνω λαμβάνει χώρα η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης. Η εξέταση των κομβικών σημείων της υπό μελέτη περιοχής

καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική μιας και με αυτόν τον τρόπο θα επιλεγθούν σε μεταγενέστερο στάδιο τα κριτήρια αξιολόγησης και αποκλεισμού.

- i. Το πρώτο βήμα είναι ο αποκλεισμός των ακατάλληλων προς χωροθέτηση περιοχών. Αυτών δηλαδή που δεν συμβιβάζονται με την ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων λόγω απαγορευτικών συνθηκών και σύμφωνα με τις οδηγίες του ΕΠΧΣΑΑ. Τα βασικά κριτήρια αποκλεισμού στη συγκεκριμένη έρευνα σταχυολογούνται ανάμεσα στα ακόλουθα: η ταχύτητα του ανέμου, το βάθος της θάλασσας, η απόσταση από την ακτογραμμή και φυσικά η ευρύτερη ομάδα των περιβαλλοντικών κριτηρίων ως ορόσημα και ρυθμιστικοί παράγοντες για την βιωσιμότητα του εγχειρήματος.
- ii. Το δεύτερο βήμα είναι η αξιολόγηση των πιθανών κατάλληλων περιοχών, που προέκυψαν από το πρώτο βήμα. Στο σημείο αυτό λαμβάνει χώρα η αυστηρή αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στις περιοχές που υπάγονται στο δίκτυο Natura 2000, σε υδροβιότοπους, σε λιβάδια Ποσειδωνίας ή σε δρόμους Ορνιθοπανίδας. Ορίζονται με ακρίβεια οι ασφαλείς αποστάσεις (buffer zones) για κάθε επιμέρους περιβαλλοντικό και μη κριτήριο (τεχνικά, κοινωνικά-πολιτισμικά και κριτήρια οπτικής όχλησης) αλλά και οι ζώνες ειδικής προστασίας για τους τόπους κοινοτικής σημασίας. Συγκεκριμένα, ορίζονται οι ελάχιστες αποστάσεις που απαιτούνται με σκοπό την εξασφάλιση των υποδομών, της ίδιας της περιοχής και κυρίως των ανθρώπων. Τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής αποτέλεσαν τον οδηγό ως προς την επιλογή των ελαχίστων αποστάσεων ενώ όσων αφορά στους συντελεστές ασφαλείας, επιλέχθηκαν οι αυστηρότερες τιμές των ζωνών προκειμένου να περιοριστούν οι επιπτώσεις του έργου.
- iii. Το τρίτο βήμα είναι η εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου (Analytic Hierarchy Process AHP) με τους τέσσερις βασικούς πυλώνες κριτηρίων (Περιβαλλοντικά, Τεχνικά, Κοινωνικά-Πολιτισμικά και κριτήρια Οπτικής Όχλησης) να διαρθρώνονται σε επιμέρους κριτήρια που αναλύονται παρακάτω και να λαμβάνουν τους κατάλληλους συντελεστές βαρύτητας. Σε αυτήν την προσέγγιση, κάθε παράμετρος (κριτήριο) πολλαπλασιάζεται με ένα ορισμένο βάρος και τα τελικά αποτελέσματα αθροίζονται χρησιμοποιώντας άλγεβρα χαρτών για να ληφθεί ο δείκτης καταλληλότητας αποτελέσματος.
- iv. Το τέταρτο και τελευταίο βήμα σχετίζεται με την συνολική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού και της βαθυμετρίας για κάθε επιμέρους «κατάλληλη» για χωροθέτηση

περιοχή του Αιγαίου. Τα δυο αυτά κριτήρια έχουν οικονομικές συνιστώσες μιας και η απόδοση του αιολικού πάρκου είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το αιολικό δυναμικό της εκάστοτε περιοχής αλλά και το κόστος κατασκευής εξαρτάται από το βάθος πυθμένα (τοποθέτηση fixed ή floating ανεμογεννήτριας) με τα πλωτά αιολικά πάρκα να έχουν έως και τριπλάσιο κόστος κατασκευής.



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας

5.3.1 Κατηγοριοποίηση Δεδομένων και Ζωνών Αποκλεισμού

Στο σημείο αυτό αναρτώνται οι πίνακες που εμπεριέχουν με αναλυτικό τρόπο τους βασικούς πυλώνες κριτηρίων (Περιβαλλοντικά, Τεχνικά, Κοινωνικά-Πολιτισμικά και Κριτήρια Οπτικής Όχλησης) με τα υποκριτήρια που αυτοί διαθέτουν. Παρέχονται όλες οι απαιτούμενες πληροφορίες για τις ζώνες αποκλεισμού (Buffer zones) που επιλέχθηκαν έπειτα από έρευνα στη Διεθνή Βιβλιογραφία καθώς και για τις πηγές από τις οποίες αποκτήθηκαν τα δεδομένα.

Πίνακας 5.1: Περιβαλλοντικά κριτήρια αποκλεισμού

Περιβαλλοντικά Κριτήρια	Ζώνη Αποκλεισμού (Buffer)	Πηγή Δεδομένων
Natura 2000	5000m	GeoData
Διαδρομές Μεταν. Πτηνών	3000m	Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία
Υδροβιότοποι	5000m	WWF Hellas
Λειβάδια Ποσειδωνίας	150m	GeoData
Ακτές με γαλάζια σημαία	1500m	GeoData

Πίνακας 5.2: Τεχνικά κριτήρια αποκλεισμού

Τεχνικά Κριτήρια	Ζώνη Αποκλεισμού (Buffer)	Πηγή Δεδομένων
Λιμένες	1000m	EMODNet
Ακτοπλοϊκά Δρομολόγια	500m	EMODNet
Υποθαλάσσια Καλώδια	100m	EMODNet
Ναυπηγεία	1000m	Open Street Map

Πίνακας 5.3: Κοινωνικά-Πολιτισμικά κριτήρια αποκλεισμού

Κοινωνικά-Πολιτισμικά Κριτήρια	Ζώνη Αποκλεισμού (Buffer)	Πηγή Δεδομένων
Οικισμοί (ΕΛΣΤΑΤ)	1000m	ΕΛΣΤΑΤ
Μνημεία UNESCO	3000m	Open Street Map
Παραδοσιακοί Οικισμοί	2500m	Open Street Map

Πίνακας 5.4: Κριτήρια οπτικής όχλησης

Κριτήρια Οπτικής Όχλησης	Ζώνη Αποκλεισμού (Buffer)	Πηγή Δεδομένων
Μνημεία UNESCO	3000m	Open Street Map
Παραδοσιακοί Οικισμοί	2500m	Open Street Map

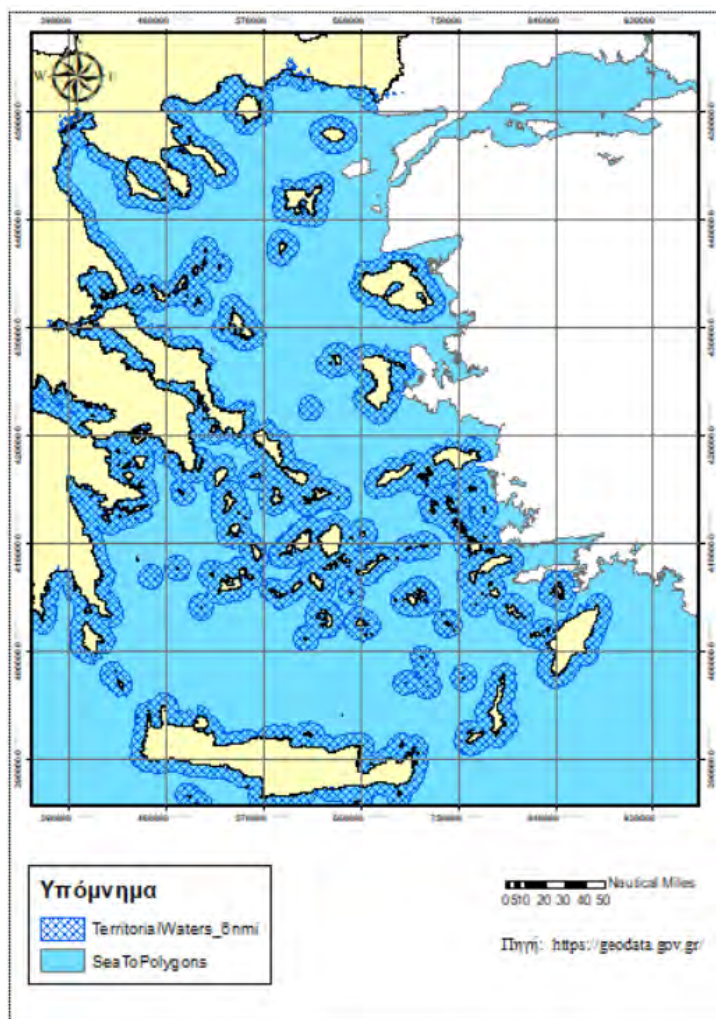
5.3.2 Διεθνή Ύδατα

Ο βομβαρδισμός για τις ανακατατάξεις και τις αναθεωρήσεις σε σχέση με τα διεθνή ύδατα και τα δικαιώματα χωροθέτησης στη θαλάσσια περιοχή αποτελεί πλέον καθημερινότητα για το ελληνικό και το τουρκικό κράτος. Η Ελλάδα επιμένει πως η χωρική επέκταση της αιγιαλίτιδας ζώνης στα 12 ναυτικά μίλια όποτε εκείνη επιλέξει αποτελεί αναπόσπαστο δικαίωμά της. Ωστόσο η επιρροή από το τουρκικό *casus belli* που αποφασίστηκε, λειτουργεί ως τροχοπέδη για την προαναφερθείσα επέκταση.

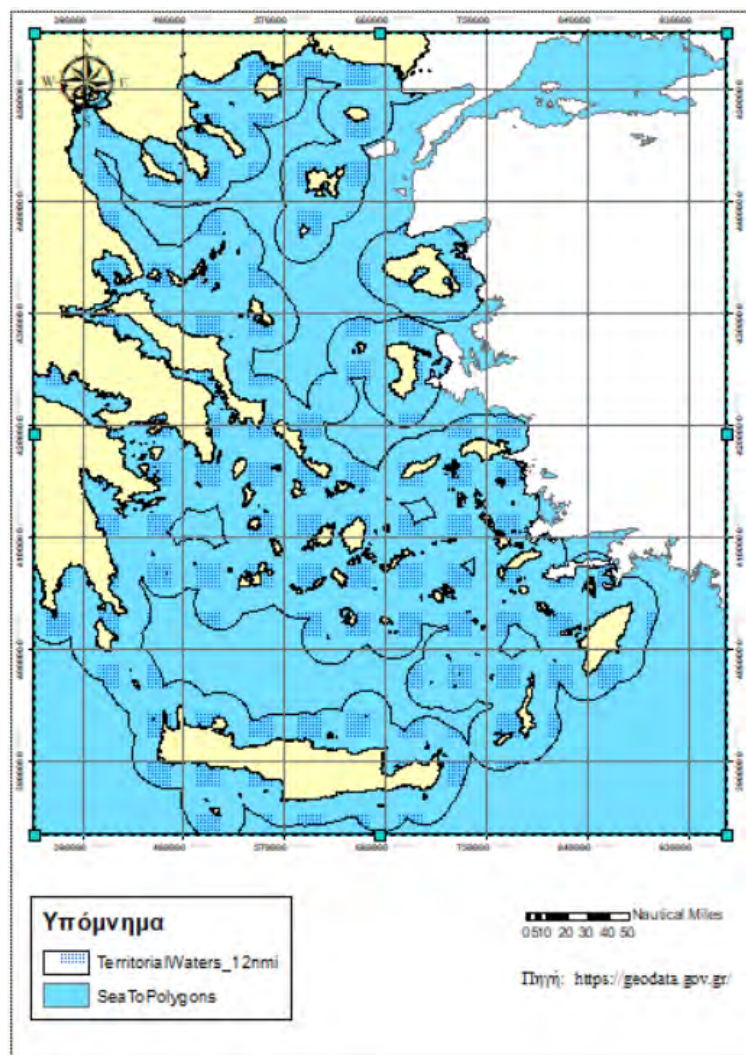
Τα βασικότερα επιχειρήματα της τουρκικής μεριάς σταχυολογούνται ανάμεσα στη μη δυνατότητα ελεύθερης διόδου από τη θάλασσα στις τουρκικές ακτές και στον περιορισμό της

θαλάσσιας συγκοινωνίας με την ελληνική έγκριση. Πολλά αντεπιχειρήματα γεννώνται αυτομάτως βάσει του Δικαίου της Θάλασσας και του κατοχυρωμένου δικαιώματος ακόμα και πολεμικών πλοίων της αβλαβούς διέλευσης όπως άλλωστε και συμβαίνει. Συνεπώς, τροφή για σκέψη αποτελεί το ερώτημα για το εάν τελικά η διεύρυνση των ελληνικών χωρικών υδάτων στα 12 ν.μ. αποτελεί πραγματικά γενεσιουργό αιτία προβλημάτων στο Αιγαίο.

Παρόλα αυτά, ο σκοπός της παρούσας μελέτης δεν επικεντρώνεται στο να επιλύσει κρατικές διαφορές ούτε στο να θέσει στο «στόχαστρο» την απέναντι πλευρά. Ο στόχος έγκειται στην παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης πρότασης περιβαλλοντικά βιώσιμης χωροθέτησης υπεράκτιων Α/Γ στην περιοχή του Αιγαίου. Οι ισχύοντες κανονισμοί και συνθήκες τίθενται στο μικροσκόπιο υποχρεωτικά προκειμένου να ευσταθεί η τελική επιλογή. Δημιουργήθηκαν δύο ξεχωριστά layers διεθνών υδάτων σε περιβάλλον ArcMap τόσο για την περίπτωση των 6 ν.μ που ισχύει σήμερα όσο και για αυτή των 12 ν.μ. που είναι ιδιαίτερα πιθανόν να επιτευχθεί στο κοντινό μέλλον. Η δεύτερη περίπτωση αποτελεί παράλληλα μια ευκαιρία για ειρηνική, προοδευτική και δημιουργική συνεργασία των δύο κρατών με την αλληλεπίδραση επιστημόνων τόσο για των τομέα των ΘΑΠ όσο και για κάθε άλλη συναφή δραστηριότητα.



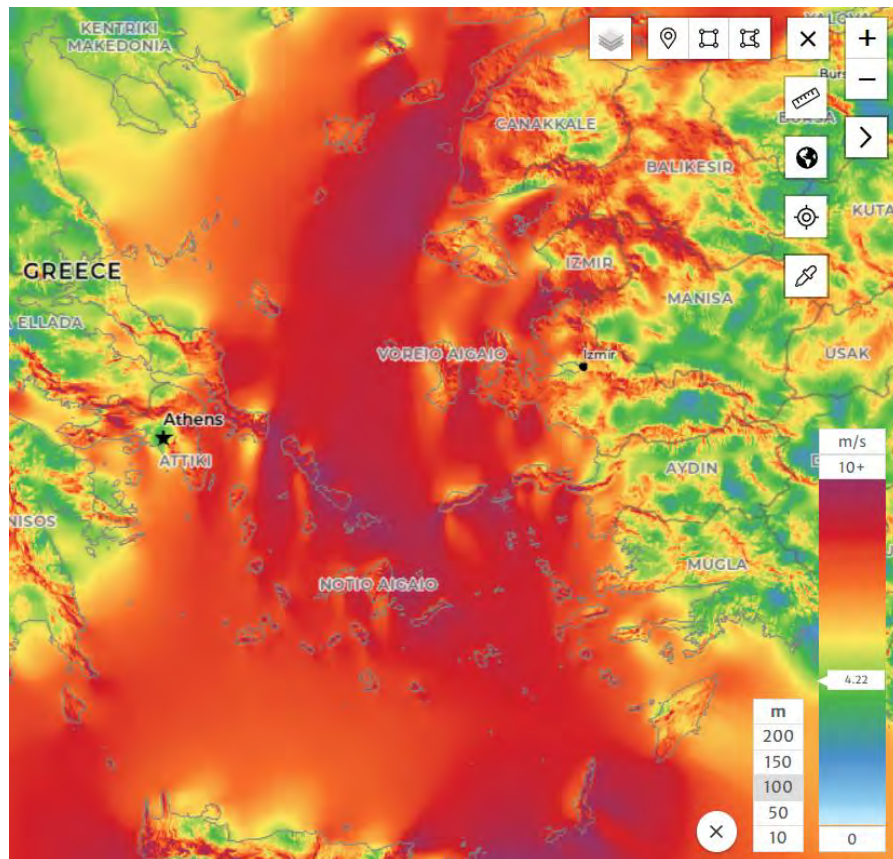
Εικόνα 5.3: Επιτρεπόμενες ζώνες χωροθέτησης με κριτήριο τα 6 ν.μ.



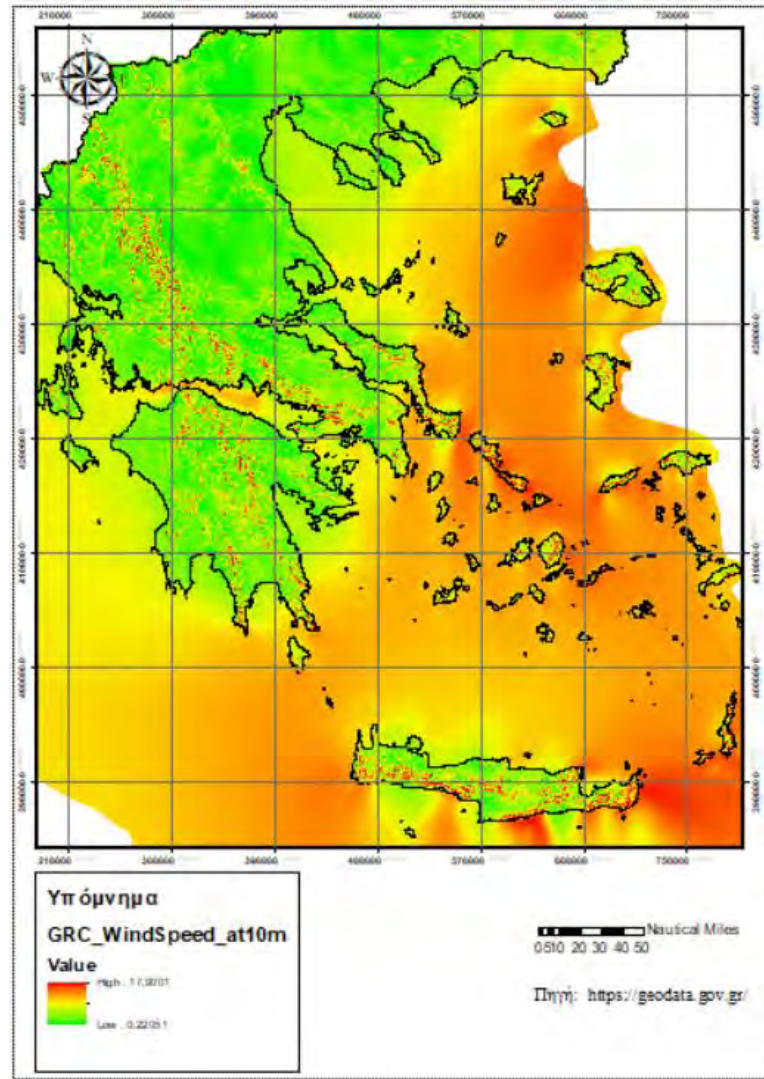
Εικόνα 5.4: Επιτρεπόμενες ζώνες χωροθέτησης με κριτήριο τα 12 ν.μ.

5.3.3 Αιολικό δυναμικό

Η ταχύτητα του ανέμου συνδέεται άμεσα με την παραγωγή ενέργειας ενός αιολικού πάρκου και την οικονομική απόδοση της επένδυσης και ως εκ τούτου αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια για την επιλογή της καταλληλότερης τοποθεσίας.). Σύμφωνα με αρκετές μελέτες που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία, λόγω του υψηλού κόστους των υπεράκτιων ανεμογεννητριών, περιοχές με μέση ταχύτητα ανέμου μικρότερη από **6 m/s** θα πρέπει να θεωρούνται ακατάλληλες και να αποκλείονται από την αξιολόγηση. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε ως σημείο αναφοράς για τη μέτρηση της ταχύτητας ανέμου τα **10m** από την επιφάνεια την θάλασσας. Με ανάλογο τρόπο το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών αναπτύσσει έρευνα για αντίστοιχο ύψος αναφοράς τα 50m.



Εικόνα 5.5: Μέση ταχύτητα ανέμου σε m/s στο Αιγαίο Πέλαγος (Global Wind Atlas)

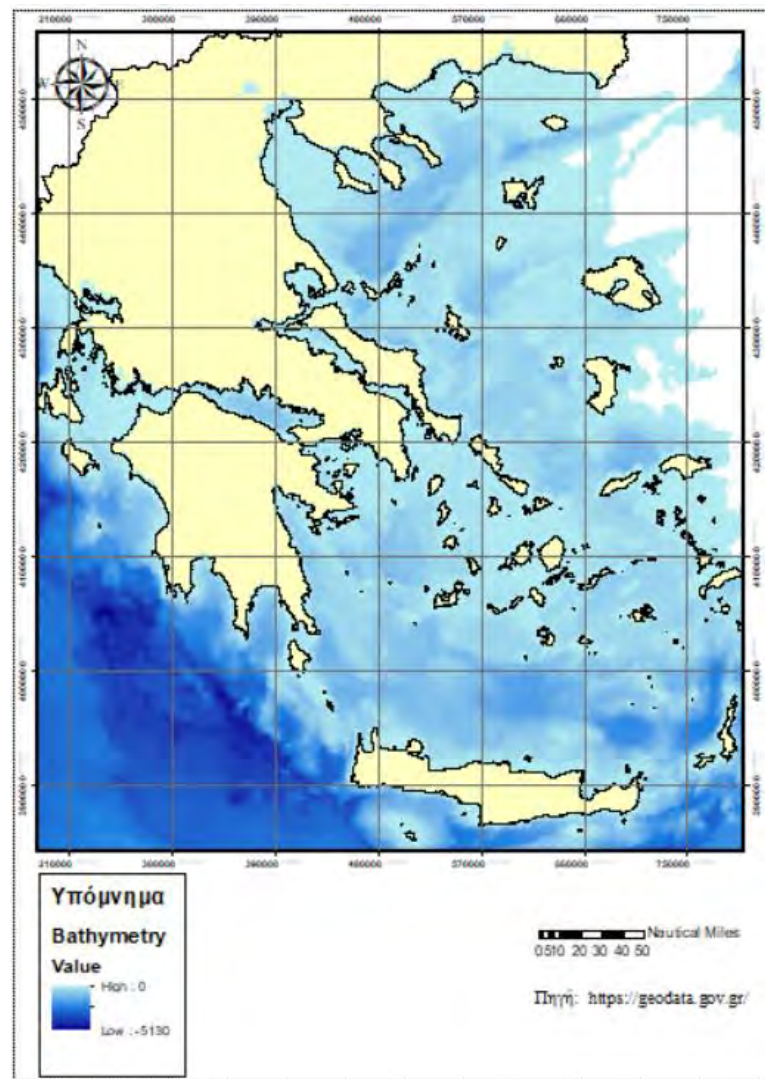


Εικόνα 5.6: Γεωπληροφοριακός χάρτης αιολικού δυναμικού για ύψος 10m από την επιφάνεια της θάλασσας

5.3.4 Βαθυμετρία

Το βάθος του νερού σχετίζεται με τον τύπο της δομής του υπεράκτιου αιολικού πάρκου και έχει σημαντικές τεχνοοικονομικές επιπτώσεις στην επιλογή της θέσης των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος του νερού, τόσο υψηλότερο είναι το κόστος κατασκευής, σχεδιασμού, συντήρησης, ελέγχου και μετάδοσης ενέργειας. Ανάλογα με το βάθος νερού της περιοχής εγκατάστασης, ο τύπος κατασκευής μπορεί να είναι σταθερού πυθμένα ή πλωτός. Στην περίπτωση χωροθέτησης υπεράκτιων ανεμογεννητριών σταθερού

πυθμένα, το εύρος το οποίο επιτρέπει την εγκατάστασή τους είναι αρκετά περιορισμένα και κυμαίνεται στα 60-70m βάθος. Το βάθος του πυθμένα θεωρείται ένας άρρηκτα συνδεδεμένος παράγοντας ο οποίος θα καθορίσει τελικά την τοποθέτηση “fixed” ή “floating” δομών έδρασης της ανεμογεννήτριας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συντριπτική πλειοψηφία των ελληνικών θαλασσών χαρακτηρίζεται από μεγάλα βάθη με ελάχιστες εξαιρέσεις όπως η παράκτια περιοχή της Μυτιλήνης. Συνεπώς τα δεδομένα οδηγούν στην ωρίμανση της τεχνολογίας και τελικής τοποθέτησης ενός πλωτού αιολικού πάρκου στο Αιγαίο.



Εικόνα 5.7: Γεωπληροφοριακός χάρτης Βαθυμετρίας Αιγαίου Πελάγους

5.3.5 Απόσταση από τις ακτές

Η απόσταση από τις ακτές είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον καθορισμό κατάλληλων τοποθεσιών για υπεράκτια αιολικά πάρκα. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση, τόσο χαμηλότερο είναι το κόστος των υποβρυχίων καλωδίων, της συντήρησης, του σχεδιασμού και της κατασκευής. Οι επιλεγμένες περιοχές μελέτης είναι επίσης καλά ανεπτυγμένοι (παράκτιοι) τουριστικοί προορισμοί. Επομένως, τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να βρίσκονται μακριά από την ακτή. Σε αυτό το πλαίσιο, ορίζονται δύο ζώνες απομόνωσης/αποκλεισμού: (α) ελάχιστη απόσταση 1500 m από την ακτή (για ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων κατοικιών/τουρισμού) και (β) μέγιστη απόσταση 25 km από την ακτογραμμή (για ελαχιστοποίηση των σχετικών κόστους).

5.4 Περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές – Βιοποικιλότητα

Ως «βιωσιμότητα» ορίζεται η έννοια της γεφύρωσης του χάσματος που συχνά δημιουργείται ανάμεσα στην τεχνολογική ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Η πρακτική εφαρμογή ωστόσο της παραπάνω ιδέας είναι συνυφασμένη με δυσκολίες σχετικές με τον ακριβή ή λειτουργικό ορισμό της. Παρά τις επίμονες ασάφειες σχετικά με την βιώσιμη ή αειφόρο ανάπτυξη και τις πολλαπλές προσπάθειες για ανάπτυξη ποσοτικών δεικτών μέτρησής της η επιστημονική κοινότητα δεν διαθέτει ακόμη παγκόσμια αποδεκτά όρια και κλίμακες. Παρά το γεγονός αυτό, στο εγχείρημα της παρούσας διπλωματικής επικρατεί η αντίληψη ότι στην εποχή της ενεργειακής κρίσης και των ελάχιστων ορυκτών πόρων, είναι ευθύνη όλων η διατήρηση μιας βιώσιμης ανάπτυξης παράλληλα με το κέρδος.



Εικόνα 5.8: Αναγκαιότητα διατήρησής της Βιοποικιλότητας κατά την κατασκευή ΘΑΠ

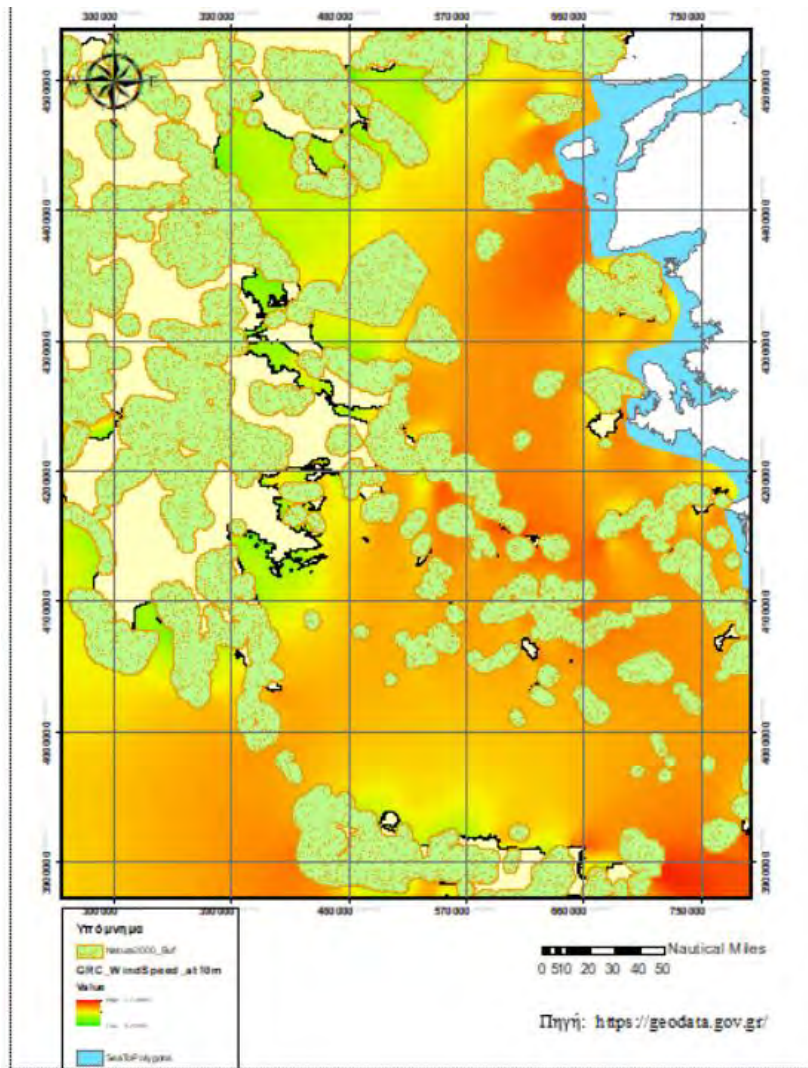
5.4.1 Περιοχές Natura 2000

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης μια προστατευόμενη περιοχή είναι «ένας αναγνωρισμένος και σαφώς καθορισμένος γεωγραφικός χώρος για τον οποίο υπάρχει δέσμευση διατήρησης και ο οποίος υπόκειται σε διαχείριση μέσω νομικών ή άλλων αποτελεσματικών μέσων, ώστε να επιτευχθεί η μακροπρόθεσμη διατήρηση και προστασία της φύσης με τις συναφείς της οικοσυστημικές υπηρεσίες και πολιτιστικές αξίες». Οι περιοχές Natura 2000 αποτελούν ένα πανευρωπαϊκό δίκτυο προστασίας σπάνιων ή και απειλούμενων με εξαφάνιση ειδών και οικοσυστημάτων. Το σύνολο των περιοχών αυτών είναι σχεδόν ταυτόσημο με τον ακρογωνιαίο λίθο της περιβαλλοντικής πολιτικής που θεσπίζει η Ε.Ε. για τη προστασία και διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Η ίδρυση του δικτύου Natura 2000 έλαβε χώρα το 1992 με την υιοθέτηση της Οδηγίας για τους Οικοτόπους (92/43/ΕΟΚ) η οποία συμπληρώνει την Οδηγία για τα Πουλιά (79/409/ΕΟΚ). Συνεπώς στο δίκτυο υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες περιοχών:

- i. Οι «Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ)» (Special Protection Areas - SPA) για την Ορνιθοπανίδα, όπως ορίζονται στην Οδηγία για τα Πουλιά (79/409/EK) «για τη διατήρηση των άγριων πτηνών»
- ii. Οι «Τόποι Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ)» (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται στην Οδηγία για του Οικοτόπους (92/43/ΕΟΚ).

Ο ελλαδικός χώρος σύμφωνα με τον Οργανισμό «Καλλιστώ» που δραστηριοποιείται στον τομέα της περιβαλλοντικής οργάνωσης αλλά και τους Aikaterini Christopoulou et al., 2021 φιλοξενεί 443 περιοχές Natura 2000 οι οποίες αντιστοιχούν στο ποσοστό του 27% της συνολικής χερσαίας έκτασης της χώρας. Ο αριθμός αυτός προκύπτει από 241 Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ) και 202 Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ). Ανάμεσα στις δυο βασικές κατηγορίες περιοχών εμφανίζονται αλληλεπικαλυπτόμενα στρώματα στον χάρτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι έπειτα από την ψήφιση του Νόμου υπ' αριθμ.4519 (20 Φεβρουαρίου 2018), όλες οι περιοχές Natura 2000 υπάγονται σε έναν από τους 36 πλέον Φορείς Διαχείρισης Προστατευόμενων Περιοχών (28 ήδη υφιστάμενοι και 8 νέοι).

Στο σημείο αυτό, καθίσταται απαραίτητο να υπογραμμιστεί η ύπαρξη ενός μελανού σημείου για την χώρα μας όσον αφορά στην ουσιαστική προστασία του δικτύου Natura. Στις 4 Μαρτίου 2021 ψηφίζεται ο Νόμος υπ' αριθμ. 4782 του Υπουργείου Ανάπτυξης το οποίο περιέχει το καταστροφικό για τις περιοχές Natura 2000 άρθρο Νο 218. Ένα άρθρο για το οποίο συγκεντρώθηκαν 41.000 υπογραφές πολιτών επιζητώντας την απόσυρση του. Σχετικά με το άρθρο 219 λοιπόν όπως αυτό κατέληξε να ονομάζεται αναφέρεται μεταξύ άλλων ότι έρχεται σε πλήρη αντίθεση με το άρθρο 6 παρ. 1 της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ το οποίο απαιτεί τη λήψη μέτρων διατήρησης που ανταποκρίνονται στις οικολογικές απαιτήσεις των προστατευόμενων οικοτόπων και ειδών. Η υλοποίηση αναπτυξιακών έργων όπως είναι και το εγχείρημα της χωροθέτησης ΘΑΠ της παρούσας μελέτης, είναι απαραίτητο να πληροί όλες τις προϋποθέσεις για την προστασία της φύσης και της άγριας ζωής. Οποιαδήποτε στρατηγική η οποία αντιτίθεται στον ορθολογικό τρόπο σχεδιασμού μιας προστατευόμενης περιοχής δεν θα πρέπει να είναι αποδεκτή. Για τον λόγο αυτό, η εργασία θεωρεί κάθε μια από τις υπεράκτιες περιοχές που εντάσσονται στο δίκτυο Natura 2000 ως αυστηρά κριτήρια αποκλεισμού και θέτει την απόσταση των πέντε χιλιομέτρων (5km) ως ασφαλή ζώνη.



Εικόνα 5.9: Γεωπληροφοριακός χάρτης υπεράκτιων περιοχών NATURA 2000 στο Αιγαίο με τις αντίστοιχες ζώνες buffer $\geq 5\text{km}$ σε δύο επιμέρους τμήματα

5.4.2 Διαδρομές μεταναστευτικών πτηνών

Κατά την προσπάθεια μελέτης και αναλυτικής καταγραφής των περιβαλλοντικών ζητημάτων που γεννά το εγχείρημα κατασκευής ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου, η οποία και κρίνεται καθοριστικής σημασίας για την τοπική βιοποικιλότητα, θα μπορούσε κανείς να αποφανθεί ότι η ζωή των μεταναστευτικών πτηνών δεν βρίσκεται σε κίνδυνο.

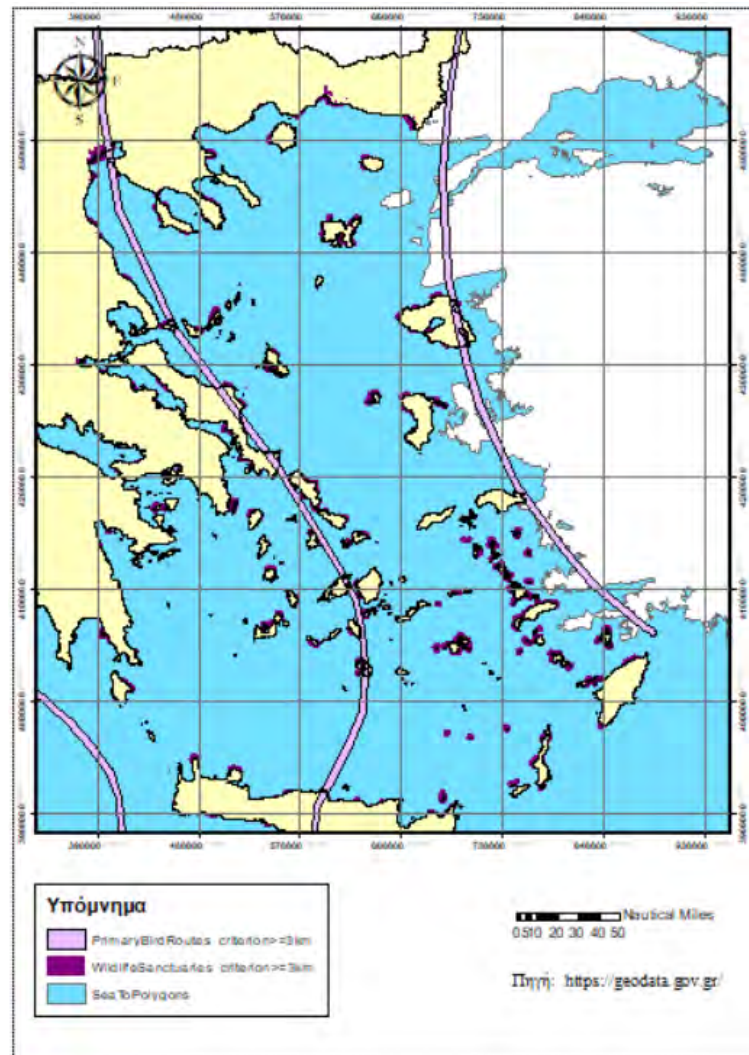
Οι ευρωπαϊκές θάλασσες και πιο συγκεκριμένα η Μεσόγειος και το Αιγαίο ως περιοχή μελέτης είναι διεθνώς σημαντικές για την αναπαραγωγή και ανάπαυση ορισμένων πληθυσμών θαλάσσιων πτηνών που υπόκεινται σε καθεστώς ειδικής προστασίας. Υπό αυτές τις συνθήκες

υπογραμμίζεται πως η εγκατάσταση ΘΑΠ θα μπορούσε εν δυνάμει να επηρεάσει τα διάφορα είδη πουλιών με τους εξής τρόπους i) κίνδυνος σύγκρουσης, ii) βραχυπρόθεσμη απώλεια οικοτόπων κατά τη διάρκεια της κατασκευής, iii) μακροχρόνια απώλεια οικοτόπων λόγω διαταραχών από στροβίλους, συμπεριλαμβανομένων και των διαταραχών που προκαλούνται από τα σκάφη συντήρησης των εγκαταστάσεων, iv) δημιουργία φραγμών στους διαδρόμους μετανάστευσης και v) αποσύνδεση οικολογικών μονάδων. Τα πτερύγια του ρότορα αιολικής ενέργειας σαρώνουν τον αέρα σε υψόμετρα έως και τα διακόσια μέτρα. Αυτό το διαρκώς κινούμενο εμπόδιο είναι δυνατόν να μην μπορέσει να αποφευχθεί για τα πουλιά υπό συνθήκες χαμηλής ορατότητας.

Αναφέρεται ότι το δυτικό και ανατολικό άκρο της περιοχής μελέτης εμπεριέχει διαδρόμους μεταναστευτικών πουλιών, συνεπώς αυτοί αποκλείστηκαν ως ασύμβατοι με την εγκατάσταση ΘΑΠ. Με την εισαγωγή των 3 km ως ασφαλή ζώνη υπό την έννοια ότι πρόκειται για ζωντανούς οργανισμούς που πετούν στην ευρύτερη περιοχή και δύνανται να παρεκκλίνουν από τις συνήθειες τους διαδρομές και σύμφωνα με την Ορνιθολογική Εταιρεία δημιουργήθηκε η νέα επιτρεπόμενη περιοχή.

Τα μεταναστευτικά πουλιά αποτελούν ένα αναπόσπαστο τμήμα οικοσυστήματος του Αιγαίου και η διαφύλαξη των ασφαλών διαδρομών τους αλλά και η ίδια τους η ζωή λόγω των πιθανοτήτων πρόσκρουσης στις έλικες των ανεμογεννητριών δεν γίνεται να απουσιάζει από μια ολοκληρωμένη περιβαλλοντικά φιλική πρόταση. Σε αυτό το επίτευγμα έχουν συνεισφέρει αποτελεσματικά νέες πρακτικές στηριγμένες σε καινοτόμες προσπάθειες εντοπισμού και απώθησης πτηνών που πετούν κοντά στις περιστρεφόμενες λεπίδες. Ειδικοί αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται επάνω στην ανεμογεννήτρια, αναγνωρίζουν προστατευόμενα πτηνά κοντά σε αιολικά πάρκα, προβλέπουν εάν η πορεία τους ενέχει κίνδυνο πρόσκρουσης στα πτερύγια και αποτρέπουν εκπέμποντας ειδικούς ήχους και συχνότητες. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το **Bird Monitoring System** το οποίο αποτελεί μια αποτελεσματική λύση στο ζήτημα της πρόσκρουσης συνδυάζοντας υλισμικό υψηλής τεχνολογίας και λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης και προστατεύοντας την άγρια πανίδα σε περιοχές αιολικών πάρκων. Περιβαλλοντικές λύσεις τέτοιου είδους έχουν εγκριθεί και τοποθετηθεί σε περισσότερα από 40 αιολικά πάρκα και 180 ανεμογεννήτριες σε χώρες όπως η Ελλάδα, η Ιταλία, η Γαλλία και η Γερμανία. Το Bird Monitoring System είναι το μοναδικό σύστημα το οποίο έχει τοποθετηθεί με επιτυχία σε υπεράκτιο αιολικό πάρκο το οποίο είναι το πρώτο της Μεσογείου, στο Ταράντο

της Ιταλίας. Παράλληλα, προβλήματα όπως η οπτική και ακουστική όχληση εκμηδενίζονται αφού πλέον υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης της αιολικής εγκατάστασης πολύ μακριά από την ακτή.



Εικόνα 5.10: Γεωπληροφοριακός χάρτης ψηφιοποίησης διαδρομών μεταναστευτικών πτηνών (Buffer zones ≥ 3 km)

Ως γνωστόν τα μεταναστευτικά πουλιά επιλέγουν στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων μια ασφαλή διέλευση από την αφετηρία προς τον προορισμό τους ελαχιστοποιώντας τον χρόνο πτήσης τους πάνω από την ανοιχτή θάλασσα. Όπως γίνεται εμφανές μέσω της ψηφιοποίησης των δύο συνηθέστερων διαδρομών στον τελευταίο χάρτη, αυτά περνούν επάνω από τις χερσαίες περιοχές των νησιών για ανεφοδιασμό αφήνοντας περισσότερες επιλογές για απρόσκοπτη χωροθέτηση στην ανοιχτή θάλασσα.

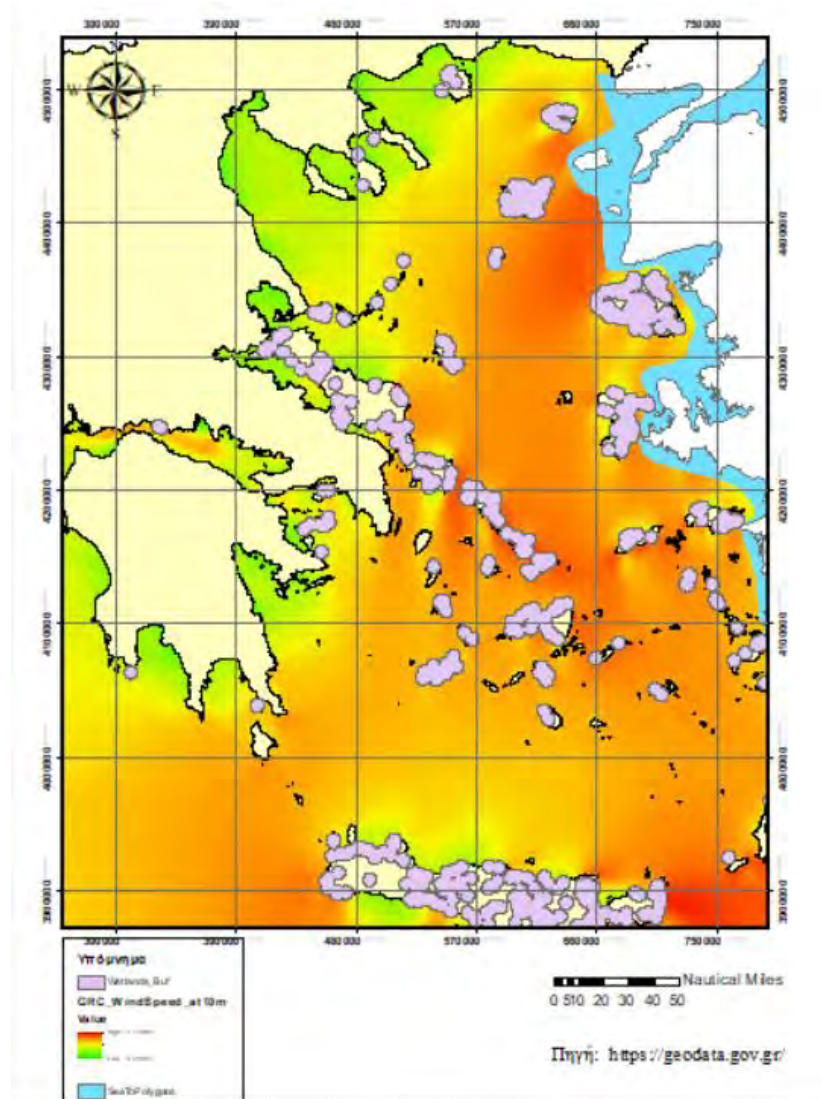
5.4.3 Υδροβιότοποι

Οι φυσικές ή τεχνητές περιοχές που αποτελούνται από έλη με ποώδη βλάστηση, από μη αποκλειστικώς έλη με ποώδη βλάστηση, από τυρφώδη εδάφη ή απλά από νερό ονομάζονται υδροβιότοποι ή υγρότοποι (WWF Ελλάς). Οι συνηθέστερες κατηγορίες σταχυολογούνται ανάμεσα στις ακόλουθες: ποταμούς και δέλτα ποταμών, ρύακες, λίμνες, λιμνοθάλασσες, αλυκές και άλλα.

Οι μικρής έκτασης περιοχές του Αιγαίου είναι ιδιαίτερα πολύτιμες τόσο για τα διάφορα είδη μεταναστευτικών πτηνών τα οποία αποτέλεσαν αντικείμενο ξεχωριστής μελέτης παραπάνω, όσο και γενικότερα για τη χλωρίδα και πανίδα οι οποίες συνεισφέρουν στον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα.

Το διάστημα ενασχόλησης, καταγραφής και μελέτης με σκοπό της προστασία των υδροβιότοπων δεν είναι μεγάλο καθώς τα τελευταία 25 χρόνια έχει υπάρξει σχετική κινητοποίηση. Οι μεγάλης έκτασης υγρότοποι των χερσαίων περιοχών είναι απογραμμένοι και έχουν μελετηθεί επαρκώς. Παρατηρείται ωστόσο έντονη έλλειψη στοιχείων και ενασχόλησης όσον αφορά στις μικρότερες αυτές περιοχές της επικράτειας και ιδιαίτερα των νησιών, οι οποίες και βρίσκονται ιδιαίτερα εκτεθειμένες στον κίνδυνο παραβίασης από ποικίλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η τοποθέτηση ΘΑΠ.

Στη Μεσόγειο, και συγκεκριμένα στην περιοχή μελέτης της εργασίας, το Αιγαίο Πέλαγος παρατηρείται μια αξιοσημείωτη περίπτωση. Το φυσικό περιβάλλον των νησιών χαρακτηρίζεται από υψηλό ενδημισμό, δηλαδή την ύπαρξη μοναδικών μορφών ζωής. (WWF Ελλάς). Σε γενικές γραμμές οι περιοχές αυτές αποτελούν πηγή ζωής και ανάπτυξης για χιλιάδες ήδη ζώων και πτηνών ενώ παράλληλα η αξία για τον άνθρωπο είναι υπαρκτή όπως για παράδειγμα μέσω της δυνατότητας παραγωγής άλατος με παραδοσιακό ή βιομηχανικό τρόπο. Για όλους αυτούς τους λόγους δημιουργήθηκε μια ζώνη αποκλεισμού εντός των 5 km γύρω από αυτές τις παράκτιες περιοχές για τη διαδικασία της χωροθέτησης.



Εικόνα 5.11: Γεωπληροφοριακός χάρτης υπεράκτιων ζωνών υδροβιότοπων Βορείου Αιγαίου (Buffer zones ≥ 5 km)

5.4.4 Λιβάδια Ποσειδωνίας

Οι περιοχές στο χώρο του Αιγαίου με πλούσια ύπαρξη Ποσειδωνίας (ή ωκεάνιος) αποκλείστηκαν εντός της ζώνης των 3km αφού αποτελούν ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Στη παράγραφο αυτή γίνεται λόγος για ένα είδος χλωρίδας το οποίο συναντάται ιδιαίτερα συχνά στις ελληνικές θάλασσες αλλά και γενικότερα στη

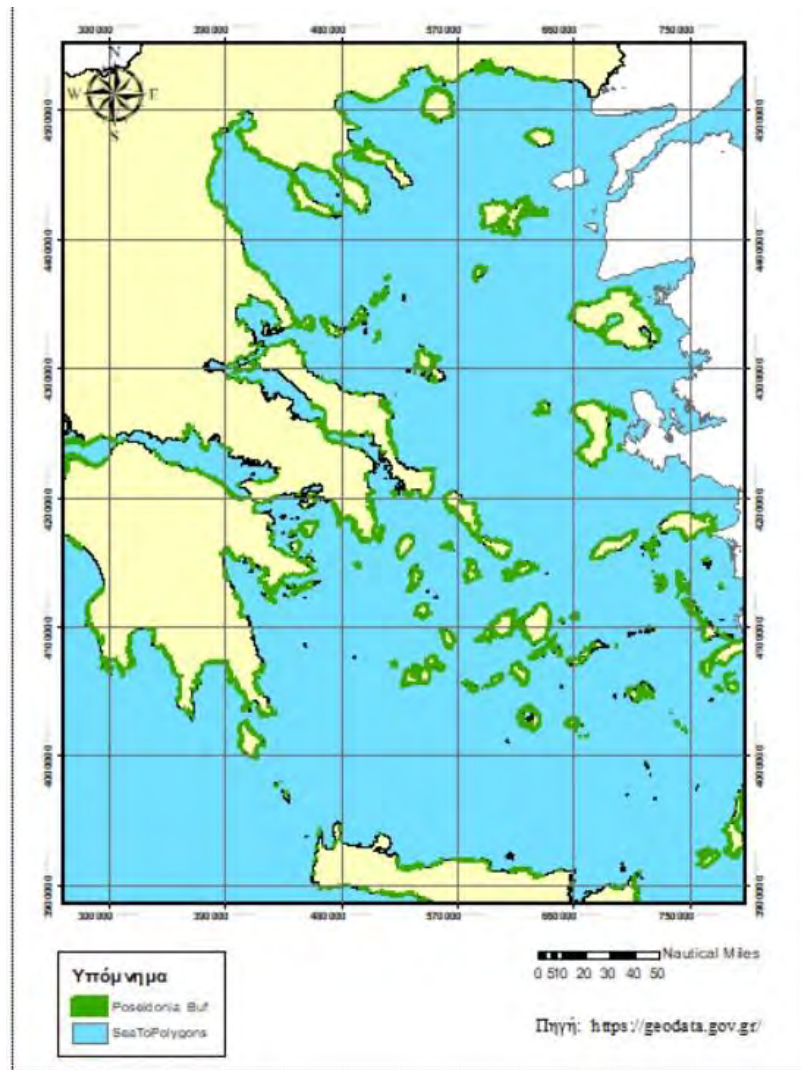
Μεσόγειο. Περισσότερα από 300 είδη φυτών και 1000 είδη θαλάσσιων ζώων ζουν και αναπτύσσονται στα λιβάδια Ποσειδωνίας. Αυτή η χλωρίδα και πανίδα της ευρύτερης περιοχής έχει αποδειχθεί πως αποτελεί έναν εξαιρετικής σημασίας ρυθμιστικό παράγοντα για την διατήρηση της υγείας όλου του οικοσυστήματος.

Αρχικά οι περιοχές Ποσειδωνίας διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο όσον αφορά στην δέσμευση του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Όπως όλα τα φυτά, έτσι και οι υποβρύχιες «οάσεις» συνεισφέρουν καθημερινά στην παροχή οξυγόνου. Έτσι, αποκτούν τον ρόλο ενός «βιοτικού δείκτη» για την ρύπανση όντας ιδιαίτερα ευαίσθητες στους ρύπους. Παράλληλα, καθίσταται αναγκαίο να επισημανθεί ότι τα λιβάδια Ποσειδωνίας λειτουργούν ως τόποι αναπαραγωγής για πληθώρα ειδών. Τα φύλλα και οι ρίζες τους συνεισφέρουν αποτελεσματικά στην αποτροπή της διάβρωσης των ακτών ενώ ο αφανισμός τους συνεπάγεται αυτόματα και τη συρρίκνωση της τοπικής αλιείας. (Salas et al., 2006).

Βασικός στόχος του εγχειρήματος κατασκευής υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι η διατήρηση ή ακόμα και η ενίσχυση των παρθένων οικοσυστημάτων και η παροχή προστασίας για απειλούμενος πληθυσμούς και είδη. Για να λειτουργήσουν τα υπεράκτια αιολικά πάρκα υπέρ της διατήρησης της θαλάσσιας ζωής, η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα αυτών των οικολογικών οντοτήτων πρέπει να είναι υψηλότερη εντός της περιοχής του αιολικού πάρκου παρά εκτός της περιοχής και πριν από την εγκατάσταση. Ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο εγκαθίσταται σχεδόν αποκλειστικά επάνω σε αργιλικά ιζήματα, αμμώδη ή χαλίκι. Ο φυσικός βιότοπος κατά τη στιγμή της εγκατάστασης αντικαθίσταται από ένα σκληρό υπόστρωμα αποτελούμενο από τα θεμέλια αλλά και προστασία χάραξης (χαλίκι, ογκόλιθοι). Ανάμεσα στα θεμέλια παρεμβάλλονται καλώδια μέσω των οποίων περνά ηλεκτρικό ρεύμα. Οι εργασίες αυτές σαφώς επηρεάζουν αρνητικά τα θαλάσσια οικοσυστήματα βένθους και Ποσειδωνίας (πλαγκτόν). Ωστόσο, μόλις ξεκινήσει η φάση λειτουργίας, οι επιπτώσεις από τους στροβίλους μπορούν να χαρακτηριστούν έως και ανεπαίσθητες. Για αποτελεσματική διατήρηση, τα θετικά αποτελέσματα θα πρέπει επίσης να διαχέονται στις γύρω περιοχές (Linus Hammar et al., 2016).

Οι αλλαγές στην κάλυψη του βυθού μελετήθηκαν πριν και μετά την εγκατάσταση του ρηχού υπεράκτιου αιολικού πάρκου «Middelgrund» στο στενό Öresund, Δανία. Πριν από την εγκατάσταση θαλάσσια λιβάδια (*Zostera marina*) κάλυπταν τον βυθό του ιζήματος ενώ μεγάλη αφθονία μπλε μυδιών (*Mytilus edulis*) παρατηρήθηκε σε περιοχές χωρίς βλάστηση. Με μεγάλη έκπληξη παρατηρήθηκε ότι τρία χρόνια μετά την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών,

αυξήθηκαν τα επίπεδα κάλυψης σε Ποσειδωνία λόγω της συγκέντρωσης σημαντικά μεγαλύτερης ποσότητας φυτοπλαγκτόν γύρω από τα θεμέλια εγκατάστασης. Η αφθονία των μπλε μυδιών στον βυθό της θάλασσας ωστόσο είχε ελαφρώς μειωθεί. Πέντε χρόνια παρακολούθησης φυτοπλαγκτόν διεξήχθη επίσης στο υπεράκτιο αιολικό πάρκο «Lillgrund» που βρίσκεται σε μια όχθη με ρηχή βλάστηση άμμου στο σουηδικό τμήμα του στενού Öresund. Η ποιότητα του φυτού συγκρίθηκε με περιοχές αναφοράς προκειμένου να εντοπιστούν πιθανές επιπτώσεις της εγκατάστασης, αλλά δεν εντοπίστηκαν επιπτώσεις του αιολικού πάρκου. Και στα δύο αυτά αιολικά πάρκα χρησιμοποιήθηκαν θεμέλια βαρύτητας και βυθοκόρηση και τα αποτελέσματα δεν δείχνουν καμία αρνητική επίπτωση στη βλάστηση. Συνεπώς, προκύπτει το αβίαστο συμπέρασμα ότι οι περιοχές Ποσειδωνίας ίσως να μην επιβάλλεται να αποτελέσουν αυστηρό κριτήριο αποκλεισμού στο τελικό μοντέλο του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) αλλά θα πρέπει να σταθμιστούν με ιδιαίτερη προσοχή και, αναλόγως την περίπτωση θεμελίωσης να λειτουργήσουν ως κριτήριο αποκλεισμού για σταθερής έδρασης (fixed) ή περιοριστικά για επιπλέουσες (floating). Συνεπώς λαμβάνεται μια σχετικά μικρή ασφαλής απόσταση για πλωτές εγκαταστάσεις (150m).



Εικόνα 5.12: Γεωπληροφοριακός χάρτης υπεράκτιων ζωνών Ποσειδωνίας Αιγαίου (Buffer zones $\geq 150\text{m}$)

5.4.5 Περιοχές όπου τα επίπεδα θορύβου επηρεάζουν τα θηλαστικά

Είναι γεγονός ότι η ολοένα και αυξανόμενη ανάπτυξη των ΑΠΕ έχει οδηγήσει στην κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων τα οποία διαθέτουν τουρμπίνες υψηλής ισχύος που δύνανται να παράγουν ηλεκτρική ισχύ πολλών μεγαβάτ. Παράλληλα με τα αρχικά στάδια σχεδιασμού και εγκατάστασης ΘΑΠ, οι δυσμενείς επιπτώσεις στον θαλάσσιο οικοσύστημα αλλά ιδιαιτέρως στα θηλαστικά έχουν αποτελέσει κεντρικό άξονα συζήτησης μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας. Ως σημαντικότερη των επιπτώσεων χαρακτηρίζεται η απώλεια ακοής ή και η

αλλαγή της συμπεριφοράς των θαλάσσιων θηλαστικών κατά τη διάρκεια της κατασκευαστικής και λειτουργικής φάσης των πάκων. (Thomsen et al., 2006).

Παρά το γεγονός ότι ο αντίκτυπος του υποβρύχιου ήχου που σχετίζεται με τις εργασίες θεμελίωσης και κατασκευής υπεράκτιων ανεμογεννητριών αποτελεί βασικό κομμάτι ενδιαφέροντος και έρευνας, υπάρχουν λίγα δεδομένα σχετικά με την επίδρασή του στη θαλάσσια ζωή. Με θεμέλιο λίθο λοιπόν τα δημοσιευμένα επίπεδα ήχου λειτουργικών αιολικών πάρκων παρατηρήθηκε μια αύξηση ανάλογη του μεγέθους μια ανεμογεννήτριας η οποία μπορεί να εκφραστεί ως προς την ονομαστική της ισχύ. Η τάση αυτή εντοπίζεται κυρίως στα επίπεδα ηχητικής πίεσης φασματικής ζώνης (SPLs) και αφορά την ευρυζωνική ζώνη και την τουρμπίνα. Για ονομαστική ισχύ 10 MW, οι τάσεις στα ευρυζωνική SPL και τα SPL φασματικής ζώνης ειδικά για στρόβιλους απέδωσαν επίπεδα πηγής 170 και 177 dB έναντι 1 $\mu\text{Pa m}$, αντίστοιχα. Η μετάβαση από τη χρήση κιβωτίων ταχυτήτων στην τεχνολογία άμεσης μετάδοσης αναμένεται να μειώσει το επίπεδο ήχου κατά 10 dB. Χρησιμοποιώντας το κριτήριο της Εθνικής Ωκεανικής Ατμοσφαιρικής Διοίκησης για διαταραχές συμπεριφοράς για συνεχή θόρυβο (δηλαδή επίπεδο B), ένας στρόβιλος άμεσης μετάδοσης 10 MW αναμένεται να προκαλέσει διαταραχή της συμπεριφοράς θαλάσσιων θηλαστικών σε απόσταση έως και 1,4 km από τον στρόβιλο.

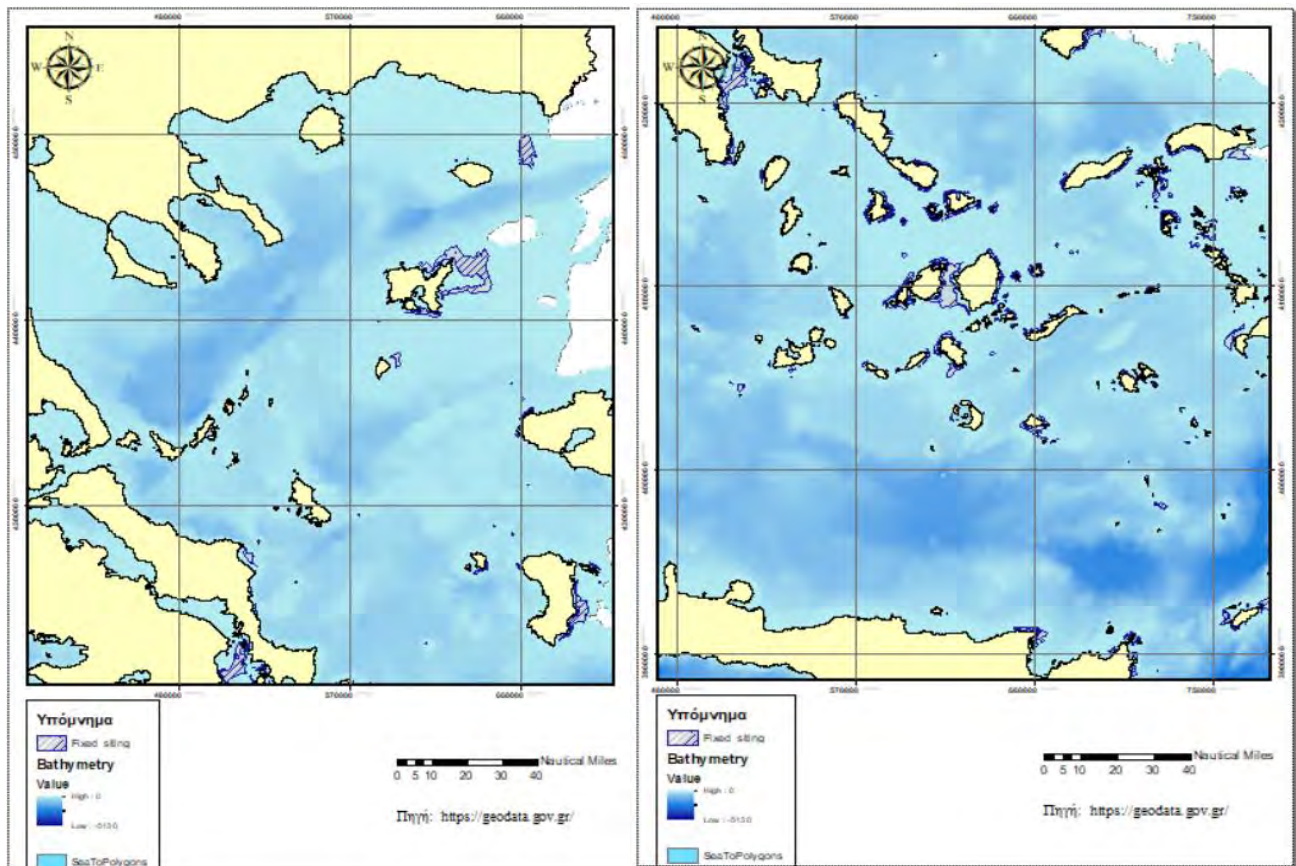
Παράλληλα, αναφορικά με τις εργασίες θεμελίωσης των monopiles κρίνεται γόνιμο να σημειωθεί πως δραστηριότητες όπως η κατασκευή μιας θαλάσσιας εγκατάστασης ανεμογεννητριών απαιτούν τη διαδικασία της βυθοκόρησης (dredging) η οποία είναι μια ανασκαφική δραστηριότητα που πραγματοποιείται παγκοσμίως από πολλές βιομηχανίες. Υπάρχει ανησυχία για τον αντίκτυπο που έχει η βυθοκόρηση στη θαλάσσια ζωή, συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων θηλαστικών (κητώδη, πτερυγίοποδα και σειρήνες), αλλά οι επιπτώσεις είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστες. Η βυθοκόρηση έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει τα θαλάσσια θηλαστικά, αλλά τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τα είδη και την τοποθεσία, και ποικίλλουν επίσης ανάλογα με τον τύπο του εξοπλισμού βυθοκόρησης. Ο θόρυβος που εκπέμπεται είναι ευρυζωνικός, με την περισσότερη ενέργεια κάτω από 1 kHz και είναι απίθανο να προκαλέσει βλάβη στα ακουστικά συστήματα θαλάσσιων θηλαστικών, αλλά είναι δυνατές αλλαγές κάλυψης και συμπεριφοράς. Σχετικά με τα επίπεδα του θορύβου που παράγονται από τις δραστηριότητες, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι όσοι έχουν πιο εξειδικευμένη ακοή εμφανίζουν μεγαλύτερο επίπεδο απώλειας ακοής. (Victoria L.G Todd et al., 2015). Η χρήση ανεμογεννητριών μονού πυλώνα

ωστόσο περιορίζεται σε μικρά βάθη που εκτείνονται από 20 έως 40 μέτρα κατά κανόνα τα οποία δεν συναντώνται στην περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας οπότε χαρακτηρίζονται και ως ασύμβατα για την συντριπτική πλειονότητα των μεγάλων βαθών του Αιγαίου.

Η πλειοψηφία των καταγραφών θαλάσσιων θηλαστικών στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και ειδικότερα στο Αιγαίο αφορά το κοινό δελφίνι και το ρινοδέλφινο ενώ σπανιότερα εντοπίζονται το σταχτοδέλφινο και η μεγάπετρη φάλαινα.



Εικόνα 5.13: Καταγραφή συχνότερων θαλάσσιων θηλαστικών στο Αιγαίο (Γκαραγκούνη, 2013)

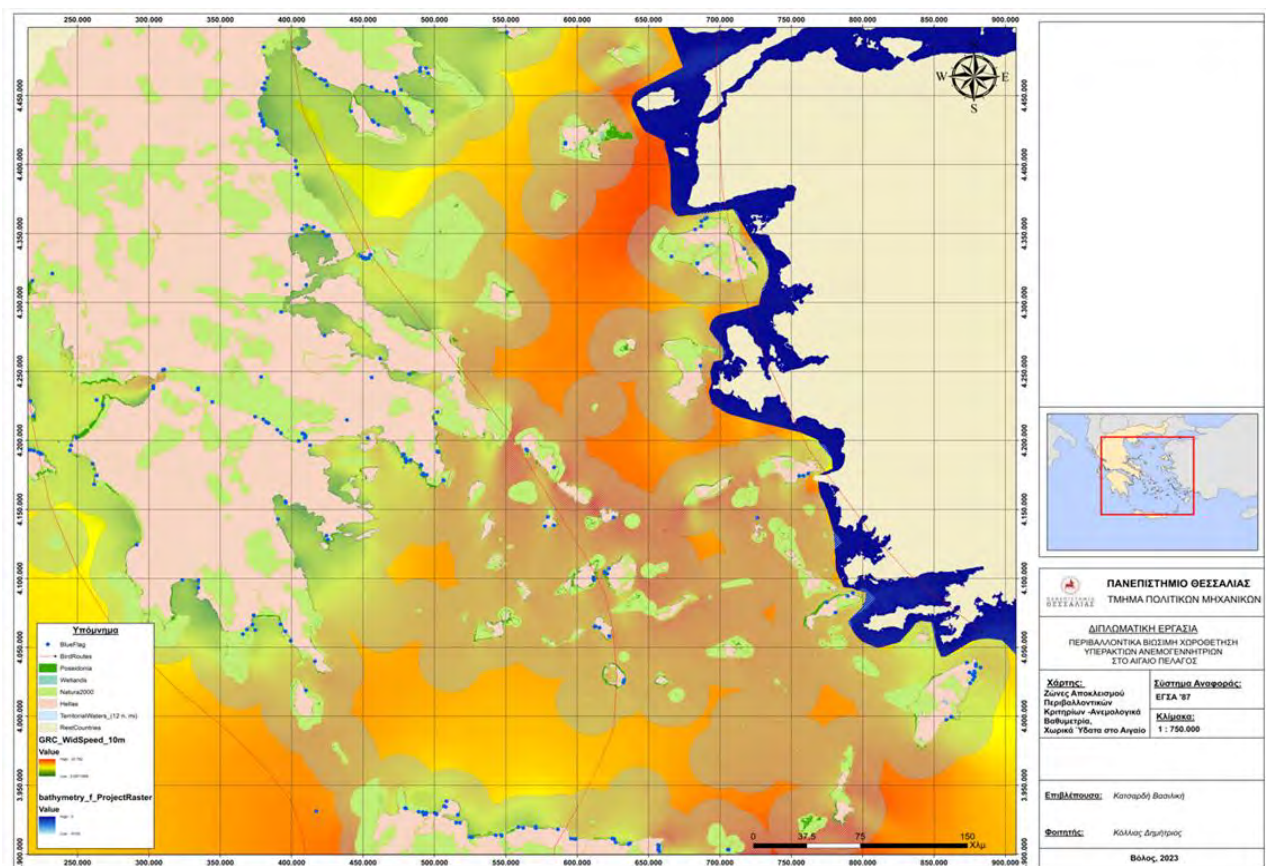


Εικόνα 5.14: Γεωπληροφοριακοί χάρτες συσχέτισμού βαθυμετρίας και κατάλληλων περιοχών τοποθέτησης δομών σταθερής έδρασης

Μελετώντας του δύο τελευταίους χάρτες, οι οποίοι ουσιαστικά απεικονίζουν τον χώρο του Αιγαίου σε δύο τμήματα για χάριν βέλτιστης οπτικοποίησης, συγκριτικά με τον χάρτη καταγραφής των θαλάσσιων θηλαστικών αβίαστα συμπεραίνει κανείς ότι οι δομές σταθερής έδρασης οι οποίες δύνανται να επηρεάσουν τα ίδια μέσω του θορύβου θεμελίωσης δεν αποτελούν ουσιαστικό πρόβλημα. Άλλωστε, όπως έχει ήδη αναφερθεί τα βαθιά νερά των ελληνικών θαλασσών επιτρέπουν ιδιαίτερα περιορισμένη εφαρμογή για κατασκευές σταθερής έδρασης. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή νότια της Λήμνου η οποία όπως φαίνεται επιτρέπει την εφαρμογή fixed A/G λόγω των ρηχών υδάτων αλλά εκεί καταγράφεται ένα σπάνιο είδος δελφινιού το οποίο είναι ιδιαίτερα πιθανό να επηρεαστεί. Συνεπώς δεν προτείνεται η οποιαδήποτε κατασκευή τέτοιων δομών σε αυτή την περιοχή.

5.4.6 Ακτές με γαλάζια σημαία

Η Ελληνική Εταιρία Προστασίας της Φύσης (ΕΕΠΦ) έχει αναλάβει τη διαχείριση του προγράμματος «Γαλάζια Σημαία». Ο τίτλος αυτός έχει να κάνει με την ποιότητα των ακτών όσον αφορά στα ύδατα και στην οργάνωση και απονέμεται έπειτα από αυστηρή αξιολόγηση. Στο πρόγραμμα συμμετέχουν 50 χώρες μαζί με την Ελλάδα η οποία, το 2022 διέθετε 103 ακτές με γαλάζια σημαία. (blueflag.gr/awards/2022). Η προστασία αυτών των ακτών κρίνεται αδιαμφισβήτητη κατά τη δημιουργία υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Για το λόγο αυτό ορίστηκε η ζώνη αποκλεισμού του 1,5 km κατά την εκτέλεση του μοντέλου χωροθέτησης.



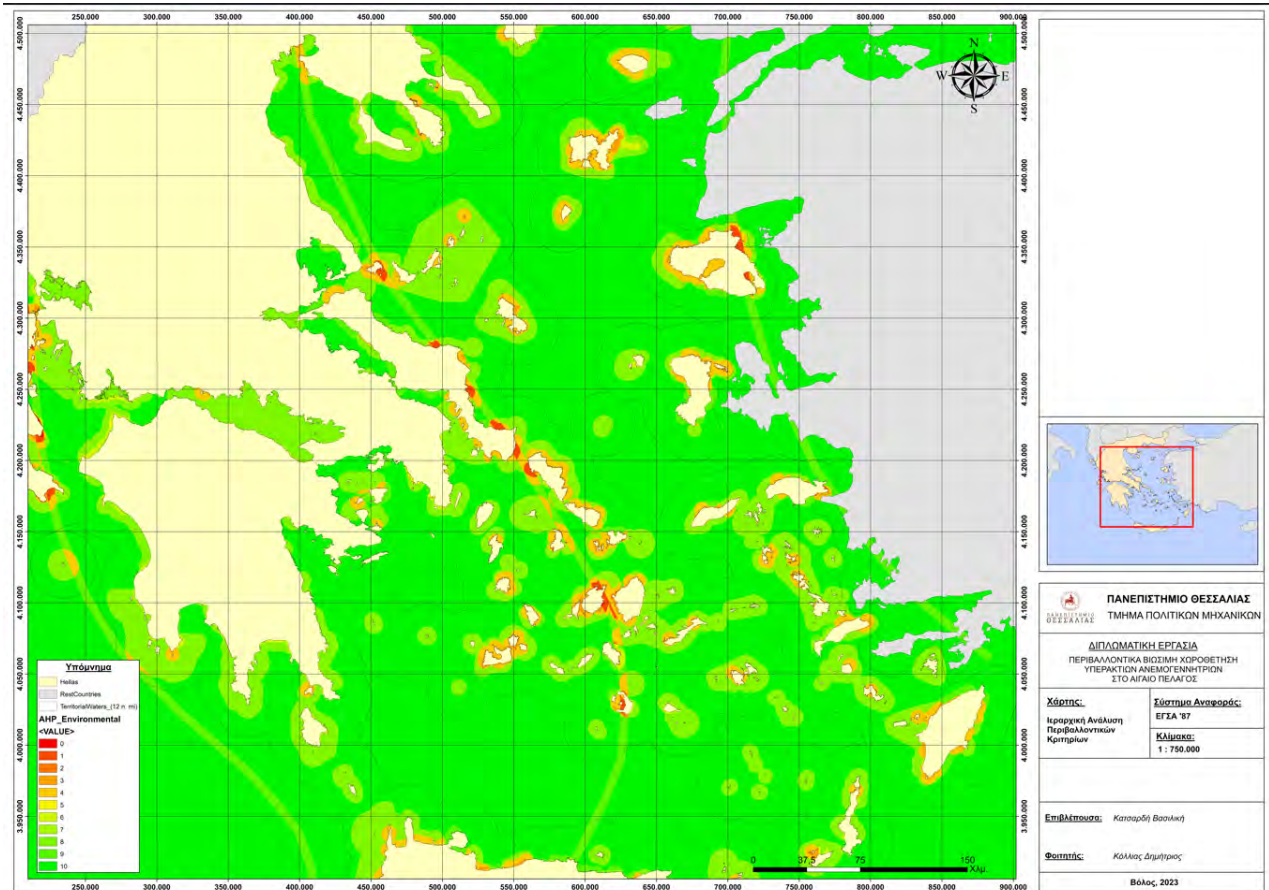
5.5 Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος (ΑΗΡ)

Η εν λόγω μέθοδος αναπτύχθηκε με ολοκληρωμένο τρόπο για πρώτη φορά από τον Saaty το 1990 για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων στα οποία υπεισέρχεται πληθώρα διαφορετικών παραγόντων που επηρεάζουν με διαφορετική βαρύτητα την τελική έκβαση. Όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό πλαίσιο της μεθοδολογικής προσέγγισης η Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος ή αλλιώς Πολυκριτηριακή Ανάλυση αναλαμβάνει την απόδοση συντελεστών βαρύτητας έπειτα από διμερείς συγκρίσεις των βασικών πυλώνων μεταξύ τους και στη συνέχεια των υποκριτηρίων που αυτά δημιουργούν. Με τη χρήση των Σ.Γ.Π. λοιπόν και σε άμεση συνάρτηση με την εφαρμογή της ιεραρχικής μεθόδου λήψης αποφάσεων, προσεγγίζεται το εγχείρημα της χωροθέτησης αιολικού πάρκου. Η μέθοδος αυτή καθίσταται αναγκαία αφού βασίζεται στην αντίληψη πως η επίτευξη της λύσης για πολυσχιδή θέματα όπως το παρόν, δεν γίνεται να προκύψει μέσω μονοδιάστατης προσέγγισης. Οι επιλογές κατατάσσονται από την βέλτιστη στη λιγότερο επιθυμητή παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο πλήρη διαφάνεια και τη δυνατότητα της καλύτερης επιλογής στο μελετητή. Δομείται έτσι ένα σύνθετο πρόβλημα και προσδιορίζονται παράλληλα οι διαθέσιμες επιλογές και τα απαραίτητα κριτήρια. Συγχρόνως προσδιορίζεται με ακρίβεια η βαρύτητα καθενός από τα κριτήρια με την εφαρμογή των κατάλληλων συντελεστών. Κατά τη διαδικασία της μεθόδου οι περιοχές αποκλεισμού έλαβαν την τιμή 0 ενώ οι αποδεκτές την τιμή 1 μέσω του εργαλείου “Reclassify” του ArcMap. Ακολουθούν οι αναλυτικοί πίνακες που δημιουργήθηκαν για καθεμιά από τις Ιεραρχικές Αναλύσεις που διεξήχθησαν στη παρούσα μελέτη. Στο περιβάλλον ArcMap χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο “Weighted Sum” για την απόδοση των συντελεστών βαρύτητας που υπολογίστηκαν.

5.5.1 1^η Ιεραρχική Ανάλυση: Περιβαλλοντικά Κριτήρια**Πίνακας 5.5:** Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Περιβαλλοντικών Κριτηρίων

Περιβαλλοντικά Κριτήρια					
	Natura 2000	Διαδρομές Μεταν. Πτηνών	Υδροβιότοποι	Λειβάδια Ποσειδωνίας	Ακτές με γαλάζια σημαία
Natura 2000	1	2	2	1	9
Διαδρομές Μεταν. Πτηνών	0,5	1	1	3	9
Υδροβιότοποι	0,5	1	1	3	7
Λειβάδια Ποσειδωνίας	1	0,333333	0,333333	1	9
Ακτές με γαλάζια σημαία	0,111111	0,111111	0,142857	0,111111	1
Συντελεστές Βαρύτητας AHP	0,314576	0,253545	0,24389	0,161795	0,026194

Κατηγοριοποιήθηκαν με σκοπό την απόδοση συντελεστών βαρύτητας όλοι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες των οποίων η εύρυθμη λειτουργία και ανάπτυξη εντός οικοσυστήματος δύνανται να επηρεαστούν από την ανάπτυξη θαλάσσιων αιολικών εγκαταστάσεων. Κυρίαρχο ρόλο με την απόδοση μεγαλύτερης βαρύτητας κατά τις διμερείς συγκρίσεις διαδραματίζουν οι περιοχές Natura 2000 ενώ ακολουθούν οι διαδρομές των μεταναστευτικών πτηνών, οι υδροβιότοποι και οι ακτές με γαλάζια σημαία. Τα λιβάδια Ποσειδωνίας ως ιδιαίτερα σημαντικά για τη διατήρηση της θαλάσσιας ζωής αντιμετωπίζονται ξεχωριστά μιας και η κατασκευή πλατφόρμας σταθερής έδρασης με θεμελίωση στον πυθμένα μπορεί εν δυνάμει να δημιουργήσει προβλήματα όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Ωστόσο η παρούσα μελέτη εστιάζει περισσότερο στα πλωτά αιολικά πάρκα, ως ιδανικά για τα βαθιά νερά του Αιγαίου όπου η Ποσειδωνία δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου. Επιπρόσθετα γίνεται η προσπάθεια ανάδειξης των συνηθέστερων περιοχών όπου ζουν και αναπαράγονται τα θαλάσσια θηλαστικά του Αιγαίου με σκοπό να αποφευχθεί η κατασκευή δομών σταθερής έδρασης σε μια πιθανώς κατάλληλη ένδειξη τοποθεσίας μιας και τα επίπεδα θορύβου κατά τη θεμελίωση προκαλούν ιδιαίτερα σοβαρά προβλήματα στην ακοή και τον προσανατολισμό.



Εικόνα 5.16: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑHP Περιβαλλοντικών κριτηρίων

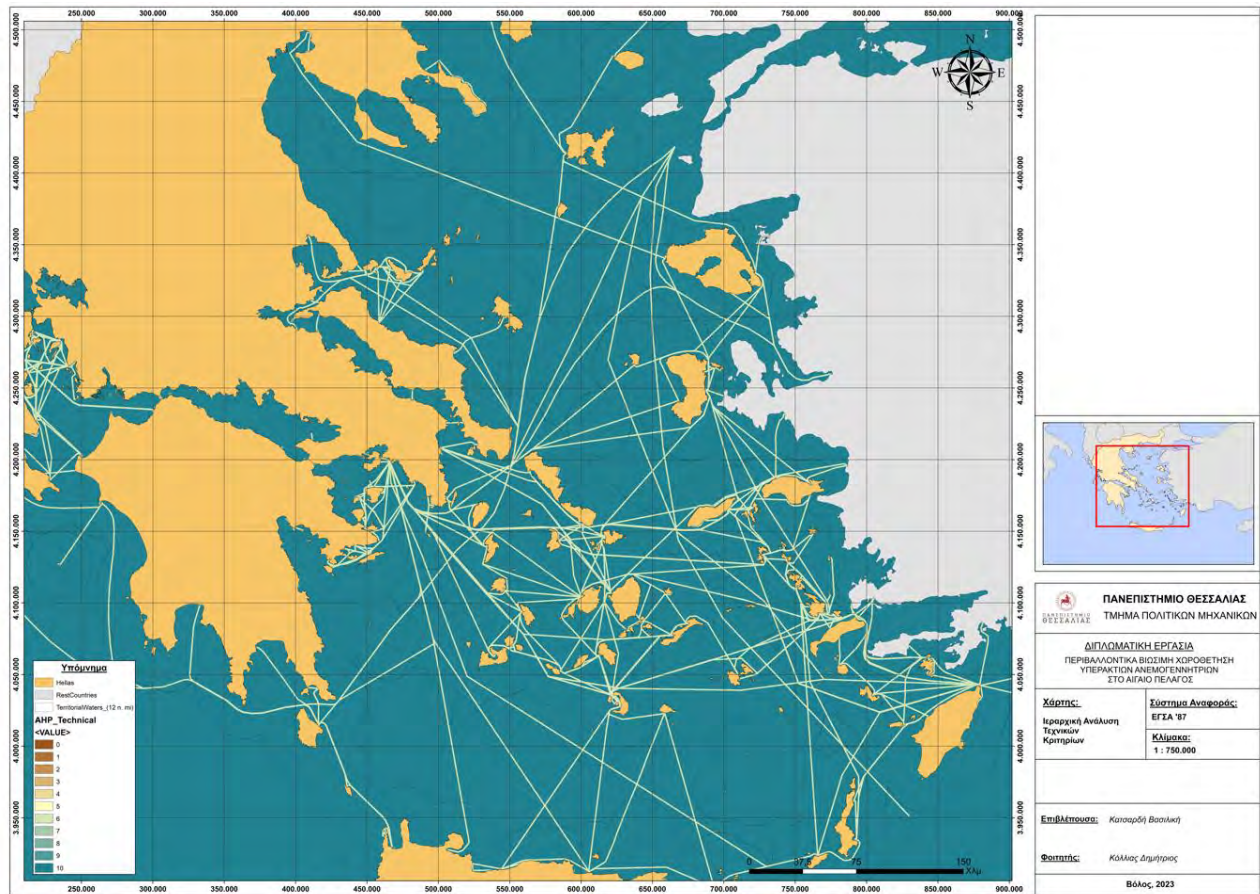
5.5.2 2^η Ιεραρχική Ανάλυση: Τεχνικά Κριτήρια

Πίνακας 5.6: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Τεχνικών Κριτηρίων

Τεχνικά Κριτήρια				
	Λιμένες	Ακτοπλοϊκά Δρομολόγια	Υποθαλάσσια Καλώδια	Ναυπηγεία
Λιμένες	1	1	2	4
Ακτοπλοϊκά Δρομολόγια	1	1	3	7
Υποθαλάσσια Καλώδια	0,5	0,333333	1	4
Ναυπηγεία	0,25	0,142857	0,25	1
Συντελεστές Βαρύτητας ΑHP	0,334528	0,423912	0,180099	0,061461

Στην κατηγορία αυτή ομαδοποιούνται τα βασικότερα τεχνικά κριτήρια που αφορούν ένα τέτοιο έργο. Τα ακτοπλοϊκά δρομολόγια των πλοίων λαμβάνουν μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας μιας και η κατασκευή αιολικού πάρκου δεν γίνεται να πραγματοποιηθεί σε ανοιχτή θάλασσα διακόπτοντας τις χαραγμένες πορείες. Ακολουθούν οι λιμένες ως αρκετά σημαντικό τεχνικό

κριτήριο λόγω συσσώρευσης επιβατηγών και εμπορικών πλοίων στην περιοχή, τα υποθαλάσσια καλώδια και τα ναυπηγεία.



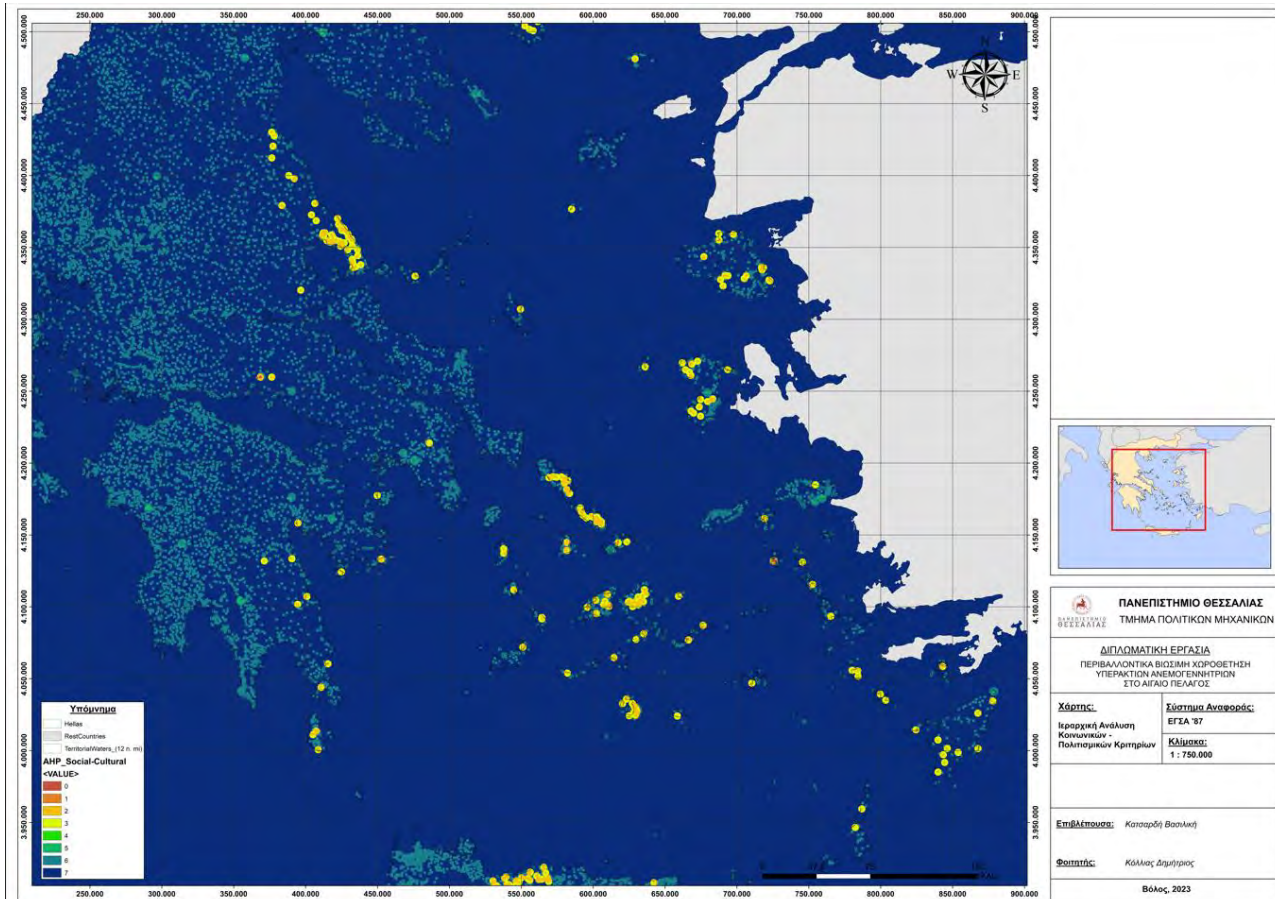
Εικόνα 5.17: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑHP Τεχνικών κριτηρίων

5.5.3 3^η Ιεραρχική Ανάλυση: Κοινωνικά – Πολιτισμικά Κριτήρια

Πίνακας 5.7: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Κοινωνικών-Πολιτισμικών Κριτηρίων

Κοινωνικά - Πολιτισμικά Κριτήρια			
	Οικισμοί (ΕΛΣΤΑΤ)	Μνημεία UNESCO	Παραδοσιακοί Οικισμοί
Οικισμοί (ΕΛΣΤΑΤ)	1	4	0,5
Μνημεία UNESCO	0,25	1	0,2
Παραδοσιακοί Οικισμοί	2	5	1
Συντελεστές Βαρύτητας ΑHP	0,333072	0,09739	0,569539

Ως κοινωνικά – πολιτισμικά κριτήρια ομαδοποιούνται οι οικισμοί σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, οι παραδοσιακοί οικισμοί και χωριά και τέλος τα κηρυγμένα από τον διεθνή οργανισμό UNESCO μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς λαμβάνοντας τα κατάλληλα βάρη σύμφωνα με συγκρίσεις βιβλιογραφίας.



Εικόνα 5.18: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑHP Κοινωνικών-Πολιτισμικών κριτηρίων

5.5.4 Κριτήρια Οπτικής Όχλησης

Κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης λήφθηκε υπόψη και ο παράγοντας της οπτικής όχλησης συνυπολογίζοντας την πιθανή αντίδραση των κατοίκων των νησιών του Αιγαίου στο εγχείρημα μιας μελλοντικής χωροθέτησης ΘΑΠ.

Αρχικά, έλαβε χώρα η αναζήτηση των δορυφορικών αρχείων Ψηφιακού Υψομετρικού Μοντέλου (Digital Elevation Model, DEM) για την μορφολογία του εδάφους τα οποία αποκτήθηκαν έπειτα από αίτημα για ακαδημαϊκή χρήση μέσω της διαδικτυακής πηγής Copernicus (<https://www.copernicus.eu/>).

Στη συνέχεια για τον εντοπισμό των μη ορατών περιοχών έγινε χρήση του εργαλείου “Visibility” του λογισμικού ArcMap το οποίο παρέχει τη δυνατότητα στο σχεδιαστή να ορίζει

κάθε φορά τα απαιτούμενα ύψη του παρατηρητή και του αντικειμένου (ανεμογεννήτριες) και, με τη βοήθεια του Υψομετρικού Μοντέλου να εξάγει συμπεράσματα ορατότητας.

Σημειώνεται ότι οι παράμετροι που τέθηκαν ήταν το μέσο ύψος του παρατηρητή το οποίο αντιστοιχεί στα 1.70 m και το μέσο ύψος του στόχου ο οποίος στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι μια υπεράκτια ανεμογεννήτρια και ισούται με 153 m. Ο αριθμός αυτός προκύπτει από το άθροισμα του ύψους πυλώνα (90 m) και την ακτίνα του πτερυγίου (63 m).

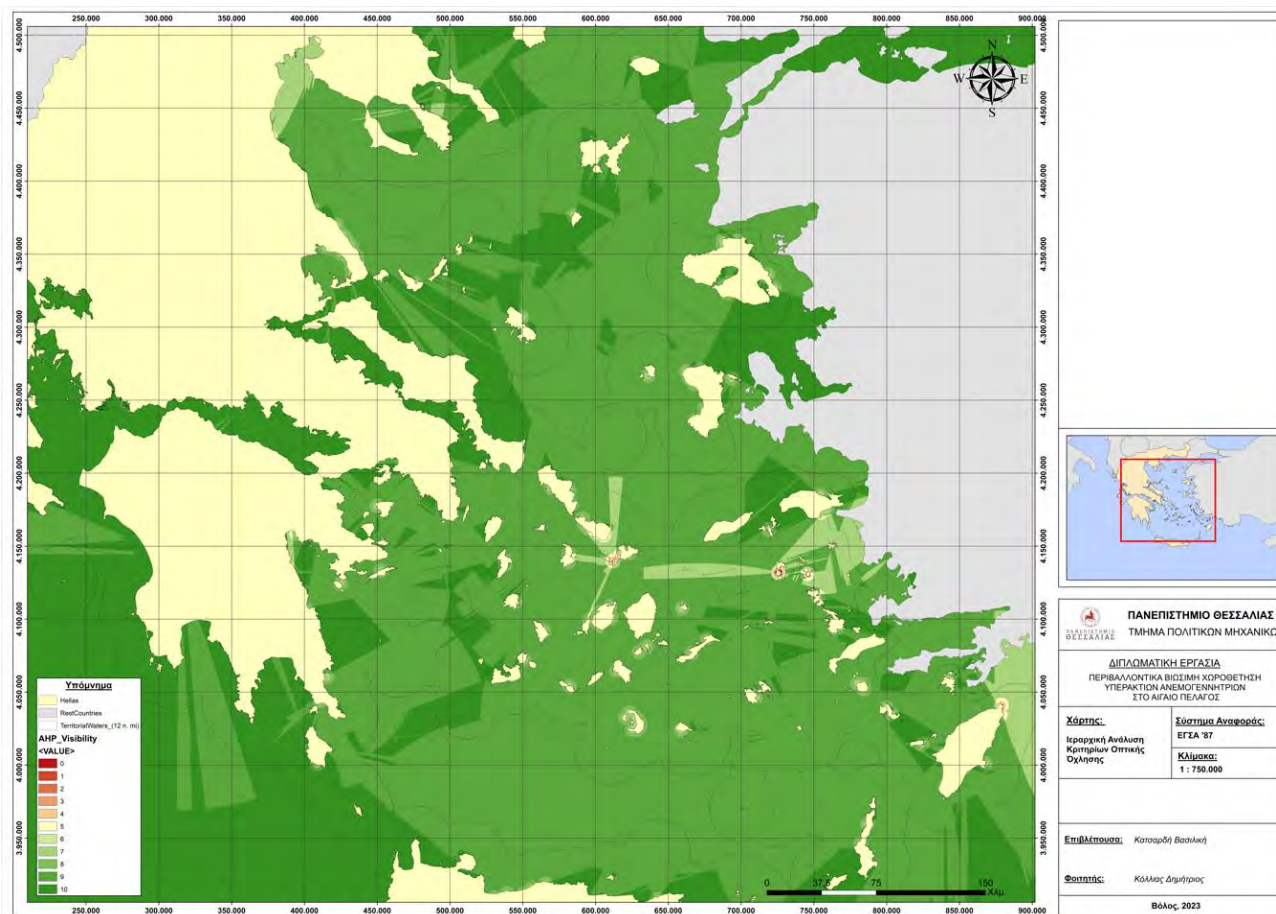
Στα αποτελέσματα αποδόθηκαν αρχικά οι τιμές 0 για το μη ορατό και 1 για το ορατό. Έπειτα χρησιμοποιώντας το εργαλείο reclassify οι τιμές αυτές μετατράπηκαν σε 1 και 2 αντίστοιχα. Οι ζώνες ορατότητας διαχωρίστηκαν σε 3 τάξεις με τις τιμές 1 (Ζώνη Α), 3(Ζώνη Β) και 5(Ζώνη Γ) οι οποίες αντιστοιχούν σε αποκλεισμό, φάσμα ανθρώπινου ματιού των 5 km και λοιπές περιοχές. Καταλήγοντας, προέκυψε το γινόμενο των δύο ψηφιδωτών μέσω του εργαλείου raster calculator.

Ακολούθησε μια ακόμη Ιεραρχική Ανάλυση για την απόδοση συντελεστών βαρύτητας στα επιμέρους κριτήρια που θεσπίζουν την οπτική όχληση τα οποία είναι τα κηρυγμένα από την UNESCO μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς και οι παραδοσιακοί οικισμοί και χωριά των παράκτιων περιοχών του Αιγαίου. Οι δυναμικοί και λοιποί οικισμοί από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία δεν λήφθηκαν υπόψη στην διαδικασία της οπτικής όχλησης λόγω υπερμεγέθους όγκου ψηφιακής πληροφορίας και αδυναμίας επεξεργασίας από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ωστόσο συμμετέχουν ως κοινωνικά κριτήρια καλύπτοντας τις ανάγκες της μελέτης. Η οπτική όχληση εξετάστηκε υπό το πρίσμα του τουρισμού.

Πίνακας 5.8: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος κριτηρίων οπτικής όχλησης

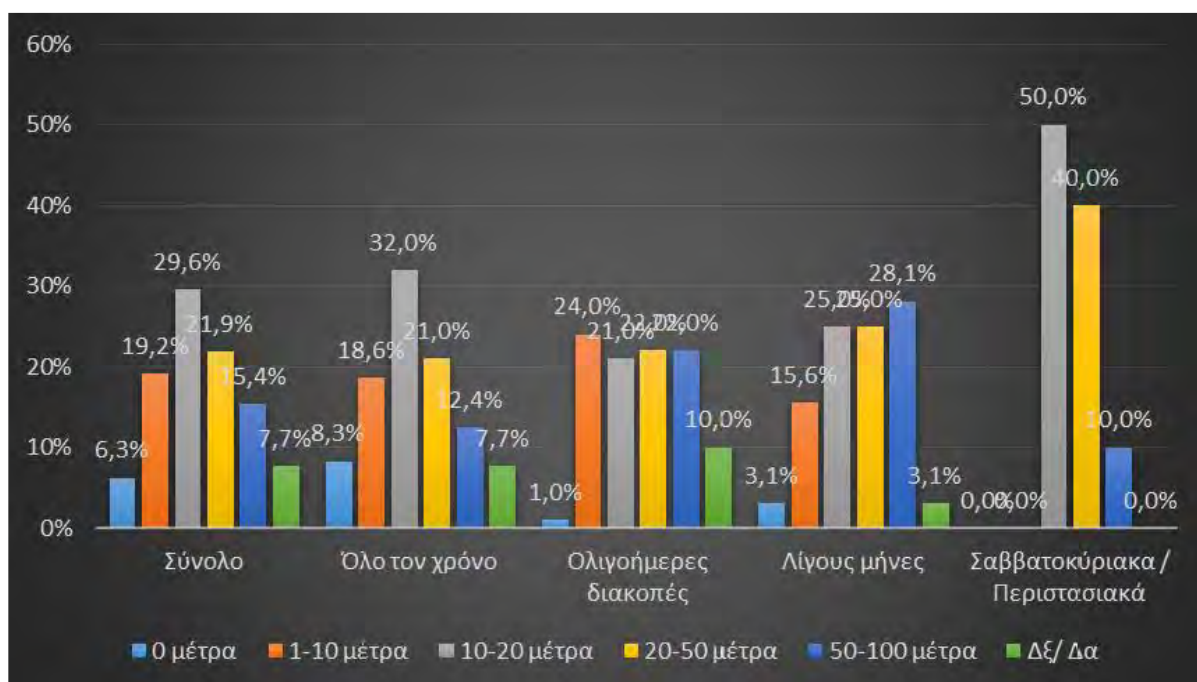
Κριτήρια Οπτικής Όχλησης	Μνημεία UNESCO	
	Μνημεία UNESCO	Παραδοσιακοί Οικισμοί
Μνημεία UNESCO	1	1
Παραδοσιακοί Οικισμοί	1	1
Συντελεστές Βαρύτητας AHP	0,5	0,5

Συμμετείχαν δύο επιμέρους υποκριτήρια, τα παγκόσμια μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς σύμφωνα με την UNESCO και οι παραδοσιακοί οικισμοί. Για τον λόγο αυτό βαθμολογήθηκαν ως εξίσου σημαντικά.

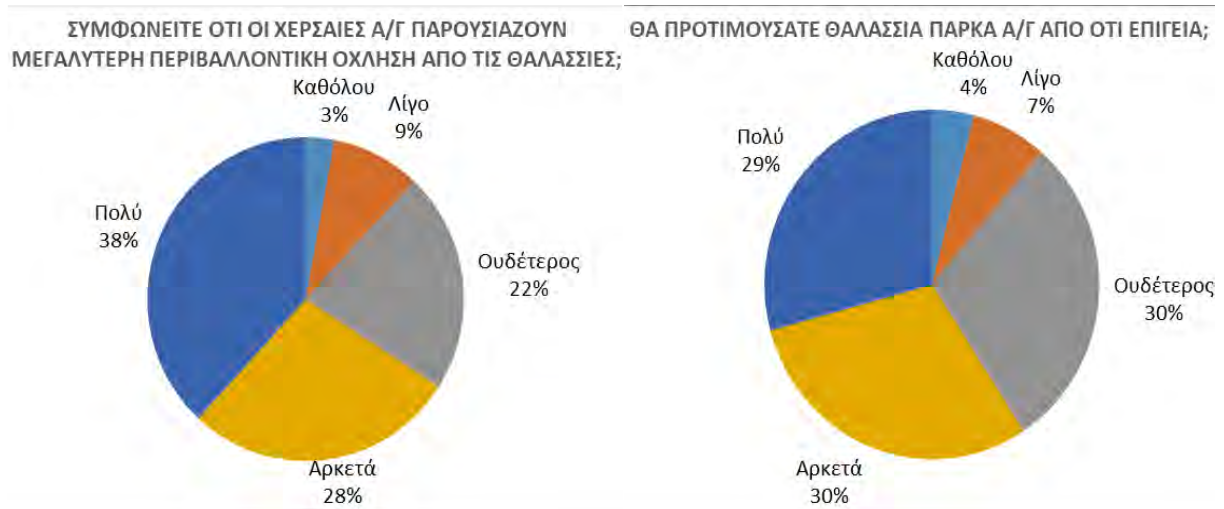


Εικόνα 5.19: Γεωπληροφοριακός χάρτης ΑΗΡ Οπτικής Όχλησης

Ακολουθούν ορισμένα αποτελέσματα από ερωτηματολόγια που τέθηκαν στο ευρύ κοινό (μόνιμους και μη κατοίκους) δύο χαρακτηριστικών νησιών του Αιγαίου, της Πάρου και της Σύρου ως πρωτεύουσα του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων. Η πληροφορία που εξάγεται λειτουργεί ως αρωγός στην προσπάθεια σφυγμομέτρησης της κοινής γνώμης σχετικά με το ζήτημα της τοποθέτησης ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου στο Αιγαίο θέτοντας στο επίκεντρο το ανθρωπιστικό – κοινωνικό κομμάτι της έρευνας. Παράλληλα καλύπτουν την έλλειψη περαιτέρω ανάλυσης οπτικής όχλησης για κάθε οικισμό ξεχωριστά στις παράκτιες περιοχές.



Εικόνα 5.20: Αποτελέσματα ερωτηματολογίου σχετικά με την δεκτικότητα των κατοίκων για εγκατάσταση ΘΑΠ στο νησί της Πάρου (Γαβαλάς, 2015)



Εικόνα 5.21: Αποτελέσματα ερωτηματολογίου για την περιοχή των Κυκλάδων-Σύρος (Χριστοφόρου, 2023)

Από τα δύο τελευταία διαγράμματα παρατηρείται ότι η πλειονότητα των κατοίκων της Σύρου (66%) συμφωνεί ότι η περιβαλλοντική οπτική όχληση των υπεράκτιων Α/Γ δεν αποτελεί πρόβλημα για τους ίδιους μιας και οι αντίστοιχες χερσαίες εγκαταστάσεις επηρεάζουν πολύ περισσότερο. Παράλληλα το 59% δήλωσε πως θα είχε θετική άποψη στο εγχείρημα της εγκατάστασης ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου το οποίο δύναται να συνεισφέρει αποφασιστικά στην ενεργειακή αυτονομία και στη μείωση του κόστους για ηλεκτρισμό.

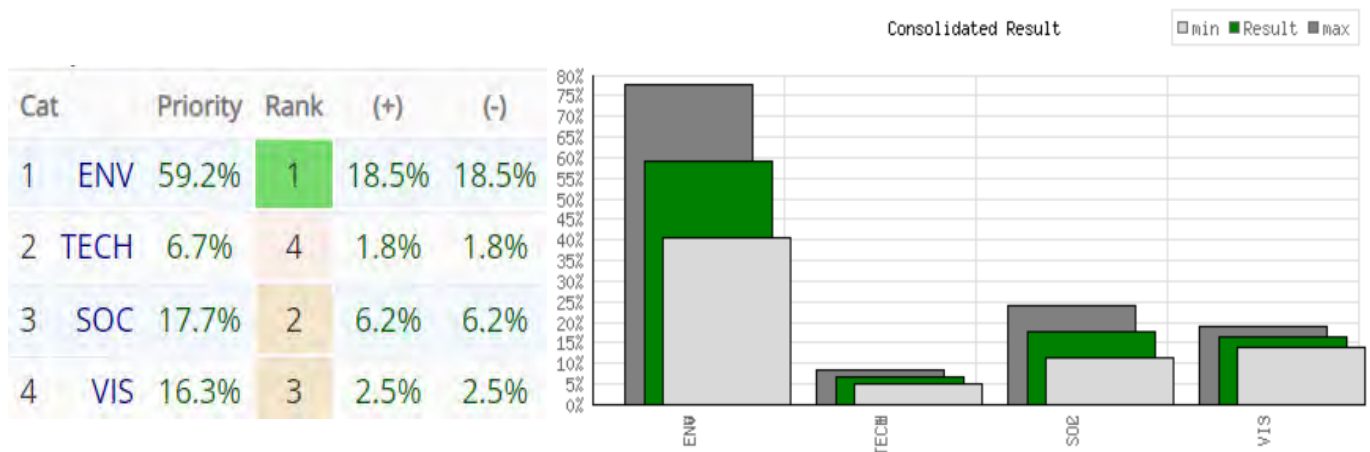
5.5.5 Τελική Ιεραρχική Ανάλυση – Περιοχές προς Χωροθέτηση

Στο σημείο αυτό συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα όλων των προηγούμενων αναλύσεων και κατατάχθηκαν σε έναν ενιαίο πίνακα αποδίδοντας συντελεστές βαρύτητας στους 3 πυλώνες κριτηρίων αλλά και στα κριτήρια οπτικής όχλησης, οδηγώντας στην εξαγωγή των τελικών χαρτών σκορ με τα κατάλληλα σημεία χωροθέτησης πλωτών ΘΑΠ στο Αιγαίο.

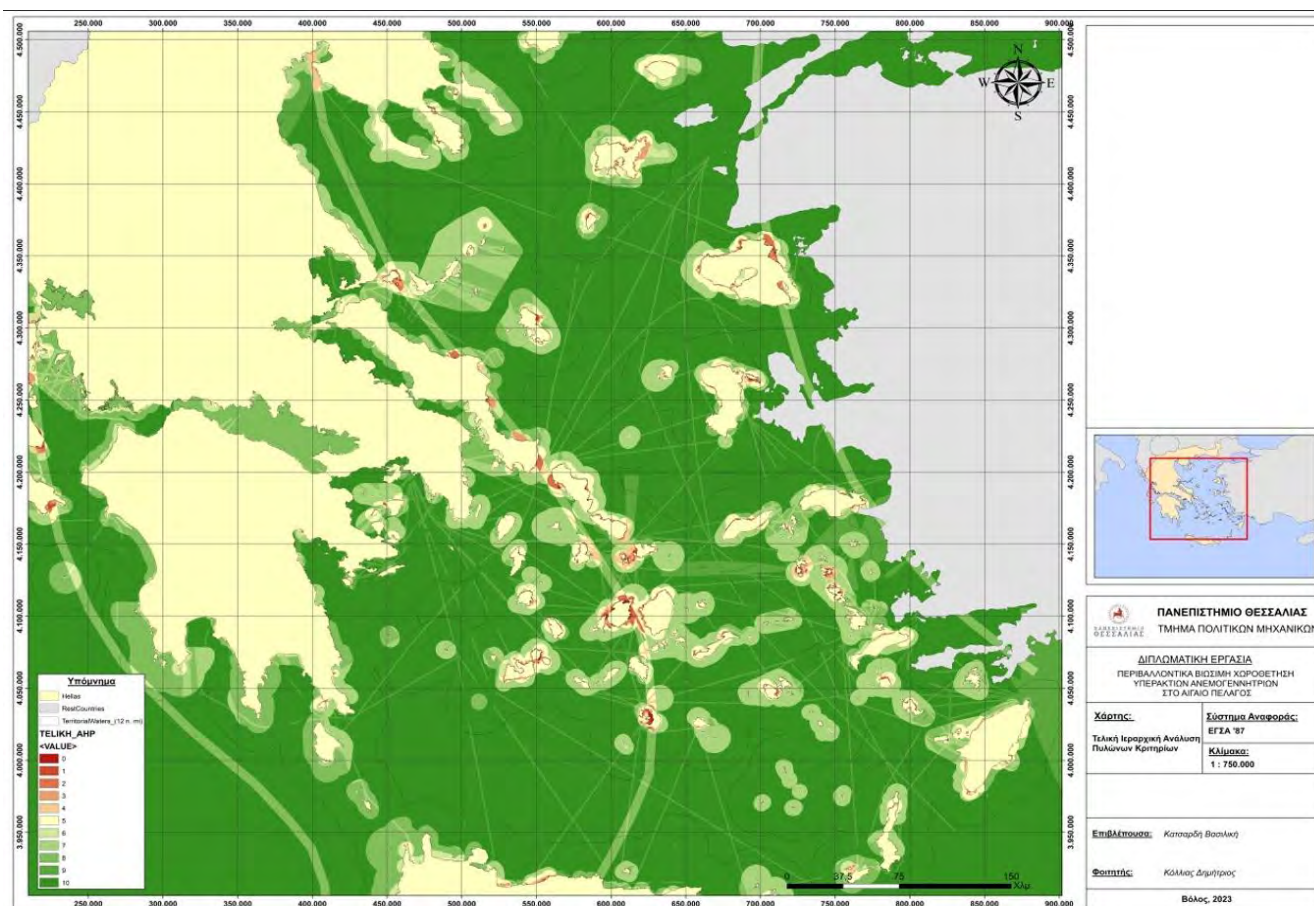
Πίνακας 5.9: Τελική Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος

ΑΗΡ ΤΕΛΙΚΗ				
	Περιβαλλοντικά Κριτήρια	Τεχνικά Κριτήρια	Κοινωνικά-Πολιτισμικά Κριτήρια	Κριτήρια Οπτικής Όλησης
Περιβαλλοντικά Κριτήρια	1	7	5	3
Τεχνικά Κριτήρια	0,142857	1	0,25	0,5
Κοινωνικά-Πολιτισμικά Κριτήρια	0,2	4	1	1
Κριτήρια Οπτικής Όλησης	0,333333	2	1	1
Συντελεστές Βαρύτητας ΑΗΡ	0,592268	0,067495	0,176919	0,163318

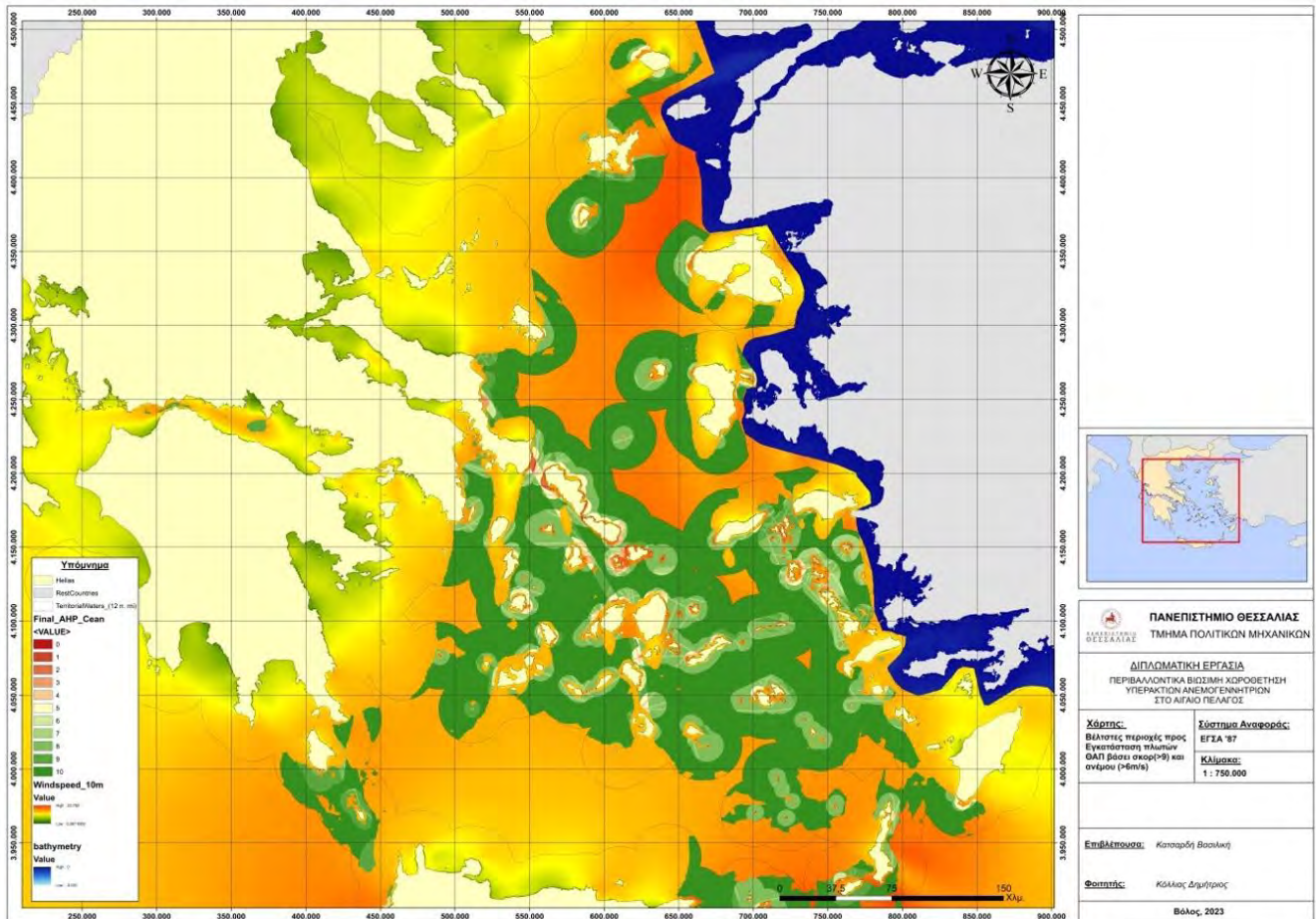
CR = 4.3%

**Εικόνα 5.22:** Ποσοστιαία κατανομή πυλώνων κριτηρίων

Όπως αναμενόταν στο εγχείρημα ενός περιβαλλοντικά βιώσιμου μοντέλου χωροθέτησης ΘΑΠ η κατηγορία των περιβαλλοντικών κριτηρίων βρίσκεται στην κορυφή με 18,5 % αναλαμβάνοντας την μεγαλύτερη βαρύτητα στη σύνθεση του τελικού αποτελέσματος και την παραγωγή των χαρτών. Ακολουθούν τα κοινωνικά και πολιτισμικά κριτήρια (6,2%) μιας και η ανθρώπινη παρέμβαση είναι αναπόσπαστο τμήμα σε τέτοιου είδους έργα και θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τον μελετητή. Στη συνέχεια κατατάσσονται τα κριτήρια οπτικής όχλησης σε άμεση συνάρτηση με τον ανθρώπινο παράγοντα και την αισθητική (2,5%). Τέλος τα τεχνικά κριτήρια με ποσοστό 1,8% βρίσκονται στη βάση του πίνακα ανάληψης βαρύτητας. Ένα συμπέρασμα απολύτως λογικό μιας και οι τεχνικοί παράγοντες (λιμένες, ακτοπολιτικά δρομολόγια, υποθαλάσσια καλώδια και ναυπηγία) χρίζουν μεγαλύτερης ελαστικότητας από τον περιβαλλοντικό και ανθρώπινο παράγοντα.



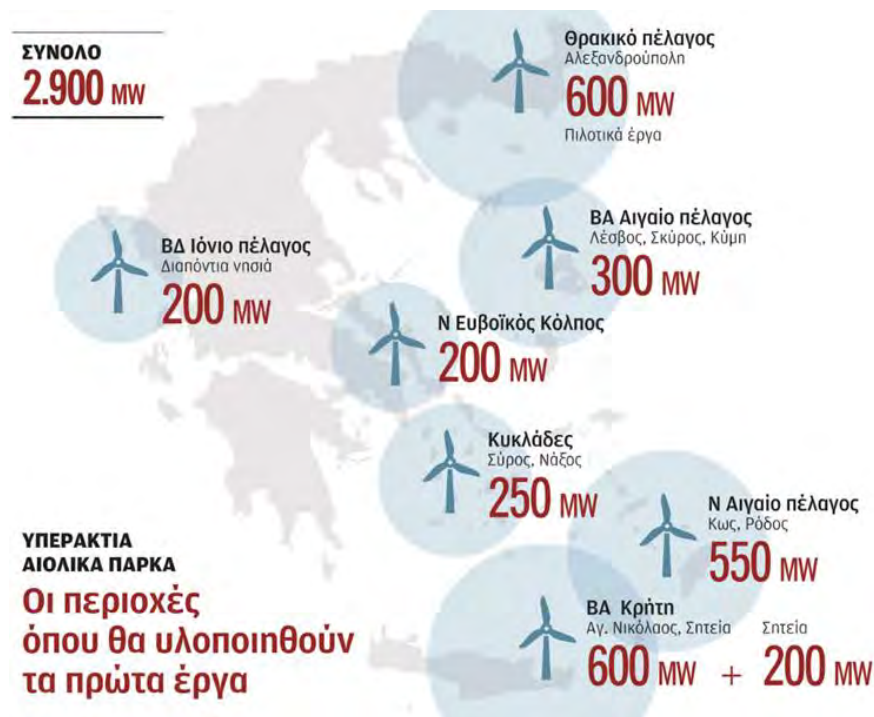
Εικόνα 5.23: Γεωπληροφοριακός χάρτης τελικής ΑHP πυλώνων κριτηρίων



Εικόνα 5.24: Γεωπληροφοριακός χάρτης των τελικών βέλτιστων περιοχών προς χωροθέτηση πλωτών ΘΑΠ στο Αιγαίο

Στο σημείο αυτό παρατηρείται ότι έπειτα από εξονυχιστική σάρωση της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου συμπεριλαμβάνοντας πληθώρα περιβαλλοντικών, τεχνικών, κοινωνικών και οπτικών παραγόντων, προκύπτουν οι βέλτιστες περιοχές προς χωροθέτηση πλωτών ΘΑΠ. Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει έπειτα από τον αποκλεισμό των περιοχών της τελικής Ιεραρχικής Ανάλυσης με χαμηλό αιολικό δυναμικό (κάτω από 6 m/s) αλλά και των περιοχών με βάθος μικρότερο των 60 m το οποίο απαιτείται για την εγκατάσταση πλωτών αιολικών πάρκων. Εξάγεται ένα μεγάλο εύρος περιοχών οι οποίες καταλαμβάνουν αξιοσημείωτες εκτάσεις. Όπως υποδεικνύεται και από τον χάρτη οι πλέον κατάλληλες περιοχές για ένα τέτοιο εγχείρημα με τα υψηλότερα «σκορ» (άνω του 9) αφορούν το Νησιωτικό Σύμπλεγμα των Κυκλάδων και ένα σημαντικό τμήμα των Δωδεκανήσων με κυρίαρχα νησιά την Ρόδο και την Κω στο Νότιο Αιγαίο. Για την περιοχή του Βορείου Αιγαίου οι βέλτιστες περιοχές παρατηρήθηκαν στα νότια της Λήμνου και περιφερειακά του νησιού Άγιος Ευστράτιος. Εξίσου καλή περιοχή αποτέλεσε και το νότιο-νοτιοδυτικό τμήμα της Σαμοθράκης. Στα δυτικά της Λέσβου και της Χίου (Ψαρά)

η βαθμολογία ήταν επίσης η μέγιστη δυνατή. Ακόμη, υψηλή βαθμολογία παρατηρήθηκε τόσο στην Βορειοανατολική Κρήτη (Ν. Ηρακλείου και Ν. Λασιθίου) στην περιοχή του Αγίου Νικολάου αλλά και νότια των Κυθήρων και περιμετρικά των Αντικυθήρων. Μέγιστες βαθμολογίες παρατηρήθηκαν επίσης στον Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο χωρίς ωστόσο να ανήκει στο Αιγαίο. Οι υπεράκτιες αυτές περιοχές προς χωροθέτηση προέκυψαν με γνώμονα πρωτίστως τον ανθρώπινο και περιβαλλοντικό παράγοντα ενώ παράλληλα πληρούν όλες τις προδιαγραφές σχεδιασμού από την ισχύουσα νομοθεσία. Καταλήγοντας, και έπειτα από σύγκριση με τις μελλοντικές υποψήφιες περιοχές τοποθέτησης ΘΑΠ που ανακοινώθηκαν από το Εθνικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων (ΕΠΑΥΑΠ) υπογραμμίζεται ότι το μοντέλο χωροθέτησης παρέχει ακριβή αποτελέσματα βέλτιστων τοποθεσιών, συμπληρώνοντας με επιπρόσθετες εναλλακτικές προτάσεις.



Εικόνα 5.25: Προτάσεις για χωροθέτηση ΘΑΠ από το ΕΠΑΥΑΠ (Η Καθημερινή, 2023)

5.6 Χωροθέτηση ΘΑΠ Σταθερής Έδρασης

Όπως έχει αναφερθεί ξανά στη συγκεκριμένη μελέτη τα βαθιά νερά του Αιγαίου σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό σε μεγάλα βάθη και μακριά από τις ακτές αποτελούν μια ιδανική περίπτωση αξιοποίησης των τεχνολογιών πλωτών εγκαταστάσεων. Οι τελευταίες ωστόσο αρκετά συχνά αντιμετωπίζονται ως έσχατη λύση λόγω του υψηλού αρχικού κόστους

τοποθέτησης σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν αποτελούν μια ώριμη πρακτική, τουλάχιστον σε εγγώριο επίπεδο.

Ωστόσο, πολλές μελέτες έχουν λάβει χώρα τα τελευταία χρόνια σε ότι αφορά την τοποθέτηση των πρώτων υπεράκτιων αιολικών πάρκων σταθερής έδρασης σε ρηχά νερά. Η ενασχόληση με τις θεμελιωμένες εγκαταστάσεις αιτιολογείται από τους μειωμένους πόρους και την αμφισβητούμενη οικονομική κατάσταση της χώρας ειδικότερα σε ό,τι αφορά τις νέες τεχνολογίες. Το Εθνικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων (ΕΠΑΥΑΠ) προχώρησε στην πρόκριση 12 περιοχών ως δυνητικές για αξιοποίηση από τις οποίες οι 6 θα δεχτούν έργα ανάπτυξης σε πρώτη φάση με ορίζοντα το 2030. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή της Αλεξανδρούπολης η οποία σύντομα θα φιλοξενήσει πιλοτικά έργα ισχύος 600 MW.

Ο τομέας της ανθρώπινης αντίδρασης ωστόσο σε ό,τι αφορά θέματα οπτικής όχλησης και αισθητικής είναι αδιαμφισβήτητος και εντείνεται ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές όπου οι Α/Γ γίνονται εμφανείς. Τα σημεία αυτά σχετίζονται με τις δομές σταθερής έδρασης των οποίων η θεμελίωση στα ρηχά απαιτεί την κοντινότερη απόσταση στη στεριά.

Στη παρούσα μελέτη ο τομέας της χωροθέτησης ΘΑΠ με δομές σταθερής έδρασης μελετήθηκε υπο το περιβαλλοντικό πρίσμα με σκοπό τον εντοπισμό των ιδανικών περιοχών με μικρότερα βάθη (<60m) και επαρκές αιολικό δυναμικό. Παρακάτω υποδεικνύονται αυτές οι περιοχές στοχεύοντας στην ανάλυση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου που θα δημιουργήσουν στα θαλάσσια θηλαστικά αλλά και τα παρθένα οικοσυστήματα Ποσειδωνίας αφενός με τις υψηλές συχνότητες θορύβου και αφετέρου με την διαδικασία της θεμελίωσης αυτούσια και προτείνοντας τις μέγιστες δυνατές αποστάσεις ασφαλείας. Οι παραγόμενοι Γεωπληροφοριακοί χάρτες για τις κατάλληλες περιοχές τοποθέτησης δομών σταθερής έδρασης υποδεικνύονται στην **Εικόνα 5.14** όπου γίνεται λόγος για τις συνέπειες των επιπέδων θορύβου στα θαλάσσια θηλαστικά του Αιγαίου.

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και προτάσεις για το μέλλον

Η ενέργεια, ως φυσική ποσότητα αποτελεί αναμφίβολα αναπόσπαστο τμήμα της ομαλής λειτουργίας και ευημερίας του σύγχρονου κόσμου. Θεμελιώδεις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η οικονομία και η βιομηχανία καθίστανται άρρηκτα συνδεδεμένες με την έννοια της ενέργειας. Ωστόσο, η διηνεκής αυξητική πορεία της ζήτησης και κατανάλωσης των συμβατικών μορφών ενέργειας αποτέλεσε το θεμέλιο λίθο για τη γένεση του Ενεργειακού Προβλήματος, ενός παγκόσμιου φαινομένου που εκπορεύεται από τον κορεσμό του λιγνίτη. Αδιαμφισβήτητα, η ορθή αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων αποτελεί το φλέγον θέμα του σήμερα μιας και η σταδιακή ενεργειακή ανεξάρτηση των ανεπτυγμένων κοινωνιών είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του μοντέρνου κόσμου. Η απαίτηση λοιπόν για αειφόρο και βιώσιμη ανάπτυξη φαντάζει επιτακτική και μπορεί να επιτευχθεί με τη στροφή σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), με κυριότερη την αιολική.

Σε εθνικό επίπεδο, ο μοναδικός τρόπος αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας μέχρι σήμερα προέρχεται από τα λειτουργικά χερσαία αιολικά πάρκα τα οποία όσο αυξάνονται σε αριθμό τόσο εγείρονται οι κοινωνικές αντιδράσεις υπό το πρίσμα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, της οπτικής και ακουστικής όχλησης αλλά και της αισθητικής. Όσον αφορά στον υπεράκτιο χώρο της ελληνικής επικράτειας αρκετές μελέτες για χωροθέτηση κυρίως θεμελιωμένων εγκαταστάσεων έχουν εκπονηθεί δίχως καμία εφαρμογή κυρίως λόγω έλλειψης επενδυτικών κεφαλαίων.

Η ευρύτερη υπεράκτια περιοχή της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα πλούσιο αιολικό δυναμικό το οποίο σε αρκετές περιοχές του Αιγαίου φτάνει ή και ξεπερνά τα 10m/s το οποίο δυστυχώς μέχρι και σήμερα παραμένει ανεκμετάλλευτο. Μάλιστα οι άνεμοι χαρακτηρίζονται ως σταθερότεροι, ισχυρότεροι και μεγαλύτερης διάρκειας στα ανοιχτά της θάλασσας ικανοί να παράγει πολλαπλάσια MW ισχύος. Παράλληλα υπάρχει ευχέρεια για καλύτερη αξιοποίηση των χρήσεων γης μεταφέροντας τις απαραίτητες εγκαταστάσεις στη θάλασσα. Ενθαρρυντική για το

μέλλον είναι ωστόσο η ευρωπαϊκή προσέγγιση του θέματος εκδηλώνοντας ενδιαφέρον για τα υπεράκτια έργα, παρέχοντας κονδύλια για την ανάπτυξη ΘΑΠ και εγκρίνοντας σχετικά έργα σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάπτυξης αποτελεί η πρωτοπόρος στον τομέα, Δανία.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με στόχο τη συνεισφορά στη παγκόσμια βιβλιογραφία μιας ολοκληρωμένης μεθόδου περιβαλλοντικά βιώσιμης και αειφόρου χωροθέτησης υπεράκτιων αιολικών πάρκων που αφορά όλο το Αιγαίο Πέλαγος σε μακροσκοπικό επίπεδο. Η προσέγγιση αυτή αποσκοπεί στην ολιστική αντιμετώπιση του προβλήματος αποφεύγοντας τον χωρικό περιορισμό που δημιουργείται από την επιλογή μελέτης περίπτωσης παρέχοντας πρωτότυπο περιεχόμενο προς αξιοποίηση. Παράγονται ακριβή αποτελέσματα σχετικά με τις βέλτιστες περιοχές προς χωροθέτηση αφού στη συντριπτική τους πλειοψηφία ταυτίζονται με τις μελλοντικές υποψήφιες περιοχές που ανακοίνωσε το Εθνικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων (ΕΠΑΥΑΠ). Οι δομές στήριξης στις οποίες στράφηκε το ενδιαφέρον ήταν οι πλωτές αξιοποιώντας αφενός τα βαθιά νερά του Αιγαίου, μεγιστοποιώντας την αποδιδόμενη ισχύ Α/Γ με αιολικό δυναμικό σαφώς ισχυρότερο σε μεγάλα βάθη και προτείνοντας περιβαλλοντικά βιώσιμες λύσεις με τον περιορισμό των δομών σταθερής έδρασης. Σχετικά με τις θεμελιωμένες εγκαταστάσεις, εξάγονται οι χάρτες καταλληλότητας για την περιοχή του Αιγαίου, ωστόσο δεν αναλύονται σε βάθος αφού συνοδεύονται με πληθώρα περιβαλλοντικών διαταραχών. Παράλληλα γίνεται η σχετική αναφορά στην πιλοτική εφαρμογή των μελλοντικών ΘΑΠ σταθερής έδρασης στην Αλεξανδρούπολη στο προσεχές μέλλον.

Το μοντέλο που δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας το δυναμικό προφίλ των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων Πληροφοριών (ArcGIS), δομήθηκε με γνώμονα την προστασία της σπάνιας Ορνιθοπανίδας και χλωρίδας που διαθέτει η Ελλάδα αλλά και τον κοινωνικό – πολιτισμικό παράγοντα. Ακολούθησαν, στην ανάληψη βαρών των διαδοχικών Ιεραρχικών Αναλύσεων ο παράγοντας της οπτικής όχλησης και τέλος τα διάφορα τεχνικά κριτήρια ως περισσότερο ελαστικά σε αλλαγές. Η ιεράρχηση των αρχικών δεδομένων και των κριτηρίων προέκυψε μέσω σύγκρισης αντίστοιχων προσεγγίσεων από τη διεθνή βιβλιογραφία. Βασικό θετικό γνώρισμα της διαδικασίας μοντελοποίησης του προβλήματος είναι η εύκολη πρόσβαση για πιθανές αλλαγές μελλοντικά από τον μελετητή σε οποιοδήποτε στάδιο της ανάλυσης με την αυτόματη τροποποίηση του τελικού αποτελέσματος βάσει των σύγχρονων

απαιτήσεων κάθε εποχής. Το μοντέλο μπορεί πάντοτε να χρίζει βελτίωσης με την προσθήκη περισσότερων παραγόντων που θα διαμορφώνουν την έκβαση της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης όπως για παράδειγμα η συμμετοχή διαφορετικών τεχνικών κριτηρίων (στρατιωτικά πεδία βολής, αερολιμένες), η μεγαλύτερη ευαισθησία όσον αφορά στους πυλώνες οπτικής όχλησης και η προσθήκη τεχνοοικονομικής ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη τους απαραίτητους οικονομικούς δείκτες.

Ως μια μελέτη με επίκεντρο τον περιβαλλοντικό παράγοντα εισήγαγε με λεπτομερή τρόπο τις ευαίσθητες περιοχές της βιοποικιλότητας αντιμετωπίζοντας ιδιαιτέρως τα σπάνια ήδη των μεταναστευτικών πτηνών του Αιγαίου. Αυτό επιτυγχάνεται ορίζοντας μεγάλο εύρος ασφαλούς ζώνης και προτείνοντας την τοποθέτηση τεχνολογικών συστημάτων (Bird Monitoring System) που εκπέμπουν αποτρεπτικές συχνότητες κάνοντας ανέφικτη την πρόσκρουση των πουλιών στα περύγια των Α/Γ. Παράλληλα τα προστατευόμενα λιβάδια Ποσειδωνίας αντιμετωπίζονται με λεπτούς χειρισμούς αφού η εγκατάσταση θεμελίων μονού πυλώνα επί αυτών καθίσταται απαγορευτική. Ωστόσο σε κοντινές αποστάσεις (150m), οι αγκυρώσεις δύνανται να λειτουργήσουν ευεργετικά για το οικοσύστημα δημιουργώντας τεχνητούς υφάλους και αυξάνοντας τη συγκέντρωση Ποσειδωνίας. Οι περιοχές Natura 2000 και η υδροβιότοποι προστατεύονται ιδιαιτέρως βάσει ευρωπαϊκών οδηγιών, συνεπώς ορίστηκε η ασφαλής ζώνη των 5 km ως περιοχή αποκλεισμού. Η προστασία των ακτών με γαλάζια σημαία ενσωματώνεται επίσης στο μοντέλο. Τέλος γίνεται η προσπάθεια για αποφυγή των ακουστικών διαταραχών στα θαλάσσια θηλαστικά κατά τη διάρκεια της θεμελίωσης κάτι το οποίο σχετίζεται ωστόσο σχεδόν αποκλειστικά με τις δομές σταθερής έδρασης.

Καταλήγοντας, προκύπτει το αβίαστο συμπέρασμα ότι οι σύγχρονες απαιτήσεις για ενέργεια καθιστούν μονόδρομο την αξιοποίηση των ΑΠΕ ως μια βιώσιμη χρυσή τομή. Η μείωση του κόστους για ηλεκτρισμό αλλά και η ενεργειακή αυτονομία των νησιών του Αιγαίου με την τοποθέτηση ΘΑΠ είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τον επαναπροσδιορισμό της επικρατούσας αντίληψης για την ενέργεια. Βασική προϋπόθεση ωστόσο σε αυτό το εγχείρημα αποτελεί η διαρκής εξέλιξη των σχετικών νομοθετικών πλαισίων ώστε να προωθούνται νέα έργα για περαιτέρω αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας όπως το παρόν, να εκλείπουν γραφειοκρατικά φαινόμενα και να τίθενται συνεχώς καινούριοι στόχοι προς επίτευξη.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

Γαβαλάς Μ. (2015), Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παράκτιου Χώρου: Η περίπτωση της Πάρου, Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακών Σπουδών, ΠΘ, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Βόλος

Γαβαλάς Μ. (2023), Μοντέλο Χωροθέτησης Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων στο Νησιωτικό Σύμπλεγμα Κυκλάδων, Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακών Σπουδών, ΠΘ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος

Γεωργαντέας, Ν. (2011), Σχεδιασμός, Περιβαλλοντική και Οικονομική Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος Αιολικής, Ηλιακής Ενέργειας και Diesel για την Ενεργειακή Αυτονομία των Νησιών. Η Περίπτωση της Αστυπάλαιας, Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακών Σπουδών, ΕΜΠ, Αθήνα

Γκαραγκούνη Μ. (2013), Θαλάσσια Θηλαστικά: Η Κατανομή τους και οι Αλληλεπιδράσεις τους με την Αλιεία στις Ελληνικές Θάλασσες, Διπλωματική Εργασία, ΑΠΘ, Τμήμα Βιολογίας, Θεσσαλονίκη

Γράψας, Θ. (2015), Υπεράκτιες Πλωτές Ανεμογεννήτριες. Ανάλυση Αγκυρωμένης Κατασκευής με Κατακόρυφους Προεντεταμένους Κλάδους (TLP), Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακών Σπουδών, ΕΜΠ, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα

Ιντζελέρ Μ. (2023), Συγκριτική Τεχνοοικονομική Μελέτη Μεταξύ Πλωτών και Σταθερών Ανεμογεννητριών σε Υπεράκτια Φάρμα στη Λήμνο, Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακών Σπουδών, ΠΘ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος

Τραγούδα, Σ. (2019), Η Αιολική ενέργεια και οι προοπτικές της στην Ελλάδα. Συγκριτική μελέτη με Δανία και Ισπανία, Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Οικονομικών, Θεσσαλονίκη

Τσιπουράς Λ. (2021), Τεχνο-οικονομική Ανάλυση της Γαλάζιας Ενέργειας στο Αιγαίο Πέλαγος: Αιολική και Υβριδική Ενέργεια, Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακών Σπουδών, ΠΘ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος

Χριστοφόρου Μ. (2023), Βιώσιμη Χωροθέτηση Πλωτού Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου Συνδεδεμένο με τον Υποσταθμό YT MT της Σύρου, Διπλωματική Εργασία Προπτυχιακών Σπουδών, ΠΘ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Βόλος

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Al-Shabeeb, A, Al-Adamat, R, Mashagbah, A (2016) AHP with GIS for a Preliminary Site Selection of Wind Turbines in the North West of Jordan, International Journal of Geosciences, 7.10: 1208–1221.

Christoforaki, M. and Tsoutsos, T. (2017), Sustainable sitting of an offshore wind park a case in Chania, Grete, Renewable Energy, 109, pp. 624-633.

Esteban, M.D., Diez, J.J., Lopez, J.S. and Negro, V. (2011), Why offshore wind energy?, Renewable Energy, 36, pp. 444-450.

Henderson, A.R., Morgan, C., Smith, B., Sorensen, H.C., Barhelimie, R.J. and Boesmans, B. (2003), Offshore Wind Energy in Europe - A Review of the State-of-the-Art, Wind Energy, 6, pp.35-52.

Kaldellis, J.K. and Kapsali, M. (2013), Shifting towards offshore wind energy-Recent activity and feature development, Energy Policy, 53, pp. 136-148.

Kaldellis, J.K., Tzanes, G.T., Papapostolou, C., Kavadias, K. and Zafirakis, D. (2017), Analyzing the Limitations of Vast Wind Energy Contribution in Remote Island Networks of the Aegean Sea Archipelagos, Energy Procedia, 142, pp. 787-792.

- Kaldellis, J.K., Apostolou, D., Kapsali, M. and Kondili, E. (2016), Environmental and social footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart, *Renewable Energy*, 92, pp. 543-556.
- Kati, V., Kassara, C., Vrontisi, Z. and Moustakas, A. (2021), The biodiversity-wind energy-land use nexus in a global biodiversity hotspot, *Science of the Total Environment*, 768, 144471.
- Latinopoulos, D. and Kechagia, K. (2015), A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. *Renewable Energy*, 78, pp. 550-560.
- Mehmet, K. and Sinem, a. (2021), A model proposal for selecting the installation location of offshore wind energy turbines, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 13: 121-134.
- Melissas, D. and Asprogerakas, E. (2022), Spatial parameters for the development of floating wind farms in Greece, *European Journal of Geography*, 13, 4, pp. 1-17.
- Panayiotis P, Papathanasiou V, Gerakaris V et al. (2022) Seagrass meadows in the Greek Seas: presence, abundance and spatial distribution, *Botanica Marina* 65.4: 289-299.
- Pérez-Collazo, C., Greaves, D., and Inglesias, G. (2015), A review of combined wave and offshore wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, pp.141-153.
- Shavykin, A. and Karnatov, A. (2022), The Issue of Using Ordinal Quantities to Estimate the Vulnerability of Seabirds to Wind Farms, *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 1584.
- Soukissian, T.H., Denaxa, D., Karathanasi, F., Prospathopoulos, A., Sarantakos, K., Iona, A., Georgantas, K. and Mavrakos, S. (2017), Marine Renewable Energy in the Mediterranean Sea: Status and Perspectives, *Energies*, 10, 1512.
- Spyridonidou, S., Vagiona, D.G. and Loukogeorgaki, E. (2020), Strategic Planning of Offshore Wind Farms in Greece, *Sustainability*, 12.

Spyridonidou, S. and Vagiona, D.G. (2020), Spatial energy planning of offshore wind farms in Greece using GIS and a hybrid MCDM methodological approach, *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 5:24.

Stephanides, P., Chalvatzis, K.J., Li, X., Mantzaris, N., Prodromou, M., Papapostolou, C. and Zafirakis, D. (2019). Public perception of sustainable energy innovation: A case study from Tilos, Greece, *Energy Procedia*, 159, pp. 249-254.

Thomsen F., Lüdemann K., Kafemann R. and Piper W. (2006), Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish. Biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd, 62:1-62.

Tsarknias N, Gkeka-Serpetsidaki P, Tsoutsos T (2022), Exploring the sustainable siting of floating wind farms in the Cretan coastline, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 54: 102841.

Vaissière, A.C., Levrel, H., Pioch, S., and Carlier, A. (2014), Biodiversity offsets for offshore wind farm projects: The current situation in Europe, *Marine Policy*, 48, pp. 172-183.

Wang S, Wang S, Liu J (2019) Life-cycle green-house gas emissions of onshore and offshore wind turbines, *Journal of cleaner production*, 210, pp. 804-810.

Διαδικτυακές Πηγές

<https://geodata.gov.gr/>

<https://www.irena.org/>

<https://www.wwf.gr/>

<https://windeurope.org/>

<https://www.copernicus.eu/>

<https://www.hcmr.gr/el/>

<https://slpress.gr/ethnika/i-aigialitida-zoni-sto-aigaio-mia-geografiki-theorisi/>

<https://globalwindatlas.info/en>

<https://gwec.net/>

<https://www.statistics.gr/>

<https://www.blueflag.gr/>

<https://www.howstuffworks.com/>

<https://www.windpowerengineering.com/>

<https://www.kathimerini.gr/economy/562658701/se-exi-perioches-ta-prota-yperaktia-aiolika-parka/>

<https://www.ornithologiki.gr/el/>

<https://astraparis.gr/foreas-gia-29-perioxes-natura-tou-v-aigaiou/>

https://thegreentank.gr/2019/09/26/wind_turbines_siting/

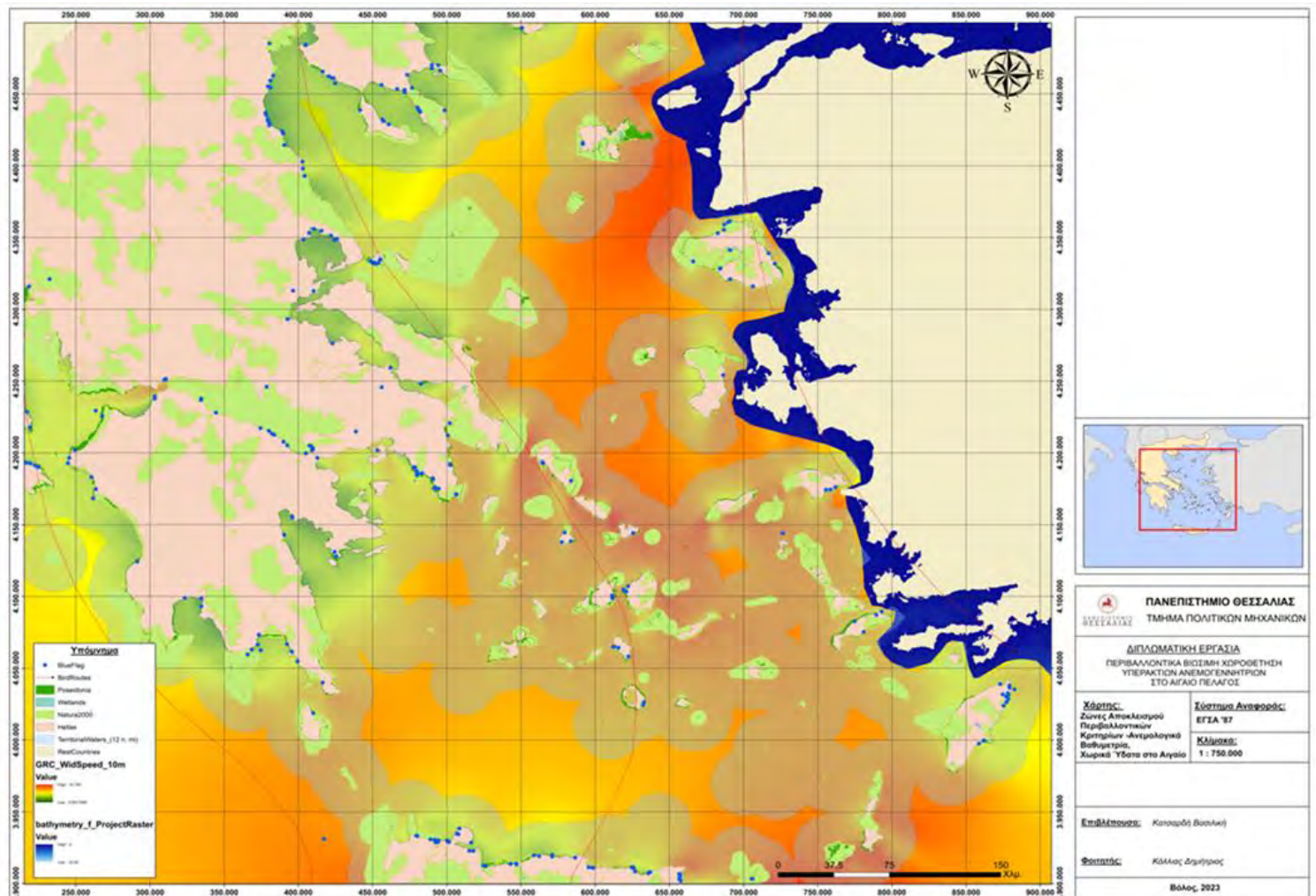
<https://www.callisto.gr/blog/oi-periohes-natura-2000-tis-elladas>

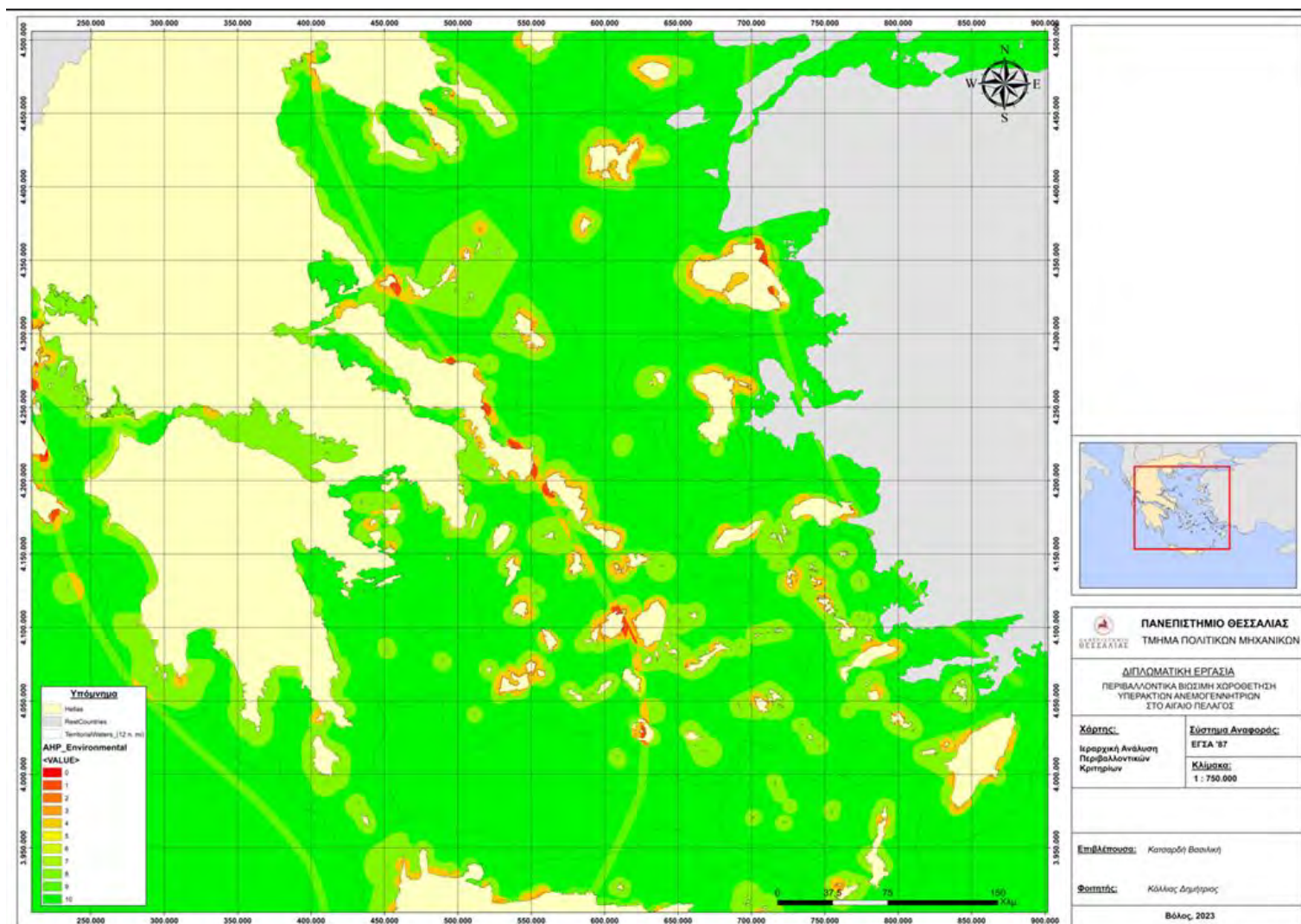
<https://emodnet.ec.europa.eu/en>

<https://www.offshorewind.biz/>

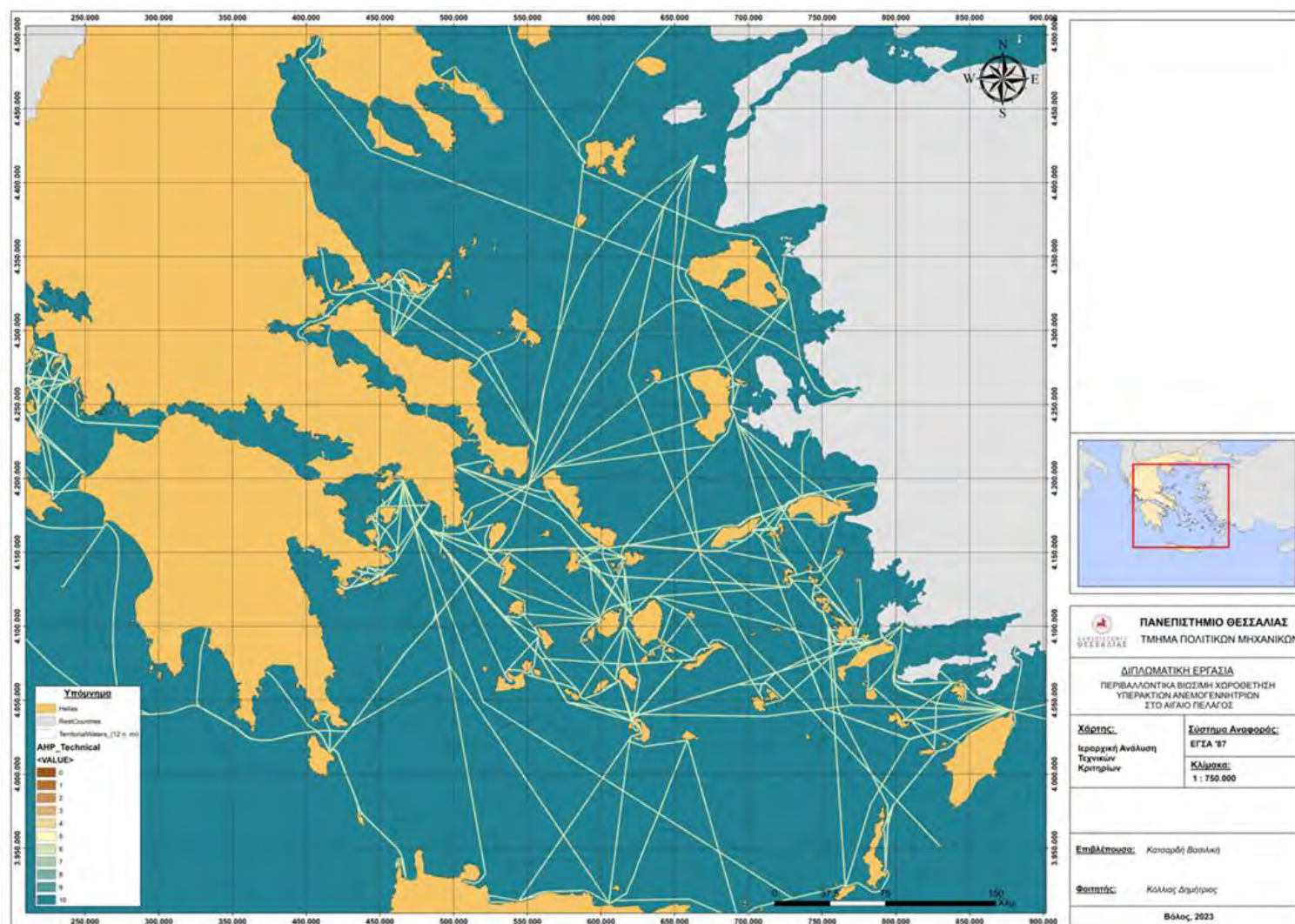
<https://www.marinemammalhabitat.org/imma-eatlas/>

Παράρτημα

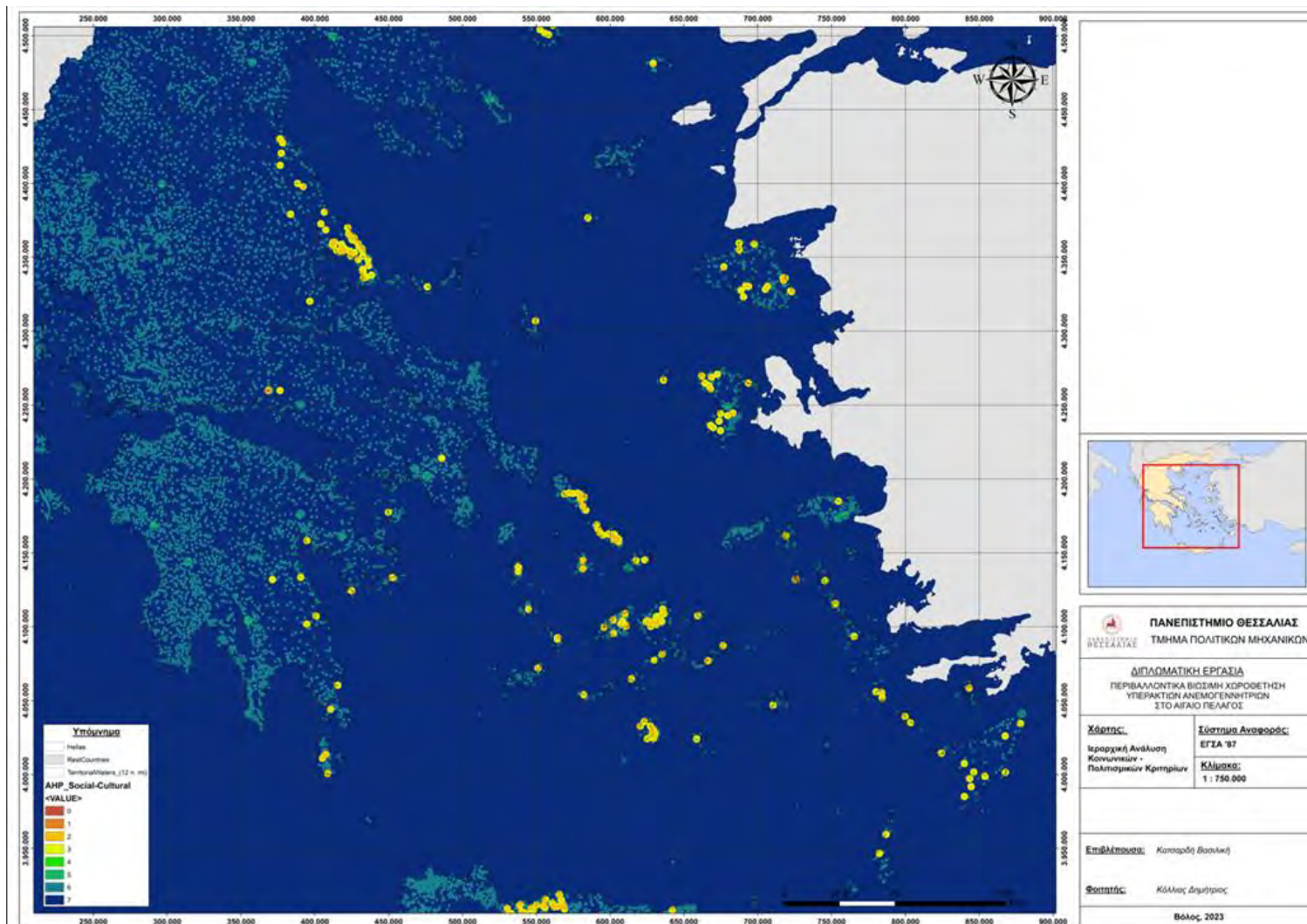


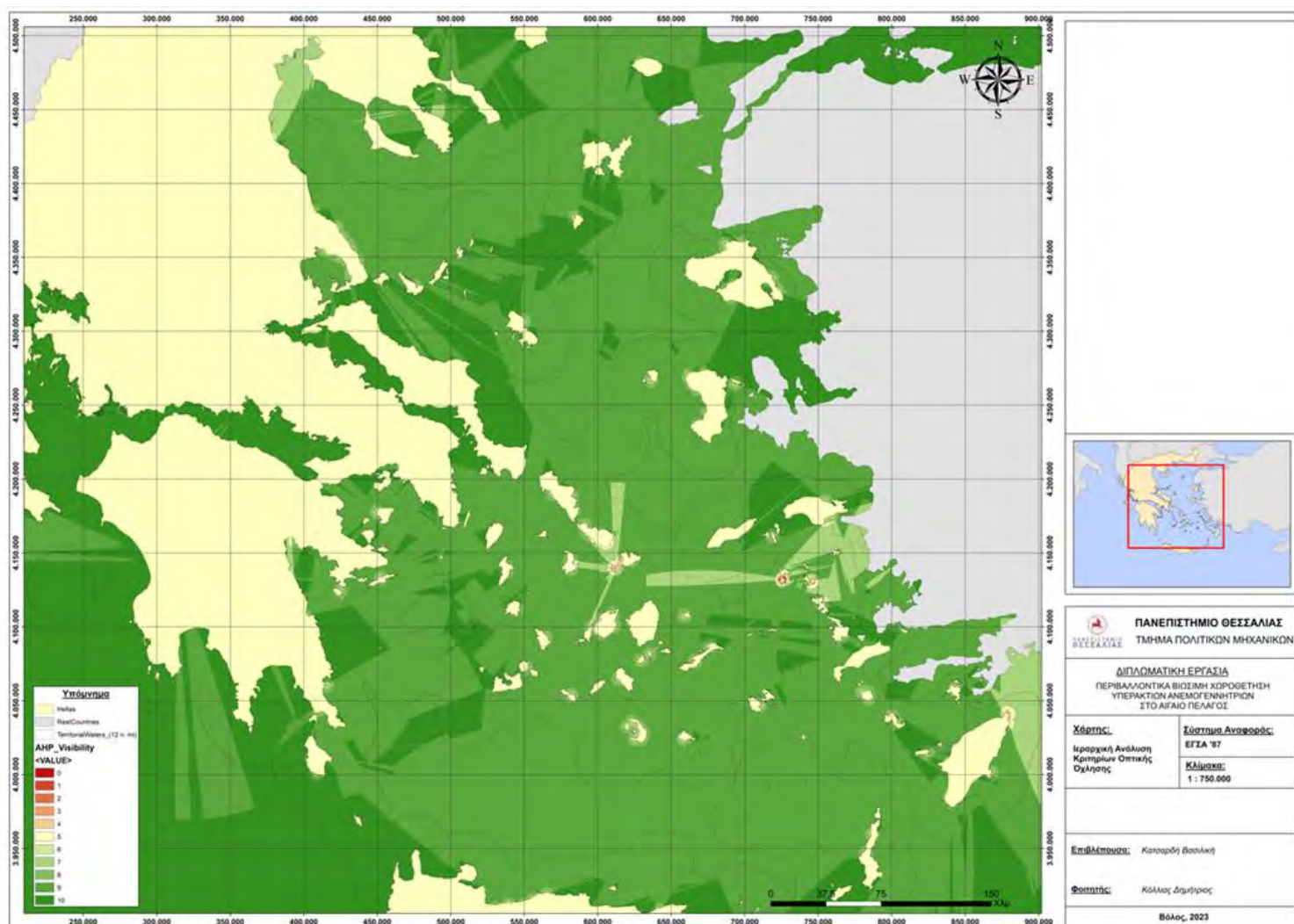


Χάρτης 2: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Περιβαλλοντικών Κριτηρίων

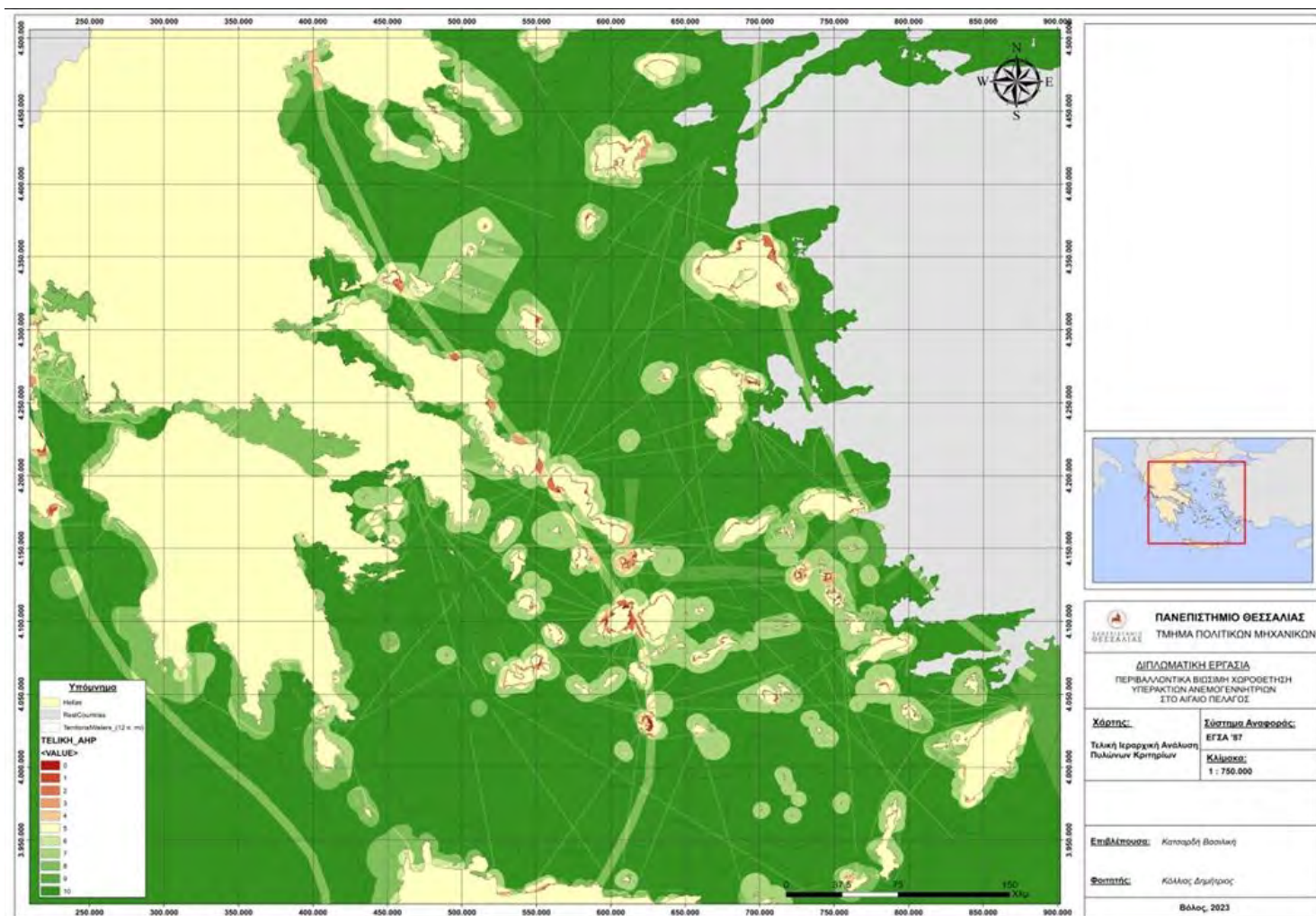


Χάρτης 3: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Τεχνικών Κριτηρίων

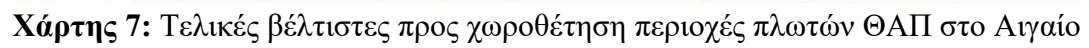


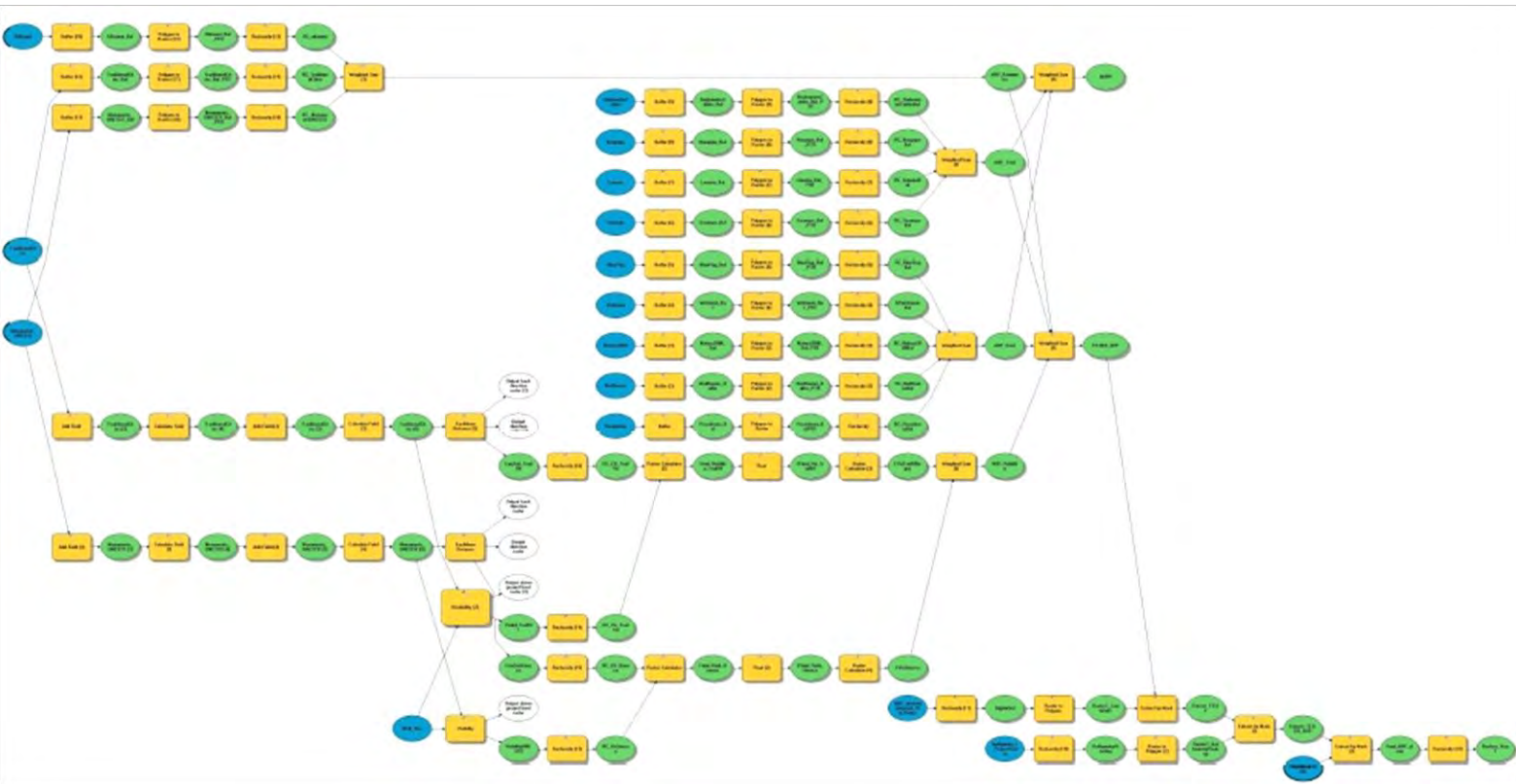


Χάρτης 5: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Κριτηρίων Οπτικής Όχλησης



Χάρτης 6: Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος Πυλώνων Κριτηρίων





Τελικό Μοντέλο Χωροθέτησης πλωτών ΘΑΠ (Model Builder ArcGIS)