



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ

*ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ
ΠΛΩΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ*



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της Σταυρούλας Λάμπου

Τριμελής επιτροπή:

Παναγιώτης Παρτσινέβελος, Καθ. (επιβλέπων, ΜΗΧ.Ο.Π)

Στυλιανός Μερτίκας, Καθ. (ΜΗΧ.Ο.Π)

Ευτύχιος Κουτρούλης, Αναπλ. Καθ. (ΗΜΜΥ)

Χανιά

Ιούλιος, 2022



TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

SCHOOL OF MINERAL RESOURCES ENGINEERING

LABORATORY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

TITLE

*EVALUATION OF AVAILABLE WIND ENERGY POTENTIAL FOR THE
POSITIONING OF FLOATING OFFSHORE WIND FARM USING SATELLITE
DATA*



DIPLOMA THESIS
of Stavroula Lampou

Committee:

Panagiotis Partsinevelos, Prof. (supervisor, MRE)

Stylianos Mertikas, Prof. (MRE)

Eftuxios Koutroulis, Prof. (ECE)

Chania

July, 2022

*“To learn something new, you need to try new things and not
be afraid to be wrong.”*

***Roy T.
Bennett***

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου. Είναι οι άνθρωποι που μου έδωσαν την δυνατότητα να σπουδάσω και διευκόλυναν την ζωή μου στην Κρήτη πέντε χρόνια, καθώς και ήταν αρωγοί σε όλα τα χρόνια της ζωής μου. Έχοντας διανύσει πέντε φοιτητικά χρόνια με γεμάτες όμορφες στιγμές, με φιλίες δυνατές αλλά και με πολύ κούραση, αγώνα και διάβασμα η συγκεκριμένη διπλωματική είναι ένα δώρο στους γονείς μου για να μοιραστούν την χαρά μου που σηματοδοτεί την αρχή ενός νέου κεφαλαίου στην ζωή μου και το τέλος όλων των προπτυχιακών και συνεπώς των φοιτητικών μου χρόνων. Επίσης, είναι αφιερωμένο στην γιαγιά μου που δεν πρόλαβε να δει την πορεία μου αλλά και του αδελφού μου.

Όπως είναι φυσικό θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παναγιώτη Παρτσινέβελο που μου έδωσε την ευκαιρία να μάθω δίπλα του και να ανήκω στο εργαστήριό του το διάστημα που εκπονούσα την διπλωματική μου εργασία. Ήταν και είναι δίπλα μου σε κάθε ανησυχία και πιεστική περίοδο όλων των μηνών που διεκπεραίωνα την εργασία μου. Καθώς και όλο το εργαστήριο, το “Senselab”, που ήταν σαν μια μικρή οικογένεια για εμένα όλο το διάστημα της παρουσίας μου εκεί. Εν συνεχεία, στον κ. Στυλιανό Μερτίκα που είναι μέλος της εξεταστικής επιτροπής στην διπλωματική μου εργασία και ο άνθρωπος απ’ τον οποίο γνώρισα το αντικείμενο που με έκανε να θέλω να το μάθω καλύτερα. Είχε την υπομονή και προθυμία να εξηγεί αναλυτικά και να μεταδίδει τις γνώσεις του αβίαστα και γι αυτό τον ευχαριστώ. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Ευτύχιο Κουτρούλη που δέχτηκε να ανήκει στην εξεταστική μου επιτροπή.

Κλείνοντας θα ήταν παράλειψή μου αν δεν εξέφραζα ένα τεράστιο ευχαριστώ στον κ. Αχιλλέα Τριπολιτσιώτη, δεδομένου ότι ήταν πάντα κοντά μου σε κάθε απορία μου καθ’ όλη την διάρκεια της εξέλιξης της διπλωματικής εργασίας μου. Εν συνεχεία, τον κ. Γιώργο Πετράκη που όποια στιγμή και αν τον χρειαζόμουν ήταν πρόθυμος να με ακούσει, να συζητήσει και να μου λύσει απορίες και να μου δώσει αντίστοιχες λύσεις. Τέλος, τον Στέλιο Τσατσαρούνο που με εμψύχωσε και βοήθησε στα τελευταία διάστημα ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί σημαντικές εξελίξεις στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες μπορούν να συνυπάρχουν με τις ήδη διαδεδομένες πηγές, όπως αυτές των ορυκτών καυσίμων. Στόχος αυτών των μορφών ενέργειας είναι να αντιμετωπιστούν κατά έναν μεγάλο βαθμό περιβαλλοντικά ζητήματα που αφορούν και την κλιματική αλλαγή. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη μελέτη του αιολικού δυναμικού και κατ' επέκταση της χωροθέτησης πλωτών αιολικών πάρκων στην Κρήτη, αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα Τηλεπισκόπησης και αντίστοιχων υπηρεσιών παρακολούθησης της Γης.

Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια της Υπηρεσίας Κλιματικής Αλλαγής του οργανισμού Copernicus, παράγονται αναλυτικά συνδυαστικά δεδομένα με την ονομασία ERA5 τα οποία ενσωματώνουν ατμοσφαιρικές καταγραφές, δεδομένα της επιφάνειας της γης αλλά και των κυμάτων των ωκεανών. Στην παρούσα εργασία επεξεργάστηκαν τα δεδομένα που αφορούν την ταχύτητα του ανέμου για την δεκαετία 2010 έως 2020, η οποία ξεκινάει στα 10 και καταλήγει στα 100 μέτρα από την επιφάνεια της Γης. Για λόγους επεξεργασίας υλοποιήθηκε αλγόριθμος με τη βοήθεια του οποίου υπολογίστηκαν η ταχύτητα του ανέμου, το αιολικό δυναμικό, στατιστικές τιμές μηνών και ετών, καθώς και υποστηρικτικά διαγράμματα. Επιπροσθέτως, πραγματοποιήθηκε αντίστοιχη μελέτη με δεδομένα Δορυφορικής Αλτιμετρίας από τον δορυφόρο Sentinel-3A. Στη μελέτη αυτή επιλέχθηκαν ορισμένες τροχιές ενδιαφέροντος, και δημιουργήθηκαν διαγράμματα ταχύτητας συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει σταθερότητα στις τιμές, ενώ επίσης δημιουργήθηκαν και τα απαραίτητα διαγράμματα συσχέτισης με τα δεδομένα από το ERA5. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση των βασικών χωροθετικών κριτηρίων και των πεδίων προσοχής που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη δημιουργία πλωτών αιολικών πάρκων και των κατηγοριών αυτών σε μεγαλύτερα βάθη. Με τη βοήθεια ενός λογισμικού Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος ανοικτού κώδικα, υλοποιήθηκε ένας χάρτης όπου αναφέρονται τόσο τα σημεία μελέτης όσο και τα σημεία κυρίου ενδιαφέροντος γύρω από την Κρήτη, οι περιοχές NATURA2000, και τα βάθη της θάλασσας, τα οποία και αποτελούν βασικό κριτήριο για την κατασκευή ενός πλωτού αιολικού πάρκου.

Η μελέτη έδειξε ότι η Κρήτη χαρακτηρίζεται από έντονο αιολικό δυναμικό σε δύο γεωγραφικά τμήματα: α) στο ΒΔ τμήμα ($\text{Latmax}=36^\circ$, $\text{Latmin}=35^\circ$ και $\text{Lonmin}=22.2^\circ$ και $\text{Lonmax}=23.2^\circ$) και β) στο ΒΑ τμήμα ($\text{Latmax}=36^\circ$, $\text{Latmin}=35^\circ$ και $\text{Lonmin}=26.2^\circ$ και $\text{Lonmax}=27.2^\circ$). Οι ταχύτητές του ανέμου στα 10 μέτρα κυμαίνονται για τη δεκαετία 2010-2020 σε 6.8 m/s με

αιολικό δυναμικό 325 Watt/m² και αντίστοιχα στα 100 μέτρα 8 m/s και 541 Watt/m². Στο ΒΑ τμήμα για τα 10 μέτρα επικρατεί ταχύτητα 7.3 m/s με αιολικό δυναμικό 373 Watt/m², ενώ στα 100 μέτρα η ταχύτητα είναι 8.5 m/s και το δυναμικό 631 Watt/m².

Βασιζόμενοι στην αναζήτηση κριτηρίων για την κατασκευή ενός πλωτού αιολικού πάρκου, η ταχύτητα του ανέμου θεωρείται ικανοποιητική ήδη από τα 10 μέτρα. Στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης, το σημείο ενδιαφέροντος παρατηρείται σε πολύ μεγάλα βάθη (άνω των 1000 μέτρων) που αυτή την στιγμή παρουσιάζει υψηλό οικονομικό κόστος. Αντίθετα η ΒΑ πλευρά της Κρήτης, είναι πιο κοντά στα ζητούμενα κριτήρια για τη δημιουργία του πάρκου, δεδομένου ότι μπορεί να κινηθεί σε βάθη μεταξύ των 200 με 500 μέτρων. Η πιθανή εξέλιξη της παρούσας διπλωματικής απαιτεί την εξέταση περαιτέρω προσεγγίσεων ως προς το αιολικό δυναμικό, καθώς και εξέταση επιπρόσθετων κριτηρίων που αφορούν το χωροθετικό και οικονομικό τμήμα για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου.

Λέξεις κλειδιά: Πλωτές Ανεμογεννήτριες, πλωτά αιολικά πάρκα, αιολική ενέργεια, ταχύτητα ανέμου, ERA5, Τηλεπισκόπηση, δορυφορική αλτιμετρία.

ABSTRACT

In recent years there have been significant developments in the field of Renewable Energy Sources (RES), which can coexist with the already widespread sources, such as those of fossil fuels. The aim of these forms of energy is to address to a large extent environmental issues that also concern climate change. The purpose of this thesis is to study the wind potential and, by extension, the location of floating wind farms in Crete, using satellite data from Remote Sensing and corresponding Earth monitoring services.

Specifically, within the framework of the Copernicus Climate Change Service, analytical combined data by ERA5 are produced which integrate atmospheric records, data of the earth's surface and ocean waves. The data concerning the wind speed for the decade 2010 to 2020, which starts at 10 and ends at 100 meters from the Earth's surface, was processed. For processing purposes, an algorithm was implemented with the help of which the wind speed, wind potential, statistical values of months and years, as well as supporting graphs were calculated. In addition, a corresponding study was carried out with Satellite Altimetry data from the Sentinel-3A satellite. In this study, some trajectories of interest were selected, and plots of velocity versus latitude were created to see if there was stability in the values. The necessary correlation plots were also created with the data from ERA5. Subsequently, the main spatial criteria and areas of attention that must be taken into account for the creation of floating wind farms and their categories at greater depths were researched. Using an open-source Geographical Information System software, a map was created showing both the study points and the main points of interest around Crete, the NATURA2000 areas, and the sea depths, which constitute the key criteria for the construction of a floating wind farm.

The study showed that Crete is characterized by strong wind potential in two geographical sections: a) in the NW section (Latmax=36°, Latmin=35° and Lonmin=22.2° and Lonmax=23.2°) and b) in the NE section (Latmax =36°, Latmin=35° and Lonmin= 26.2° and Lonmax= 27.2°). Wind speeds at 10 meters vary for the decade 2010-2020 with a mean value of 6.8 m/s with wind potential of 325 Watt/m² and at 100 meters 8 m/s and 541 Watt/m². In the NE section for 10 meters the prevailing speed is 7.3 m/s with wind potential of 373 Watt/m², while at 100 meters the speed is 8.5 m/s and the potential is 631 Watt/m².

Based on the criteria for the construction of a floating wind farm, the wind speed is considered satisfactory at 10 meters. In the NW part of Crete, the point of interest is observed at great depths (over 1000 meters) which currently presents a high financial cost. On the contrary, the NE side of Crete is closer to the required criteria for the creation of the park, since it can move to depths between 200 and 500 meters. The continuation of the thesis requires the examination

of the implemented approaches regarding the wind potential, as well as the examination of additional criteria concerning the spatial and financial part for the installation of a wind farm.

Keywords: *Floating wind turbines, floating wind farms, wind energy, wind speed, ERA5, remote sensing, satellite altimeter.*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κατάλογος Εικόνων.....	11
Κατάλογος Πινάκων.....	13
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	15

Περιεχόμενα

1	Κεφάλαιο - Εισαγωγή.....	17
1.1	Εισαγωγικά στοιχεία	17
1.2	Η Αιολική Ενέργεια στις ελληνικές θάλασσες	18
1.3	Στόχοι εργασίας	20
1.4	Οργάνωση Κεφαλαίων	20
2	Κεφάλαιο – Θεωρητικό υπόβαθρο	21
2.1	Πλωτές ανεμογεννήτριες.....	21
2.1.1	Τρόπος λειτουργίας πλωτών ανεμογεννητριών και κατηγορίες ανεμογεννητριών.....	22
2.1.2	Βασικοί τύποι πλωτών ανεμογεννητριών	25
2.1.3	Υπεράκτια πάρκα σταθερής έδρασης	27
2.1.4	Κανόνες χωροθέτησης.....	29
2.1.5	Κανόνες αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων	30
2.1.7	Νομοθεσία για Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα	33
2.2	Τηλεπισκόπηση.....	34
2.2.1	Ενδεικτικές εφαρμογές	35
2.2.2	Κλιματική υπηρεσία ERA5.....	36
2.2.3	Χαρακτηριστικά του ERA5.....	38
2.2.4	Απόκτηση ωριαίων δεδομένων ERA5 από το 1979 έως σήμερα.....	38
2.2.5	Δορυφορική Αλτιμετρία.....	39
2.2.6	Ο δορυφόρος Sentinel-3A	40
2.3	Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS).....	40
2.3.1	Βασικές λειτουργίες GIS.....	41
2.3.2	Χρησιμότητα και οφέλη GIS.....	41
3	Κεφάλαιο – Μεθοδολογία	42
3.1	Επεξεργασία ERA5.....	43
3.2	Επεξήγηση στοιχείων του περιβάλλοντος Matlab	47

3.3.	Υπολογισμός ταχύτητας αέρα.....	49
3.3	Θεωρητική εκτίμηση αιολικής ενέργειας.....	50
3.4	Εφαρμογή QGIS-3.16.3.....	51
3.5	Βασικά κριτήρια για την χωροθέτηση αιολικών πλωτών πάρκων μέσω QGIS-3.	52
3.6	Θεωρητικά βήματα αξιοποίησης Δορυφορικής Αλτιμετρίας	58
4	Κεφάλαιο - Αποτελέσματα.....	61
4.1	Παράθεση αποτελεσμάτων Matlab και παρουσίαση δεδομένων στο QGIS-3.	61
4.1.1	Μέση τιμή ταχυτήτων για τα έτη 2010-2020.....	70
4.1.2	Μέση τιμή για συγκεντρωτικά έτη	71
4.1.3	Μέση τιμή δυναμικού για τα έτη 2010 - 2020.....	71
4.1.4	Μέση τιμή για συγκεντρωτικά έτη	72
4.1.5	Σημεία ενδιαφέροντος για την δημιουργία αιολικού πάρκου.....	73
4.2	Αποτελέσματα 2021 μέσω ERA5 για ταχύτητα ανέμου στα 10 μέτρα.....	75
4.3	Παράθεση αποτελεσμάτων ταχύτητας ανέμου και αιολικού ανέμου στα 100 μέτρα	79
4.4	Παράθεση αποτελεσμάτων Δορυφορικής Αλτιμετρίας.....	85
4.4.1	Παράθεση διαγραμμάτων ταχύτητας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους για τις επιλεγμένες τροχιές Sentinel-3A.	85
5	Κεφάλαιο- Συμπεράσματα	96
5.1	Συμπεράσματα	96
5.2	Μελλοντικές Προεκτάσεις	104
	Αναφορές.....	88

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 3.1: Συνοπτική μεθοδολογία διπλωματικής εργασίας	43
Εικόνα 3.2: Επιλογή παραμέτρων ERA5.....	44
Εικόνα 3.3: Επιλογή παραμέτρων ERA5.....	44
Εικόνα 3.4: Επιλογή παραμέτρων ERA5.....	45
Εικόνα 3.5: Επιλογή παραμέτρων ERA5.....	45
Εικόνα 3.6: Περιοχή μελέτης.	46
Εικόνα 3.7: Ενδεικτική παρουσίαση ερμηνεία των αποτελεσμάτων που μπορεί να εμφανίσει το αρχείο ERA5 του έτους 2020.....	48
Εικόνα 3.8: Παρουσίαση πίνακα 9×24 για την ανατολική συνιστώσα ταχύτητας του ανέμου (10m u-component of wind), με δεδομένα για 01 Ιανουαρίου στις 00:00, 2020.	48
Εικόνα 3.9: Παρουσίαση πίνακα 9×24 για την ανατολική συνιστώσα ταχύτητας του ανέμου (10m v-component of wind), με δεδομένα για 01 Ιανουαρίου στις 00:00, 2020.	48
Εικόνα 3.10: Συνιστώσα ανέμων με τις παραμέτρους u και v (Πηγή: ECMWF, ERA5: How to calculate wind speed and wind direction from u and v components of the wind?).	49
Εικόνα 3.11 Βασικά κριτήρια χωροθέτησης για την στήριξη πλωτών ανεμογεννητριών αναφορικά σε περιοχές NATURA2000 και βάθη για κατηγορίες ανεμογεννητριών.	52
Εικόνα 3.12 Χάρτης ζωνών ειδικής προστασίας δικτύου NATURA2000 στην Κρήτη.	54
Εικόνα 3.13 Χάρτης Ζωνών Ειδικής Προστασίας του Δικτύου NATURA 2000 στην Κρήτη.	55
Εικόνα 3.14 Παρουσίαση μέσω του QGIS-3 τις ακτοποϊκές γραμμές καθώς και την πληθώρα λιμανιών που υπάρχουν στη Δυτική και Νοτιοδυτική πλευρά της Κρήτης, τα Χανιά. Πηγή σημείων λιμανιού: geodata.gov.gr.....	57
Εικόνα 3.15 Εμφάνιση πλέγματος ERA5 πάνω στις τροχιές μελέτης.	59
Εικόνα 4.1: Εμφάνιση χάρτη στο QGIS-3. Περιοχή μελέτης στην πιθανή δημιουργία πλωτού αιολικού πάρκου.	61
Εικόνα 4.2: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2010 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	63
Εικόνα 4.3: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2011 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	64
Εικόνα 4.4: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2012 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	64
Εικόνα 4.5: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2013 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	65
Εικόνα 4.6: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2014 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	66
Εικόνα 4.7: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2015 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	66
Εικόνα 4.8: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2016 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	67
Εικόνα 4.9 : Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2017 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.	68
Εικόνα 4.10: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2018 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	68
Εικόνα 4.11: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2019 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	69
Εικόνα 4.12: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2020 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	70
Εικόνα 4.13: Περιοχή ενδιαφέροντος στη δημιουργία πλωτού αιολικού πάρκου.....	73
Εικόνα 4.14: Περιοχή ενδιαφέροντος στη δημιουργία πλωτού αιολικού πάρκου.....	74

Εικόνα 4.15: Επισημάνση περασμάτων που πάρθηκαν για τα αποτελέσματα από τους δορυφόρους S-3A Pass No. 442, 128, 369, 583, 683.	89
Εικόνα 5.1: Χάρτης του ΥΡΕΝ σημειώνοντας τα χιλιόμετρα για ανάλογες αναφορές.	102

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Παράθεση χαρακτηριστικών ERA5 [29].	38
Πίνακας 2.2: Περιγραφή δεδομένων από το ERA5 από τα αρχεία που επεξεργάστηκαν στο Matlab [30].	39
Πίνακας 3.1: Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν από το ERA5 [4].	47
Πίνακας 4.1: Γεωγραφικό μήκος (μονάδα μέτρησης σε βαθμούς).	62
Πίνακας 4.2: Γεωγραφικό πλάτος (μονάδα μέτρησης σε βαθμούς).	62
Πίνακας 4.3: Μέση τιμή ταχύτητας για τα έτη 2010 έως 2020 στα 10 μέτρα.	71
Πίνακας 4.4: Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου στα 10 μέτρα για τα έτη 2010 έως 2015 και 2016 έως 2020.	71
Πίνακας 4.5: Μέση τιμή θεωρητικού αιολικού δυναμικού για τα έτη 2010 έως 2020.	72
Πίνακας 4.6: Μέση τιμή θεωρητικού αιολικού δυναμικού για τα έτη 2010 έως 2015 και 2016 έως 2020.	72
Πίνακας 4.7: Δυναμικό ενέργειας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους στο Δυτικό τμήμα Χανίων – Φαλάσαρνα.	73
Πίνακας 4.8: Δυναμικό ενέργειας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους στο Ανατολικό τμήμα Χανίων – Νησί Κάσος - Κάρπαθος.	73
Πίνακας 4.9: Πίνακας μέση τιμών ταχύτητας όλων των μηνών και ημερών για τα τμήματα ενδιαφέροντος της Κρήτης.	76
Πίνακας 4.10: Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μέσων τιμών των ταχυτήτων βασιζόμενοι στις 4 εποχές του έτους 2021.	77
Πίνακας 4.11: Λεπτομερή εμφάνιση των μέσων τιμών των ταχυτήτων βασιζόμενοι στις 4 εποχές του ΒΔ τμήματος.	77
Πίνακας 4.12: Λεπτομερή εμφάνιση των μέσων τιμών του αιολικού δυναμικού βασιζόμενοι στις 4 εποχές με βάση το ΒΔ τμήμα της Κρήτης.	78
Πίνακας 4.13: Λεπτομερή εμφάνιση των μέσων τιμών του αιολικού δυναμικού βασιζόμενοι στις 4 εποχές με βάση το ΒΑ τμήμα της Κρήτης.	78
Πίνακας 4.14: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.	80
Πίνακας 4.15: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.	80
Πίνακας 4.16: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.	80
Πίνακας 4.17: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.	80
Πίνακας 4.18: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020.	81
Πίνακας 4.19: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020.	81
Πίνακας 4.20: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020.	81
Πίνακας 4.21: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020.	81
Πίνακας 4.22: Μέσες τιμές των ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης για την δεκαετία 2010 – 2020.	82
Πίνακας 4.23: Μέση τιμή ταχυτήτων για κάθε εποχή των 12 μηνών και για δύο γεωγραφικά τμήματα ενδιαφέροντος της Κρήτης στο διάστημα έτους 2010-2015.	82
Πίνακας 4.24: Μέση τιμή ταχυτήτων για κάθε εποχή των 12 μηνών και για δύο γεωγραφικά τμήματα ενδιαφέροντος της Κρήτης στο διάστημα έτους 2016-2020.	82
Πίνακας 4.25: Παράθεση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.	90
Πίνακας 4.26: Παράθεση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.	90
Πίνακας 4.27: Παράθεση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.	91

Πίνακας 4.28: Σύγκριση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.....	92
Πίνακας 4.29: Σύγκριση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.....	93
Πίνακας 4.30: Αποτελέσματα ελάχιστης και μέγιστης τιμής ταχύτητας καθώς και η μέση τιμή υπολογισμένες από τα αλτιμετρικά δεδομένα που πάρθηκαν από τον δορυφόρο Sentinel-3A στο διάστημα 2016 έως 2021 σε διαστήματα όλων των μηνών.....	94
Πίνακας 5.1: Διεθνή πρότυπα ταξινόμησης παραγωγής αιολικής ενέργειας [12].	99

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 4.1: Μέση τιμή του έτους 2010 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.....	63
Διάγραμμα 4.2: Μέση τιμή του έτους 2011 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.....	64
Διάγραμμα 4.3: Μέση τιμή του έτους 2012 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.....	65
Διάγραμμα 4.4: Μέση τιμή του έτους 2013 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.....	65
Διάγραμμα 4.5: Μέση τιμή του έτους 2014 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.....	66
Διάγραμμα 4.6: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2015 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	67
Διάγραμμα 4.7: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2016 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	67
Διάγραμμα 4.8: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2017 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	68
Διάγραμμα 4.9: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2018 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	69
Διάγραμμα 4.10: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2019 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	69
Διάγραμμα 4.11: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2020 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.....	70
Διάγραμμα 4.12: Ετήσια Γραφική της ταχύτητας του ανέμου για την δεκαετία 2010 έως 2020..	71
Διάγραμμα 4.13: Ετήσια Γραφική απεικόνιση του αιολικού δυναμικού για την δεκαετία 2010 έως 2020.....	72
Διάγραμμα 4.14: Μηνιαίο διάγραμμα μέσης τιμής δυναμικής ενέργειας το διάστημα 2010-2015.....	75
Διάγραμμα 4.15: Μηνιαίο διάγραμμα μέσης τιμής δυναμικής ενέργειας το διάστημα 2016-2020.....	75
Διάγραμμα 4.16: Μέση τιμή της ταχύτητας του Βορειοδυτικού τμήματος ενδιαφέροντος της Κρήτης συναρτήσεως των εποχών. Οι αντιστοιχίες του αριθμού : 1 = Άνοιξη, 2 = Καλοκαίρι, 3 = Φθινόπωρο (πλην του Νοέμβρη), 4 = Χειμώνας (πλην του μηνός του Δεκεμβρη) για το έτος 2021.....	76
Διάγραμμα 4.17: Μέση τιμή της ταχύτητας του Βορειοανατολικού τμήματος ενδιαφέροντος της Κρήτης συναρτήσεως των εποχών. Οι αντιστοιχίες του αριθμού : 1 = Άνοιξη, 2 = Καλοκαίρι, 3 = Φθινόπωρο (πλην του Νοέμβρη), 4 = Χειμώνας (πλην του μηνός του Δεκεμβρη) για το έτος 2021.....	77
Διάγραμμα 4.18: Μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για τις τέσσερις εποχές των δύο τμημάτων της Κρήτης που είναι η μελέτη ενδιαφέροντος.....	78
Διάγραμμα 4.19: Αναλυτικές τιμές κάθε γεωγραφικού μήκους και πλάτους ως προς τη μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για τις τέσσερις εποχές των δύο τμημάτων της Κρήτης που είναι η μελέτη ενδιαφέροντος.....	79
Διάγραμμα 4.20: Απεικόνιση γραφημάτων μέση τιμής αιολικού δυναμικού συναρτήσεως των εποχών για το διάστημα 2010-2020 του ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης.....	83
Διάγραμμα 4.21: Απεικόνιση γραφημάτων μέση τιμής αιολικού δυναμικού συναρτήσεως των εποχών για το διάστημα 2016-2020 του ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης.....	83
Διάγραμμα 4.22: Απεικόνιση του γραφήματος μέσης τιμής αιολικού δυναμικού στα σημεία ενδιαφέροντος του ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης, συναρτήσεως όλων των μηνών σε κατηγορία εποχών για το έτος 2010-2020.....	84
Διάγραμμα 4.23: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.128 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους	

Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.	85
Διάγραμμα 4.24: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.369 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.	86
Διάγραμμα 4.25: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.442 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.	86
Διάγραμμα 4.26: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.442 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.	87
Διάγραμμα 4.27: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.442 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.	88
Διάγραμμα 4.28: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (pass 556) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5. ..	89
Διάγραμμα 4.29: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (pass 683) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5. ..	90
Διάγραμμα 4.30: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (pass 442) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5. ..	91
Διάγραμμα 4.31: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (pass 128) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5. ..	92
Διάγραμμα 4.32: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (pass 369) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5. ..	93

Πίνακας Συντομογραφιών

ΑΠΕ : Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΘΑΠ : Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα

Α/Γ : Ανεμογεννήτρια

ΒΑ : Βορειοανατολικά

ΒΔ : Βορειοδυτικά

1 Κεφάλαιο - Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας δεν αποτελεί αποκλειστικά μία σύγχρονη πρακτική, αλλά ανάγεται πολύ πίσω στο χρόνο. Με βάση την μυθολογία και συγκεκριμένα εξετάζοντας κείμενα του Ομήρου, ο εγκλωβισμός των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει την πρόθεση των ανθρώπων να διαθέτουν και να χειρίζονται τους ανέμους στον τόπο και τον χρόνο που οι ίδιοι θα επιθυμούσαν. Επίσης για εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ομοίως δε και η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής η οποία, μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα, εγκαταλείφθηκε.

Με την ραγδαία εξάπλωση των συμβατικών καυσίμων (όπως ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο) προέκυψε τεράστια μείωση της χρήσης της αιολικής ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κάθε χώρας. Με την πετρελαϊκή όμως κρίση της δεκαετίας του 70, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) επανήλθαν στο προσκήνιο, ενώ επίσης παρατηρήθηκε μια ολοένα αυξανόμενη τάση χρήσης τους για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, με την αιολική ενέργεια να αποτελεί ακόμα και σήμερα την κύρια πηγή ανάκτησης ενέργειας από το περιβάλλον [1].

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ή ήπιες μορφές ενέργειας, ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια), ορίζεται το είδος εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που συλλέγεται από πηγές ενέργειας που μπορούν ανανεωθούν και οι οποίες προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες κυρίως εξαιτίας των φαινομένων που προκαλούνται στη Γη από τον Ήλιο. Αποτελούν μορφές ενέργειας οι οποίες αναπληρώνονται με φυσικό τρόπο και σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Στις Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συγκαταλέγονται το φως του ήλιου, ο άνεμος, η βροχή, η παλίρροια, τα κύματα και η γεωθερμία.

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Αρχικά, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως δηλαδή συμβαίνει με τις υπόλοιπες χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, διότι η εκμετάλλευσή τους βασίζεται στην ήδη υπάρχουσα ροή ενέργειας στη φύση. Επίσης, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Ως αποτέλεσμα, θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται παρά μόνο σε

κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων [2], [3].

Στην σημερινή εποχή τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και πολλά άλλα μεμονωμένα κράτη, υιοθετούν νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες προάγουν καθορισμένες εσωτερικές πολιτικές για τις χώρες.

Με τη νέα καθορισμένη στρατηγική που εγκαινιάστηκε το 2015 για την Ενεργειακή Ένωση, θεσπίστηκαν κανόνες και στόχοι προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, να στηριχθούν νέες, πιο «πράσινες» πηγές ενέργειας, καθώς επίσης και να διασυνδεθούν καλύτερα οι εθνικές αγορές ενέργειας. Συγκεκριμένα, τα κράτη μέλη της ΕΕ δεσμεύτηκαν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοσή τους κατά τουλάχιστον 32,5%, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας, σε συνδυασμό με ταυτόχρονη αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά τουλάχιστον 32%, και με ορίζοντα υλοποίησης των προβλεπόμενων στόχων έως το 2030. Η θέσπιση της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας τον Δεκέμβριο του 2019 έδωσε περαιτέρω ώθηση στην απανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος της ΕΕ, ενώ τον Δεκέμβριο του 2020, οι Ευρωπαίοι ηγέτες ενέκριναν αναθεωρημένο στόχο για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 [4].

Συνεπώς, η ταχεία ανάπτυξη των ΑΠΕ και η ενεργειακή απόδοση οδηγεί τόσο σε σημαντική ενεργειακή ασφάλεια, όσο και σε μετριασμό της κλιματικής αλλαγής με ταυτόχρονα σημαντικά οικονομικά οφέλη. Μία πρόταση που επίσης συζητήθηκε από την ΕΕ είναι η στρατηγική της υπεράκτιας ενέργειας, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό την δημιουργία πλωτών υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Η ανάπτυξη του συγκεκριμένου τομέα και η σύνδεση του τεράστιου δυναμικού της αιολικής ενέργειας με το ευρωπαϊκό δίκτυο όχι μόνο ωφελούν το περιβάλλον μειώνοντας τις εκπομπές από την παραγωγή ενέργειας και συμβάλλοντας στην προστασία της βιοποικιλότητας, αλλά επίσης δημιουργούν σημαντικές επενδυτικές και αναπτυξιακές ευκαιρίες, μεταξύ άλλων στις παράκτιες περιοχές των χωρών. [5].

1.2 Η Αιολική Ενέργεια στις ελληνικές θάλασσες

Παρά το πλούσιο αιολικό δυναμικό των ελληνικών θαλασσών, η Ελλάδα δεν έχει ακόμα αναπτύξει θαλάσσια αιολικά πάρκα, καθώς η κατασκευή τους αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο, όσον αφορά την αδειοδότηση και τη λειτουργία τους.

Κυριότερος όμως λόγος για την μη χρησιμοποίηση του θαλάσσιου αιολικού δυναμικού του Αιγαίου και των υπόλοιπων ελληνικών θαλασσών, αποτελεί το γεγονός ότι οι ελληνικές θάλασσες είναι κατά βάση σχετικά βαθιές θάλασσες [8].

Τα θαλάσσια αιολικά πάρκα που κατασκευάζονται σε άλλες χώρες είναι πακτωμένα στον πυθμένα, σε βάθη από 40 έως 50 μέτρα, κάτι το οποίο δεν αποτελεί σύνηθες χαρακτηριστικό των ελληνικών θαλασσών, λόγω προβλημάτων διασύνδεσης και θεμάτων υποδομών σε λιμάνια και ναυπηγία ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν την δημιουργία και την ύπαρξη των θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Άλλωστε από το 2012 δεν επιτρέπεται καν η υποβολή αίτησης για κατασκευή αιολικών πάρκων, ενώ το κόστος κατασκευής τους απαιτούσε επίσης μια ακριβή τεχνολογία και ακόμα και σήμερα αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα, που πλέον όμως φαίνεται να παρουσιάζει μια ραγδαία αποκλιμάκωση.

Τα παραπάνω προβλήματα έρχεται την τελευταία πενταετία να τα αντιμετωπίσει και να τα λύσει η τεχνολογία των πλωτών ανεμογεννητριών. Οι ραγδαίες εξελίξεις στον χώρο, δημιουργούν πρόσφορο έδαφος για την κατασκευή των πρώτων εμπορικών πάρκων σε ορίζοντα λίγων ετών, μέσω ειδικών προσφορών τραπεζικών χρηματοδοτήσεων, αποτελώντας μια μεγάλη πρόκληση για την Ελλάδα τόσο σε ενεργειακό όσο και σε οικονομικό επίπεδο [8].

Στην Ευρώπη η εγκατάσταση θαλάσσιων ανεμογεννητριών σταθερής έδρασης (δηλ. θεμελιωμένων στον πυθμένα) είναι εκείνη που παρουσιάζει την σημαντικότερη ανάπτυξη κυρίως και έναντι των πλωτών. Συμπερασματικά όμως, η συνολική θαλάσσια αιολική ενέργεια αναμένεται βάση των σημερινών προβλέψεων να είναι η πιο σημαντική πηγή παραγωγής του ηλεκτρισμού που θα καταναλώνεται στην Ευρώπη έως το 2040.

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει πολύπλευρα οφέλη που δεν καλύπτουν μόνο την διαφαινόμενη ενεργειακή κρίση, αποτελώντας ένα από το κυριότερα αντικείμενα και κίνητρα της παγκόσμιας βιομηχανίας για την αντιμετώπιση της φτώχειας σε οικονομικά ασθενέστερες, απομακρυσμένες κοινότητες εκτός δικτύου ενέργειας όπου είτε οικονομικά, είτε γεωγραφικά εμποδίζεται η αποτελεσματικότητα των ήδη υπαρχόντων εγκαταστημένων λύσεων που προσφέρονται. Επιπλέον, αποτελεί ένα σύγχρονο ενεργειακό μοτίβο που αναβαθμίζει την ποιότητα του πλανήτη μέσω της προστασίας του περιβάλλοντος. [16].

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της εφαρμογής πλωτών ανεμογεννητριών γύρω από την Κρήτη, κυρίως με την πλαισίωση της ενεργειακής προσέγγισης και με αναφορές σε χωροθετικά δεδομένα (συμπεριλαμβανομένων των προϋποθέσεων και των απαιτούμενων κριτηρίων).

1.3 Στόχοι εργασίας

Με τους γοργούς ρυθμούς ανάπτυξης που διανύει η κοινωνία μας, η πλειοψηφία των τεχνολογικών εφαρμογών που χρησιμοποιούνται στο περιβάλλον έχουν ως αποτέλεσμα έντονα περιβαλλοντικά αποτυπώματα. Ένα από τα μείζον ζητήματα που απασχολούν την κοινωνία είναι η κλιματική αλλαγή. Με έναυσμα τα περιβαλλοντικά προβλήματα, ο κύριος σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προαγωγή της αξίας της πράσινης ενέργειας στην σημερινή κοινωνία. Η χρήση της αιολικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, το οποίο αποτέλεσε πρόκληση για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Οι επιμέρους στόχοι της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνουν:

- Μελέτη της προοπτικής εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού των θαλάσσιων περιοχών της Κρήτης.
- Αξιοποίηση και αξιολόγηση δορυφορικών δεδομένων συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων από την κλιματική υπηρεσία ERA5 και του δορυφόρου Sentinel-3A.
- Χωροθέτηση αιολικών πάρκων βάσει ενδεδειγμένων κριτηρίων με χρήση γεωγραφικού πληροφοριακού συστήματος.

1.4 Οργάνωση Κεφαλαίων

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται το θεωρητικό υπόβαθρο των απαιτούμενων εφαρμογών και αντικειμένων για την πραγματοποίηση της εργασίας, συνεπώς και όλες οι λεπτομέρειες αναφορικά με τις πλωτές ανεμογεννήτριες. Παρουσιάζεται η δημιουργία χαρτών και παρατηρήσεων του γεωγραφικού πλάτους και μήκους κάθε σημείου ενδιαφέροντος. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται επίσης ο τρόπος συλλογής των δεδομένων από απόσταση και παρατήρησης των διαφόρων φαινομένων μέσω της Τηλεπισκόπησης. Τέλος, πραγματοποιείται ειδική αναφορά για την δορυφορική Αλτιμετρία και την χρησιμότητα αυτής. Το Κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την διεκπεραίωση της εργασίας, καθώς και για τον τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία αυτή παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4. Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνονται τα συμπεράσματα καθώς και πιθανές μελλοντικές προεκτάσεις της εργασίας.

2 Κεφάλαιο – Θεωρητικό υπόβαθρο

Σχετικά με τη μελέτη αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού με χρήση δορυφορικών δεδομένων, αναζητήθηκαν σύγχρονες σχετικές μεθοδολογίες και τεχνικά στοιχεία που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

2.1 Πλωτές ανεμογεννήτριες

Ως ανεμογεννήτριες ορίζονται όλα τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια [1]

Εκτιμάται ότι στο 25% της επιφάνειας της Γης και σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος, επικρατούν άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα πάνω από 5.1 m/s. Σύμφωνα με τις σημερινές μελέτες, όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις για την δημιουργία αιολικού πάρκου μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες.

Το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά με την πάροδο των ετών σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Η αιολική ενέργεια διανύει στη σημερινή εποχή, την "πρώτη" περίοδο ωριμότητας, καθώς καθίσταται ανταγωνιστική έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας. Σε αυτό το σημείο κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί ότι η χώρα μας διαθέτει ένα εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό, με την αιολική ενέργεια να μπορεί να αποτελέσει στο μέλλον ένα ιδιαίτερα σημαντικό μοχλό ανάπτυξης [6]. Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω και σε συνδυασμό με την αναγκαιότητα της σημερινής εποχής για εναλλακτικές μορφές ενέργειας, η μελέτη των ανεμογεννητριών στη θάλασσα αποτελεί ένα καίριο και επίκαιρο θέμα αφού μπορεί να εξασφαλίσει την αύξηση της παραγωγικής ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας την σε χιλιάδες νοικοκυριά και κτήρια, με ταυτόχρονη μείωση της τιμής ρεύματος στους πολίτες.

Εξετάζοντας τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι για κάθε μονάδα μέτρησης της ισχύος (Watt) σε GW που παράγεται την τελευταία πενταετία στην Ευρώπη, η αιολική ενέργεια απασχολεί πέντε χιλιάδες θέσεις εργασίας στον σχεδιασμό, στην κατασκευή και στην εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου. Επιπρόσθετα, η διαρκής λειτουργία και η συντήρηση των αιολικών πάρκων υποστηρίζονται από την τοπική απασχόληση [7].

Όσον αφορά τα θαλάσσια αιολικά πάρκα υπάρχει αυξημένο όφελος για τη χώρα μας, διότι αξιοποιούνται οι εγχώριες εφοδιαστικές αλυσίδες, με σημαντικό παράδειγμα τις βιομηχανίες καλωδίων όπου η Ελλάδα είναι πρωτοπόρα σε αυτό τον τομέα και ειδική στα θαλάσσια πλωτά [34], με αποτέλεσμα την ενίσχυση της οικονομίας.

Συγκεκριμένα για την παροχή θέσεων εργασίας και έναν πιο καθαρό πλανήτη είναι σημαντικό να αυξηθεί το μερίδιο της παροχής ηλεκτρισμού μέσω ανανεώσιμων πηγών στο ήδη υπάρχον ενεργειακό πλαίσιο. Στο πλαίσιο αυτό, απαραίτητο κρίνεται να εισαχθεί περισσότερη αιολική ενέργεια στο δίκτυο είτε μέσω του εξηλεκτρισμού της θέρμανσης και της ψύξης είτε μέσω των μεταφορών και της βιομηχανίας, ενώ επίσης σημαντική προϋπόθεση αποτελεί και η αύξηση των επενδύσεων σε υποδομές δικτύου και σημείων φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Τέλος, σε περιπτώσεις υπερπαραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές θα χρειαστεί να υπάρξει βελτίωση στις επιλογές αποθήκευσης αυτής για μετέπειτα χρήση [9].

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες αποτελούν κορυφαία τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με σημαντικές δυνατότητες στην υποστηρίξει της προσπάθειας για την δημιουργία μιας οικονομίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα στην Ευρώπη. Από την εγκατάσταση του πρώτου υπεράκτιου αιολικού πάρκου στη Δανία το 1991, η εγκατεστημένη ισχύς των υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην Ευρώπη έχει αυξηθεί σημαντικά στο πέρασμα των ετών. Μέχρι το τέλος του 2015, η σωρευτική εγκατεστημένη υπεράκτια αιολική ισχύς στην Ευρώπη ήταν πάνω από 11 GW, η οποία επαρκούσε για να καλύψει το 1,5 % της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ (Atcheson et al., 2016). Η πλειοψηφία των αιολικών πάρκων έως τα τέλη του 2015, βρισκόταν στη Βόρεια Θάλασσα (69,4 %), τη Θάλασσα της Ιρλανδίας (17,6 %) και τη Βαλτική Θάλασσα (12,9 %), σε μέσο βάθος νερού 27,2 m [31].

Καθώς η διαθεσιμότητα τοποθεσιών με ρηχά νερά μειώνεται, οι τεχνολογίες “πλωτών υπεράκτιων ανεμογεννητριών “(floating offshore wind energy-FOWT)” μπορούν να διαδραματίσουν ηγετικό ρόλο στην πρόσβαση σε περιοχές βαθύτερων υδάτων, όπως είναι ένα βάθος ενδεικτικά άνω των 60 μέτρων και εφαρμόσιμα στα 700 m (Spar Buoy συνεπώς και στην απελευθέρωση του πλήρους δυναμικού της υπεράκτιας αιολικής αγοράς.

Θεμελιώδης διαφορά μεταξύ σταθερών και πλωτών δομών στήριξης ανεμογεννητριών αποτελεί η πρόσθετη συμμόρφωση που εισάγεται από τις κινήσεις της πλωτής πλατφόρμας. Οι υπεράκτιες περιβαλλοντικές δυνάμεις που δρουν στην πλωτή πλατφόρμα προκαλούν κινήσεις, οι οποίες πρέπει να συγκρατούνται μηχανικά εντός αποδεκτών ορίων τόσο για την ορθή λειτουργία της έλικας, όσο και για τη διατήρηση του σταθμού στο σημείο και την ασφάλεια της κατασκευής.

2.1.1 Τρόπος λειτουργίας πλωτών ανεμογεννητριών και κατηγορίες ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες ποικίλουν ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθός τους. Ο πιο συνηθισμένος τύπος αποτελείται από τρία πτερύγια τοποθετημένα σε έναν οριζόντιο άξονα. Η ισχύς τους

κυμαίνεται από μικρή των λίγων kW έως μεγάλη των 12 MW. Η τοποθέτησή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί σε λόφους, πεδιάδες, επίσης μπορούν να τοποθετηθούν θεμελιωμένες στον πυθμένα της θάλασσας (πακτωμένες), ενώ τέλος υπάρχουν και οι πλωτές ανεμογεννήτριες στους ωκεανούς.

Υπάρχουν τρεις μεταβλητές που καθορίζουν την ενέργεια που δύνανται να παράγουν οι ανεμογεννήτριες και συγκεκριμένα είναι:

- Η ταχύτητα του ανέμου. Δυνατότεροι άνεμοι επιτρέπουν μεγαλύτερη παραγόμενη ενέργεια. Οι ψηλότερες ανεμογεννήτριες είναι πιο κατάλληλές σε δυνατούς ανέμους.
- Το μήκος των πτερυγίων. Όσο πιο μεγάλα είναι τα πτερύγια, τόσο περισσότερος ηλεκτρισμός μπορεί να παραχθεί, αφού καλύπτεται μεγαλύτερη επιφάνεια σάρωσης αέρα.
- Η πυκνότητα του αέρα. Ο πυκνός αέρας κινεί πιο εύκολα τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και την πίεση του αέρα.

Στην κορυφή κάθε ανεμογεννήτριας υπάρχει ένας ανεμοδείκτης ο οποίος υποδεικνύει την κατεύθυνση του αέρα. Ανάλογα με την ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα, η ανεμογεννήτρια περιστρέφεται πάνω στον πυλώνα ώστε να στρέφεται στον άνεμο με την περιστροφή των πτερυγίων να δημιουργεί τη μεγαλύτερη δυνατή αντίσταση στον αέρα. Ο αέρας ξεκινά να περιστρέφει τα πτερύγια τα οποία είναι συνδεδεμένα μέσω ενός άξονα χαμηλής ταχύτητας, ο οποίος περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα όπως τα πτερύγια. Για να παραχθεί ρεύμα από μία γεννήτρια απαιτείται πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο πολλαπλασιάζει την ταχύτητα περιστροφής του άξονα χαμηλής ταχύτητας έως και εκατό φορές περισσότερο προς ένα άξονα υψηλής ταχύτητας, ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται έως και χίλιες πεντακόσιες φορές ανά λεπτό. Ο άξονας υψηλής ταχύτητας συνδέεται με μια γεννήτρια, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του άξονα σε ηλεκτρική ενέργεια. Όσες ανεμογεννήτριες δεν έχουν κιβώτιο ταχυτήτων απαιτείται απευθείας σύνδεση του άξονα από την πλήμνη στην ανεμογεννήτρια η οποία ονομάζεται άμεση σύνδεση.

Το ερώτημα που τίθεται είναι πως η παραγόμενη ενέργεια της ανεμογεννήτριας θα προσφέρει ρεύμα στις κατοικίες.

Η γεννήτρια παράγει ρεύμα εναλλασσόμενης τάσης, το οποίο μεταφέρεται μέσα από τα καλώδια εντός του πυλώνα και έπειτα μέσω υπόγειων καλωδίων σε ένα υποσταθμό ρεύματος. Στον υποσταθμό, η τάση αυξάνεται έτσι ώστε να μπορεί να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο

και να μεταφέρεται στους καταναλωτές. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο παράγεται ο ηλεκτρισμός από τον άνεμο και μπορεί να ενεργοποιήσει τις ηλεκτρικές συσκευές στα σπίτια, στα σχολεία, τα νοσοκομεία, τα γραφεία κ.λπ.

Οι επενδυτές αιολικών πάρκων επιλέγουν προσεκτικά τις τοποθεσίες στις οποίες εγκαθιστούν αιολικά πάρκα. Ένα από τα εμπόδια που θα μπορούσαν να σταθούν στην δημιουργία αιολικών πάρκων, αποτελεί η συνθήκη κατά την οποία δεν φυσάει άνεμος, ή εκείνη κατά την οποία η ανεμογεννήτρια δεν περιστρέφεται εξαιτίας κάποιας προγραμματισμένης συντήρησης ή για λόγους ασφαλείας (στις περιπτώσεις των πολύ ισχυρών ανέμων ή καταιγίδας). Η συνθήκη κατά την οποία ο άνεμος δεν επαρκεί ώστε να περιστρέψει την ανεμογεννήτρια δεν αποτελεί πρόβλημα, αφού εξακολουθεί να υπάρχει καθαρό ρεύμα, αφού τα αιολικά πάρκα συνδέονται με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια για μεταγενέστερη χρήση όταν τα επίπεδα του ανέμου είναι χαμηλά. Η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο είναι ζωτικής σημασίας για την ενεργειακή μετάβαση, ενώ επίσης υπάρχουν πολλές και διαφορετικές μορφές αποθήκευσης ενέργειας (όπως μπαταρίες, αποθήκευση θερμότητας ή υδρογόνου κ.λπ.).

Η Ελλάδα αποτελεί μια ιδιαίτερα υποσχόμενη χώρα επένδυσης στην τεχνολογία των πλωτών ανεμογεννητριών με τις προβλέψεις να είναι ιδιαίτερα θετικές για μεγάλη ανάπτυξη του κλάδου τα επόμενα χρόνια.

Κύρια εστίαση της παρούσας εργασίας αποτελέσαν οι πλωτές ανεμογεννήτριες (floating offshore wind) οι οποίες θα πρέπει να παράγουν όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια. Στα κύρια χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων ανεμογεννητριών συγκαταλέγεται το γεγονός ότι μπορούν να εγκατασταθούν στην ανοικτή θάλασσα σε βαθιά νερά, σε αντίθεση με τα ΘΑΠ σταθερής έδρασης τα οποία θεμελιώνονται σε μικρά βάθη στον πυθμένα όπου, πλην μικρών εξαιρέσεων, είναι δύσκολο να βρεθούν στις Ελληνικές θάλασσες. Οι πλωτές βάσεις καθιστούν δυνατή την αξιοποίηση των τεράστιων δυνατοτήτων του ανέμου σε μεγάλες υπεράκτιες περιοχές. Με αυτόν τον τύπο τεχνικής, οι περιορισμοί βάθους καθορίζονται από την τοποθέτηση υποθαλάσσιων υποδομών εκκένωσης ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν εκατοντάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας..

Για να παραμείνουν σταθερές οι ανεμογεννήτριες, ελαχιστοποιώντας κάθε κίνηση και εξασφαλίζοντας τη λειτουργία τους σε βέλτιστες συνθήκες, εμφανίζονται οι διαφορετικοί τύποι πλωτών πλατφορμών ανεμογεννητριών. Οι τύποι μπορεί να εξαρτηθούν από τις συνθήκες της θάλασσας, του βυθού, τον άνεμο στη περιοχή, το μέγεθος των ανεμογεννητριών και αντιστοίχως τις εγκαταστάσεις που επικρατούν στο λιμάνι, τα βάθη σε αυτές τις περιοχές, τις εγκαταστάσεις παραγωγής και τη διαθεσιμότητα της τιμής των υλικών και του εξοπλισμού [8].

2.1.2 Βασικοί τύποι πλωτών ανεμογεννητριών

Παρακάτω έχουν καταγραφεί οι βασικοί τύποι πλωτών ανεμογεννητριών με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου.

Οι βασικοί τύποι πλωτών ανεμογεννητριών είναι οι εξής:

1. **Η ημι-υποβρύχια (Semi-sumergible)** : Η ανεμογεννήτρια στηρίζεται σε μία βάση η οποία είναι ημιβυθισμένη στην θάλασσα. Η πλατφόρμα που υπάρχει είναι τριγωνικής μορφής και στερεοποιείται σε αυτή ο πύργος της ανεμογεννήτριας με βραχίονες που βυθίζονται 20 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Η ταλάντευση του συστήματος ελέγχεται μέσω των βραχιόνων που περιέχουν έρμα [35]. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός διευκολύνει στην ελαχιστοποίηση της επιφάνειας που εκτίθεται στο νερό, αλλά πάντα μεγιστοποιώντας τον όγκο, που είναι αυτό που εκτοπίζει πραγματικά τη μάζα του νερού και παρέχει άνωση. Ουσιαστικά είναι ένας αριθμός μεγάλων στηλών που συνδέονται με βυθισμένους πλωτήρες. Οι στήλες παρέχουν υδροστατική σταθερότητα και πρόσθετη άνωση. Το θεμέλιο διατηρείται στη θέση του με αλυσίδες και άγκυρες.

Πλεονεκτήματα:

- Είναι πλήρως εξοπλισμένες πλατφόρμες και μπορούν να επιπλέουν με ρεύματα κάτω των 10 μέτρων κατά τη μεταφορά.
- Η μεταφορά από το εργοτάξιο γίνεται με απλά ρυμουλκά και η είναι ήδη κατασκευασμένο κατά την τοποθέτηση - Μπορεί να συναρμολογηθεί στην ξηρά και να ρυμουλκηθεί στην τελική θέση.
- Η κατασκευή είναι για βάθη νερού έως 40 μέτρα.
- Χαμηλό κόστος πρόσδεσης εγκατάστασης.

Μειονεκτήματα:

- Θεωρείται πολύπλοκη κατασκευή εν συγκρίσει άλλων.
 - Απαιτείται περισσότερα υλικά για την κατασκευή τους.
2. **Η Tensioned Legs Platform (TLP)** : Είναι μια φαινομενικά πιο απλή τεχνολογία πλωτών ανεμογεννητριών, όπου μία πλατφόρμα συγκρατείται με «τεντωμένα» καλώδια τα οποία είναι σταθερά αγκυρωμένα στο βυθό [35]. Ο στόχος της είναι να μειωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι διαστάσεις για την κατασκευή ανεμογεννήτριας ώστε να μειωθεί το κόστος αυτής.

Πλεονεκτήματα:

- Μπορεί να συναρμολογηθεί στην ξηρά ή σε ξηρή αποβάθρα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βάθη νερού έως 50-60 μέτρα, ανάλογα με τις συνθήκες στην θάλασσα.
- Απλή δομή.

Μειονεκτήματα:

- Είναι δύσκολο ο τρόπος μεταφοράς και να διατηρηθεί σταθερό κατά την εγκατάσταση.
 - Ανάλογα με το είδος σχεδιασμούς της κατασκευής, μπορεί να απαιτηθεί για την μεταφορά ειδικό πλεούμενο.
 - Υπάρχει υψηλό κόστος πρόσδεσης εγκατάστασης
3. **Η φορτηγίδα (Barge):** Κι αυτός ο τύπος ανεμογεννήτριας είναι ανάλογος με την TLP, όπου η ανεμογεννήτρια τοποθετείται σε μια πλατφόρμα με μικρό βύθισμα και αντιστοίχως αγκυρώνεται στον πυθμένα [35]. Η πλωτή πλατφόρμα έχει μεγάλη επιφάνεια σε επαφή με το νερό, που είναι ακριβώς αυτό που της δίνει σταθερότητα.
4. **Η δοκός (Spar):** Το διαφορετικό της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ότι ο πυλώνας της ανεμογεννήτριας συνεχίζει σε μεγάλο βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας με μία μοναδική κολόνα, η οποία είναι προσδεμένη με ειδικά συρματοπλέγματα και περιέχει έρμα. Συνήθης βάθη εγκατάστασης είναι από 100 έως 300 μέτρα [35]. Ουσιαστικά η συγκεκριμένη τεχνολογία προάγει το μεγαλύτερο μέρος του βάρους της κατασκευής να τοποθετείται στο χαμηλότερο δυνατό σημείο για να υπάρξει σταθερότητα. Ως πρόβλημα τίθεται ότι όσο οι ανεμογεννήτριες γίνονται όλο ένα και πιο μεγάλες, απαιτούνται και μεγαλύτεροι πυλώνες, κύλινδροι, για την εξισορρόπηση του βάρους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται κατασκευαστικά προβλήματα, καθώς και δυσκολία κατά την μετακίνηση για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης.

Πλεονεκτήματα:

- Είναι απλός σχεδιασμός.
- Χαμηλό κόστος εγκατάστασης πρόσδεσης.

Μειονεκτήματα:

- Οι υπεράκτιες επιχειρήσεις απαιτούν πλοία βαρέος ανύψωσης και επί του παρόντος μπορούν να γίνουν μόνο σε σχετικά προστατευμένα βαθιά νερά.
- Η κατασκευή είναι για νερά βάθους άνω των 80-100 μέτρων.
- Δεν είναι δυνατή η συναρμολόγηση σε ρηχά ύδατα [36].

2.1.3 Υπεράκτια πάρκα σταθερής έδρασης

Τα υπεράκτια πάρκα σταθερής έδρασης απαντώνται σε ρηχά νερά (βάθους έως 60 μέτρα) και μακριά από την ακτή, θαλάσσιους δρόμους κυκλοφορίας, στρατηγικές ναυτικές εγκαταστάσεις και χώρους οικολογικού ενδιαφέροντος. Αναφορικά με έρευνες του εξωτερικού σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις και σύμφωνα με την έκθεση WindEurope, τα Ευρωπαϊκά πάρκα βρίσκονται από 10 έως 40 χιλιόμετρα από την ακτή. Στην Ελλάδα έχουν γίνει προτάσεις αλλά και εγκαταστάσεις σε πολύ μικρότερα χιλιόμετρα στην ακτή όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι θαλάσσιων ανεμογεννητριών με σταθερά θεμέλια. Παρακάτω έχουν καταγραφεί οι βασικοί τύποι αυτών με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου.

Οι βασικοί τύποι θαλάσσιων ανεμογεννητριών με σταθερά θεμέλια είναι οι εξής:

1. **Θεμέλια με βάση την βαρύτητα [Gravity-Based Foundations (GBF)]** : Είναι κατασκευασμένα και κατάλληλα για βάθη έως 30 μέτρα.

Πλεονεκτήματα GBF:

- Χρησιμοποιούνται υλικά χαμηλού κόστους όπως σκυρόδεμα και χάλυβας,
- Αποδεδειγμένη τεχνολογία δανεισμένη από βιομηχανίες πετρελαίου και φυσικού αερίου,
- Ορισμένα σχέδια δεν χρειάζονται εγκατάσταση γερανών,
- Τα ρυμουλκά μπορούν να μετακινήσουν τα συναρμολογημένα στο λιμάνι μειώνοντας το κόστος και τον κίνδυνο.

Μειονεκτήματα GBF:

- Συνήθως απαιτείται προετοιμασία του βυθού όπως είναι η βυθοκόρηση. Αυτό μπορεί να διαταράξει σημαντικό μέρος (έως και 7%) της τοποθεσίας του αιολικού πάρκου.
- Ένα μεγαλύτερο εγκατεστημένο αποτύπωμα μπορεί να αυξήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του στροβίλου.

2. **Πάκτωση μονού μεταλλικού σωλήνα (Monopile Foundations)** : Τα θεμέλια του μονού χαλύβδινου σωλήνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε βάθη έως 40 μέτρα. Αποτελούν κοινή επιλογή για υπεράκτιες τουρμπίνες που βρίσκονται σε ρηχά νερά (λιγότερο από 35 μέτρα) και ένα διαδεδομένο τύπο κατασκευής.

Πλεονεκτήματα:

- Μπορεί να ανταπεξέλθει κατασκευαστικά και να είναι τοποθετημένο σε εδάφη που είναι με άμμο και χαλίκια,
- Έχει απλό σχεδιασμό και η εγκατάστασή του είναι πολύ εύκολη,
- Μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε ρηχές και πιο βαθιές εγκαταστάσεις διάφορων μεγεθών,
- Είναι οικονομικά εφικτή εγκατάσταση για βάθη έως 40 μέτρα.

3. **Θεμελίωση με πάκτωση τρίποδου μεταλλικού σωλήνα (Tripod Foundation) :**

Χρησιμοποιούνται για μεγαλύτερα βάθη από της θεμελίωσης βαρύτητας και της μονοπολικής θεμελίωσης με μέγιστο βάθος έως 50 μέτρα. Τα θεμέλια τρίποδων έχουν τρίποδες βάσεις συνδεδεμένες σε μία κυλινδρική κεντρική στήλη κάτω από την ίσαλο γραμμή.

Πλεονεκτήματα:

- Η τοποθεσία του στο βυθό της θάλασσας δεν χρειάζεται προηγμένη προετοιμασία τεχνολογίας πριν από την εγκατάσταση,
- Είναι κατάλληλο για τοποθεσίες όπου υπάρχουν δύσκαμπτοι άργιλοι ή πυκνή άμμος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πιο μαλακά εδάφη,
- Ως εγκατάσταση παρέχει επιπλέον σταθερότητα στην ανεμογεννήτρια.

Μειονεκτήματα:

- Το κόστος κατασκευής και συντήρησης των τρίποδων μπορεί να είναι υψηλότερο από άλλους τύπους βάσης,
- Μπορεί να χρειαστεί προστασία από τριβή γύρω από τη βάση του τρίποδου σε τοποθεσίες όπου τα ρεύματα πυθμένα είναι σημαντικά ή όπου τα ιζήματα διαβρώνονται εύκολα.

4. **Θεμελίωση με πάκτωση τετράποδου μεταλλικού σωλήνα (Jacket Foundation):** Η συγκεκριμένη εγκατάσταση απαντάται σε βάθη 60 μέτρων. Οι συγκεκριμένες κατασκευές μοιάζουν με τις υπεράκτιες πλατφόρμες πετρελαίου με τέσσερα σωληνωτά πόδια που συνδέονται με διαγώνιες αντηρίδες.

Πλεονεκτήματα:

- Η μεγαλύτερη επιφάνεια της διαμόρφωσης του πλέγματος μπορεί να παρέχει μια θέση τεχνητού υφάλου, παρέχοντας ένα νέο βιότοπο για τα τοπικά είδη,
- Είναι μια απλή μέθοδος κατασκευής και συνιστάται για οικονομική λύση,
- Μπορεί να μετακινηθεί με φορτηγίδα.

Μειονεκτήματα:

- Οι εγκαταστάσεις τους στη Βόρεια Θάλασσα έχουν αναφέρει συνεχιζόμενα προβλήματα, προκαλώντας μεγάλες περιόδους διακοπής συντήρησης για τη διατήρηση της δομικής ακεραιότητας,
- Οι αλλαγές στα τοπικά πρότυπα νερού μπορεί να είναι επιζήμιες για τα εγγενή θαλάσσια οικοσυστήματα,
- Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν οδηγούς πασσάλων μπορούν να δημιουργήσουν υποβρύχιο θόρυβο που μπορεί να τραυματίσει ή να σκοτώσει κάποια θαλάσσια ζωή [37].

Η παραπάνω παρουσίαση των τύπων κατασκευής πλωτών ανεμογεννητριών σε μεγαλύτερη βάθος αλλά και η αναφορά σταθερής έδρασης, πραγματοποιήθηκε με σκοπό την δημιουργία μιας γενικής εικόνας των κανόνων εγκατάστασης, το οποίο συνεισφέρει στο τελικό συμπέρασμα του Κεφαλαίου 5.

2.1.4 Κανόνες χωροθέτησης

Τα μοντέλα ανάπτυξης των Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων (ΘΑΠ) κινούνται στο φάσμα συγκεντρωτικού-αποκεντρωμένου μοντέλου. Το κάθε κράτος επιλέγει τις ζώνες, τις περιοχές και τον χρόνο υλοποίησης ΘΑΠ, βάσει του σχεδιασμού του για τις ΑΠΕ αλλά και του Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού, τόσο για τα χωρικά ύδατα, δηλαδή την ζώνη όσο και για τις Αποκλειστικές Οικονομικές Ζώνες (ΑΟΖ) και στη συνέχεια τις παραχωρεί σε ιδιώτες βάσει αποτελεσμάτων διαγωνιστικής διαδικασίας, όπου επιλέγεται αυτός που προσφέρει την χαμηλότερη τιμή Κιλοβατώρας. Στις χώρες που εφαρμόζουν το συγκεντρωτικό μοντέλο η διασύνδεση ΘΑΠ με το Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, είναι αποκλειστική αρμοδιότητα του Διαχειριστή του Δικτύου Μεταφοράς και για το θαλάσσιο αλλά και το χερσαίο τμήμα της [33].

Τα κυριότερα ζητήματα δημόσιας πολιτικής που πρέπει να καλύπτονται επαρκώς και να διασφαλίζονται από το νέο ρυθμιστικό πλαίσιο είναι:

- Χωροταξικός σχεδιασμός: η εφαρμογή του πρέπει να διασφαλίζει τη βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου πόρου με σεβασμό στην προστασία του περιβάλλοντος και σε αρμονία με άλλες δραστηριότητες στον θαλάσσιο χώρο, π.χ. αλιεία, τουρισμός, ναυσιπλοΐα.
- Αδειοδότηση – Χρήση Θάλασσας: είναι σημαντική η διαδικασία και η κατανομή μεταξύ των εμπλεκόμενων της ευθύνης, του κινδύνου και του κόστους της αδειοδότησης των ΘΑΠ.

- Τεχνικός σχεδιασμός: η μελέτη και ανάπτυξη των ΘΑΠ θα πρέπει να γίνει με το μικρότερο δυνατό κόστος σε χρήμα και χρόνο και τη μέγιστη αποτελεσματικότητα.
- Διασύνδεση: με ποιες διαδικασίες και με ποιο σχέδιο θα γίνει η σύνδεση των ΘΑΠ με το δίκτυο του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ).
- Ανταγωνισμός: πρέπει να διασφαλισθεί ο οικονομικός ανταγωνισμός και η βιωσιμότητα των επενδύσεων. [33]

Η συνολική ισχύς του έργου πρέπει να είναι ανάλογη ώστε να πληροί τους πιθανούς περιορισμούς από την νομοθεσία, ώστε να υπάρχει επαρκής χωρητικότητα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επομένως το έργο για να θεωρείται οικονομικό θα πρέπει να έχει την κατάλληλη ισχύ ώστε να επαρκεί για το ανάλογο δίκτυο της κάθε περιοχής (στη προκειμένη περίπτωση της Κρήτης και ευρύτερα αυτής).

Βασικοί παράμετροι ανάλυσης επιπτώσεων που λαμβάνονται υπόψη και στο τμήμα της χωροθέτησης είναι:

- i. Το αιολικό δυναμικό και το κλίμα της περιοχής,
- ii. Το τοπίο (δεν είναι εύκολο να στηθεί αιολικό πάρκο με την αλλοίωση του τοπίου της περιοχής),
- iii. Το θαλάσσιο αβιοτικό και βιοτικό περιβάλλον, θαλάσσιοι τύποι οικοτόπων, θηλαστικά, κητώδη είδη, η ορνιθοπανίδα,
- iv. Το ιστορικό και πολιτιστικό περιβάλλον,
- v. Το ατμοσφαιρικό περιβάλλον,
- vi. Ζητήματα κλιματικής αλλαγής,
- vii. Ακουστικό περιβάλλον,
- viii. Χρήσεις γης ,
- ix. Κοινωνικοοικονομικό περιβάλλον,
- x. Τεχνικές υποδομές όπως είναι η ναυσιπλοΐα, αλιευτική δραστηριότητα, ακτές κολύμβησης, οικισμοί, τουριστική δραστηριότητα,
- xi. Επιπλέον, η διασύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ, υποβρύχια καλώδια, διαθεσιμότητα περιοχών για την εγκατάσταση συνοδών έργων, καθώς και
- xii. Θέματα αεροπλοΐας και εθνικής άμυνας.

2.1.5 Κανόνες αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Το 2015 μέσω έρευνας του «Κέντρου Ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας» με σκοπό την «Στρατηγική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων εθνικού προγράμματος

ανάπτυξης θαλάσσιων αιολικών πάρκων», ορίστηκαν κάποιες παράμετροι για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως:

- Το θεσμικό πλαίσιο προστασίας περιβάλλοντος,
- Τα χαρακτηριστικά της περιοχής εφαρμογής των υπό μελέτη ΘΑΠ,
- Ο σχεδιασμός των τεχνικών-λειτουργικών χαρακτηριστικών του προγράμματος,
- Εφαρμόσιμα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αποκατάστασης του περιβάλλοντος.

Η κλίμακα των επιπτώσεων έχει ως εξής:

- Χαρακτήρας επιπτώσεων (αρνητικές – ουδέτερες).
- Μέγεθος επιπτώσεων (Σημαντικές, μέτριες, ασθενείς).
- Διάρκεια επιπτώσεων (Βραχυχρόνιες, Μακροχρόνιες).
- Δυνατότητα ανάταξης – με φυσικά μέσα (αναστρέψιμες, μερικώς αναστρέψιμες, μη αναστρέψιμες).
- Δυνατότητα αντιμετώπισης - με τεχνητά μέσα (αντιμετωπίσιμες, μερικώς αντιμετωπίσιμες, μη αντιμετωπίσιμες).
- Γεωγραφικό επίπεδο αναφοράς εκτίμησης – αξιολόγησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (σε τοπικό επίπεδο, σε επίπεδο περιοχής μελέτης, σε επίπεδο ευρύτερης περιοχής).

Αναλυτικότερα τα πιο βασικά κριτήρια αξιολόγησης για την χωροθέτηση ανεμογεννητριών που εμπίπτει στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι:

1. Το θαλάσσιο βιοτικό περιβάλλον (Ιχθυοπανίδα).

Τυπικά όταν γίνεται η μελέτη πλωτών ανεμογεννητριών είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψιν το θαλάσσιο βιοτικό περιβάλλον και αν υπάρχει κάποιο πέρασμα θαλάσσιων θηλαστικών που μπορεί να διαταράξει τις αρχικές ισορροπίες για το στήσιμο ενός πάρκου. Ορισμένες επιπτώσεις που αξιολογούνται και λαμβάνονται υπόψη είναι:

- Οι αποστάσεις των ορίων των προστατευομένων περιοχών.
- Η γειτνίαση με περιοχές συχνής παρουσίας κητωδών ειδών.
- Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των προτεινόμενων περιοχών χωροθέτησης Α/Γ.

2. Η ορνιθοπανίδα της Κρήτης.

3. Το ιστορικό και πολιτιστικό περιβάλλον- σεισμικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά.

4. Η ατμοσφαιρική ρύπανση – κλιματική αλλαγή.

Κατά την φάση της κατασκευής πραγματοποιείται:

- Μεταφορά.
- Θεμελίωση και εγκατάσταση των Α/Γ στο θαλάσσιο χώρο.
- Μεταφορά και συναρμολόγηση των Α/Γ στην ξηρά.
- Διάνοιξη τυχόν απαραίτητης οδοποιίας, την ανέγερση των κτιριακών έργων (υποσταθμών).
- Κίνηση των βαρέων οχημάτων, καθώς και με τις εργασίες διασύνδεσης των θαλάσσιων αιολικών πάρκων με το δίκτυο του Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. Οι επιπτώσεις θα είναι ασθενείς, λαμβανομένων και των επανορθωτικών μέτρων που ενδεικτικά προτείνονται στην ΣΜΠΕ.

5. Ακουστικό περιβάλλον:

Κατά την φάση της κατασκευής πρέπει:

- Να μην αναμένονται επιπτώσεις από εργασίες σε θαλάσσια περιοχή θεμελίωση & ανέγερση Α/Γ, διασύνδεση) λόγω μεγάλης απόστασης από ακτή.
- Σε χερσαία περιοχή οι επιπτώσεις να είναι περιορισμένης κλίμακας επιπτώσεις (βαρέα οχήματα, μηχανήματα, εργοτάξια).

Κατά την φάση λειτουργίας:

- Οι Α/Γ νέας τεχνολογίας παράγουν ελάχιστο θόρυβο.
- Δεν αναμένεται να αυξηθεί η υπάρχουσα στάθμη θορύβου.

6. Χρήσεις Γης – Κοινωνικοοικονομικό Περιβάλλον – Τεχνικές υποδομές – Ναυσιπλοΐα.

7. Θέματα Αεροπλοΐας

Για τα ΘΑΠ πρέπει η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) να μην έχει αντίρρηση από αεροναυτικής πλευράς για την εγκατάστασή τους, ενώ επίσης σημειώνει ότι για λόγους ασφαλείας των πτήσεων οι Α/Γ θα πρέπει να φέρουν ημερήσια και νυχτερινή σήμανση, την οποία θα υποδείξει στα πλαίσια της μελέτης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. [34].

8. Θέματα εθνική άμυνας

Στα πλαίσια της προκαταρκτικής διερεύνησης για την αρχική χωροθέτηση των ΘΑΠ του υπό μελέτη προγράμματος, είναι αναγκαίο να γνωμοδοτήσει το Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας ότι [34]:

- Υπάρχουν περιθώρια εγκατάστασης ΘΑΠ και ότι δεν επηρεάζεται πληθώρα συστημάτων-δραστηριοτήτων των τριών κλάδων (στρατού, ναυτικού και αεροπορίας).

- Αν υπάρχουν μπορεί να προταθούν συγκεκριμένες περιοχές για τη χωροθέτηση των Α/Γ ώστε να καλύπτονται οι επιχειρησιακές απαιτήσεις και η απρόσκοπτη λειτουργία των μέσων των εθνικών δυνάμεων.

2.1.7 Νομοθεσία για Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα

Με βάση την Ελληνική Νομοθεσία επιβεβαιώνονται ορισμένα στοιχεία που σχολιάστηκαν στις παραπάνω ενότητες.

«Μετά το άρθρο 6 του Ν. 3468/2006 προστίθεται νέο άρθρο 6Α ως εξής:

Άρθρο 6Α Θαλάσσια αιολικά πάρκα

1. Επιτρέπεται η εγκατάσταση αιολικών πάρκων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εντός του εθνικού θαλάσσιου χώρου, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του άρθρου 10 του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Α.Π.Ε. (ΦΕΚ 2464 Β΄) και της απόφασης του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής που εκδίδεται κατά την περίπτωση β΄ της παρ. 3 του άρθρου 1 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει.
2. Με ειδικά σχέδια που υποβάλλονται σε διαδικασία Στρατηγικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης, κατά τις διατάξεις της κυα Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε./ΕΥΠΕ/ οικ.107017/2006 (ΦΕΚ 1225 Β΄), καθορίζεται η ακριβής θέση των θαλάσσιων αι-ολικών πάρκων, η θαλάσσια έκταση που καταλαμβάνουν και η μέγιστη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς τους. Στη Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων που εκπονείται κατά τη διαδικασία αυτή, εκτιμώνται ιδίως η προστασία του θαλάσσιου φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος και των εν γένει οικοσυστημάτων του, με έμφαση στη βιωσιμότητα της θαλάσσιας χλωρίδας, πανίδας και ορνιθοπανίδας, η εθνική ασφάλεια, η κατά προτεραιότητα ενεργειακή εξασφάλιση των νησιών και η ασφάλεια των θαλάσσιων μεταφορών.
3. Τα ειδικά σχέδια της προηγούμενης παραγράφου εγκρίνονται με προεδρικά διατάγματα, που εκδίδονται με πρόταση των Υπουργών Οικονομικών, Οικονομίας, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας, Εξωτερικών, Εθνικής Άμυνας, Πολιτισμού και Τουρισμού και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.
4. Για την εγκατάσταση κάθε θαλάσσιου αιολικού πάρκου, περιλαμβανομένης και της δεσμευτικής Προσφοράς Σύνδεσης με τον αρμόδιο Διαχειριστή, εκδίδεται άδεια με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, κατά παρέκκλιση των περί αδειών διατάξεων του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει. Το ειδικότερο περιεχόμενο της άδειας, η

διαδικασία έκδοσής της και κάθε άλλη αναγκαία λεπτομέρεια καθορίζονται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

5. Μετά την έκδοση της Άδειας της προηγούμενης παραγράφου με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής προκηρύσσεται ανοιχτός δημόσιος διαγωνισμός, κατά τις διατάξεις του Ν. 3669/2008 (ΦΕΚ 116 Α'), για την εκτέλεση με χρηματοδότηση ή αυτοχρηματοδότηση των έργων της κατασκευής του θαλάσσιου αιολικού πάρκου και της σύνδεσής του με το Σύστημα, με αντάλλαγμα την παραχώρηση, εν όλω ή εν μέρει, της εκμετάλλευσής του στον ανάδοχο για ορισμένο χρόνο. Η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς του θαλάσσιου πάρκου μπορεί να είναι μικρότερη ή ίση με τη μέγιστη ισχύ που έχει καθοριστεί με το οικείο ειδικό σχέδιο της παραγράφου 2 του παρόντος άρθρου.

6. Με κοινή υπουργική απόφαση που εκδίδεται μετά από πρόταση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και Οικονομίας, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας ρυθμίζονται οι λεπτομέρειες σχετικά με την προκήρυξη, τα συμβατικά τεύχη, τα κριτήρια επιλογής, τη συμμετοχή στη διαδικασία επιλογής ανεξάρτητων αρχών και άλλων οργάνων της διοικήσεως, τα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις των αναδόχων, καθώς και κάθε άλλο ειδικό ζήτημα σχετικό με την εφαρμογή της προηγούμενης παραγράφου.

7. Για την κατασκευή και τη λειτουργία κάθε αιολικού πάρκου της παραγράφου 1 τηρείται από τον ανάδοχο η διαδικασία έγκρισης περιβαλλοντικών όρων έργων, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις των άρθρων 3, 4 και 5 του Ν. 1650/1986, όπως ισχύει.

8. Η άδεια λειτουργίας των θαλάσσιων αιολικών πάρκων χορηγείται από τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής στον ανάδοχο σύμφωνα με τη διαδικασία των παραγράφων 11 και 12 του άρθρου 8 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει.»

2.2 Τηλεπισκόπηση

Η Τηλεπισκόπηση αξιοποιείται για την συλλογή πληροφοριών, χρησιμοποιώντας όργανα που δεν έρχονται σε επαφή με τα αντικείμενα αυτά. Είναι η επιστήμη κατά την οποία η παρατήρηση ενός αντικειμένου πραγματοποιείται από απόσταση, δίχως να υπάρχει καμία φυσική επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης. Δίνοντας ένα παράδειγμα, όταν το μάτι μας παρατηρεί ένα αντικείμενο, μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η ακτινοβολία αυτή περιέχει πλήθος πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια του αντικειμένου, ενώ επίσης μας βοηθά να διακρίνουμε το χρώμα και τη μορφή του.

Χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνική, οι σαρωτές των δορυφόρων παρομοίως, καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Τα βασικά στοιχεία της Τηλεπισκόπησης:

- Την μετάδοση ενέργειας από την πηγή προς την επιφάνεια της Γης, καθώς και την απορρόφηση και σκέδαση από την ανώτερη ατμόσφαιρα,
- Την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της Γης (αντανάκλαση και εκπομπή),
- Την μετάδοση της ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς τον απομακρυσμένο αισθητήρα,
- Τα δεδομένα εξόδου του αισθητήρα, και
- Την μετάδοση των δεδομένων, την επεξεργασία και ανάλυση τους [19].

Η συλλογή και η ανάλυση των δεδομένων αποτελούν την βάση της Τηλεπισκόπησης. Η συλλογή πληροφοριών πραγματοποιείται με ειδικά όργανα ανίχνευσης και καταγραφής τα οποία ονομάζονται απομακρυσμένοι αισθητήρες (remote sensors). Οι αισθητήρες αυτοί κατά κύριο λόγο μεταφέρονται από αεροπλάνα και δορυφόρους. Σκοπός τους είναι να μετρούν το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από αντικείμενα, σαρώνοντας την επιφάνεια εκατέρωθεν του δορυφόρου ή του αεροπλάνου καθώς αυτά κινούνται, σχηματίζοντας μια εικόνα της γήινης επιφάνειας. Η συνολική διαδικασία περιλαμβάνει την ανίχνευση και την καταγραφή της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ενέργειας, ενώ στην συνέχεια πραγματοποιείται η επεξεργασία, η ανάλυση και η εφαρμογή των καταγεγραμμένων πληροφοριών.

2.2.1 Ενδεικτικές εφαρμογές

Η Τηλεπισκόπηση βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς, ορισμένους από τους οποίους παρουσιάζονται παρακάτω :

- Στο αστικό περιβάλλον (για χρήσεις/κάλυψη γης, για την μέτρηση της θερμοκρασίας εδάφους, καθώς και της αστικής θερμικής νησίδας).
- Στο θαλάσσιο περιβάλλον (για την μέτρηση της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασία, καθώς και της συγκέντρωσης του φυτοπλαγκτόν).
- Στις φυσικές καταστροφές (για τον εντοπισμό και παρακολούθηση ακραίων καιρικών φαινομένων).
- Στο δασικό και αγροτικό περιβάλλον (για την μέτρηση και την μετέπειτα ανάλυση της υγείας των δέντρων και των φυτών).

- Στην παρατήρηση ωκεανών (για μετρήσεις θερμοκρασίας στη θαλάσσια επιφάνεια, για την χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα καθώς και στην οικολογία) [22].

Η Τηλεπισκόπηση λοιπόν μπορεί να παρέχει τεράστιο πλήθος πληροφοριών τα οποία μπορούν να ληφθούν από ελεύθερες βάσεις δεδομένων, ώστε με την απαιτούμενη επεξεργασία και ανάλυση τους, να εξαχθούν συμπεράσματα για την Γη, το περιβάλλον καθώς και οτιδήποτε θέλουμε να ελέγξουμε ή να δημιουργήσουμε.

2.2.2 Κλιματική υπηρεσία ERA5

Στη παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το παγκόσμιο ατμοσφαιρικό μοντέλο ERA5 του οργανισμού ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Ο ECMWF είναι ένας ανεξάρτητος διακυβερνητικός οργανισμός που εδρεύει στο Ηνωμένο Βασίλειο και υποστηρίζεται από την πλειοψηφία των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ιδρύθηκε το 1975 όταν αναγνωρίστηκε η επιτακτική ανάγκη να συλλεχθούν τα απαραίτητα επιστημονικά και τεχνικά δεδομένα για την παροχή καιρικών προβλέψεων μεσοπρόθεσμα (για διάστημα περίπου δύο εβδομάδων). Το ERA5 είναι το πιο καινούριο ατμοσφαιρικό μοντέλο του ECMWF και έρχεται να αντικαταστήσει το ERA-Interim.

Το ERA5 αποτελεί την πέμπτη γενιά επαναληπτικών ατμοσφαιρικών αναλύσεων της ECMWF και άμεση μετεξέλιξη του ERA-Interim, συνδυάζοντας ιστορικά δεδομένα από το 1950 έως σήμερα. Επιπρόσθετα, περιγράφει τις πρόσφατες κλιματικές συνθήκες μέσω συνδυασμού μοντέλων και ιστορικών παρατηρήσεων. Περιλαμβάνει εκτιμήσεις ατμοσφαιρικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία του αέρα, η πίεση και ταχύτητα του αέρα σε διαφορετικά υψόμετρα, καθώς και εκτιμήσεις επιφάνειας όπως η βροχόπτωση, η υγρασία εδάφους και η θερμοκρασία της θάλασσας. Σε σχέση με το ERA-Interim προσφέρει υψηλότερη χωρικά και χρονική ανάλυση: ωριαίες εκτιμήσεις σε οριζόντια ανάλυση 31 χιλιομέτρων καθώς και κάλυψη της ατμόσφαιρα σε 137 επίπεδα από την επιφάνεια έως ύψος 80 χιλιομέτρων. Το ERA5 συνδυάζει τεράστιες ποσότητες ιστορικών παρατηρήσεων συμπεριλαμβάνοντας παγκόσμιες εκτιμήσεις, χρησιμοποιώντας προηγμένα συστήματα μοντελοποίησης και διαχείρισης δεδομένων. Ορισμένες εφαρμογές, που αξιοποιούνται μέσω του ERA5, αλλά και σε συνεργασία με το “Copernicus” χρησιμοποιούνται για την παροχή δεδομένων για την ποιότητα του κλίματος, καθώς και για εκπαιδευτικές δραστηριότητες.

Το ERA5 είναι μια σύγχρονη μέθοδος ανάλυσης που αποτελείται από ένα σύνολο δεδομένων που αφορούν το κλίμα και συγκεκριμένα μια αριθμητική περιγραφή διαφόρων φυσικών και ενεργειακών διεργασιών στην ατμόσφαιρα, στην θάλασσα και την επιφάνεια της Γης με την

συμβολή επίγειων και δορυφορικών παρατηρήσεων. Τα δεδομένα του ERA5, εκτείνονται από το 1979 έως και σήμερα. (AlešUrban et al, 2021)

Η λειτουργία του συστήματος ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2016, με το ERA-Interim να έχει διακόψει τη λειτουργία του από τον Αύγουστο του 2019. Τα δεδομένα του ERA5 παρέχονται κάθε μία ώρα (από το 1979 μέχρι σήμερα) για ένα μεγάλο αριθμό ατμοσφαιρικών, χερσαίων και ωκεάνιων μεταβλητών, λίγες μόλις ημέρες (5-7) μετά τον πραγματικό χρόνο λήψης τους, ενώ είναι ελεύθερα για κάθε χρήστη μέσω της ιστοσελίδας του συστήματος. Το μοντέλο που δημιουργείται εξάγει τα δεδομένα σε έναν κάναβο 30x30 km με μια χωρική ανάλυση πολύ πιο βελτιωμένη σε σχέση με την προηγούμενη του ERA-Interim (με κάναβο 80x80 km), ενώ επίσης βελτιωμένη είναι και χρονική διακριτική ικανότητα, με τα δεδομένα να παρέχονται κάθε ώρα, σε αντίθεση με το ERA-Interim, που οι μετρήσεις καταγράφονταν ανά 6 ώρες. Στην κατακόρυφη διεύθυνση, το μοντέλο έχει 37 διαφορετικά επίπεδα πίεσης (από 1000 hPa έως 1 hPa) από την επιφάνεια της θάλασσας και έως το ύψος των 80km. Το ERA5 περιέχει, τέλος, πληροφορίες για την αβεβαιότητα της κάθε μεταβλητής με μειωμένη, βέβαια, χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα.

Τα διαθέσιμα από το 1950 δεδομένα είναι χωρισμένα σε δύο καταχωρήσεις στο Climate Data Store με την πρώτη να περιλαμβάνει εκείνα από το 1950 έως το 1978 και την δεύτερη από το 1979 έως σήμερα.

Η αφομοίωση των δεδομένων βασίζεται στη μέθοδο που χρησιμοποιείται από τα αριθμητικά κέντρα πρόγνωσης καιρού, όπου ανά καθορισμένες ώρες (όπως για παράδειγμα όπως 12 ώρες στο ECMWF) μια προηγούμενη πρόβλεψη συνδυάζεται με πρόσφατες διαθέσιμες παρατηρήσεις και με τρόπο βέλτιστο, ώστε να παραχθεί μια νέα καλύτερη εκτίμηση για την κατάσταση της ατμόσφαιρας. Η νέα αυτή εκτίμηση ονομάζεται επαν-ανάλυση (reanalysis) και χρησιμοποιείται για να εξαχθεί μια ενημερωμένη, βελτιωμένη πρόβλεψη. Η εκ νέου ανάλυση λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο αλλά με μειωμένη ανάλυση, ώστε να είναι δυνατή η παροχή ενός συνόλου δεδομένων που καλύπτει αρκετές δεκαετίες. Εξαιτίας επίσης του γεγονότος ότι δεν έχει τον περιορισμό της έγκαιρης πρόβλεψης, υπάρχει περισσότερος χρόνος για τη συλλογή των απαιτούμενων παρατηρήσεων. Τέλος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δεδομένα του παρελθόντος, τα οποία σε συνδυασμό με τα δεδομένα των αρχικών παρατηρήσεων, έχουν σκοπό την βελτίωση της τελικής ποιότητας του προϊόντος και της εκ νέου ανάλυσης.

Επίσης, ιδιαίτερη είναι η συνεισφορά στον τομέα της γεωργίας και του σχεδιασμού για τυχόν αλλαγές στις συνθήκες παραγωγής τροφίμων μέσω των παραχθέντων κλιματικών πληροφοριών. Ακόμα, είναι σημαντικό να επισημανθούν οι πληροφορίες και οι συμβουλευτικές υπηρεσίες που παρέχονται από το συγκεκριμένο σύστημα στον τομέα των

ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλές έρευνες (όπως τα δεδομένα C3S) για την βελτίωση μοντελοποίησης των τοποθεσιών κατασκευής και δημιουργίας των αιολικών πάρκων. Τέλος, προσφέρονται πληροφορίες για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και διαχείρισης κινδύνων στην καταστροφή του περιβάλλοντος [17].

2.2.3 Χαρακτηριστικά του ERA5

Current availability	1979 onwards
Availability by early 2020	1950 onwards
Availability behind real time	2-3 months (final product) 2-5 days (ERA5T)
IFS model cycle	41r2 (2016)
Atmospheric data assimilation	12-hour 4D-Var ensemble
Model input (radiation and surface)	Appropriate for climate, e.g. evolution of greenhouse gases, aerosols, SST and sea ice
Spatial resolution	31 km (TL639) 137 levels to 1 Pa
Ocean waves	0.36 degree
Land-surface model	HTESSEL
Uncertainty estimate	From the 4D-Var ensemble, 10 members at 63 km (TL319)
Output frequency	Hourly throughout (uncertainty 3-hourly)
Output parameters	Extended list (e.g. 100-metre wind)
Dedicated land product	9 km, HTESSEL

Πίνακας 2.1: Παράθεση χαρακτηριστικών ERA5 [29].

2.2.4 Απόκτηση ωριαίων δεδομένων ERA5 από το 1979 έως σήμερα

Το ERA5 ενημερώνεται καθημερινά με καθυστέρηση περίπου 5-7 ημερών. Τα δεδομένα επανατοποθετούνται σε ένα κανονικό πλέγμα γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους

0,25 μοιρών για την ανάλυση, και 0,5 μοιρών για την εκτίμηση της αβεβαιότητας (για τα κύματα του ωκεανού οι τιμές αυτές είναι 0,5 και 1 μοίρα αντίστοιχα). [30]

Περιγραφή δεδομένων

Data type	Gridded
Projection	Regular latitude-longitude grid
Horizontal coverage	Global
Horizontal resolution	Reanalysis: 0.25° x 0.25° (atmosphere), 0.5° x 0.5° (ocean waves) Mean, spread and members: 0.5° x 0.5° (atmosphere), 1° x 1° (ocean waves)
Temporal coverage	1979 to present
Temporal resolution	Hourly
File format	GRIB
Update frequency	Daily

Πίνακας 2.2: Περιγραφή δεδομένων από το ERA5 από τα αρχεία που επεξεργάστηκαν στο Matlab [30].

2.2.5 Δορυφορική Αλτιμετρία

Η δορυφορική Αλτιμετρία αποτελεί μία τεχνική μέτρησης του υψομέτρου της θαλάσσιας επιφάνειας. Συγκεκριμένα, το όργανο μέτρησης το οποίο ονομάζεται δορυφορικό αλτίμετρο, μετράει την αμφίδρομη απόσταση από την κεραία εκπομπής μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας. Ένας από τους στόχους της αλτιμετρίας είναι ο προσδιορισμός του απόλυτου υψομέτρου της επιφάνειας της θάλασσας με ακρίβεια ± 1 cm ως προς το κέντρο μάζας της Γης. Με βάση τα εξαχθέντα αποτελέσματα από την Αλτιμετρία μπορεί να υπολογιστεί ο καθορισμός της επιφάνειας της θάλασσας, ο οποίος καθορισμός δίνει σημαντικές πληροφορίες για το γεωειδές, τη βαθυμετρία, τα ρεύματα, τη κυκλοφορία των ωκεανών, την δυναμική τοπογραφία, την αλλαγή του κλίματος της γης λόγω της παρακολούθησης της αύξησης της στάθμης της θάλασσας, τις διαφοροποιήσεις στην πυκνότητα του υπεδάφους κ.λπ.

Η λειτουργία του δορυφορικού Αλτίμετρου πραγματοποιείται ως εξής: Ένας παλμός μικροκυματικής ακτινοβολίας (radar) αλλά βραχείας χρονικής διάρκειας εκπέμπεται προς το σημείο ναδίρ της θέσης του δορυφόρου. Ο ηλεκτρομαγνητικός αυτός παλμός αλληλοεπιδρά με τη θαλάσσια επιφάνεια και ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας επιστρέφει στον δορυφόρο. Μετέπειτα αναλύονται και καταγράφονται τα δεδομένα και επομένως προσδιορίζεται η απόσταση από τον δορυφόρο μέχρι την επιφάνεια

της θάλασσας. Τέλος, γίνεται ο προσδιορισμός της ταχύτητας του ανέμου κοντά στην επιφάνεια της θαλάσσης, αλλά και το ύψος των κυμάτων [24].

Η πιο γνωστή εφαρμογή της δορυφορικής Αλτιμετρίας είναι ο προσδιορισμός της στάθμης της θάλασσας με καλή έως υψηλή ακρίβεια ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί η αλλαγή του κλίματος της Γης. Η δορυφορική Αλτιμετρία αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο στον εντοπισμό κοιτασμάτων γαιανθράκων ή άλλων φυσικών διαθέσιμων ορυκτών πόρων κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας, ως αποτέλεσμα της ιδιαίτερης δυνατότητας που παρέχει για τον υπολογισμό της βυθομετρίας των ωκεανών με σημαντική λεπτομέρεια ακόμα και για βάθη έως 7000 μέτρα. Μία ακόμα εφαρμογή της Δορυφορικής Αλτιμετρίας, αποτελεί η τοποθέτηση μιας πλατφόρμας πετρελαίου στη θάλασσα, όπου πραγματοποιείται έλεγχος δεδομένων των τελευταίων ετών στην ταχύτητα του ανέμου και την υψομετρία της θάλασσας για να εξασφαλιστεί η απαραίτητη ασφάλεια της πλατφόρμας.

2.2.6 Ο δορυφόρος Sentinel-3A

Με βάση την εισαγωγή της έννοιας της δορυφορικής Αλτιμετρίας και μέσω του δορυφόρου sentinel-3, πάρθηκαν δεδομένα για την ανάλυση της διπλωματικής εργασίας. Ο δορυφόρος Sentinel-3 αποτελεί έναν δορυφόρο της Ευρωπαϊκής αποστολής με σκοπό την παρατήρηση της Γης, υποστηριζόμενος από εφαρμογές όπως το Copernicus. Κύριος στόχος της αποστολής είναι η μέτρηση της τοπογραφίας, της θερμοκρασίας, του χρώματος στην επιφάνεια της Γης, τόσο στην ξηρά όσο και της θάλασσας και των ωκεανών, παρέχοντας υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία για την υποστήριξη των διαφόρων συστημάτων θαλάσσιας πρόβλεψης, καθώς και των συστημάτων περιβαλλοντικής και κλιματικής παρακολούθησης.

Η αποστολή αποτελείται από δύο επιχειρησιακούς δορυφόρους (Sentinel-3A και Sentinel-3B), ενώ δύο ακόμη (Sentinel-3C/-3D) αναμένεται να εκτοξευθούν στο εγγύς μέλλον. Ο δορυφόρος Sentinel-3A ξεκίνησε να λειτουργεί στις 16 Φεβρουαρίου 2016 ενώ ο δορυφόρος Sentinel-3B μπήκε σε τροχιά στις 23 Νοεμβρίου 2018. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται κυρίως στην αποστολή Sentinel-3A, μιας και από τον δορυφόρο Sentinel-3B έχουν κυκλοφορήσει μόνο λίγοι μήνες αποτελεσμάτων μέχρι στιγμής, με τα στοιχεία όπως γίνεται αντιληπτό να είναι περιορισμένα. Η αποστολή Sentinel-3 συμπληρώνει τη σειρά Jason η οποία θα συμβάλει σε μια παγκόσμια επιχειρησιακή ωκεανογραφική υπηρεσία [25], [26], [27].

2.3 Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS)

Το Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (ΓΣΠ) - Geographic Information System (GIS), είναι ένα πληροφοριακό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή, ανάκτηση, διαχείριση,

ανάλυση και απόδοση γεωγραφικών δεδομένων έχοντας κύριο στόχο την λήψη αποφάσεων που αναφέρονται στον σχεδιασμό και τη διαχείριση χρήσεων γης, για το περιβάλλον, για υπηρεσίες σε αστικό χώρο, κ.α. [38]

Το GIS είναι σχεδιασμένο για την εξυπηρέτηση των αναγκών διαχείρισης και επεξεργασίας σύνθετων γεωγραφικών δεδομένων με την χρήση του να καλύπτει ένα ευρύτατο φάσμα δραστηριοτήτων, ενώ επίσης έχει εισαχθεί σε όλους τους παραγωγικούς τομείς, στην κεντρική και περιφερειακή διοίκηση, καθώς και στην εξυπηρέτηση πολιτών [38], [39].

2.3.1 Βασικές λειτουργίες GIS

- Η απόκτηση – επεξεργασία δεδομένων.
- Η ψηφιοποίηση αναλογικού χάρτη.
- Η διαχείριση – ανάκτηση.
- Η οπτικοποίηση – γραφική απεικόνιση.
- Η δημιουργία θεματικών χαρτών.
- Η δημιουργία 3D απεικονίσεων του χώρου.

2.3.2 Χρησιμότητα και οφέλη GIS

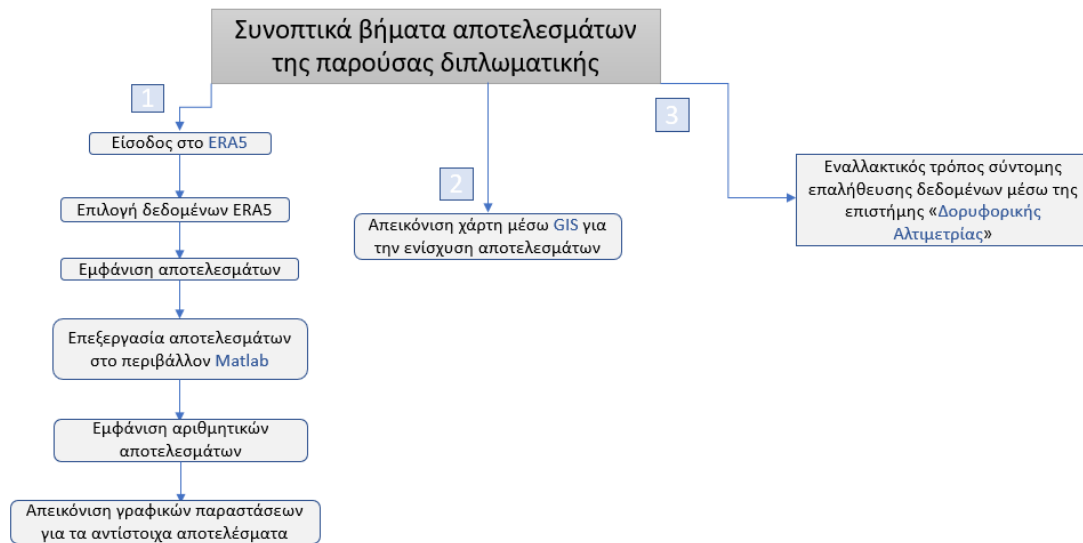
Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών αποτελούν σημαντικό και πρακτικό εργαλείο επίλυσης μακροχρόνιων προβλημάτων στη δημιουργία, ενημέρωση και διόρθωση χωρικών δεδομένων, χαρτών και στατιστικών στοιχείων καθώς και στον διαμοιρασμό αυτών. Ορισμένα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση αυτών των συστημάτων είναι:

- Η καλύτερη συντήρηση των γεωχωρικών δεδομένων.
- Η ευκολία αναθεωρήσεων – διορθώσεων δεδομένων.
- Η ευκολία αναζήτησης, ανάλυσης και αναπαράστασης γεωχωρικών δεδομένων.
- Η ελεύθερη εξαγωγή και διαμοιρασμός των γεωχωρικών δεδομένων.
- Η αύξηση της παραγωγικότητας του προσωπικού που χρησιμοποιεί τα δεδομένα.
- Το σημαντικό χρονικό και οικονομικό κέρδος.
- Η λήψη ορθότερων και αντικειμενικότερων αποφάσεων [18].

3 Κεφάλαιο – Μεθοδολογία

Βάσει της βιβλιογραφίας, για τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού των περιοχών μελέτης είναι απαραίτητη η εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου. Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε στις δημοσιεύσεις : «DES2iRES: A web-GIS platform utilizing Sentinel-3A observations to support public authorities and investors in strategic planning of desalination plants powered by renewable energy sources. Chania, Greece, Crete, Panagiotis Partsinevelos, S. M., 2019» [41], «ERA5: How to calculate wind speed and wind direction from u and v components of the wind?» [40] , «Estimation of wind energy potential using different probability density functions, Tian PauChang, 2011 [51]», «Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system, Muhammad Shoaib, Imran Siddiqui, Shafiqur Rehman, Shamim Khan, Luai M.Alhemsc, 2019» [52], «Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo – Pernambuco, Brazil, Laerte de Araujo Lima, Celso Rosendo, Bezerra Filho, 2010» [50], «Assessment of Sentinel-3A and Sentinel-3B sea state products during the tandem phase using in situ and reanalysis data, Christopher Banks¹, Matthew Hammond¹, Werenfrid Wimmer¹, Helen Snaith³ and Christine Gommenginger¹, 2020» [55].

Έχοντας ως αναφορά τις παραπάνω μελέτες η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε φαίνεται στην εικόνα 3.1. Πρώτο βήμα της διαδικασίας αποτελεί η άντληση δεδομένων από την κλιματική υπηρεσία ERA5. Τα αρχεία από το ERA5, εισάγονται σε προγραμματιστικό περιβάλλον (MatlabR2015a) και επεξεργάζονται κατάλληλα ώστε να προκύψει η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού Έπειτα με τη χρήση γεωγραφικού πληροφοριακού συστήματος δημιουργήθηκε ένας χάρτης ο οποίος περιέχει κριτήρια χωροθέτησης ανεμογεννητριών. Τέλος, αναζητήθηκαν αντίστοιχα δεδομένα από τον δορυφόρο Sentinel-3A και συσχετίστηκαν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το ERA5.



Εικόνα 3.1: Συνοπτική μεθοδολογία διπλωματικής εργασίας

3.1 Επεξεργασία ERA5

Για την διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας πρώτο στάδιο αποτέλεσε η λήψη των δεδομένων που παρέχει το ERA5 (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>). Για να μπορούν να αξιοποιηθούν τα περιεχόμενα του ERA5, αρχικό βήμα αποτέλεσε η εγγραφή στην σελίδα του παραπάνω συνδέσμου. Με την ολοκλήρωση της εγγραφής, η επιλογή “Datasets” που εμφανίζεται στη σελίδα, δίνει μία ευρεία δυνατότητα επιλογών στον χρήστη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που τον ενδιαφέρουν. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε το “ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present” και στη συνέχεια επιλέχθηκαν οι μεταβλητές που μας αφορούσαν.

Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε επιλογή της ταχύτητας στα 10 μέτρα ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας επιλέγοντας τις συνιστώσες “u component” και “v component” που σηματοδοτούν την ανατολική συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα και την βόρεια συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα επίσης. Αργότερα πραγματοποιήθηκε μια αντίστοιχη διαδικασία με μικρότερη ανάλυση μεν αλλά στα 100 μέτρα.

ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present

WARNING 2021-06-25: Variable "Orography" is now named "Geopotential". No change in the data themselves. Previous API requests asking for "Orography" will fail now. To download the corresponding data the API request should ask for "Geopotential".

Overview Download data Quality assessment Documentation

Product type

☒ Reanalysis

☐ Ensemble members

☐ Ensemble mean

☐ Ensemble spread

Select all Clear all

Variable ⓘ

▼ Popular

☒ 10m u-component of wind

☐ 2m dewpoint temperature

☐ Mean sea level pressure

☐ Mean wave period

☐ Significant height of combined wind waves and swell

☐ Total precipitation

☒ 10m v-component of wind

☐ 2m temperature

☐ Mean wave direction

☐ Sea surface temperature

☐ Surface pressure

Select all Clear all

Εικόνα 3.2: Επιλογή παραμέτρων ERA5.

► Temperature and pressure

▼ Wind

☐ 100m u-component of wind
☐ 10m u-component of neutral wind
☐ 10m v-component of neutral wind
☐ 10m wind gust since previous post-processing

☐ 100m v-component of wind
☒ 10m u-component of wind
☒ 10m v-component of wind
☐ Instantaneous 10m wind gust

Select all Clear all

► Mean rates

► Radiation and heat

► Clouds

► Lakes

► Evaporation and runoff

► Precipitation and rain

► Snow

► Soil

► Vertical integrals

► Vegetation

► Ocean waves

► Other

Select all Clear all

Εικόνα 3.3: Επιλογή παραμέτρων ERA5.

Οι ίδιοι παράμετροι επιλέχθηκαν και στην κατηγορία “wind” όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2. Στην εικόνα 3.3 παρουσιάζονται οι χρονολογίες ενδιαφέροντος. Επιλέχθηκαν να αντληθούν δεδομένα από το 2010 έως το 2020. Ειδικότερα ακολουθήθηκαν δύο διαδικασίες, όπου με την πρώτη αντλήθηκαν δεδομένα για την κάθε χρονιά ξεχωριστά και με τη δεύτερη διαδικασία εξάχθηκαν ως προς το σύνολο 2010 έως 2015 και 2016 έως 2020 δεδομένου ότι είναι πολύ μεγάλο αρχείο για να ληφθεί ολόκληρο από το 2010 έως 2020. Επισημαίνεται ότι επιλέχθηκαν όλοι οι μήνες και όλες οι ώρες αφού μας ενδιέφερε η πνοή της ταχύτητας του ανέμου για κάθε στιγμή.

The screenshot shows the ERA5 parameter selection interface. It consists of three main sections: Year, Month, and Day. Each section has a header and a list of options with checkboxes.

Year: The header is "Year". The list includes years from 1979 to 2021. The years 2010 through 2020 are checked. There are "Select all" and "Clear all" buttons at the bottom right of the list.

Month: The header is "Month". The list includes the months of the year. The months January through June are checked. There is a "Clear all" button at the bottom right of the list.

Day: The header is "Day". The list includes days from 01 to 31. The days 01 through 30 are checked. There is a "Clear all" button at the bottom right of the list.

Εικόνα 3.4: Επιλογή παραμέτρων ERA5.

Τέλος, επιλέχθηκε το γεωγραφικό σημείο ενδιαφέροντος. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4, η βόρεια συντεταγμένη οριοθετείται στα 36, δυτικά είναι 22.2, ανατολικά 28 και νότια 34. Κλείνοντας τη διαδικασία έγινε επιλογή για τον τρόπο ανάκτησης του αρχείου που στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκε με το “NetCDF”.

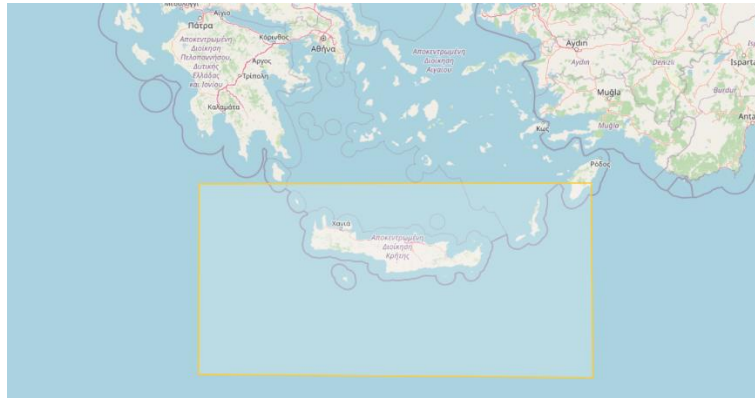
The screenshot shows the ERA5 parameter selection interface. It consists of two main sections: Time and Geographical area. Each section has a header and a list of options with checkboxes.

Time: The header is "Time". The list includes time intervals from 00:00 to 23:00. The intervals 00:00 through 23:00 are checked. There is a "Clear all" button at the bottom right of the list.

Geographical area: The header is "Geographical area". There are two options: "Whole available region" and "Sub-region extraction". The "Sub-region extraction" option is selected. Below this option, there are four input fields: North (36), West (22.2), East (28), and South (34).

Εικόνα 3.5: Επιλογή παραμέτρων ERA5.

Προσεγγιστικά η περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζεται στην εικόνα 3.5. Παρατηρείται ότι από την ευρεία της περιοχής της Κρήτης επιλέγονται επίσης και τα σημεία της Καρπάθου και Κάσου που είναι ΒορειοΔυτικά αυτής.



Εικόνα 3.6: Περιοχή μελέτης.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία είναι η συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου:

10m u-component of wind	m s^{-1}	This parameter is the eastward component of the 10m wind. It is the horizontal speed of air moving towards the east, at a height of ten metres above the surface of the Earth, in metres per second. Care should be taken when comparing this parameter with observations, because wind observations vary on small space and time scales and are affected by the local terrain, vegetation and buildings that are represented only on average in the ECMWF Integrated Forecasting System (IFS). This parameter can be combined with the V component of 10m wind to give the speed and direction of the horizontal 10m wind.
10m v-component of wind	m s^{-1}	This parameter is the northward component of the 10m wind. It is the horizontal speed of air moving towards the north, at a height of ten metres above the surface of the Earth, in metres per second. Care should be taken when comparing this parameter with observations, because wind observations vary on small space and time scales and are affected by the local terrain, vegetation and buildings that are represented only on average in the ECMWF Integrated Forecasting System (IFS). This

		parameter can be combined with the U component of 10m wind to give the speed and direction of the horizontal 10m wind.
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Πίνακας 3.1: Μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν από το ERA5 [4].

Κάνοντας μια μικρή επισήμανση, η ίδια αναφορά του πίνακα 3.1 αντικατοπτρίζεται και για τα 100 μέτρα, δεδομένου ότι στην παρούσα διπλωματική διεξάχθηκε επίσης μια μικρή μελέτη και σε αυτή την τιμή, η οποία παρουσιάζεται στην πορεία της εργασίας στο αντίστοιχο υποκεφάλαιο 4.3.

3.2 Επεξήγηση στοιχείων του περιβάλλοντος Matlab

Η ανάλυση από κάθε αρχείο που λήφθηκε από το ERA5 για κάθε έτος και κάθε μήνα, καθώς και η επεξεργασία αυτών πραγματοποιήθηκε από το λογισμικό “Matlab R2015a”. Βασικό στοιχείο αποτέλεσε η κατανόηση του περιεχομένου του αρχείου που παρέχεται από το NetCDF. Με την χρήση της εντολή "ncdisp (filename);” εμφανίζεται το περιεχόμενο των αρχείων :

```
>> ncdisp(filename);
Source:
      D:\Διπλωματική StavLamp\ALL YEARS\2020.nc
Format:
      64bit
Global Attributes:
      Conventions = 'CF-1.6'
      history     = '2021-05-13 08:46:38 GMT by grib_to_netcdf-2.16.0: /opt/ecmwf/eccodes/bin/grib_to_
Dimensions:
      longitude = 24
      latitude  = 9
      time      = 8784
Variables:
      longitude
      Size:      24x1
      Dimensions: longitude
      Datatype:  single
      Attributes:
                  units      = 'degrees_east'
                  long_name = 'longitude'
      latitude
      Size:      9x1
      Dimensions: latitude
      Datatype:  single
      Attributes:
                  units      = 'degrees north'
```

```

time
  Size:      8784x1
  Dimensions: time
  Datatype:  int32
  Attributes:
    units      = 'hours since 1900-01-01 00:00:00.0'
    long_name  = 'time'
    calendar   = 'gregorian'

u10
  Size:      24x9x8784
  Dimensions: longitude,latitude,time
  Datatype:  int16
  Attributes:
    scale_factor = 0.00051872
    add_offset   = -0.65187
    _FillValue   = -32767
    missing_value = -32767
    units        = 'm s**-1'
    long_name    = '10 metre U wind component'

v10
  Size:      24x9x8784
  Dimensions: longitude,latitude,time
  Datatype:  int16
  Attributes:
    scale_factor = 0.00055022
    add_offset   = -2.5905
    _FillValue   = -32767
    missing_value = -32767
    units        = 'm s**-1'
    long_name    = '10 metre V wind component'

```

Εικόνα 3.7: Ενδεικτική παρουσίαση ερμηνεία των αποτελεσμάτων που μπορεί να εμφανίσει το αρχείο ERA5 του έτους 2020.

«Καλώνοντας» τις συνιστώσες του αέρα σε ανατολική και βόρεια διεύθυνση προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα (Εικόνες 3.7 και 3.8):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0.6636	0.0769	-0.1907	-0.3863	-0.4081	-0.4304	-0.2219	0.0598	0.2901	0.4893	0.7596	1.0765	1.3265	1.6269	1.7871	1.8898	2.0958	2.4283	2.8510	3.2183	3.3723	3.4164	2.9319	2.2104
2	-0.1041	-0.4511	-0.6213	-0.8573	-1.2754	-1.4289	-1.2665	-0.9226	-0.5196	0.2014	0.5848	1.2046	1.7436	2.1160	2.4112	2.5382	2.6368	2.7520	3.1405	3.5544	3.7339	3.8070	3.8122	3.6286
3	-0.7027	-1.0342	-1.4128	-1.9232	-2.7807	-2.7413	-2.5135	-1.9326	-1.0181	-0.0185	0.6698	1.6735	2.3769	2.8095	3.1021	3.6856	3.7188	3.7287	3.8734	4.2287	4.3190	4.2796	4.2474	4.2350
4	-1.3807	-1.9679	-2.5369	-3.1412	-3.1044	-2.2106	-1.1260	-0.6399	-0.2867	0.2070	0.3684	0.4846	0.8291	1.3172	2.1819	3.7603	4.4461	4.6593	4.7428	4.8870	4.9316	4.8818	4.7677	4.5462
5	-1.9279	-2.5244	-3.0214	-3.3035	-2.6832	-1.4963	-0.4599	-0.3852	-0.2457	0.2087	0.3816	0.3659	0.6174	1.3706	2.4630	3.7230	4.2562	4.4985	4.6904	4.9607	5.0825	5.1163	5.0976	4.9985
6	-2.1582	-2.6121	-2.8798	-2.8715	-2.0301	-0.8894	0.0033	0.0759	0.0474	0.4670	0.9826	1.0506	1.1216	1.4842	2.2581	2.9693	3.5326	3.9279	4.3226	4.7023	4.9326	5.1043	5.1868	5.3077
7	-2.2184	-2.2438	-2.3190	-2.0887	-1.1633	-0.0616	0.7155	0.8519	0.6382	0.6019	0.8861	1.2119	1.1019	1.2840	1.5968	2.1736	2.7587	3.2816	3.7225	4.1878	4.7360	5.1137	5.6132	5.9260
8	-2.1567	-1.9990	-1.6888	-1.3055	-0.5632	0.2305	0.5868	0.6429	0.7124	0.8654	1.1398	1.4417	1.4386	1.3696	1.5636	1.9817	2.3640	2.8054	3.3557	3.9071	4.4834	5.1816	5.8731	6.2294
9	-1.9632	-1.5980	-1.0954	-0.6296	-0.1446	0.0375	0.2242	0.2569	0.4893	0.8524	1.3929	1.7731	2.0309	2.2120	2.4044	2.5922	2.7898	3.1114	3.4268	3.9844	4.5410	5.2050	5.8430	6.2191

Εικόνα 3.8: Παρουσίαση πίνακα 9×24 για την ανατολική συνιστώσα ταχύτητας του ανέμου (10m u-component of wind), με δεδομένα για 01 Ιανουαρίου στις 00:00, 2020.

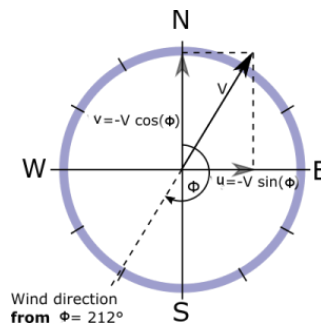
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	-3.0912	-4.1597	-5.1803	-6.2274	-6.9356	-7.3702	-7.8280	-8.2132	-8.5939	-9.0957	-9.4996	-9.5238	-9.1992	-8.8344	-8.3579	-7.8192	-7.1144	-6.3248	-5.6007	-4.9294	-4.2411	-3.6133	-2.5899	-1.4190
2	-3.8527	-4.9041	-5.8951	-6.6775	-7.2651	-7.6696	-7.4968	-7.5447	-7.7735	-7.9458	-8.2825	-8.3926	-8.2071	-7.8808	-7.6255	-7.1391	-6.4090	-5.7669	-5.0945	-4.5377	-4.0139	-3.4560	-2.9817	-2.1910
3	-4.6648	-5.7256	-6.6412	-7.3917	-7.8962	-7.0142	-6.2681	-5.9342	-6.0046	-5.9991	-5.8687	-5.9903	-5.7746	-5.4654	-5.1826	-5.7768	-5.7669	-5.2464	-4.6642	-4.2763	-3.8180	-3.4224	-3.0438	-2.5772
4	-5.2948	-6.2632	-7.1325	-8.0509	-7.9733	-6.0536	-3.5302	-2.3478	-2.4780	-2.5338	-2.2999	-2.0413	-1.9715	-1.9219	-2.5563	-4.5636	-5.4758	-5.3828	-4.8623	-4.3842	-3.8758	-3.4824	-3.1429	-2.7401
5	-5.8918	-6.8717	-7.6685	-8.3227	-8.1675	-6.3166	-3.6689	-1.6039	-1.8223	-2.3109	-2.2433	-1.2958	-1.3580	-2.1178	-3.4361	-5.1826	-5.8571	-5.7487	-5.2645	-4.7011	-4.2169	-3.8130	-3.4328	-3.0136
6	-5.9793	-6.9426	-7.5001	-7.9029	-7.5259	-6.1201	-4.0117	-2.2757	-2.6158	-3.3553	-3.7586	-3.1561	-2.8755	-3.0213	-3.7965	-4.4865	-4.9960	-5.1359	-5.0736	-4.7187	-4.3082	-3.9891	-3.7030	-3.5831
7	-6.1438	-6.5779	-7.0335	-7.1177	-6.1823	-4.6967	-3.1005	-1.8499	-2.2950	-3.2645	-3.7773	-3.8873	-3.5313	-3.4290	-3.3707	-3.7008	-4.1190	-4.3082	-4.2499	-4.1146	-4.0469	-3.8736	-3.6587	-3.8477
8	-6.0904	-6.4602	-6.5295	-6.2104	-5.2161	-3.6870	-2.2922	-1.4906	-1.9049	-2.8387	-3.7294	-4.0970	-4.0001	-3.8268	-3.6821	-3.7756	-3.9143	-3.9726	-4.0557	-4.0562	-4.0557	-4.0029	-3.8351	-3.6672
9	-5.9732	-6.2302	-6.1471	-5.6090	-4.5911	-3.4839	-2.3010	-1.6600	-1.8190	-2.5832	-3.1610	-3.6051	-3.8064	-4.0254	-4.0399	-4.0139	-3.9792	-3.9605	-4.0320	-4.1333	-4.1426	-4.0436	-3.8356	-3.5957

Εικόνα 3.9: Παρουσίαση πίνακα 9×24 για την ανατολική συνιστώσα ταχύτητας του ανέμου (10m v-component of wind), με δεδομένα για 01 Ιανουαρίου στις 00:00, 2020.

Οι Εικόνες 3.7 και 3.8 αντιστοιχούν στις συνιστώσες της ταχύτητας στα 10 μέτρα για την 01 Ιανουαρίου και ώρα 00:00 του έτους 2020, για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτους στην περιοχή μελέτης.

3.3. Υπολογισμός ταχύτητας αέρα

«Καλώντας» την εμφάνιση των δεδομένων που είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας που πνέουν οι άνεμοι βόρεια και ανατολικά, ενοποιηθήκαν και οι δύο συνιστώσες για να προκύψει η ενιαία ταχύτητα του ανέμου.



Εικόνα 3.10: Συνιστώσα ανέμων με τις παραμέτρους u και v (Πηγή: ECMWF, ERA5: How to calculate wind speed and wind direction from u and v components of the wind?).

Οι τιμές που λαμβάνονται από τα “10 m u ” και “10 m v ” σηματοδοτούν τον μηνιαίο μέσο όρο των συνιστωσών της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 10 m. Δεδομένου ότι οι παρατηρήσεις του ανέμου διαφέρουν σε μικρές χωρικές και χρονικές κλίμακες και επηρεάζονται από το τοπικό έδαφος, τη βλάστηση και τα κτίρια λήφθηκε υπόψη η κατά μέσο όρο τιμή στο σύστημα πρόβλεψης ECMWF. Ο συνδυασμός των δύο παραμέτρων μπορεί να δώσει την ταχύτητα του ανέμου, καθώς και την κατεύθυνση του οριζόντιου ανέμου.

Βασιζόμενοι στην εικόνα 3.9 η κατεύθυνση του ανέμου αυξάνεται δεξιόστροφα ώστε ο βόρειος άνεμος να είναι 0° , ο ανατολικός να είναι 90° , ο νότιος 180° και ο δυτικός 270° . Στην τριγωνομετρία χρησιμοποιείται γενικά ένα πολικό σύστημα συντεταγμένων όπου κατά μήκος του άξονα x είναι 0° . Ο ορισμός για την μετεωρολογική γωνία μπορεί να προκαλέσει λάθη στους τυπικούς υπολογισμούς γωνίας.

Έστω ϕ η μετεωρολογική γωνία κατεύθυνσης του ανέμου τότε υπολογίζονται με βάση τις ακόλουθες εξισώσεις η ταχύτητα του ανέμου [40]:

$$u = -|\vec{v}| \times \sin \phi \quad (1)$$

$$v = -|\vec{v}| \times \cos \phi \quad (2)$$

Ο συνδυασμός των εξισώσεων (1) και (2) οδηγεί:

$$|\vec{v}| = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3)$$

Η διαδικασία συνεχίστηκε στο περιβάλλον του matlab μέσω της εντολής “hypot(u10,v10);”.

Στη συνέχεια οι διαστάσεις που εμφανίστηκαν στο λογισμικό matlab από τα δεδομένα είναι: το γεωγραφικό μήκος (longitude), το γεωγραφικό πλάτος (latitude) καθώς και μια διάσταση “exrner” όπου προκύπτει όταν τα δεδομένα μετατρέπονται σε netCDF, με αποτέλεσμα να δημιουργείται η διάσταση exrner η οποία περιέχει τιμές 1 και 5. Τέλος, η τέταρτη διάσταση είναι ο χρόνος (time), η τιμή του οποίου προκύπτει από τους μήνες και τις ώρες. Εάν έχει επιλεγθεί αρχείο που είναι όλοι οι μήνες, τότε ο χρόνος αποτελείται από τις μέρες των μηνών πολλαπλασιασμένες με την ώρα (δηλαδή επί 24).

3.3 Θεωρητική εκτίμηση αιολικής ενέργειας

Έχοντας υπολογίσει τις ταχύτητες του ανέμου για κάθε γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος του πλέγματος που έχει οροθετηθεί γύρω από την Κρήτη, επόμενο βήμα αποτέλεσε ο υπολογισμός του θεωρητικού αιολικού δυναμικού. Βασιζόμενοι στο αρχικό στάδιο υπολογισμού της πυκνότητας αιολικής ισχύος (η οποία είναι ουσιαστικά η θεωρητική αιολική ενέργεια), ακολουθήθηκαν κάποιες κοινές συνισταμένες οι οποίες προέκυψαν μέσω της βιβλιογραφικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας, για τον υπολογισμό της αιολικής ενέργειας. [41], [50], [51], [52]. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στις προοπτικές του αιολικού δυναμικού, χωρίς να οριοθετεί τον αριθμό των Α/Γ και τα υπολογιζόμενα KW, με αποτέλεσμα να υπολογίζεται καθαρά η μορφή σε Watt/m².

Η κινητική ενέργεια του ανέμου μάζας m που κινείται με μια ταχύτητα V δίνεται από τον τύπο:

$$E = \frac{1}{2} \times m \times V^2 \text{ [J]} \quad (1)$$

και η ισχύς που είναι η ενέργεια ως προς τον χρόνο δίνεται από τον τύπο :

$$P = \frac{1}{2} \times \dot{m} \times V^2 \text{ [W]} \quad (2)$$

Όπου:

- $\dot{m} = \rho \times V \times A \text{ [kg/s]}$ η μαζική παροχή του αέρα μέσω της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια του δρομέα.
- $\rho \text{ [kg/m}^3 \text{]}$: η πυκνότητα του αέρα (σε κανονικές συνθήκες με θερμοκρασία 25 °C και η πυκνότητα του αέρα είναι 1,225 Kg/m³).
- $V \text{ [m/s]}$: η ταχύτητα του ανέμου.

- $A [m^2]$: το εμβαδόν της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια του δρομέα.

Επομένως η εξίσωση που δίνει την ισχύ του ανέμου, που διέρχεται από μία επιφάνεια A , κάθετη στη διεύθυνση του, με ταχύτητα V λαμβάνει τη μορφή:

$$P = \frac{1}{2} \times (\rho \times V \times A) \times V^2 = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 [W] \quad (3)$$

Από την σχέση (3) γίνεται αντιληπτό ότι η ισχύς είναι ανάλογη της ταχύτητας και της πυκνότητας. Όμως το αιολικό δυναμικό για μια θέση εγκατάστασης αιολικού πάρκου αξιολογείται με βάση την ειδική ισχύ σε $Watt/m^2$ του ανέμου στην περιοχή αυτή, δηλαδή της ισχύος του ανέμου ανά μονάδα επιφάνειας που δυνητικά θα σαρώνεται από τα πτερύγια των ανεμογεννητριών. Ουσιαστικά είναι μια ένδειξη του κατά πόσο μια περιοχή είναι ανεμώδης και ενεργειακά αξιοποιήσιμη από ένα αιολικό πάρκο. Η ειδική ισχύς υπολογίζεται έχοντας διαιρέσει την σχέση (3) με την επιφάνεια και προκύπτει από την εξίσωση:

$$p = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 [W/m^2] \quad (4) \quad [53]$$

3.4 Εφαρμογή QGIS-3.16.3

Τα δεδομένα του ERA5 λήφθηκαν σε μορφή “NETCDF”, η οποία είναι αξιοποιήσιμη και αποδεκτή ώστε να ανοιχθούν και να διαβαστούν από το QGIS. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό της έκδοσης “QGIS Desktop 3.16.3 with GRASS 7.8.5” εμφανίστηκαν ορισμένα από τα δεδομένα του ERA5.

Αρχικά, έχοντας εμφανίσει τον Χάρτη της Ελλάδας, πραγματοποιήθηκε εστίαση στο νησί της Κρήτης καθώς και ευρύτερα αυτής. Κατόπιν, ανοίγοντας το αρχείο, εμφανίστηκε ένα grid της μορφής 9x24, το οποίο αποτελεί ουσιαστικά έναν πίνακα που πολλών pixel, (εικονοστοιχείων με μορφή τετράγωνων μικρών κουτιών), όπου το καθένα από αυτά έχει ένα διαφορετικό γεωγραφικό μήκος και πλάτος καθώς και διαφορετικές συνιστώσες ταχυτήτων. Βασιζόμενοι απευθείας στο αποτέλεσμα που εμφανίστηκε στο ERA5, μπορούν να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα από όσα λαμβάνουν χώρα στο λογισμικό του Matlab.

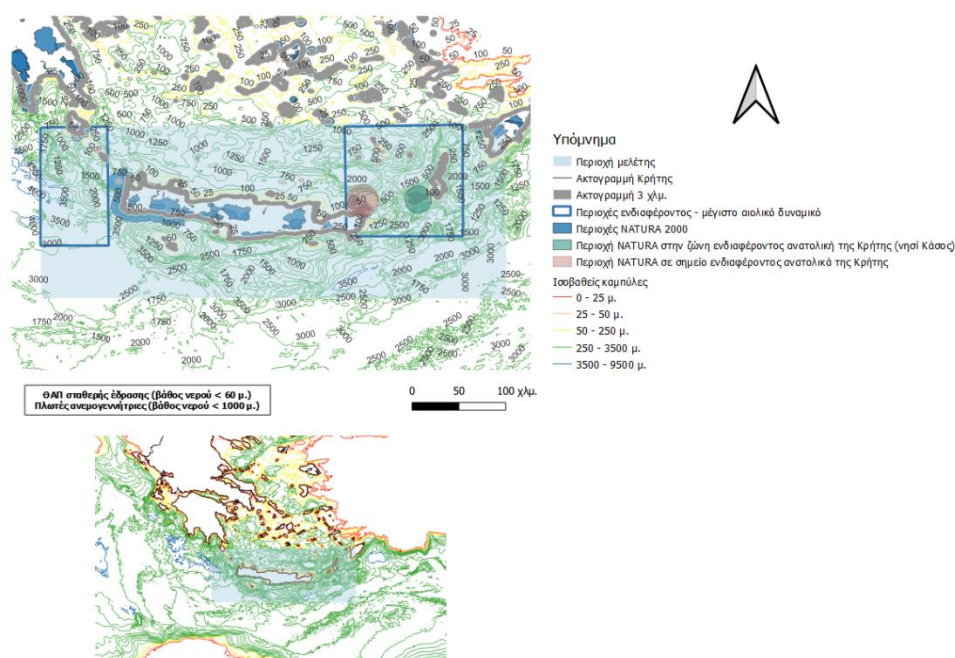
Πρώτο βήμα αποτέλεσε η λήψη του αρχείου ακτογραμμής της Ελλάδας. Η λήψη του αρχείου πραγματοποιήθηκε από την ιστοσελίδα του Geodata «<https://geodata.gov.gr>». Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε ένα πλαίσιο στο σημείο μελέτης μέσω πολυγώνων από τις προ-υπάρχουσες εφαρμογές του QGIS. Έπειτα δημιουργήθηκαν κι άλλα πολύγωνα για τα σημεία που παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον και στα οποία δόθηκε και υψηλότερη προσοχή. Έχοντας ως προ-απαιτούμενο το μικρότερο σημείο ακτογραμμής το οποίο, γενικότερα θεωρείται στα τρία χιλιόμετρα απόστασης, ορίστηκε η εντολή “buffered” από το QGIS.

Επόμενο βήμα αποτέλεσε η εμφάνιση όλων των περιοχών NATURA 2000 με βάση την επίσημη ιστοσελίδα της NATURA2000 «<https://natura2000.eea.europa.eu>» τα οποία επιβεβαιώθηκαν και από το Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) «<http://mapsportal.ypen.gr/maps/826#more>».

Με τον τρόπο αυτό τοποθετήθηκαν όλα τα σημεία προσοχής των περιοχών NATURA2000 κατεβάζοντας το αντίστοιχο αρχείο, με αποτέλεσμα να σημειωθούν όλες οι περιοχές οικοτόπων και πτηνών.

Τέλος, έπειτα από μελέτη και έρευνα σε διεθνείς ιστοσελίδες που παρουσιάζουν τα βάθη και πραγματοποιούν ανάλογες συγκρίσεις, επιλέχθηκε η ιστοσελίδα «https://opendem.info/download_bathymetry.html» και προστέθηκε το αρχείο, όπου υπήρχαν σε πλήρη ανάλυση όλες οι ισοβαθείς καμπύλες και τα βαθυμετρικά σημεία. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν η πραγματοποίηση επεξεργασίας και ο χρωματικός διαχωρισμός από 0 μέτρα έως 9500 μέτρα για την δημιουργία βαθυμετρικών ζωνών.

3.5 Βασικά κριτήρια για την χωροθέτηση αιολικών πλωτών πάρκων μέσω QGIS-3.



Εικόνα 3.11 Βασικά κριτήρια χωροθέτησης για την στήριξη πλωτών ανεμογεννητριών αναφορικά σε περιοχές NATURA2000 και βάθη για κατηγορίες ανεμογεννητριών.

Εκτός από την σημασία της ύπαρξης ενός ικανοποιητικού αιολικού δυναμικού ενέργειας, χρειάζονται και άλλες προϋποθέσεις για την ολοκλήρωση μιας μελέτης στο στήσιμο ενός αιολικού πάρκου. Αρκετές από αυτές έως και οι περισσότερες έχουν αναφερθεί στα

προηγούμενα κεφάλαια. Η παρούσα διπλωματική όμως συντάχθηκε με σκοπό την μελέτη ως προς την αιολική δυνατότητα που επικρατεί στην περιοχή. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μια επιπλέον εμβάθυνση σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά που αφορούν την χωροθέτηση αιολικών πάρκων, όπως είναι το βάθος για την εγκατάστασή τους, τις προστατευόμενες περιοχές χωρίς να υπάρξουν αναταράξεις στο οικοσύστημα, καθώς και την απομάκρυνση για την έλλειψη ορατότητας από την ακτή.

Για αρχή οριοθετήθηκε το μήκος 3 χιλιομέτρων από την ακτογραμμή. Το όριο αυτό τέθηκε ως το μικρότερο, δεδομένου ότι έχουν υπάρξει πολλές αλλαγές ανά διαστήματα χρόνων. Η ύπαρξη μεγαλύτερου ή και μικρότερου μήκους (1.5 χιλιόμετρο, ΚΑΠΕ |2015) είναι πιθανή και περιλαμβάνεται σε ήδη υπάρχουσες έρευνες που έχουν γίνει για προτάσεις εγκαταστάσεων πλωτών αιολικών πάρκων. Τα 3 χιλιόμετρα επίσης, μπορεί να καθοριστούν και ως κριτήριο ΘΑΠ σταθερής έδρασης, επομένως η εικόνα 4.16 αποτελεί ένα απλό κριτήριο για μια ασφαλή απόσταση, δεδομένου ότι και τα πλωτά πάρκα πλέον εγκαθίστανται και σε πιο ρηχά νερά.

Το συγκεκριμένο λοιπόν όριο δεν αποτελεί καθοριστικό σημείο απόκλισης αφού η παρούσα διπλωματική βασίστηκε σε μεγαλύτερη απόσταση για μελέτη σε πιο βαθιά νερά. Λαμβάνοντας όμως υπόψιν ότι στα 3 χιλιόμετρα υπάρχουν επίσης περιοχές NATURA, εκ των πραγμάτων τα δεδομένα θα άλλαζαν. Για τον λόγο αυτό σημειώθηκαν τα σημεία οικοσυστημάτων για να μην υπάρχει επικινδυνότητα διαταραχής του περιβάλλοντος συνολικά. Κύριο θέμα ήταν να σημειωθούν τα βάθη που υπάρχουν και που κυμαίνονται στα σημεία ενδιαφέροντος, δεδομένου ότι μέχρι στιγμής βάθη νερού κάτω των 60 μέτρων είναι κατάλληλα για κατασκευές ΘΑΠ σταθερής έδρασης, ενώ τα βάθη από 60 έως 1000 μέτρα είναι κατάλληλα για κατασκευή πλωτών ανεμογεννητριών γνωστών και ως floating.

Επί του παρόντος, είναι τεχνικά εφικτό να εγκατασταθούν πλωτές πλατφόρμες μεταξύ 60 και 300 μέτρων. Μελέτες που αφορούν την επέκταση αυτού του εύρους σε πιο ρηχά νερά, έως και 30 μέτρα ή βαθύτερα έως 800 μέτρα προς το παρόν βρίσκονται σε εξέλιξη, όμως δεν είναι οικονομικά βιώσιμα.

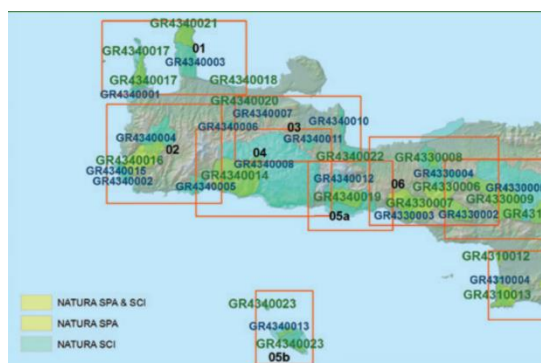
Στο κεφάλαιο 2 πραγματοποιήθηκε σχετική αναφορά για τα χαρακτηριστικά χωροθέτησης πλωτών ανεμογεννητριών, πολλά εκ των οποίων αφορούν το περιβαλλοντικό κόστος. Στο Κρητικό πέλαγος απαντάται πλήθος απειλούμενων και προστατευόμενων ειδών. Πιο συγκεκριμένα, έχουν καταγραφεί διάφορα απειλούμενα είδη Χονδιχθών όπως ο ρυγχοκαρχαρίας (*Isurus oxyrinchus*), ο επτακαρχαρίας (*Heptranchias perlo*), ο Κοκκοκεντροφόρος (*Centrophorus granulosus*), ο γλαυκός καρχαρίας (*Prionace glauca*) κ.λπ.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της 3ης εθνικής έκθεσης για την πρόοδο εφαρμογής της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ στην περιοχή ενδιαφέροντος απαντώνται τα ακόλουθα είδη κητωδών:

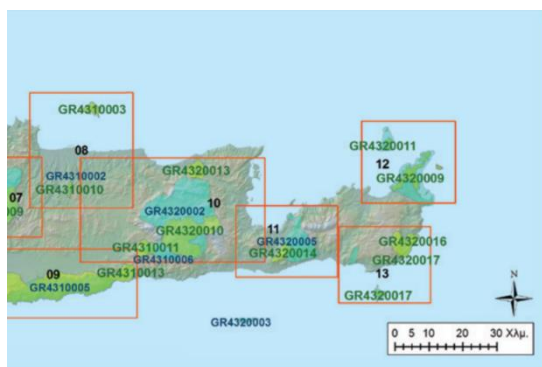
- Ο Φυσητήρας (*Physeter macrocephalus*)
- Ο Ζιφιός (*Ziphius cavirostris*)
- Το Σταχτοδέλφινο (*Grampus griseus*)
- Το Ζωνοδέλφινο (*Stenella coeruleoalba*)
- Η μεσογειακή φώκια (*Monachus monachus*)

Οι θαλάσσιες περιοχές «Δυτικά Κρήτης» και «Νοτιοδυτικά Κρήτης», περιλαμβάνουν τμήμα θαλάσσιας προστατευόμενης περιοχής της Συμφωνίας ACCOBAMS και συγκεκριμένα την περιοχή «Νοτιοδυτική Κρήτη και Ελληνική Τάφρος», η οποία αποτελεί περιοχή ειδικής σημασίας για την φάλαйна φυσητήρα. Επίσης, οι θαλάσσιες περιοχές εφαρμογής του εξεταζόμενου, στην παρούσα εργασία, Προγράμματος, περιλαμβάνει τμήμα της περιοχής EBSA «Ελληνική Τάφρος» της Σύμβασης για τη Βιολογική Ποικιλότητα (CBD). Η Ελληνική Τάφρος λόγω περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών, συμπεριλαμβανομένων των γεωμορφολογικών συνθηκών, είναι σημαντική για την επιβίωση των απειλούμενων, βαθιά καταδυόμενων θαλάσσιων θηλαστικών στην ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα, συμπεριλαμβανομένων των βαθιά καταδυόμενων κητωδών (φυσητήρες και ζιφιοί) παράκτια θαλάσσια θηλαστικά (μεσογειακές φώκιες και κοινά δελφίνια) [42].

Στην ελληνική ορνιθοπανίδα περιλαμβάνονται σήμερα περίπου 450 είδη (επίσημως καταχωρισμένα 442), από τα οποία τα 354 έχουν καταγραφεί και στην Κρήτη. Συνολικά, 273 είδη απαντούν τακτικά στο νησί (58 μόνιμα, 34 καλοκαιρινοί επισκέπτες, 43 διαχειμάζοντα, 139 μεταναστευτικά) και 79 σπάνια ή ως τυχαίοι επισκέπτες. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί πως φωλιάζουν στο νησί (τακτικά ή περιστασιακά) περισσότερα από 100 είδη (*Διοικητική διαχείριση των προστατευόμενων περιοχών NATURA 2000 στην Κρήτη*).



Εικόνα 3.12 Χάρτης ζωνών ειδικής προστασίας δικτύου NATURA2000 στην Κρήτη.



Εικόνα 3.13 Χάρτης Ζωνών Ειδικής Προστασίας του Δικτύου NATURA 2000 στην Κρήτη.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα αιολικά πάρκα, ιδίως τα σύγχρονα, προστατεύουν την βιοποικιλότητα και την ορθινοπανίδα, εφαρμόζοντας συστήματα σύγχρονων τεχνολογιών, όταν αυτό καθίσταται αναγκαίο, όπως είναι τα Ορνιθολογικά ραντάρ, τα συστήματα βιντεοπαρακολούθησης και οι θερμικές κάμερες.

Ένα βασικό στοιχείο το οποίο επίσης ανήκει στην ενότητα των χωροθετηκών στοιχείων είναι το ιστορικό και πολιτιστικό ενδιαφέρον καθώς και τα σεισμικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά που κυμαίνονται γύρω από την Κρήτη. Βασιζόμενοι στα στοιχεία του «Διαρκούς Καταλόγου των Κηρυγμένων Αρχαιολογικών Χώρων & Μνημείων της Ελλάδας», εντός των ορίων των θαλάσσιων περιοχών «Δυτικά Κρήτης» και «Νοτιοδυτικά Κρήτης», δεν εντοπίζονται θαλάσσιοι αρχαιολογικοί χώροι και μνημεία.

Αναφορικά με τα γεωλογικά και σεισμικά χαρακτηριστικά στην περιοχή της Κρήτης, η Αφρικανική πλάκα υποβυθίζεται με ένα ρυθμό 40 mm/yr κατά μήκος του Ελληνικού τόξου κάτω από το Αιγαίου πέλαγος, με αποτέλεσμα την ύπαρξη συχνών σεισμοί μικρού εστιακού βάθους (<50 km), οι περισσότεροι από τους οποίους γίνονται στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης και έχουν μηχανισμούς λειτουργίας που οφείλονται σε ανάστροφα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης ακολουθώντας την κίνηση της σύγκλισης στο μέτωπο της υποβύθισης. Στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης καταγράφονται ρήγματα ολίσθησης από μηχανισμούς που ακολουθούν την εκέκταση του οπισθοτάφρου.

Ένα ακόμα ερώτημα που αιωρείται αναφορικά την σχέση των Α/Γ και των σεισμών, είναι αν μια Α/Γ μπορεί να προκαλέσει σεισμούς. Η σύντομη απάντηση είναι όχι. Οι Α/Γ επίσης είναι ευάλωτες στη κάθετη διέγερση σεισμών λόγω των υψηλών φυσικών συχνοτήτων τους στην κατακόρυφη διεύθυνση. Στη σημερινή εποχή, υπάρχουν οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές καθώς και αντισεισμικοί σχεδιασμοί Α/Γ, όχι όμως στο ίδιο αναλυτικό επίπεδο όπως είναι για τα κτήρια.

Συγκεκριμένα η περιοχή μπορεί να χαρακτηρίζεται επιρρεπής σε ισχυρή μετακίνηση εδάφους και στην ύπαρξη πιθανών τσουνάμι [44] όμως οι σεισμικοί κίνδυνοι σε ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο έχουν μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές και συνοψίζονται παρακάτω:

- Μπορεί να προκληθεί ρήξη των καλωδίων ή ενσωματωμένη αγκύρωση για πλωτά συστήματα λόγω την επίδραση μεγάλων κινήσεων ρήγματος (δηλαδή, για παράδειγμα, σφάλμα καταβύθισης).
- Η δόνηση του εδάφους που προκαλείται από αδρανειακές επιδράσεις στην κατασκευή προκαλεί αδρανειακή κάμψη, ροπή στους πασσάλους θεμελίωσης, σε μη υγροποιήσιμη υπόγεια επιφάνεια.
- Η έναρξη της υγροποίησης μπορεί να επιμηκύνει τη φυσική περίοδο δόνησης του συνόλου δομή λόγω αύξησης του μη υποστηριζόμενου μήκους του σωρού. Ένας από τους σημαντικούς κινδύνους είναι η κλίση της θεμελίωσης λόγω υγροποίησης. Ο ρυθμός υγροποίησης εξαρτάται στο προφίλ του εδάφους και τον τύπο της κίνησης εισόδου. Οι παροδικές επιπτώσεις της υγροποίησης επηρεάζει τη ροπή κάμψης στους πασσάλους, και επομένως πρέπει να ληφθεί υπόψη.
- Εάν υπάρχει κίνδυνος τσουνάμι, η επίδραση πρέπει να εξεταστεί μαζί με το έδαφος ανακίνηση και υγροποίηση.
- Οι σεισμοί μπορεί να προκαλέσουν υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και η πιθανή πρόσκρουση πρέπει να μελετηθεί. [54].

Με τα σημερινά δεδομένα υπάρχουν ακόμα λειτουργίες και μελέτες που προβλέπονται για τους κινδύνους που μπορεί να προκαλέσει ένας σεισμός, ως προς ένα πλωτό αιολικό πάρκο. Κίνδυνοι επίσης παρατηρήθηκαν και σε κατασκευές όπως είναι η μονόπολη κατασκευή που ενάγεται στις πλωτές ανεμογεννήτριες σταθερής έδρασης. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί το γεγονός που εξελίχθηκε το 2013 από τις πλωτές ανεμογεννήτριες “Fukushima floating offshore turbine off Japan's”, όπου ο σεισμός 7.8 ρίχτερ που προκλήθηκε είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μικρού τσουνάμι. Ο στρόβιλος της ανεμογεννήτριας στηρίζοταν σε ένα ημι-υποβρύχιο θεμέλιο που κατασκευάστηκε από τη Mitsui, 20 χιλιόμετρα από την ακτή. Η ναυπηγική εταιρεία Japan Marine United και το Πανεπιστήμιο του Τόκιο ανέπτυξαν τον συγκεκριμένο πλωτό υποσταθμό, ο οποίος είχε καλή απόδοση τόσο κατά τη διάρκεια, όσο και μετά τον σεισμό. Στο σημείο έχει επίσης εγκατασταθεί ένα υποθαλάσσιο καλώδιο υψηλής τάσης και ένα δυναμικό καλώδιο, το οποίο ακολουθεί τις κινήσεις του πλωτού εξοπλισμού καθώς και τις κινήσεις κυμάτων και παλίρροιας (Fukushima floating project hit by earthquake and tsunami, 2013). Με αυτό το παράδειγμα γίνεται αντιληπτό ότι με την συνεχή εξέλιξη της Τεχνολογίας για κατασκευές μεγαλύτερων βαθών απαιτούνται και διαφορετικές προδιαγραφές για την ασφάλειά τους σε επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα.

Τέλος, αναφορικά με την Ναυσιπλοΐα, πραγματοποιήθηκε μελέτη η οποία και εφαρμόστηκε εκ νέου σε νέα εικόνα μέσω του λογισμικού Q-GIS. Στην μελέτη λήφθηκαν επίσης υπ' όψιν τα σχόλια της Διεύθυνσης Ασφάλειας Ναυσιπλοΐας της Γενικής Γραμματείας Ασφάλειας Ναυσιπλοΐας του Υπουργείου Προστασίας του Πολίτη, τα οποία είναι τα εξής:

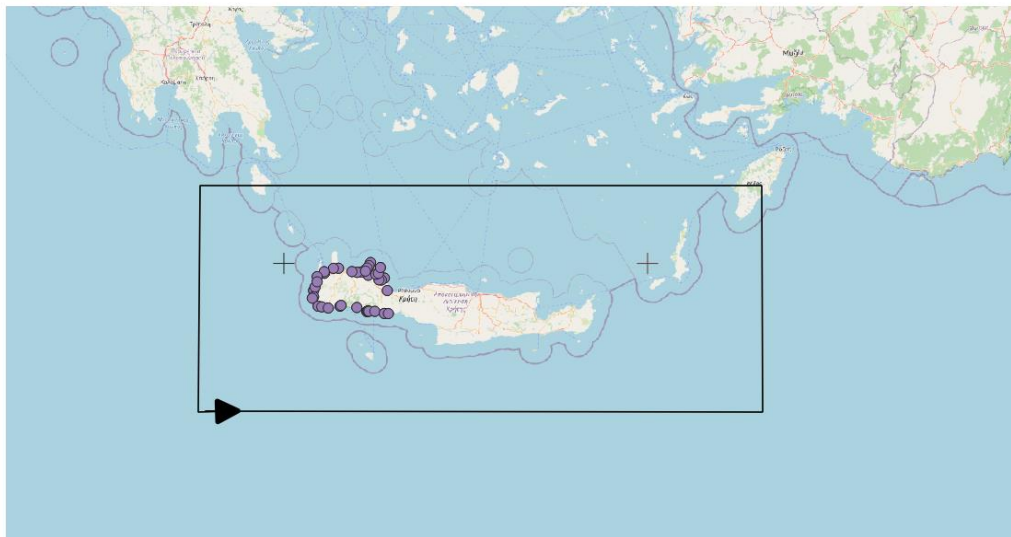
α) Στα Δυτικά και στα Νοτιοδυτικά της Κρήτης επικρατούν οι λιμένες Ηρακλείου, Σούδας – Χανίων, Καλαμάτας, Γυθείου, Κυθήρων, Αντικυθήρων, Κισσάμου, Παλιόχωρας, Χώρας Σφακίων και Γαύδου.

β) Στον «Άγιο Παύλο» στους καλούς Λιμένες της Π.Ε. Ηρακλείου υπάρχουν σταθμοί ανεφοδιασμού πλοίων με ναυτιλιακά καύσιμα.

γ) Εντός των ορίων των θαλάσσιων περιοχών μελέτης Δυτικά και Νοτιοδυτικά διέρχεται πλήθος υποβρύχιων τηλεπικοινωνιακών καλωδίων, που συνδέουν τόσο διάφορες περιοχές της Ελλάδας, όσο και την Ελλάδα με τις υπόλοιπες χώρες.

δ) Στην ίδια περιοχή ενδιαφέροντος Δυτικά και Νοτιοδυτικά της Κρήτης υπάρχει μεγάλη διέλευση πλοίων.

ε) Στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης υπάρχει το λιμάνι της Κρήτης και το λιμεναρχείο της αντίστοιχα.



Υπόμνημα

— Ακτογραμμή

● Λιμάνια Νομός Χανίων

OpenStreetMap - Γραμμές ακτοπλοϊκών

Με σύμβολο (+) ορίζονται τα δύο βασικά σημεία ακτοπλοϊκών διασυνδέσεων στις περιοχές ενδιαφέροντος.

Εικόνα 3.14 Παρουσίαση μέσω του QGIS-3 τις ακτοπλοϊκές γραμμές καθώς και την πληθώρα λιμανιών που υπάρχουν στη Δυτική και Νοτιοδυτική πλευρά της Κρήτης, τα Χανιά.

Πηγή σημείων λιμανιού: geodata.gov.gr

3.6 Θεωρητικά βήματα αξιοποίησης Δορυφορικής Αλτιμετρίας

Η συλλογή των αποτελεσμάτων της Αλτιμετρίας πραγματοποιήθηκε μέσω της ιστοσελίδας Radar Altimeter Database System «<http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml>». Πρώτο βήμα αποτέλεσε η επιλογή του δορυφόρου, όπου στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε ο “Sentinel – 3A”, ενώ έπειτα επιλέχθηκαν τα αποτελέσματα που θέλαμε να εμφανιστούν, όπως το “altimeter wind speed”. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι υπάρχει μια ευρεία επιλογή δορυφόρων που μπορούν να συγκριθούν ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε έρευνας. Ενδεικτικά ορισμένοι από τους δορυφόρους που ήταν διαθέσιμοι είναι: «ο Jason-1 , Jason-2, Jason-3, Poseidon phase A, Cryosat-2 κ.λπ».

Τελευταίο στάδιο αποτέλεσε η συμπλήρωση των γεωγραφικών μηκών και πλάτων της περιοχής ενδιαφέροντος και όπου χρησιμοποιήθηκαν για την ανάκτηση των αλτιμετρικών αρχείων Sentinel-3A το σημείο: $Lat_{min} = 34^{\circ}$ B, $Lat_{max} = 36^{\circ}$ B και $Lon_{min} = 22.2^{\circ}$ E, $Lon_{max} = 28^{\circ}$ E καθώς και οι τροχιές και ημερομηνίες ενδιαφέροντος για την εμφάνιση συγκεκριμένων ζητούμενων δεδομένων από τον δορυφόρο.

Κατά το στάδιο αυτό επιλέχθηκαν να γίνει λήψη όλων των κύκλων (εβδομήντα οχτώ (78) στο σύνολο). Επομένως υπήρχαν 78 ημέρες ξεκινώντας από το 2016 έως το 2021. Επίσης, υπήρχαν κάποιες μέρες για το κάθε έτος σε διαφορετικούς μήνες, ενώ οι ώρες ήταν είτε νωρίς το πρωί είτε αργά το απόγευμα. Τα περάσματα του δορυφόρου που επιλέχθηκαν ήταν ανάλογα με τις περιοχές μεγαλύτερου ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα αυτά ήταν: ο S-3A pass 556, ο S-3A pass 683, ο S-3A pass 442, ο S-3A pass 369 και ο S-3A pass 128.

Σκοπός της αξιοποίησης των δεδομένων του δορυφόρου ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων που παρέχει ο δορυφόρος Sentinel-3A μέσω της Δορυφορικής Αλτιμετρίας σε σχέση με τα δεδομένα που αντλήθηκαν από το ERA5. Η επιλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με βάση κάθε τιμή που αντλήθηκε από το Αλτίμετρο. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν όλες οι τιμές, σε κάθε γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος, στο Google Earth και επιλέχθηκαν ως προς επεξεργασία οι τιμές που ήταν πάνω στις τροχιές ή παραπλήσια από αυτές και «πατούν» πάνω στο grid από τα δεδομένα του ERA5, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.15:



Εικόνα 3.15 Εμφάνιση πλέγματος ERA5 πάνω στις τροχιές μελέτης.

Η εικόνα 3.15 αποτελεί μια προσεγγιστική αποτύπωση των δεδομένων που παρέχει το ERA5 πάνω στις τροχιές του Sentinel-3A. Οι γαλάζιοι κόμβοι αποτελούν τις αποκλεισμένες μετρήσεις. Κάθε πλαίσιο της εικόνας 3.15 υποδηλώνει ένα γεωγραφικό μήκος και πλάτος με αντίστοιχη τιμή ταχύτητας του αέρα. Στόχος είναι κάθε γραμμή της τροχιάς του δορυφόρου Sentinel-3A που περνάει στο αντίστοιχο σημείο ενδιαφέροντος με το αντίστοιχο γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικός πλάτος, να έχουν μια μοναδική τιμή. Επιπλέον η σύγκριση έγινε βασιζόμενοι στις ώρες, ημέρες και έτη που έχουν αντληθεί από τον sentinel-3^a να συγκριθούν με τα ανάλογα δεδομένα του ERA5 και με τις ανάλογες μέσες τιμές που αξιοποιούνται. Σε ένα πλαίσιο Κανάβου αν υπάρχουν τρεις ενδεικτικές τιμές του sentinel-3A, θα πάρουμε την μέση τιμή τους για να αξιολογηθεί με την ταχύτητα του ERA5. Η απόσταση της κάθε ένδειξης στον κάναβο ήταν 7 χιλιόμετρα. Βασιζόμενοι σε μεθοδολογίες άλλων ερευνητών και συνοψίζοντας στις περισσότερο συγκλίνουσες τιμές, ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε σε εκείνες τις τιμές που βρίσκονται σε απόσταση περίπου 8 χιλιομέτρων από την ακτή, δεδομένου ότι θεωρούνται «μολυσμένες» περιοχές. Για παράδειγμα στις τροχιές S-3A Pass No.128 και S-3A Pass No.556 παρατηρώντας τα σημεία που είναι κοντά στην στεριά, επιλέχθηκαν εκείνα τα οποία δεν βρίσκονται κάτω των 8 χιλιομέτρων απόστασης από τη στεριά, δεδομένου ότι ανήκουν θεωρητικά εντός «μολυσμένης» περιοχής. Αυτές οι επιλογές ήταν λίγες, δεδομένου ότι από μόνο του το «Radar Altimeter Database System» έχει κάνει τις τροποποιήσεις και τους περιορισμούς που χρειάζονται.

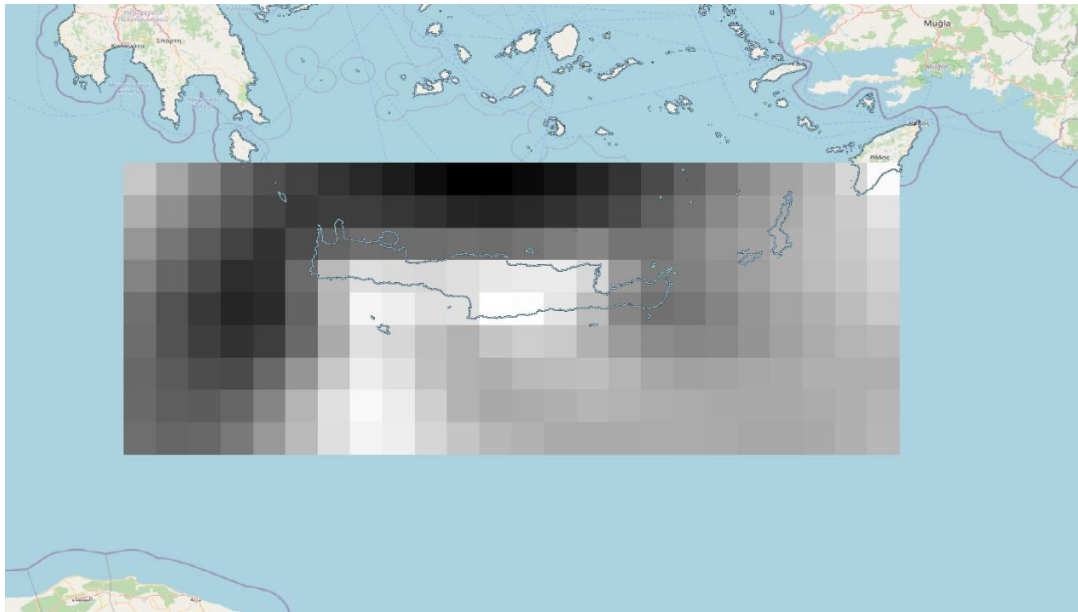
Καλύτερη προσέγγιση αποτελεί η πλήρης αγνόηση των δεδομένων των σημείων, είτε του ERA5 είτε του δορυφόρου, τα οποία βρίσκονται εντός 20 χιλιομέτρων από την ακτή. Επιπλέον

για κάθε σημείο πλέγματος του ERA5, ο Sentinel-3A πρέπει να είναι εντός των 20 χιλιομέτρων απόστασης και χρόνου 30 λεπτών που έχουν υπολογιστεί κατά μέσο όρο. (*Christopher Banks¹, Matthew Hammond¹, Werenfrid Wimmer¹, Helen Snaith³ and Christine Gommenginger¹, 2020*). Σαφώς λήφθηκε υπόψιν να λαμβάνεται η ωριαία τιμή για κάθε κόμβο ERA5 εντός 30 λεπτών από την υπέρβαση του δορυφόρου Sentinel-3A (*Rogers, Dykes, & Wang, 2012*). Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι τα δεδομένα του ERA5 επιλέχθηκαν και λήφθηκαν από το έτος 2010 έως το 2020, συγκρίνοντας τα με αυτά του Sentinel-3A όπου αυτομάτως εμφάνισε δεδομένα από το έτος 2016 έως το 2021. Στην επιλογή σημείων για την σύγκριση του αλτίμετρου και του δορυφόρου Sentinel-3A, αυτή πραγματοποιήθηκε ανάμεσα στα έτη 2016 έως 2020. Οι αντίστοιχες ώρες όπου πραγματοποιήθηκε η αναφορά είναι από το ERA5 στις 09:00 και 19:00 και με ανάλογη αντιστοιχία του δορυφόρου Sentinel-3A.

4 Κεφάλαιο - Αποτελέσματα

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων της διπλωματικής εργασίας, με τους αντίστοιχους σχολιασμούς και διευκρινήσεις όπου καθίσταται αυτό απαραίτητο.

4.1 Παράθεση αποτελεσμάτων Matlab και παρουσίαση δεδομένων στο QGIS-3



Εικόνα 4.1: Εμφάνιση χάρτη στο QGIS-3. Περιοχή μελέτης στην πιθανή δημιουργία πλωτού αιολικού πάρκου.

Η Εικόνα 4.1 παρουσιάζει ένα διάστημα του 2020 που λήφθηκε από τα δεδομένα που εξάγονται στο ERA5 και ουσιαστικά απεικονίζει για κάθε πλέγμα (grid) ένα γεωγραφικό μήκος και ένα γεωγραφικό πλάτος. Παράλληλα, για κάθε κουτάκι παρέχει πληροφορίες αναφορικά με την ανατολική ή βόρεια συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της Γης. Ο λόγος ύπαρξης εμφάνισης του αρχείου NetCDF που λήφθηκε από το ERA5 και ενσωματώθηκε στο λογισμικό QGIS-3, είναι για την καλύτερη κατανόηση της περιοχής μελέτης, καθώς και το πώς κυμαίνονται οι τιμές, τα γεωγραφικά μήκη και γεωγραφικά πλάτη.

Longitude (degrees)
22.20
22.450
22.700
22.95

23.20
23.450
23.70
23.95
24.20
24.45
24.70
24.95
25.20
25.45
25.70
25.95
26.20
26.45
26.70
26.95
27.20
27.45
27.70

Πίνακας 4.1: Γεωγραφικό μήκος (μονάδα μέτρησης σε μοίρες).

Latitude (degrees)
36.00
35.75
35.50
35.25
35.00
34.75
34.50
34.25
34.00

Πίνακας 4.2: Γεωγραφικό πλάτος (μονάδα μέτρησης σε μοίρες).

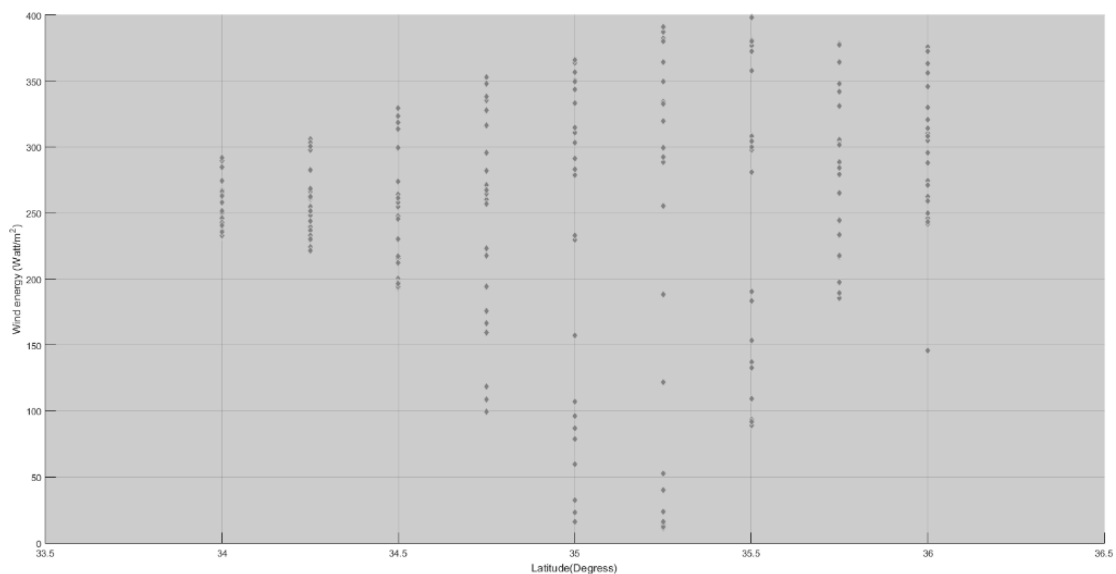
Οι πίνακες 4.1 και 4.2 ουσιαστικά φωτογραφίζουν την εικόνα 4.1. Κάθε πλέγμα της εικόνας αντικατοπτρίζει ένα γεωγραφικό μήκος και ένα γεωγραφικό πλάτος καθώς και τις δύο

συνιστώσες της ταχύτητας. Το Matlab εμφανίζει καθαρά 24 τιμές του γεωγραφικού μήκους και 9 τιμές του γεωγραφικού πλάτους. Ο λόγος που δεν εμφανίζει με πλήρη ακρίβεια τις τιμές για κάθε πλέγμα, είναι γιατί ουσιαστικά οι τιμές, αναγόμενες σε μία μέση τιμή, είναι ουσιαστικά ίδιες. Πιο συγκεκριμένα, καθώς κινούμαστε από το δυτικό τμήμα προς το ανατολικό, παρατηρείται ότι θα έχουμε ίδιο γεωγραφικό πλάτος (φ) και κάθε φορά θα αλλάζει το γεωγραφικό μήκος (λ), άρα παρατηρείτε ότι ανά σειρά αλλάζει το λ ενώ το φ μένει σταθερό. Αντιστοίχως, καθώς κινούμαστε κατακόρυφα λαμβάνουμε ίδια σταθερή τιμή για το γεωγραφικό μήκος (λ) και διαφορετική τιμή για το γεωγραφικό πλάτος (φ).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναφορικά με όλη την περιοχή μελέτης:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	310.2386	305.6511	304.7907	320.6384	308.1031	295.7550	274.3788	262.3885	244.0913	241.6519	245.8911	243.5745	248.6964	271.2687	288.1289	314.0568	329.7177	345.7937	363.3461	356.1371	375.7324	372.2903	259.0776	145.7847
2	303.0992	305.5309	302.1185	301.6125	279.2488	264.9025	233.7663	216.6670	196.7676	185.4416	189.2066	197.3701	217.6984	244.1486	288.8155	330.8680	341.8917	348.1204	364.3855	377.2220	378.8442	378.2442	377.1333	284.2911
3	297.9514	299.9362	304.2665	308.0194	281.0699	190.4035	136.9055	108.6109	93.7210	89.3363	91.6732	109.2233	132.7783	153.2316	183.4055	304.3189	376.4307	381.4560	376.5966	397.8838	380.3284	372.0033	372.3836	357.5244
4	288.5269	292.3694	299.3841	319.5204	255.2119	122.0455	40.0385	14.1141	11.0795	12.1324	12.2411	12.2303	16.3312	23.7519	52.4465	188.0537	334.5171	387.0608	382.3719	391.2214	380.1518	364.0699	349.5605	332.5079
5	278.5103	283.3620	291.3137	311.1634	303.0725	229.7029	157.1497	106.9295	86.8703	78.8280	59.5173	23.1005	15.8596	32.5217	96.1814	232.9419	314.6998	350.6952	363.6487	366.1635	356.9309	349.4053	343.7217	333.3419
6	260.2762	264.4725	270.9361	281.2318	281.8764	267.2220	223.2663	194.2430	175.8262	165.9855	159.2075	118.4530	99.2252	108.7593	166.4391	217.5590	257.1325	295.5879	335.2069	352.5890	348.2006	338.2149	327.6183	316.4557
7	254.6921	258.0189	263.9143	273.8106	273.7155	261.3623	247.8905	230.2083	215.6750	212.2117	200.3734	197.5242	192.9478	194.3899	196.4236	217.2035	245.7546	273.8024	299.2297	318.8014	329.2083	323.2668	318.6007	313.4250
8	248.2670	254.6414	260.1926	266.1469	268.4205	261.2100	251.2465	243.8838	239.6967	236.7206	233.2137	229.0436	234.5850	234.0486	221.3277	230.0482	243.8119	262.1575	282.7701	297.6044	306.2073	305.9073	303.4902	300.3451
9	242.7214	249.7697	258.1772	263.7859	267.4855	266.0600	258.0424	252.2115	246.1257	243.1403	246.3209	243.0158	236.8283	232.5534	233.2353	235.9468	240.5746	251.6764	262.8077	274.4292	284.7905	289.4478	289.6036	292.0303

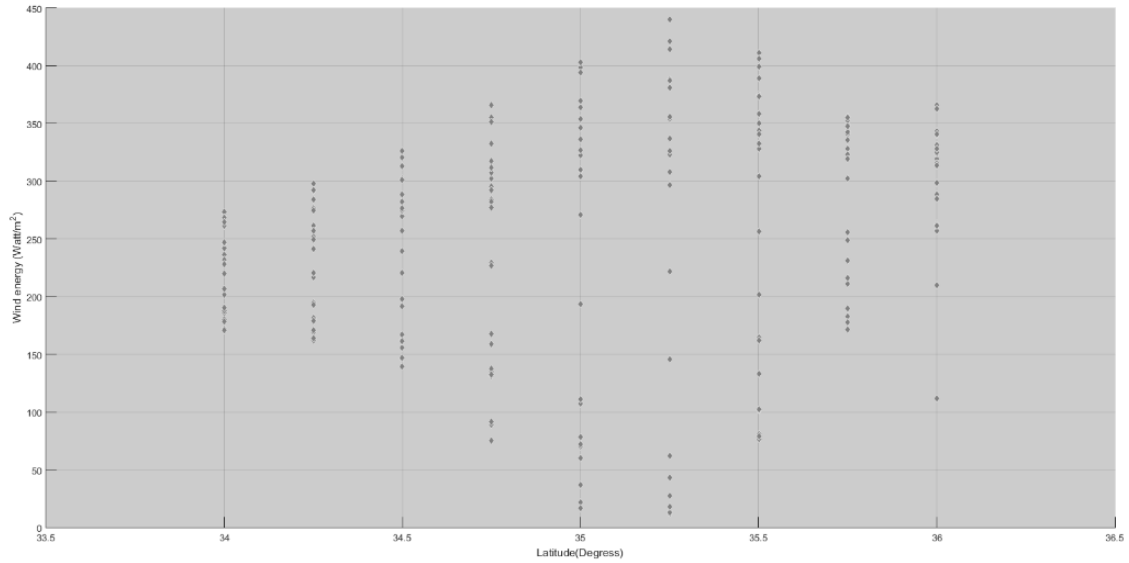
Εικόνα 4.2: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2010 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.1: Μέση τιμή του έτους 2010 για όλες τις τιμές συνάρτησης του γεωγραφικού πλάτους.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	319.6840	330.9522	340.0040	365.6927	362.8918	343.4566	314.4213	288.5759	263.6162	257.4741	261.8848	257.2741	261.6160	284.6655	298.6214	315.8412	324.0294	331.2272	340.5897	325.0834	328.0612	313.5096	208.7755	111.8184
2	328.4301	341.5840	349.0580	355.6651	343.1344	323.1953	256.0017	210.9910	182.8505	171.7899	177.5228	189.6856	216.1313	248.6342	302.2789	340.6067	343.8196	342.8306	352.5982	355.3961	348.0215	335.6152	318.7188	231.5806
3	327.9203	344.0449	358.1130	375.7262	373.8706	256.4250	164.2854	101.4402	80.8566	76.6796	79.1719	102.0986	133.1043	161.8339	201.7972	340.6554	411.3227	406.2995	389.3978	399.2398	373.5358	350.1214	332.4040	304.3450
4	322.9304	337.0836	354.0204	381.2089	308.3411	145.9705	43.3550	12.4506	11.6114	14.3557	13.9275	12.8630	17.8746	27.4671	62.2319	221.7807	388.4595	440.5136	421.5484	414.2246	387.5262	355.7906	326.5611	296.6000
5	309.3866	322.7132	336.1058	353.8588	309.8688	193.8051	107.4605	70.4206	72.1449	78.0986	59.8796	21.5090	16.4521	36.7971	111.1207	270.6769	364.1222	398.7365	402.8260	394.3670	368.6400	346.7733	327.2721	304.5785
6	283.8749	295.5907	302.6833	307.4397	282.1285	229.6709	167.6781	134.8185	131.3482	137.5114	132.6256	89.0629	75.3472	91.4481	159.0323	226.6183	277.3067	317.2407	355.4324	365.9323	351.4866	332.3218	311.6542	292.4553
7	269.4227	274.5511	282.0617	282.3526	257.1823	220.7530	191.8812	167.2490	162.2672	166.9195	155.8772	145.7929	139.4833	147.0555	161.3451	197.8755	239.6075	276.6803	302.5976	320.5482	326.5864	312.8799	300.8407	288.6827
8	252.3104	260.6209	261.5026	256.8479	241.5080	216.6107	194.7001	180.8310	179.6777	181.8854	179.0281	169.2941	161.7931	163.6845	170.7087	192.8423	220.4532	249.8343	276.3623	291.9520	297.9324	292.2714	284.0510	274.7164
9	236.5068	243.0826	246.6932	241.8917	231.8294	219.7432	201.4147	190.1561	185.9959	186.0767	187.9614	180.6157	172.4362	170.6085	178.5770	190.2872	206.4814	227.9807	246.9055	261.4331	272.1144	273.5508	268.3003	264.5278

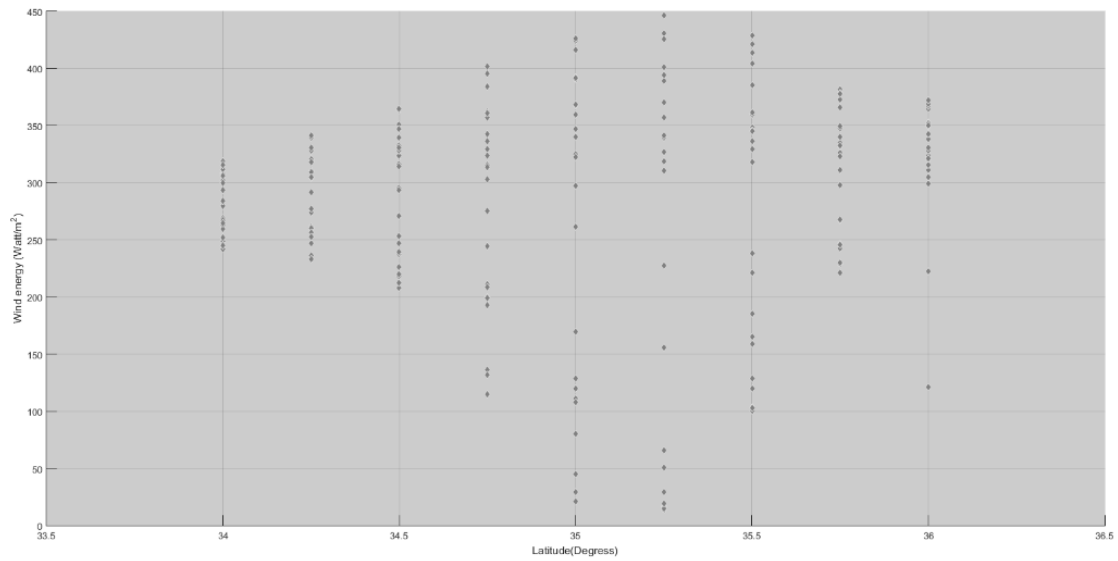
Εικόνα 4.3: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2011 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.2: Μέση τιμή του έτους 2011 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	322.6374	324.0491	328.4464	353.0439	349.4297	338.4144	319.8407	311.5210	299.3397	304.7281	315.8395	315.3676	321.0607	342.5845	352.8517	364.8838	367.2063	368.8676	372.3595	352.3638	350.3962	330.7707	222.6393	121.4439
2	326.4462	331.7011	334.8442	340.1618	323.3610	310.9200	266.9462	246.2168	228.7659	221.0411	229.7774	242.8596	267.6893	298.0459	347.6231	381.6919	378.8199	373.1140	377.8367	377.9354	365.7245	349.5173	332.5134	245.6402
3	329.4933	336.4531	348.2133	360.5287	345.6867	238.5117	165.2456	120.1341	103.2711	100.1975	103.2015	128.7147	159.0025	185.5834	221.3198	359.7492	428.7877	421.0591	404.0682	413.5875	385.3361	361.6797	344.9660	317.8572
4	327.1810	339.6493	357.3955	389.3692	318.6331	155.9911	50.7141	16.1961	13.7518	16.4989	16.3495	14.7686	19.3789	29.1235	65.5000	227.5582	394.4405	446.7152	430.6170	425.9369	401.0839	370.4887	341.2534	310.5826
5	324.8839	340.3499	359.9399	390.2212	367.5735	261.3740	169.4824	119.8979	110.8747	107.7213	80.2149	29.1588	21.3260	44.7295	128.3932	297.5887	392.1672	424.4869	426.4600	416.0442	391.5781	368.2750	347.0777	322.8589
6	315.6934	329.5439	342.7825	356.8922	342.8626	303.2207	244.5056	211.0903	200.1380	199.0663	193.0705	136.1353	114.8256	131.5924	208.4517	275.3936	323.7318	361.9450	395.5795	401.8159	384.3537	360.8192	336.5191	313.6110
7	316.1145	322.3502	332.8041	339.6568	324.0573	295.6928	270.7778	246.9116	237.5485	239.2544	226.2540	217.9858	208.2797	212.4505	219.6901	253.2238	293.5744	328.1901	350.7708	363.3937	364.6457	346.8970	330.8735	314.5393
8	310.3832	319.2986	320.5009	318.0726	309.4209	291.4273	274.0212	261.6443	259.7452	260.1944	256.5488	247.2818	236.4088	233.4005	233.3342	252.4001	277.4003	304.2445	327.9353	339.4316	341.1273	330.8235	317.9474	304.8524
9	301.8263	308.6395	311.3564	307.2112	302.1029	293.5787	279.6539	269.2871	263.2029	262.8780	266.9691	259.7430	248.6875	241.7652	245.3649	252.3294	264.8028	284.1572	299.9843	311.9041	318.6539	315.5259	306.1032	299.8666

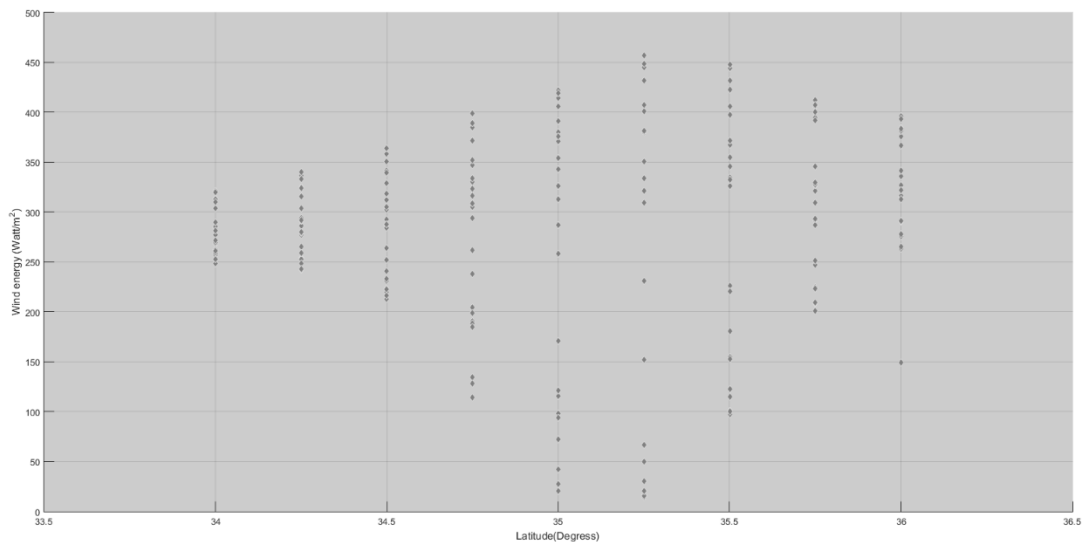
Εικόνα 4.4: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2012 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.3: Μέση τιμή του έτους 2012 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	315.4428	315.0150	316.6740	335.8528	327.2448	312.8244	290.7415	277.6975	263.5655	265.7164	275.7945	278.1809	291.3089	322.0808	341.8444	366.8484	375.7727	384.3899	396.1883	381.6609	393.5054	383.6357	265.3783	149.3484
2	321.4418	327.2330	327.2863	329.5926	309.5451	291.6573	246.9762	224.8315	208.5069	201.3877	209.5731	223.2725	251.2776	286.9991	345.4645	391.9318	395.0479	394.8168	405.8188	412.5654	407.2631	400.2220	391.8319	293.4630
3	326.0600	334.4806	345.4787	354.5725	332.5467	226.2607	155.1995	115.0487	100.7556	97.7555	100.4415	122.8140	152.9440	180.8087	220.9418	367.7006	446.7877	444.5063	431.6616	448.1104	422.7287	406.1301	397.3373	371.6912
4	321.4827	334.1897	330.4858	379.9785	309.6671	151.8930	49.9802	16.5170	14.2333	16.8836	16.8268	15.6788	20.7282	30.6165	66.8434	230.9788	401.0429	456.7097	444.9094	448.5429	431.8758	407.0892	381.2528	350.8703
5	312.7943	326.5487	343.1959	370.7377	353.9820	258.4332	171.0655	115.4760	98.5329	94.0804	72.0507	27.7514	20.5276	42.3942	121.5939	287.0220	379.8720	414.4432	421.7698	419.4844	406.0045	391.5708	376.1362	353.9235
6	293.8727	305.3978	316.5894	330.3049	323.4325	293.9707	238.3631	204.2301	190.7720	188.4565	184.9156	134.8082	114.1875	128.0497	198.6779	261.8021	308.4492	347.5099	385.2628	398.6422	388.9082	371.5573	352.0115	333.6484
7	286.8339	292.9195	302.4998	312.0937	305.3091	284.0896	263.9073	241.2234	231.1482	233.4142	223.0790	219.6393	213.1267	216.6284	222.9353	252.4265	287.9693	318.7996	341.9378	358.2583	364.1078	351.0362	339.7712	329.0393
8	277.0739	286.3937	291.4108	294.1749	292.0810	279.5803	265.2337	254.5097	252.7688	253.6393	253.0336	248.7525	242.4692	242.6447	243.0150	259.0951	279.8405	303.9726	325.0329	336.8626	340.5061	333.1408	323.8150	315.7802
9	267.9744	277.0954	284.5905	285.8630	285.6282	281.3923	269.7007	261.4389	256.7433	256.7283	262.3738	259.3660	252.5881	248.9154	252.9639	260.8936	271.9494	289.5251	303.8794	313.8164	321.0825	319.9225	313.1897	309.9018

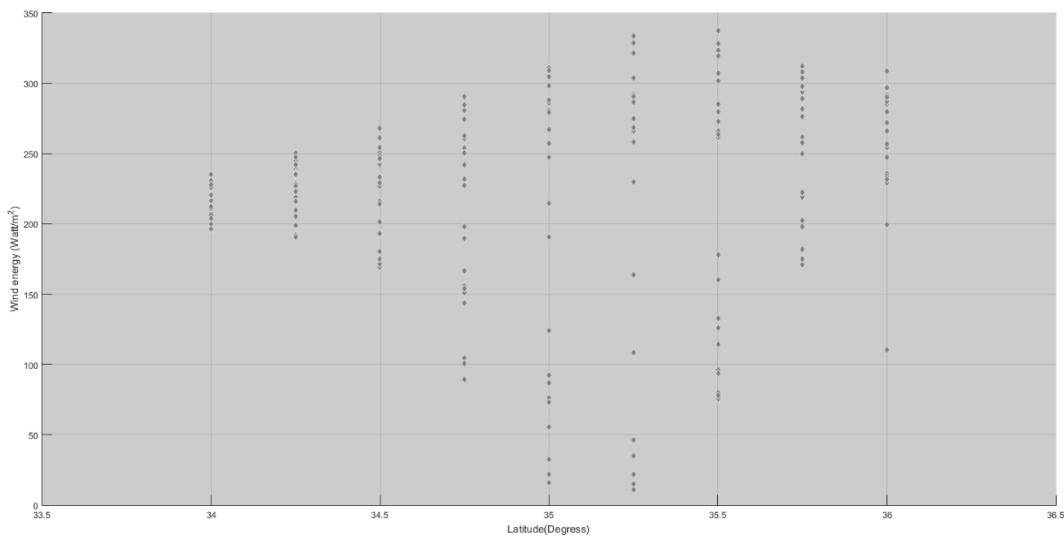
Εικόνα 4.5: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2013 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.4: Μέση τιμή του έτους 2013 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	285.0241	280.1342	291.6029	308.6429	298.7237	287.2876	266.1257	254.1105	235.7412	231.0167	233.4985	229.3090	231.9768	247.2368	256.5775	271.7381	279.6807	288.4446	297.9907	286.9074	296.8068	289.8417	199.5131	110.2646
2	276.5025	282.2202	281.8881	281.5394	261.7265	250.0921	218.6764	202.1698	183.0191	171.2594	174.8045	181.9146	198.0387	219.0902	257.6049	289.0345	293.9687	297.0825	306.9442	311.8353	308.3624	303.7487	297.6732	222.3307
3	265.9898	273.1432	279.5663	284.1049	261.5574	177.7435	125.9262	96.1923	79.8957	75.4729	77.8539	93.7006	114.4857	133.0254	160.2914	263.6076	324.1530	328.3983	323.1207	337.3425	319.2109	307.3007	301.6453	285.3152
4	258.3632	266.1204	274.8951	291.9998	239.6251	108.2340	34.8073	12.2351	10.0692	11.5677	11.6386	11.1111	15.0557	21.6345	46.2272	163.6813	290.3149	334.4653	328.6139	333.5359	321.2721	303.6076	286.8448	268.6673
5	247.6281	257.2622	268.0601	286.1512	268.1772	190.7963	124.2923	86.9520	75.9663	72.9977	55.6484	21.5499	15.6823	32.3614	92.3115	214.4804	280.5356	304.9450	310.8683	309.3631	298.2017	288.2571	279.4654	266.7842
6	232.7317	242.1980	250.7145	260.5507	254.9004	231.8763	189.8131	166.7204	156.0821	150.7744	143.5425	104.7173	89.5171	100.8107	154.0935	198.1752	227.5229	253.6904	280.5271	290.5995	284.5897	274.2677	262.4614	250.4051
7	227.0033	233.8940	242.7857	250.6396	245.3771	229.5234	216.0804	201.3961	192.8269	192.3602	180.4620	173.9522	169.1235	171.4410	174.8641	193.3008	214.3753	233.2099	248.3924	260.8107	267.8981	260.9274	254.0915	246.2790
8	218.9644	228.4332	234.8189	238.4661	236.6816	226.7175	216.2674	209.8663	208.7207	208.8719	205.1196	198.1942	192.5173	191.9082	190.5323	199.2129	209.8444	222.9222	236.0898	245.0745	250.2303	247.5994	242.0523	235.0892
9	211.3297	220.6225	228.7919	231.3608	230.6278	225.9003	216.6807	211.5196	208.3134	207.6038	210.9216	206.3997	199.7759	195.3295	196.3358	199.7667	203.9707	212.2971	220.5962	227.7959	234.0576	234.9834	230.7260	227.8925

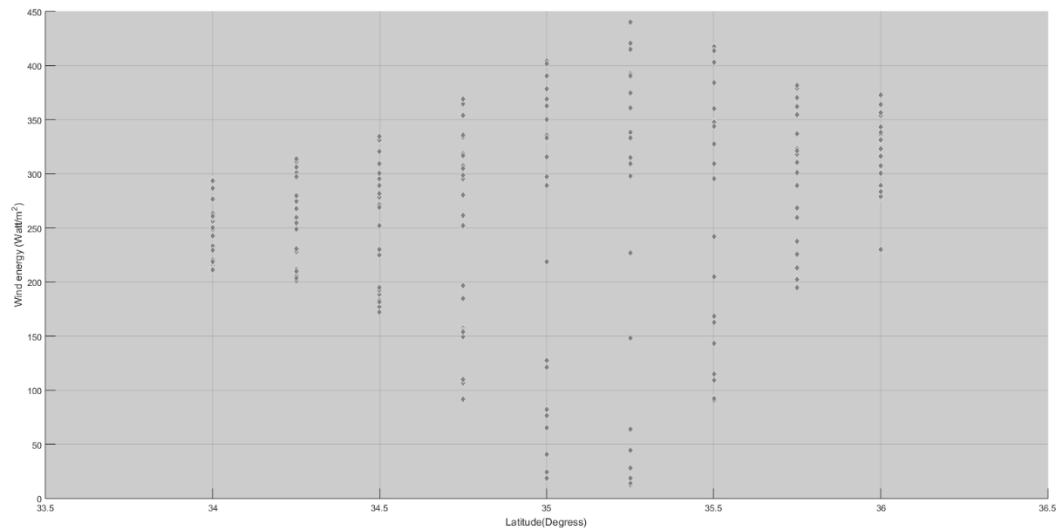
Εικόνα 4.6: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2014 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.5: Μέση τιμή του έτους 2014 για όλες τις τιμές συναρτήσεως του γεωγραφικού πλάτους.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	281.7615	288.9270	300.4978	330.7117	336.6959	331.0522	316.2223	300.6232	280.0211	278.0188	284.2042	278.9724	283.6843	307.4007	322.9573	343.6247	354.9144	363.9430	372.5986	353.8834	356.4616	338.3771	230.1118	125.1909
2	289.3638	300.8846	310.7596	323.3541	318.0540	310.6628	259.6120	225.9202	203.1371	194.9050	202.2653	213.0969	237.3036	268.6325	321.0762	362.0300	368.2630	369.5651	379.2797	381.8463	370.4674	354.5313	336.8440	245.8965
3	295.3891	309.0311	327.7151	348.2101	347.5251	241.7927	162.9100	108.9784	92.8139	90.4447	92.4708	114.7928	142.9584	168.1884	204.5914	344.0610	418.4507	417.8500	402.8545	413.6973	384.1801	360.4048	343.6684	316.0209
4	297.7354	315.0211	338.4571	374.9369	309.0948	147.9113	44.2649	12.8494	12.2675	15.6571	15.4659	14.2506	18.6573	28.1991	63.6664	226.6906	392.1870	440.0958	420.7190	415.1732	390.6501	360.8418	333.2819	304.8159
5	297.6392	315.4840	336.0643	363.1132	331.7326	218.9408	127.3474	80.9882	76.4661	81.9241	65.1930	24.3172	18.3138	40.7020	121.4379	289.2450	378.2955	404.1321	401.7541	390.4362	369.1990	350.1154	333.1340	311.6999
6	280.6023	295.4874	307.5913	318.7548	304.6909	261.3972	196.6883	157.2836	149.4732	155.3275	153.9098	106.9157	91.2781	109.8823	184.6104	252.1059	298.7891	333.9643	364.9823	369.2219	350.0796	335.8242	316.8125	298.9252
7	271.7651	278.1900	288.9892	295.5173	281.4683	252.0290	224.8288	196.0103	188.2471	192.4199	183.2868	176.8559	171.8491	181.5181	194.7817	230.3457	269.1166	300.2945	320.3869	331.4318	334.4734	320.9391	309.4750	297.8537
8	259.6395	269.2467	273.2429	274.5794	267.8954	249.0921	228.2764	212.1578	208.8862	211.2951	211.9018	206.3915	201.1049	203.6918	209.6157	230.4732	254.3263	279.6245	300.9039	311.0998	313.4892	306.4093	297.3122	287.1854
9	248.2649	256.7061	263.3432	263.5745	259.6293	250.1531	233.2218	220.8106	214.6264	215.3896	220.8817	217.8095	212.1077	210.8448	218.8012	229.3640	242.3547	260.8826	276.6229	287.4520	294.5035	293.7229	286.8259	280.3114

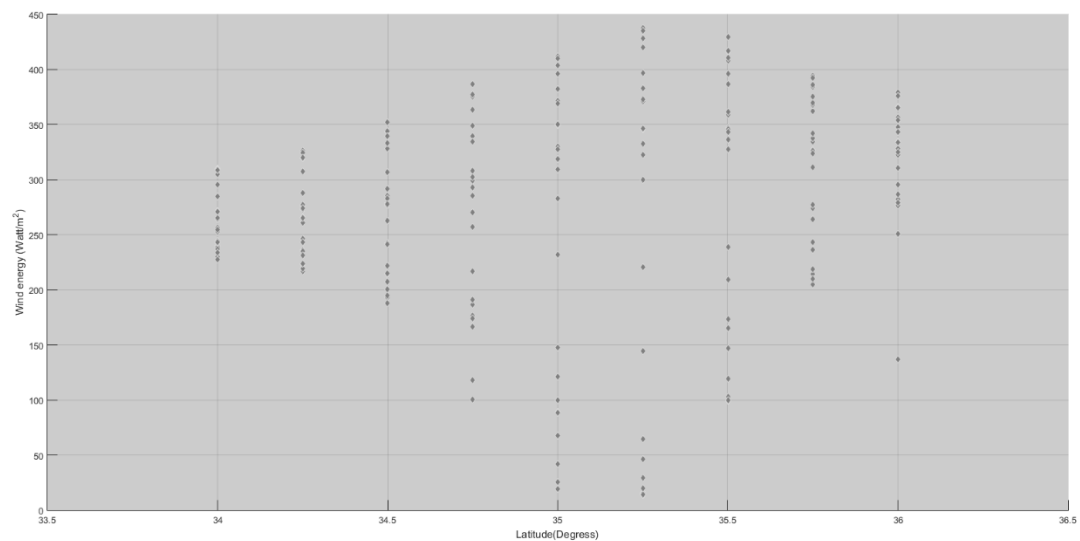
Εικόνα 4.7: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2015 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.6: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2015 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	322.4138	328.2518	334.5720	336.2623	347.7478	334.0071	310.3620	295.5909	277.8635	276.6260	282.2437	279.0369	286.4810	310.4915	325.0681	343.4594	353.8775	365.8652	379.3847	365.8934	376.3406	365.3440	250.5258	137.0628
2	327.0105	334.5770	337.5075	342.0901	326.3892	311.1470	264.1552	236.0254	214.5964	204.8548	210.1806	218.5711	243.0682	274.0513	324.0677	362.4975	367.6926	370.0197	384.4550	394.2320	392.6154	386.2165	375.6754	277.0581
3	327.8318	336.2053	346.9576	358.7799	345.6016	238.9612	165.4869	119.2139	102.9624	98.8530	99.8140	119.0155	147.1555	173.4191	209.1525	343.5226	416.2399	416.9075	408.1712	429.7654	410.9714	395.8762	386.6165	361.4855
4	322.5751	332.3971	345.9908	371.3232	299.8896	144.7260	46.2544	14.8691	13.2461	15.7362	15.2066	14.1555	19.5460	29.5069	64.4294	220.3700	382.9983	437.5603	428.4900	434.9560	420.1942	396.7913	372.9681	346.3157
5	309.2191	318.5484	329.8870	349.9046	327.5620	231.8674	147.6536	99.7366	89.2130	88.1791	67.4858	25.7924	19.4464	41.6364	120.9147	282.6152	371.5842	404.0460	411.8131	410.1962	396.1420	382.3304	369.1181	350.4912
6	285.5084	292.6737	299.2963	307.9448	299.3179	270.4030	216.7338	186.3345	176.5597	174.3006	166.4451	118.1451	100.6658	117.7607	191.3265	257.0705	302.6921	339.7691	375.2369	386.7653	377.3132	363.7036	348.8391	334.6969
7	276.4583	279.0714	285.1599	291.6068	283.0088	262.4726	242.5261	221.8232	213.9933	214.7384	200.5343	192.5896	187.6715	195.0960	207.4195	241.1455	277.6860	306.8603	328.2150	343.0444	351.8633	344.1597	339.3324	333.4468
8	265.9827	272.8480	276.2357	277.5118	274.1389	261.0199	246.2250	236.2235	234.9666	235.2167	231.1241	223.1002	216.9261	219.0261	223.6254	243.0075	265.0728	287.7094	307.5239	319.5882	326.4607	326.3655	324.3191	320.3040
9	256.6448	264.1274	270.8411	271.8655	270.7884	265.0580	252.8048	244.6714	240.0393	238.7546	242.4501	237.1925	230.0085	227.4020	233.6910	242.9903	254.8041	271.1459	284.5768	295.6990	305.1280	309.6599	309.3278	308.8518

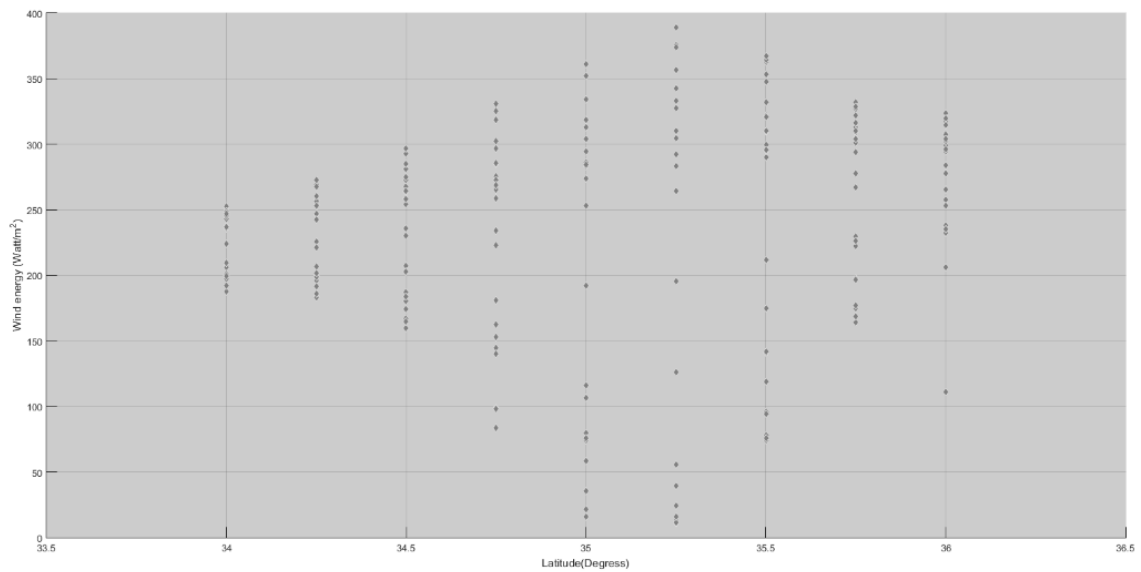
Εικόνα 4.8: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2016 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.7: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2016 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	294.4793	299.0899	303.0470	323.6882	317.3656	302.1405	277.6067	257.4046	237.3103	234.2039	238.1990	232.7133	235.0451	253.2153	265.4792	283.9771	296.4955	308.7281	319.7590	307.2634	314.4997	304.2205	206.1867	111.0449
2	293.9637	301.3383	304.4886	309.0571	293.7638	277.8052	229.4493	197.5383	174.5677	164.1511	168.9187	177.0027	196.4122	222.2900	267.2228	303.9972	312.9445	316.1289	327.0201	332.2786	328.8493	321.7716	310.4495	226.0824
3	290.0732	299.5363	309.5735	321.8482	310.3044	211.7756	140.9701	95.8829	77.9118	73.9545	75.8471	94.1367	118.6877	141.8397	175.0519	295.3600	362.8035	364.2138	353.3188	367.1267	347.7922	332.1569	320.8870	295.9011
4	283.3428	292.2759	304.4908	327.5553	264.2699	126.3784	39.3648	12.2218	10.8682	13.3524	12.9487	11.6868	16.0240	24.5100	55.4257	195.2966	342.7414	389.3331	375.4886	374.2161	356.4450	333.3368	310.1400	283.4829
5	273.9542	283.3663	294.3868	312.7348	286.1045	191.9415	116.0861	79.6650	74.1934	75.8997	58.4121	21.3778	15.8859	35.4720	106.5985	253.2343	334.4568	360.9626	361.3030	352.4226	334.3413	318.5886	304.0527	284.5004
6	258.4883	267.3015	275.3275	284.8902	272.8292	234.0322	180.8352	153.2073	144.6198	144.7342	140.1938	98.5333	83.3640	98.1097	162.4550	222.6710	265.4178	297.0484	325.2633	330.7783	318.4733	302.4401	285.3548	268.5472
7	254.1152	259.2714	267.5602	272.9894	258.4541	230.4306	207.1461	187.1870	180.3531	183.9058	174.4334	166.8416	159.5447	164.9289	174.1532	202.9357	235.9149	263.6953	281.2577	292.7402	296.8547	285.1590	274.9422	264.5388
8	246.2062	254.4629	257.5030	256.5583	246.8170	225.8231	206.6169	196.0998	196.1825	199.7070	199.0228	191.6372	183.5439	183.2979	186.1883	201.9577	221.4709	242.3110	260.1850	269.6326	272.7307	267.4208	260.6256	253.2697
9	235.7166	243.0583	248.2600	245.6046	237.2435	223.9523	207.3889	199.1934	197.2770	200.2042	205.9486	201.0928	192.3302	187.7088	191.8983	199.3972	209.3049	223.9106	236.6737	245.5271	252.1988	252.7406	248.9499	247.1619

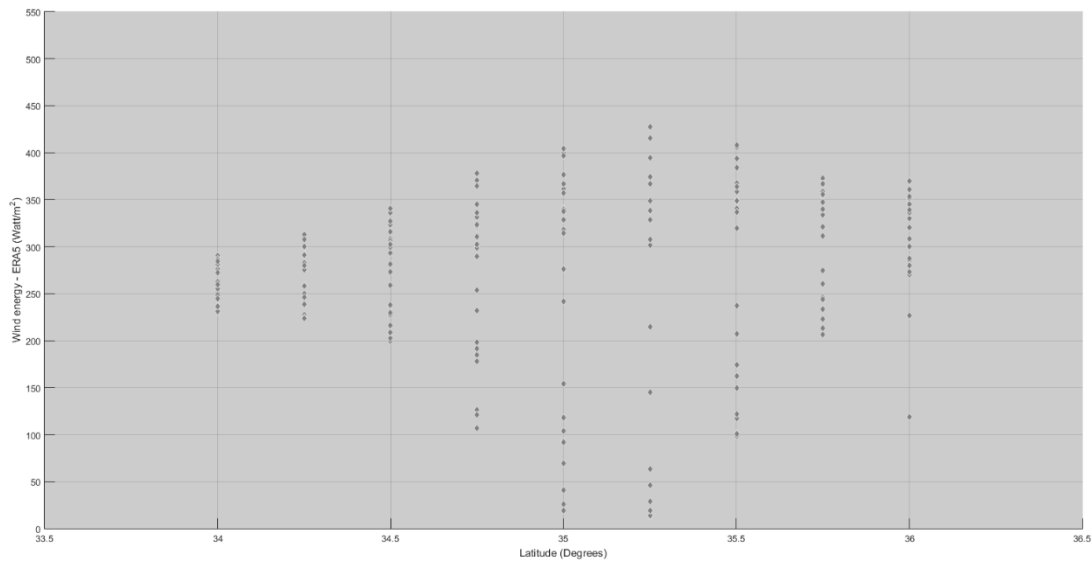
Εικόνα 4.9 : Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2017 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.8: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2017 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	346.5022	350.2050	353.3392	370.1495	351.7481	329.8916	300.2859	284.6884	270.1524	272.9006	281.2100	280.0864	287.1314	308.0827	320.1630	336.4420	343.8572	351.1977	360.7147	345.0692	352.9875	339.0316	226.9491	118.8115
2	347.0655	354.9505	356.4641	356.9479	333.4985	311.4325	280.6930	233.1334	214.5007	206.4225	213.4769	223.1089	246.3295	274.5041	321.0276	356.1581	358.3504	358.5101	368.4695	373.0397	366.8468	355.6033	339.9103	244.2328
3	340.3844	348.7431	358.6378	367.8395	348.0274	237.0488	162.2114	117.0428	101.2018	98.2513	100.5397	121.8404	149.4533	174.1159	207.0383	336.8090	406.9175	405.7621	394.0462	408.3542	383.7636	363.5818	348.5789	319.7916
4	328.8443	337.5088	348.6681	373.0029	301.6518	144.9916	46.0589	14.7502	12.8170	15.2103	15.0657	14.0005	19.0099	28.7330	63.0979	214.9116	374.5483	427.6776	415.7634	415.5011	394.6993	366.7977	338.6564	307.3966
5	317.9027	328.5321	340.6425	361.7021	340.1799	241.3195	153.7755	104.0398	93.3215	91.5587	69.2148	25.6276	18.9676	40.5556	117.8205	276.3528	366.5781	399.4116	403.9552	396.8330	376.8889	357.0769	337.8714	314.1675
6	300.0365	310.2406	320.4888	331.2498	321.9745	289.4826	231.7390	197.9801	186.5113	184.6653	177.9325	126.5934	107.0080	121.3507	191.5387	253.8192	298.9653	336.1862	370.2305	378.5150	364.2227	344.8275	323.3254	302.6277
7	293.2093	299.2173	308.3061	316.9651	306.1163	281.5493	258.8088	236.7379	227.7775	229.4935	215.9126	207.5478	199.6633	202.4452	208.4051	237.9034	273.3995	303.1033	323.6213	336.1285	340.4818	327.0759	315.7518	302.6798
8	283.2206	292.2169	296.6955	298.2084	292.1580	275.2384	259.0593	249.0498	248.8189	250.2548	246.5161	237.4913	227.7920	224.6292	223.3687	238.3241	257.9957	280.1355	299.7005	309.6910	312.8229	307.4127	300.1493	291.0525
9	273.1074	281.2565	287.8757	287.3184	283.3426	275.7778	262.7182	254.5233	250.6754	250.6641	254.8577	248.1598	237.3576	229.9182	231.3638	236.1170	244.6099	259.5516	272.3204	281.5546	289.4112	290.4459	286.4555	284.6973

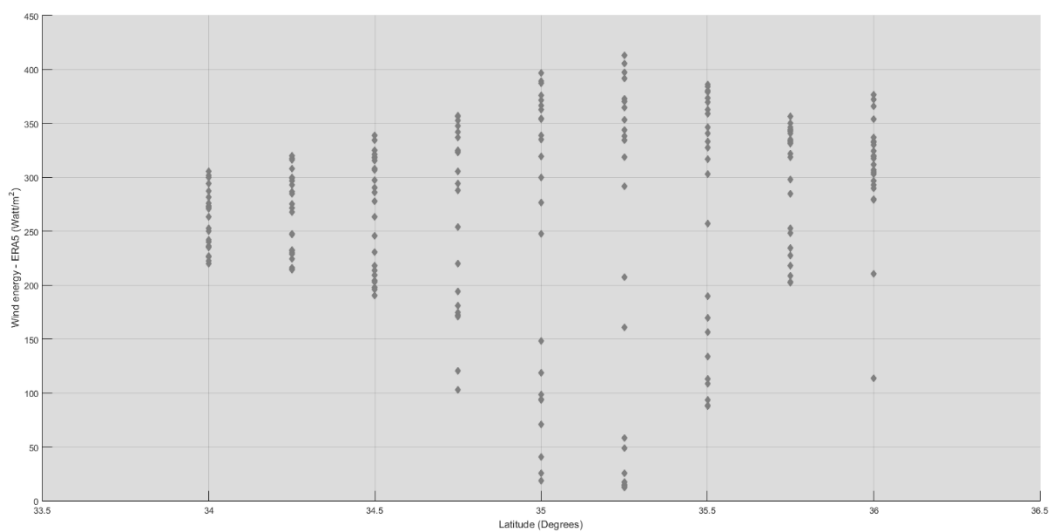
Εικόνα 4.10: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2018 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.9: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2018 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	306.8699	319.5659	332.7468	366.0324	376.9257	372.4723	353.9315	333.5560	303.2594	292.7520	289.8084	279.3428	279.8577	296.7065	304.7248	317.7138	324.1413	329.8844	336.8194	320.2539	324.6976	311.8747	210.2663	113.6561
2	322.0321	333.7359	344.7952	356.2736	350.1059	343.0947	285.0790	247.9972	217.8428	202.2328	202.9459	208.6693	227.6739	252.7376	298.0943	332.4263	335.1759	335.1008	342.9574	346.1542	340.6293	331.3699	318.5159	234.2763
3	333.1527	346.5991	362.7385	379.2545	373.7773	256.9619	169.5880	113.2143	93.6315	87.8248	88.6369	108.4364	133.5825	156.5737	189.4952	317.0105	386.1724	384.0673	369.6741	380.7430	358.9817	340.7724	327.6946	302.7756
4	338.2867	353.5840	373.0212	405.8061	334.4363	160.9851	48.6819	14.1111	12.4659	15.0607	14.6676	13.1272	17.1209	25.6127	58.3061	207.6493	364.7703	413.4216	397.1362	392.0237	370.4597	343.8095	318.5236	291.7262
5	338.8335	354.3483	371.7556	396.7423	366.6598	247.6504	148.1101	98.5612	93.5536	93.9380	70.5310	25.5600	18.7444	40.4868	118.7048	276.8449	362.9390	389.1422	387.3284	375.8391	353.8563	335.0129	319.0964	299.9910
6	323.4347	336.7896	347.6881	356.6939	337.3368	288.1384	219.8115	181.0677	171.8332	174.4618	170.8354	120.5640	103.0721	120.6561	193.8583	253.9258	294.3369	325.1362	352.5443	356.8805	341.9881	324.1087	305.7400	287.9177
7	318.5096	325.0999	334.7942	338.9522	315.4265	278.0822	245.5145	217.8331	209.2299	213.4812	203.9715	197.7193	190.1887	196.3040	202.6966	230.3863	263.0961	290.2700	306.9820	318.1100	321.2775	308.3157	297.5324	286.1642
8	308.0908	317.6937	320.2982	316.1123	299.6573	271.8514	247.3327	231.7337	229.7505	232.4939	231.6454	224.4284	216.0438	214.8165	214.3966	228.7825	247.4115	267.9499	286.5433	296.4485	299.4916	293.1656	284.6648	275.2145
9	294.5450	301.9866	305.7385	299.7153	287.4659	272.0655	252.4620	240.2015	235.0319	236.4385	241.8585	235.9981	226.3264	219.8910	222.3442	226.9670	235.2976	250.1447	263.4982	273.6464	281.6722	281.8405	275.7102	270.8554

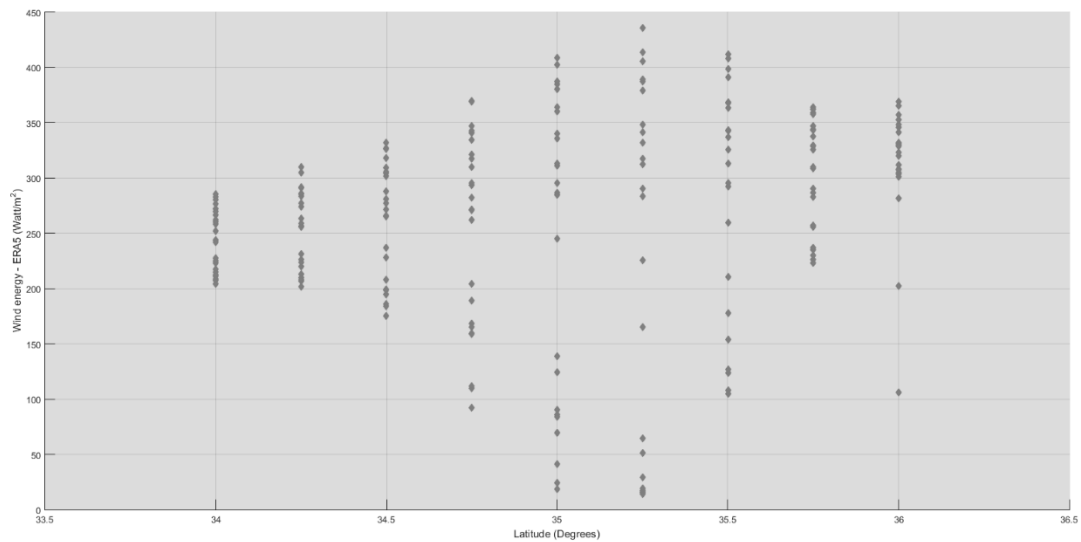
Εικόνα 4.11: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2019 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.10: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2019 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	281.6119	300.9388	320.2252	357.4549	368.9866	365.3202	345.8957	329.9713	311.6281	308.0519	311.7156	303.6159	305.0580	323.0503	331.5440	341.6109	345.7904	348.3621	352.8367	331.9765	328.7306	307.6344	282.3258	106.1181
2	290.1746	308.8604	325.9060	343.9012	343.3031	337.7279	286.4338	255.9405	235.3676	226.0980	230.0764	237.0699	257.1639	283.2009	328.7971	359.0444	359.3542	357.6183	363.9213	361.9239	347.3771	329.2712	310.2573	222.9267
3	292.3469	312.8518	336.8868	363.2113	368.3188	259.8223	178.0085	123.7015	108.2161	104.7446	104.9472	126.9562	153.7682	177.7686	210.5447	342.9150	411.7501	407.8988	391.1706	368.4141	367.8007	343.5126	325.8023	295.3807
4	290.3577	312.7836	341.6768	387.5248	332.1683	164.9018	51.0719	15.1362	14.2141	17.3244	16.3514	14.3371	19.2306	29.0053	64.7514	225.8603	389.2962	435.5527	413.9606	405.5961	379.3175	348.2294	317.6167	283.5460
5	286.4320	310.9503	340.2767	380.4540	364.3931	244.8442	138.9866	85.7623	83.7669	90.3709	69.3763	24.1090	18.5023	41.4931	124.4362	295.6692	385.1233	408.5904	402.6885	387.2436	360.5493	335.9451	312.8118	284.9450
6	270.8861	293.8302	317.2597	341.1060	334.8012	282.5377	204.5112	159.6344	158.6895	168.5243	165.3963	109.9588	92.4513	111.7099	189.0422	261.9710	310.0726	342.7445	369.8308	369.2771	346.9264	321.1294	295.4409	271.8337
7	265.5182	280.7372	301.7293	317.9999	304.5914	265.9674	228.0467	194.8175	194.7395	208.0498	199.1367	186.0779	175.4925	183.8394	198.5301	236.7031	276.9812	309.4805	326.7044	332.1304	326.5486	305.4122	287.8892	271.2653
8	256.6131	274.2276	285.2440	291.0960	283.7143	256.1504	226.0894	206.9979	210.1097	220.2492	223.5755	212.7619	201.8050	201.5351	207.8651	231.2048	258.7100	285.8134	305.2259	309.9472	304.7576	291.6051	277.3783	263.2794
9	243.9261	258.4623	269.8078	272.0497	266.8229	252.2622	227.4694	211.1952	208.6139	214.9392	223.2880	217.2084	207.5707	204.5092	212.3042	225.0541	241.8519	262.0009	276.6489	282.8773	285.5760	280.6787	269.8027	260.1896

Εικόνα 4.12: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2020 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.



Διάγραμμα 4.11: Μέση τιμή αιολικού δυναμικού στο έτος 2020 για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που έχει οριστεί από το ERA5.

Οι παραπάνω πίνακες ουσιαστικά καθρεφτίζουν τα διαγράμματα πάνω στο γεωγραφικό πλάτος, για κάθε έτος, με μία μέση τιμή όλων των μηνών και ωρών, σε κάθε σημείο του σημείου ενδιαφέροντος. Οι μεγαλύτερες τιμές που κυμαίνονται ως προς το αιολικό δυναμικό είναι 200 – 400 Watt².

4.1.1 Μέση τιμή ταχυτήτων για τα έτη 2010-2020

Έτη	Μέση τιμή ταχύτητας (m/s)
2010	6.15
2011	6.03
2012	6.28
2013	6.39
2014	5.84

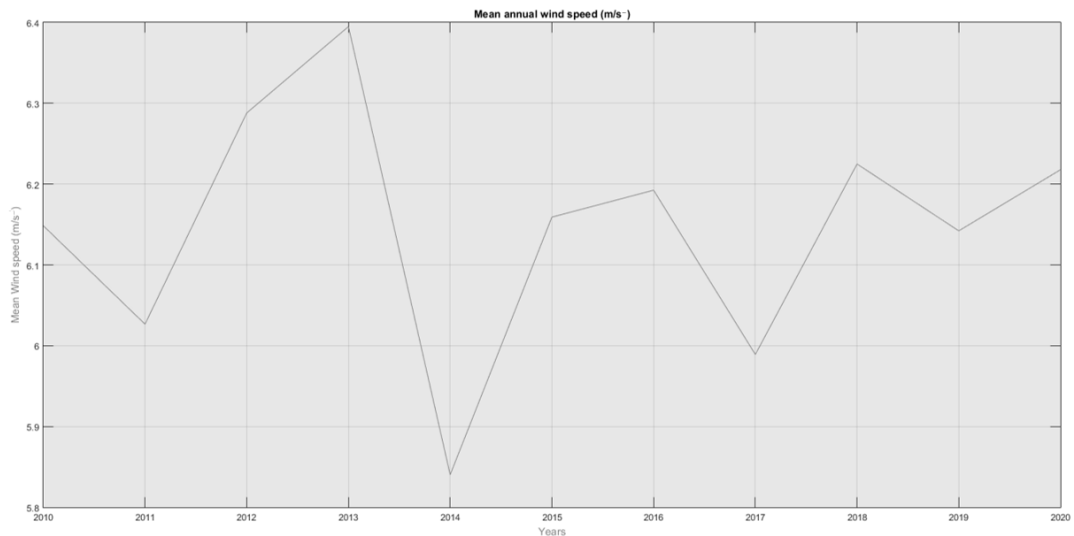
2015	6.16
2016	6.19
2017	5.98
2018	6.22
2019	6.14
2020	6.22

Πίνακας 4.3: Μέση τιμή ταχύτητας για τα έτη 2010 έως 2020 στα 10 μέτρα.

4.1.2 Μέση τιμή για συγκεντρωτικά έτη

Έτη	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)
2010-2015	6.14
2016-2020	6.15

Πίνακας 4.4: Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου στα 10 μέτρα για τα έτη 2010 έως 2015 και 2016 έως 2020.



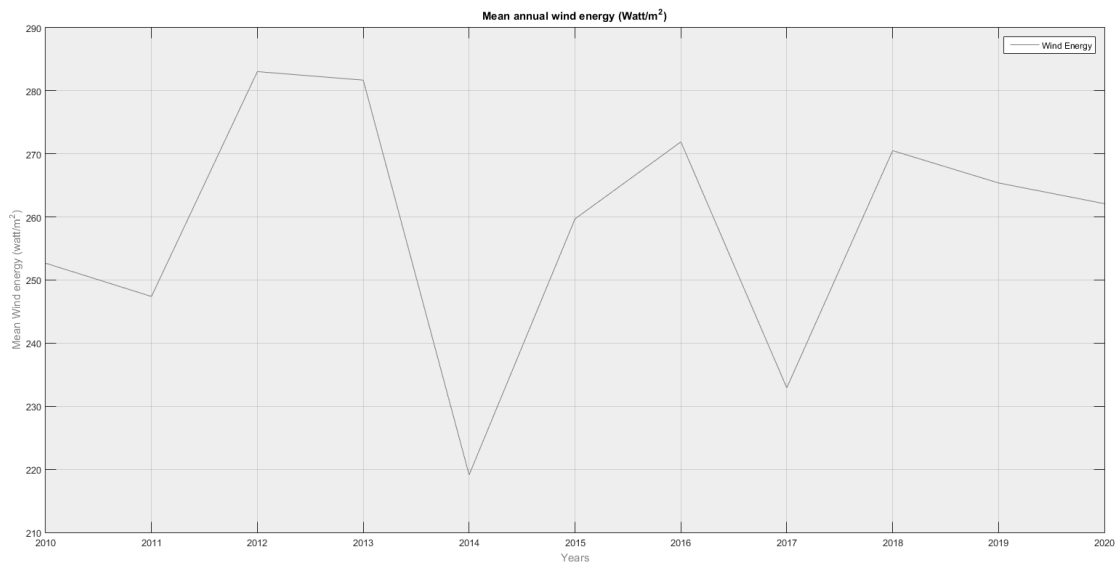
Διάγραμμα 4.12: Ετήσια Γραφική της ταχύτητας του ανέμου για την δεκαετία 2010 έως 2020.

4.1.3 Μέση τιμή δυναμικού για τα έτη 2010 - 2020

Έτη	Αιολικό δυναμικό ενέργειας (Watt/m ²)
2010	252.67

2011	247.39
2012	283.04
2013	281.68
2014	219.12
2015	259.69
2016	271.90
2017	232.91
2018	270.51
2019	265.39
2020	262.10

Πίνακας 4.5: Μέση τιμή θεωρητικού αιολικού δυναμικού για τα έτη 2010 έως 2020.



Διάγραμμα 4.13: Ετήσια Γραφική απεικόνιση του αιολικού δυναμικού για την δεκαετία 2010 έως 2020.

4.1.4 Μέση τιμή για συγκεντρωτικά έτη

Έτη	Αιολικό δυναμικό ενέργειας (W/m ²)
2010-2015	257.28
2016-2020	260.57

Πίνακας 4.6: Μέση τιμή θεωρητικού αιολικού δυναμικού για τα έτη 2010 έως 2015 και 2016 έως 2020.

4.1.5 Σημεία ενδιαφέροντος για την δημιουργία αιολικού πάρκου.

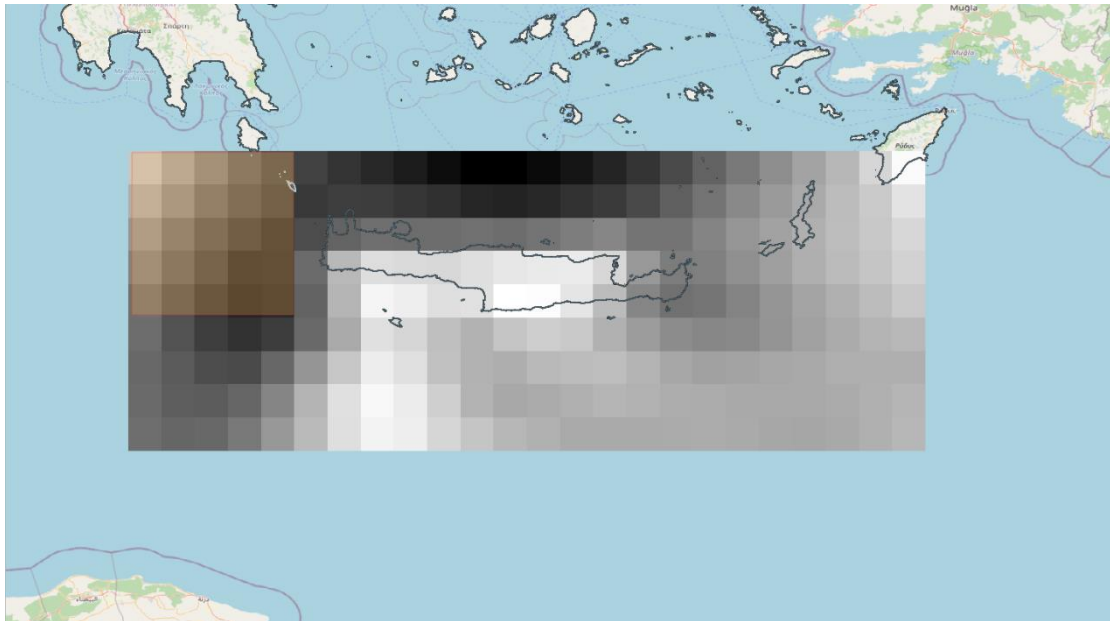
Δυναμικό ενέργειας (Watt/m²) | 2020

φ/λ	22.2	22.45	22.70	22.95	23.2
36	300.93	320.22	357.45	368.98	365.32
35.75	308.86	325.90	343.90	343.30	337.77
35.5	312.85	336.88	363.21	368.32	259.82
35.25	312.78	341.67	387.52	332.16	164.90
35	310.95	340.27	380.45	364.39	244.84

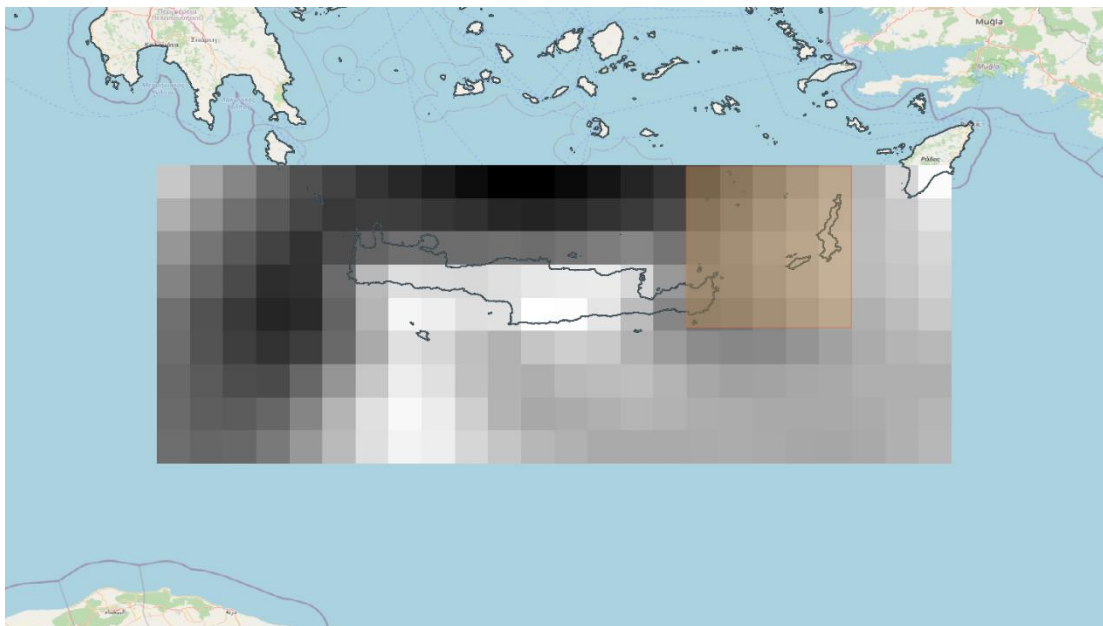
Πίνακας 4.7: Δυναμικό ενέργειας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους στο Δυτικό τμήμα Χανίων – Φαλάσαρνα.

φ/λ	26.2	26.45	26.70	26.95	27.2
36	345.79	348.36	352.83	331.97	328.73
35.75	359.35	357.61	363.92	361.92	347.37
35.5	411.75	407.98	391.17	398.41	367.80
35.25	389.29	435.55	413.96	405.59	379.32
35	385.12	408.59	402.68	387.24	360.55

Πίνακας 4.8: Δυναμικό ενέργειας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους στο Ανατολικό τμήμα Χανίων – Νησί Κάσος - Κάρπαθος.

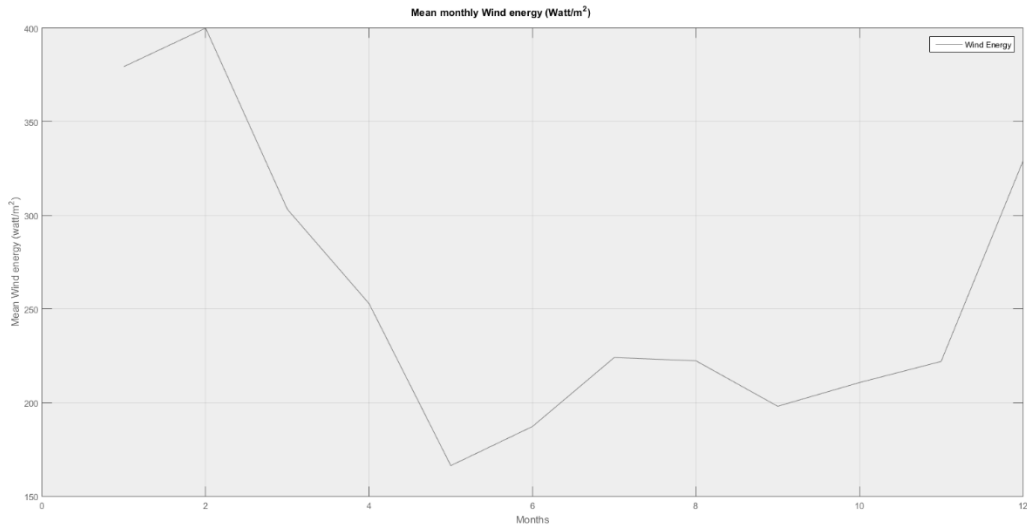


Εικόνα 4.13: Περιοχή ενδιαφέροντος στη δημιουργία πλωτού αιολικού πάρκου.

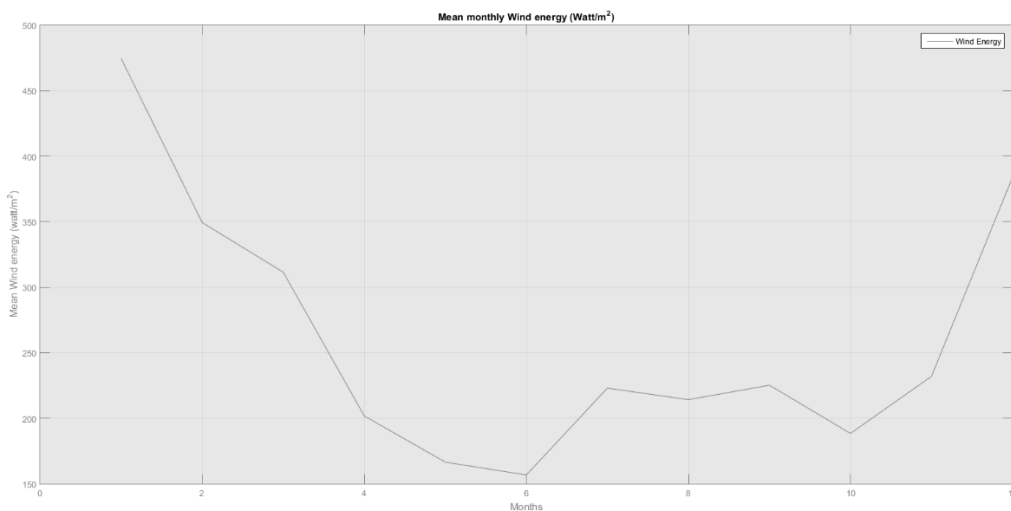


Εικόνα 4.14: Περιοχή ενδιαφέροντος στη δημιουργία πλωτού αιολικού πάρκου.

Στους παραπάνω πίνακες 4.13 και 4.14 υπάρχει αντιστοιχία των εικόνων 4.7 και 4.8. Πιο συγκεκριμένα, ο πίνακας 4.7 παρουσιάζει το θεωρητικό δυναμικό ενέργειας στο Βορειοδυτικό τμήμα της Κρήτης το οποίο εμφανίζεται στην εικόνα 4.13, ενώ επίσης κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος που παρουσιάζεται στο κίτρινο πλέγμα έχει και το αντίστοιχο αιολικό δυναμικό. Με τον ίδιο τρόπο ο πίνακας 4.8 απεικονίζεται στην εικόνα 4.14. Βασιζόμενοι στην εικόνα 4.13 και 4.14, ο πίνακας 4.7 αποτελεί το Βορειοδυτικό (ΒΔ) τμήμα της Κρήτης με δεδομένα που απεικονίζουν το δυναμικό ενέργειας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους στο Δυτικό τμήμα Χανίων, ενώ ο πίνακας 4.8 αποτελεί το Βορειοανατολικό (ΒΑ) τμήμα της Κρήτης με δεδομένα που απεικονίζουν το δυναμικό ενέργειας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους στο Ανατολικό τμήμα Χανίων – Νησί Κάσος - Κάρπαθος



Διάγραμμα 4.14: Μηνιαίο διάγραμμα μέσης τιμής δυναμικής ενέργειας το διάστημα 2010-2015.



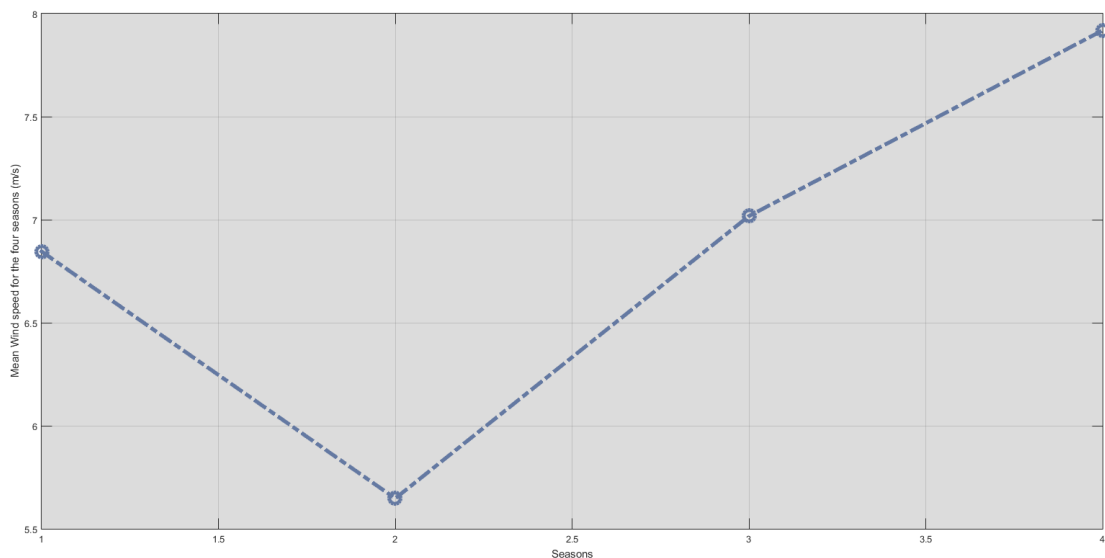
Διάγραμμα 4.15: Μηνιαίο διάγραμμα μέσης τιμής δυναμικής ενέργειας το διάστημα 2016-2020.

4.2 Αποτελέσματα 2021 μέσω ERA5 για ταχύτητα ανέμου στα 10 μέτρα.

Η αναφορά του έτους 2021 είναι σχετικά μικρή και αποτελεί μονάχα μια ενημέρωση αφού οι τιμές για το χρονικό διάστημα που πραγματοποιήθηκε η διπλωματική εργασία, δεν ήταν ακόμα διαθέσιμες. Δεδομένου ότι δεν έχουν ανοίξει όλες οι πληροφορίες του ERA5 για το διάστημα 2021, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω είναι για το διάστημα Ιανουαρίου έως Οκτωβρίου.

ΜΗΝΕΣ	ΒΑ ΤΜΗΜΑ ΚΡΗΤΗΣ – ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (M/S)	ΒΑ ΤΜΗΜΑ ΚΡΗΤΗΣ – ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (M/S)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	8.30	7.72
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	7.49	7.62
ΜΑΡΤΙΟΣ	7.78	8.38
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	6.68	7.63
ΜΑΙΟΣ	5.89	5.82
ΙΟΥΝΙΟΣ	4.93	6.84
ΙΟΥΛΙΟΣ	6.06	8.26
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5.92	8.64
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	6.50	8.79
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	7.89	6.92
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ		

Πίνακας.4.9: Πίνακας μέση τιμών ταχύτητας όλων των μηνών και ημερών για τα τμήματα ενδιαφέροντος της Κρήτης.



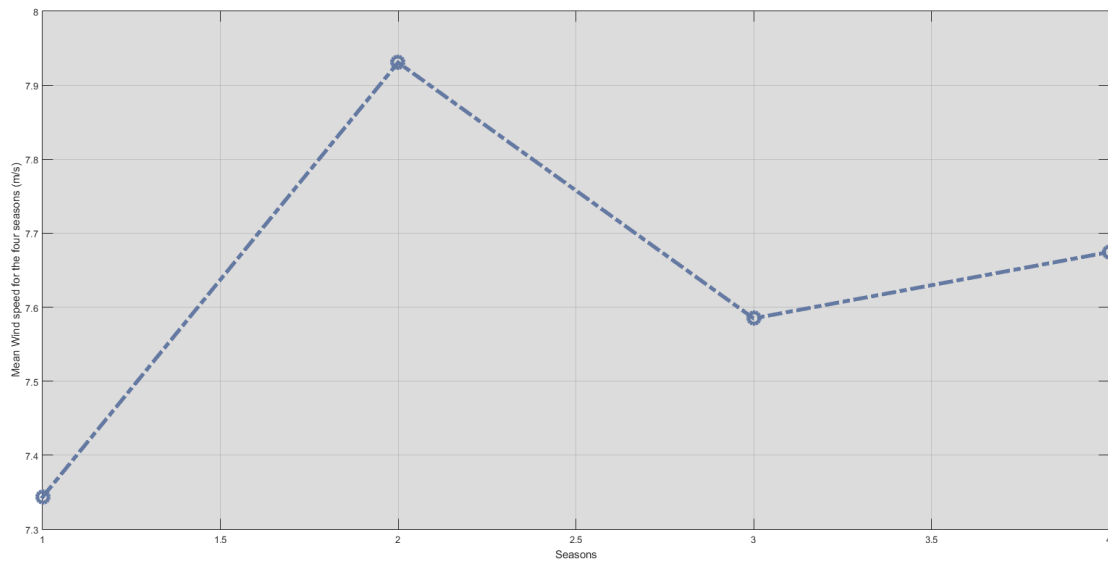
Διάγραμμα 4.16: Μέση τιμή της ταχύτητας του Βορειοδυτικού τμήματος ενδιαφέροντος της Κρήτης συναρτήσει των εποχών. Οι αντιστοιχία του αριθμού : 1 = Άνοιξη, 2 = Καλοκαίρι, 3 = Φθινόπωρο (πλην του Νοέμβρη), 4 = Χειμώνας (πλην του μηνός του Δεκέμβρη) για το έτος 2021.

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (M/S)

ΕΠΟΧΕΣ

6.85	Άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος)
5.65	Καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος)
7.01	Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος)
7.99	Χειμώνας (Ιανουάριος, Φεβρουάριος)

Πίνακας 4.10: Παρουσίαση αποτελεσμάτων των μέσων τιμών των ταχυτήτων βασιζόμενοι στις 4 εποχές του έτους 2021.



Διάγραμμα 4.17: Μέση τιμή της ταχύτητας του Βορειοανατολικού τμήματος ενδιαφέροντος της Κρήτης συναρτήσει των εποχών. Οι αντιστοιχία του αριθμού : 1 = Άνοιξη, 2 = Καλοκαίρι, 3 = Φθινόπωρο (πλην του Νοέμβρη), 4 = Χειμώνας (πλην του μηνός του Δεκέμβρη) για το έτος 2021.

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (M/S)

ΕΠΟΧΕΣ

7.34	Άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος)
7.93	Καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος)
7.58	Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος)
7.67	Χειμώνας (Ιανουάριος, Φεβρουάριος)

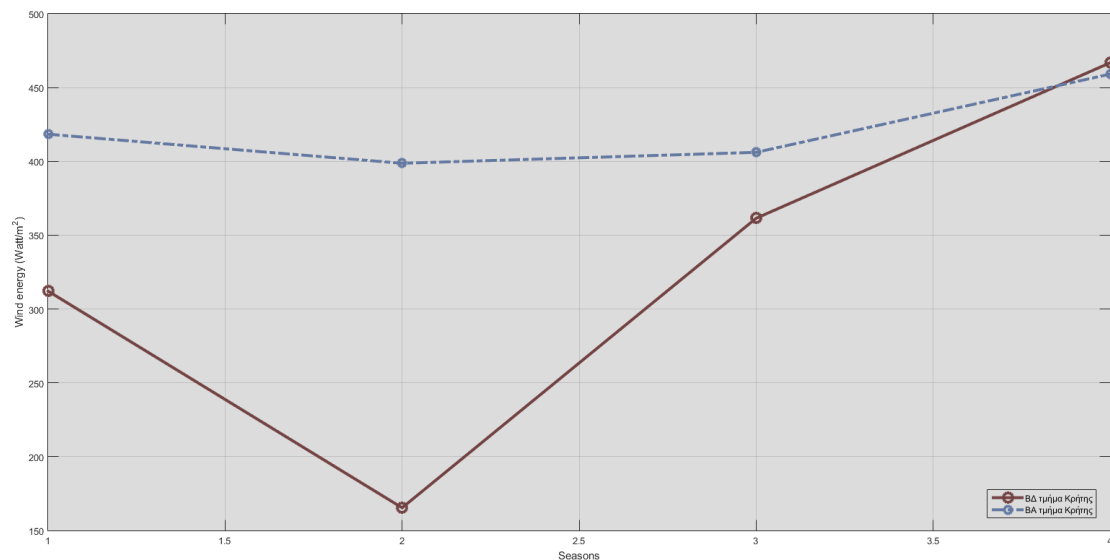
Πίνακας 4.11: Λεπτομερή εμφάνιση των μέσων τιμών των ταχυτήτων βασιζόμενοι στις 4 εποχές του ΒΔ τμήματος.

ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (watt/m ²)	ΕΠΟΧΕΣ
312.12	Άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος)
165.38	Καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος)
361.47	Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος)
466.79	Χειμώνας (Ιανουάριος, Φεβρουάριος)

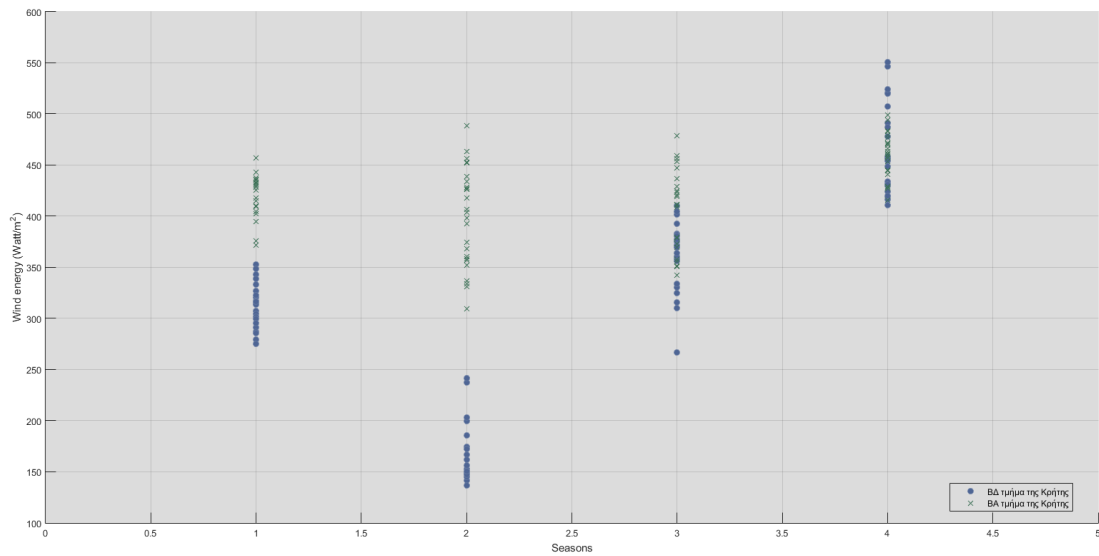
Πίνακας 4.12: Λεπτομερή εμφάνιση των μέσων τιμών του αιολικού δυναμικού βασιζόμενοι στις 4 εποχές με βάση το ΒΔ τμήμα της Κρήτης.

ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (watt/m ²)	ΕΠΟΧΕΣ
418.38	Άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος)
398.71	Καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος)
406.11	Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος)
459.10	Χειμώνας (Ιανουάριος, Φεβρουάριος)

Πίνακας 4.13: Λεπτομερή εμφάνιση των μέσων τιμών του αιολικού δυναμικού βασιζόμενοι στις 4 εποχές με βάση το ΒΑ τμήμα της Κρήτης.



Διάγραμμα 4.18: Μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για τις τέσσερις εποχές των δύο τμημάτων της Κρήτης που είναι η μελέτη ενδιαφέροντος.



Διάγραμμα 4.19: Αναλυτικές τιμές κάθε γεωγραφικού μήκους και πλάτους ως προς τη μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για τις τέσσερις εποχές των δύο τμημάτων της Κρήτης που είναι η μελέτη ενδιαφέροντος.

4.3 Παράθεση αποτελεσμάτων ταχύτητας ανέμου και αιολικού ανέμου στα 100 μέτρα

Στα τελευταία στάδια αναφορικά με την ανάλυση των δεδομένων του ERA5, λήφθηκαν ορισμένες αναλύσεις στα 100 μέτρα ώστε να διαπιστωθεί η διαφορά που επικρατεί καθώς και για να πραγματοποιηθεί καλύτερη αξιολόγηση στα συμπεράσματα χωρίς να χρειάζονται μετατροπές. Τα 100 μέτρα είναι ένα ύψος που θα μπορούσε να σταθεί μια ανεμογεννήτρια, μεγάλων δυνατοτήτων, δεδομένου και της παρούσας κατάστασης κατά την οποία το μέγεθος μιας Α/Γ ολοένα αυξάνεται.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα ταχύτητας ανέμου και η μετατροπή του αιολικού δυναμικού για τα έτη 2010 έως 2015, και 2016 έως 2020, καθώς και για όλη την δεκαετία, διαχωρίζοντας τους μήνες στις ανάλογες εποχές και κατηγοριοποιώντας την αιολική πορεία στα σημεία ενδιαφέροντος που είναι για μία ακόμα φορά το ΒΔ και ΒΑ τμήμα της Κρήτης.

Χρονολογία 2010 -2015

Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου (m/s) στα 100 m.				
7.62	7.70	7.75	7.91	7.88
7.72	7.820	7.89	7.96	7.73
7.794	7.92	8.08	8.20	7.90
7.84	8.02	8.23	8.44	7.97
7.83	8.03	8.24	8.49	8.26

Πίνακας 4.14: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.

Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου (m/s) στα 100 m.				
8.39	8.47	8.52	8.43	8.33
8.54	8.60	8.65	8.67	8.58
8.83	8.89	8.86	8.93	8.77
8.47	8.88	8.90	8.92	8.77
8.09	8.55	8.70	8.74	8.62

Πίνακας 4.15: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.

Μέση τιμή αιολικού δυναμικού (Watt/m ²) στα 100 m.				
501.40	513.79	527.91	559.92	553.65
506.88	522.29	532.27	545.57	509.62
505.75	524.90	546.80	566.07	523.14
502.19	527.66	558.22	594.80	505.54
488.69	515.00	546.62	586.09	539.04

Πίνακας 4.16: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.

Μέση τιμή αιολικού δυναμικού (Watt/m ²) στα 100 m.				
573.88	590.27	605.57	593.99	589.55
590.25	601.06	616.54	624.78	614.032
660.29	671.86	659.96	673.72	643.79
629.95	707.29	694.72	687.74	650.96
592.07	658.79	672.15	662.86	629.25

Πίνακας 4.17: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2010 – 2015.

Χρονολογία 2016 - 2020

Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου (m/s) στα 100 m.				
7.62	7.76	7.85	8.05	8.07
7.74	7.86	7.96	8.07	7.89
7.81	7.97	8.14	8.28	8.02

7.89	8.07	8.28	8.51	8.05
7.88	8.09	8.31	8.56	8.34

Πίνακας 4.18: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020.

Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου (m/s) στα 100 m.				
8.29	8.36	8.41	8.31	8.19
8.40	8.46	8.52	8.53	8.43
8.69	8.76	8.73	8.80	8.64
8.41	8.79	8.80	8.82	8.66
8.13	8.53	8.65	8.65	8.519

Πίνακας 4.19: Παρουσίαση αποτελεσμάτων της ταχύτητας του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020.

Μέση τιμή αιολικού δυναμικού (Watt/m ²) στα 100 m.				
491.86	518.544	544.60	589.18	597.500
505.25	528.33	549.26	573.608	549.73
508.82	535.11	564.34	593.00	564.08
510.66	541.44	578.26	621.26	538.54
499.39	530.95	568.33	612.72	563.75

Πίνακας 4.20: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020

Μέση τιμή αιολικού δυναμικού (Watt/m ²) στα 100 m.				
561.27	576.92	590.49	575.99	566.70
575.61	586.60	601.38	606.76	594.511
651.09	662.65	649.09	660.61	630.33
635.69	710.02	693.25	681.87	640.99
612.40	672.69	677.60	660.082	619.47

Πίνακας 4.21: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του αιολικού δυναμικού του ανέμου στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης για το χρονικό διάστημα 2016 – 2020.

Οι παραπάνω πίνακες απεικονίζουν πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα κάθε γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους στα σημεία ενδιαφέροντος, εμφανίζοντας μια υψηλή και σταθερή πορεία σε κάθε σημείο στην ταχύτητα του ανέμου και του αιολικού δυναμικού.

Ο παρακάτω πίνακας 4.22 παρουσιάζει συνοπτικά για ολόκληρη την δεκαετία, τη μέση τιμή ταχύτητας και αιολικού δυναμικού, για τα δύο τμήματα της Κρήτης όπου γίνεται η παρούσα μελέτη.

Έτος	Μέση τιμή ταχύτητας ανέμου (m/s)	
2010 – 2020	ΒΔ τμήμα Κρήτης	ΒΑ τμήμα Κρήτης
	8.01	8.59
	Μέση τιμή αιολικού δυναμικού (Watt/m ²)	
	541.65	631.79

Πίνακας 4.22: Μέσες τιμές των ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης για την δεκαετία 2010 – 2020.

Σε αυτό το στάδιο, δημιουργήθηκαν διαγράμματα ανάλογα με τις εποχές. Κατηγοριοποιώντας τους μήνες αποκτάται μία οπτική αντίληψη για την πορεία του αιολικού δυναμικού.

Στη συνέχεια, στο παρακάτω πίνακα 4.23, παρουσιάζονται ανά κατηγορία και για τα δύο τμήματα της Κρήτης, οι ταχύτητες του ανέμου.

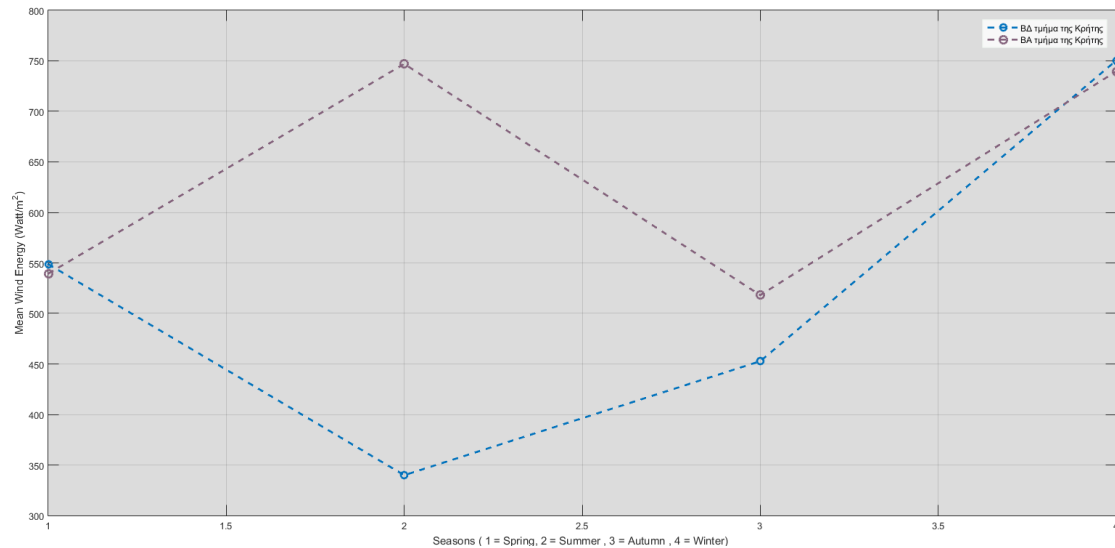
Εποχές	Μέση τιμές ταχύτητας του ΒΔ τμήματος της Κρήτης (m/s)	Μέση τιμές ταχύτητας του ΒΑ τμήματος της Κρήτης (m/s)
Άνοιξη	8.07	7.86
Καλοκαίρι	7.36334188402633	9.63
Φθινόπωρο	7.20049898398128	8.11
Χειμώνας	8,96	8,98

Πίνακας 4.23: Μέση τιμή ταχυτήτων για κάθε εποχή των 12 μηνών και για δύο γεωγραφικά τμήματα ενδιαφέροντος της Κρήτης στο διάστημα έτους 2010-2015.

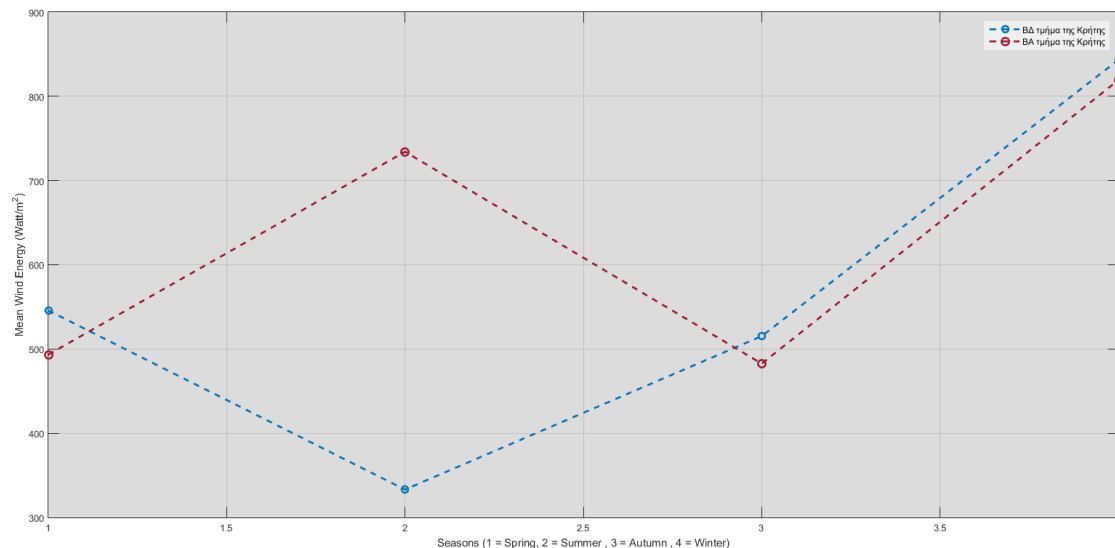
Εποχές	Μέση τιμές ταχύτητας του ΒΔ τμήματος της Κρήτης (m/s)	Μέση τιμές ταχύτητας του ΒΑ τμήματος της Κρήτης (m/s)
Άνοιξη	8.04	7.63
Καλοκαίρι	7.00	9.60
Φθινόπωρο	7.90	7.80
Χειμώνας	9.38	9.12

Πίνακας 4.24: Μέση τιμή ταχυτήτων για κάθε εποχή των 12 μηνών και για δύο γεωγραφικά τμήματα ενδιαφέροντος της Κρήτης στο διάστημα έτους 2016-2020.

Η σταθερά υψηλή πορεία σε όλες τις εποχές και για τα δύο σημεία ενδιαφέροντος στους δύο παραπάνω πίνακες 4.23 και 4.24, είναι ιδιαίτερα εμφανής. Το ΒΑ τμήμα παρουσιάζει υψηλότερες μέσες τιμές ταχυτήτων σε όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ επίσης συγκρίνοντας ανά εποχή, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές και στα δύο γεωγραφικά τμήματα της Κρήτης παρουσιάζονται τον Χειμώνα.



Διάγραμμα 4.20: Απεικόνιση γραφημάτων μέση τιμές αιολικού δυναμικού συναρτήσει των εποχών για το διάστημα 2010-2020 του ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης.

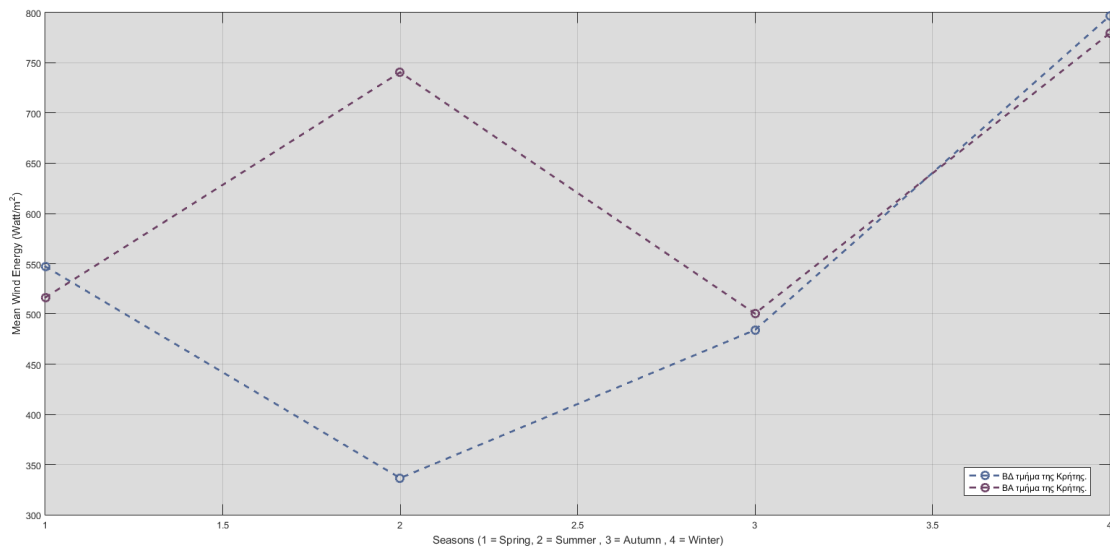


Διάγραμμα 4.21: Απεικόνιση γραφημάτων μέση τιμές αιολικού δυναμικού συναρτήσει των εποχών για το διάστημα 2016-2020 του ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης.

Στα παραπάνω διαγράμματα 4.20 και 4.21 παρατηρείται να υπερिशύει το ΒΑ τμήμα της Κρήτης στα επίπεδα αιολικής δύναμης έχοντας μέγιστη τιμή στο έτος 2010-2015, τα 746,996429972492 Watt/m² και ελάχιστη τιμή τα 518.058145108891 Watt/m². Αντίστοιχα στο

ΒΔ τμήμα και για το διάστημα του Καλοκαιριού, η ελάχιστη τιμή είναι στα 339.879707661879 Watt/m².

Για το έτος 2016 έως 2020 υπάρχει μια μέγιστη τιμή μικρής διαφοράς στο ΒΔ τμήμα σε σχέση με το ΒΔ στα 843.176383356892 Watt/m², όμως συνολικά το υψηλότερο αιολικό δυναμικό παρατηρείται κυρίως στο ΒΑ τμήμα της Κρήτης.

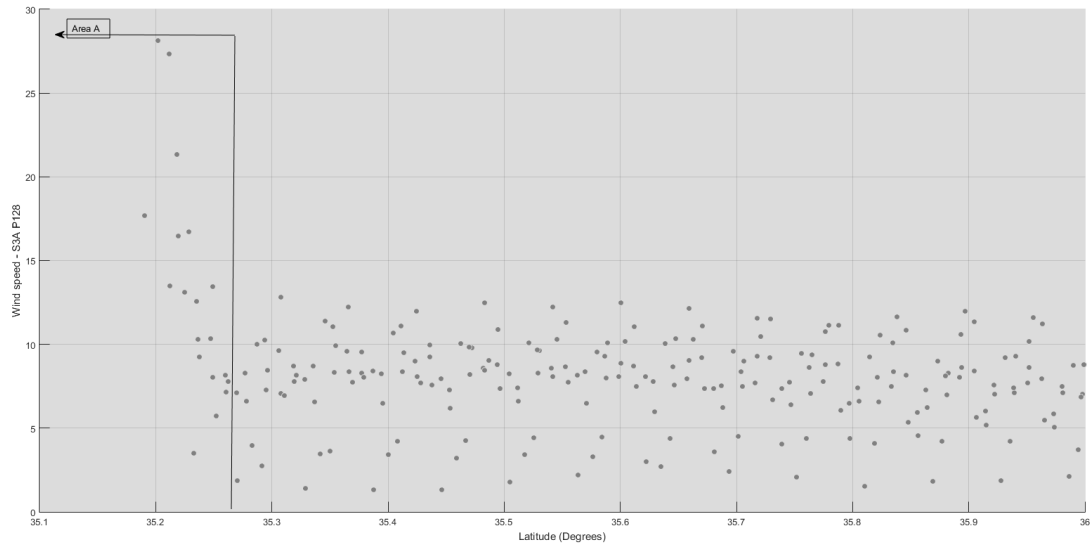


Διάγραμμα 4.22: Απεικόνιση του γραφήματος μέσης τιμής αιολικού δυναμικού στα σημεία ενδιαφέροντος του ΒΔ και ΒΑ τμήματος της Κρήτης, συναρτήσει όλων των μηνών σε κατηγορία εποχών για το έτος 2010-2020.

Στο διάγραμμα 4.22 παρατηρείται ότι κατά την εποχή του καλοκαιριού υπάρχει η μεγαλύτερη απόκλιση και διαφορά της μέσης τιμής του αιολικού δυναμικού μεταξύ του ΒΑ και του ΒΔ τμήματος, δεδομένου ότι στο ΒΑ τμήμα επικρατεί αιολικό δυναμικό στα 740.601975417409 Watt/m² ενώ στο ΒΔ στα 336.511235894447 Watt/m². Γενικότερα ως προς το σύνολο, οι τιμές που κυμαίνονται για όλο το χρονικό διάστημα, πλην του καλοκαιριού, είναι από 500 έως 800 Watt/m².

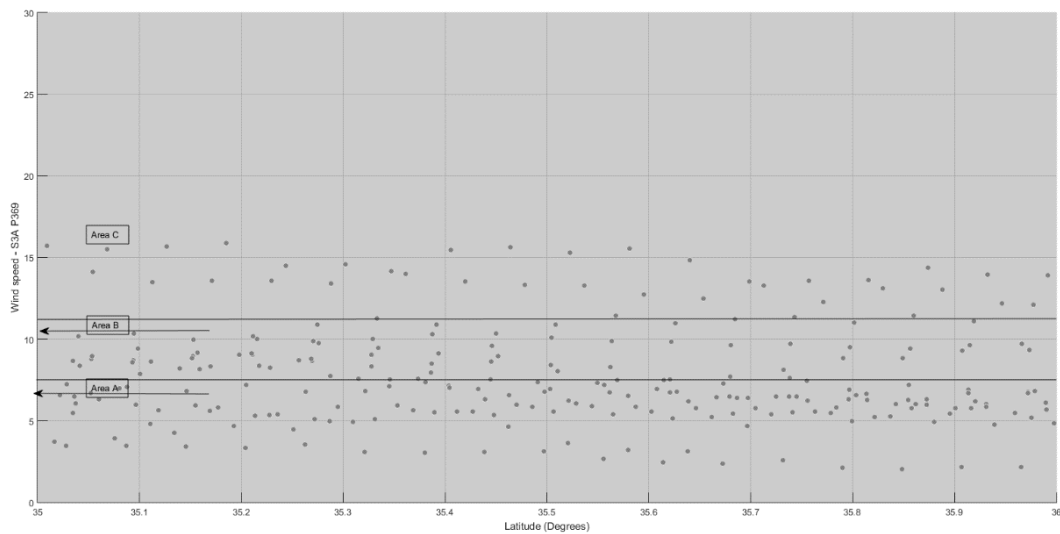
4.4 Παράθεση αποτελεσμάτων Δορυφορικής Αλτιμετρίας

4.4.1 Παράθεση διαγραμμάτων ταχύτητας συναρτήσει του γεωγραφικού μήκους για τις επιλεγμένες τροχιές Sentinel-3A.



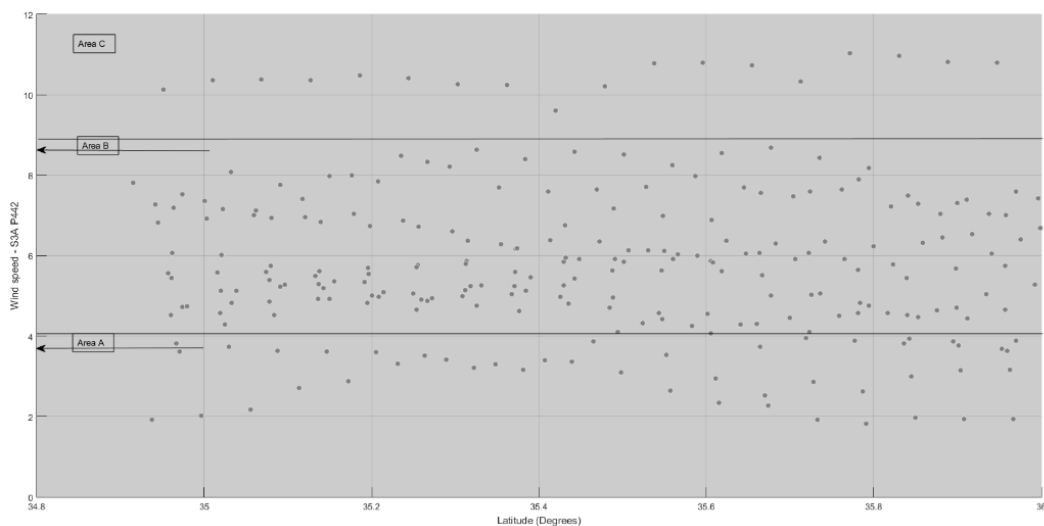
Διάγραμμα 4.23: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.128 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.

Η περιοχή A (“area A”) σηματοδοτεί την ανοδική πορεία της ταχύτητας του ανέμου στο συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο, ενώ οι υπόλοιπες κουκίδες απεικονίζουν τιμές τιμές καθ’ όλη την διάρκεια της πορείας του γεωγραφικού πλάτους. Οι τιμές που λήφθηκαν ξεκίνησαν από την βόρεια κατεύθυνση της τροχιάς του S3A N. 128 προς το Δυτικό τμήμα. Ως προς το σύνολο, στη γενική εικόνα εκτιμάται ότι η μέση τιμή ταχύτητας είναι στα 8 m/s (από 6 έως 10 m/s).



Διάγραμμα 4.24: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.369 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.

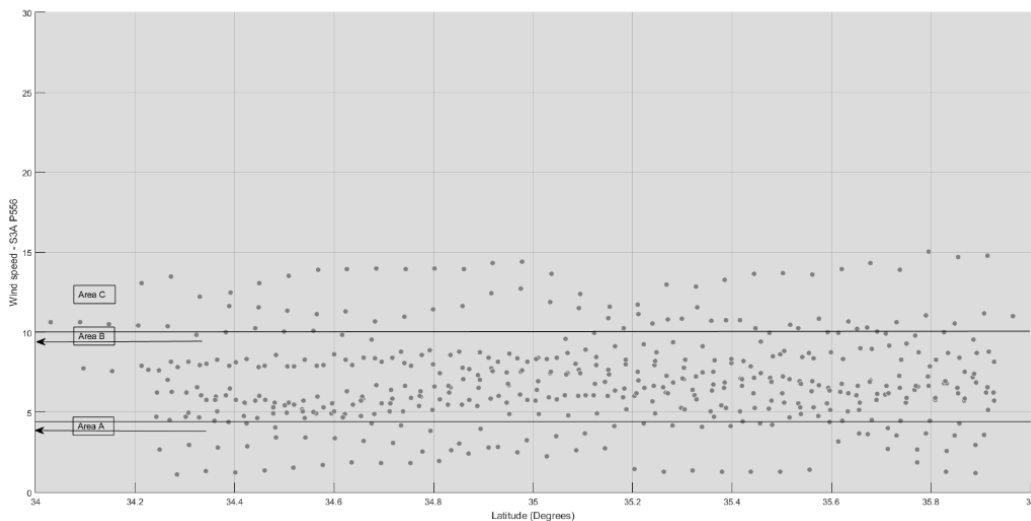
Η περιοχή A (“area A”) είναι η πιο χαμηλή σε τιμές ταχυτήτων αλλά με σταθερή όμως σχετικά πορεία πολλών σημείων, ενώ έπειτα ακολουθεί αντίστοιχα η περιοχή B και η περιοχή C. Η πορεία των ταχυτήτων ακολουθεί την Νότια προς Βόρεια κατεύθυνση, ενώ το γενικό πλαίσιο ταχυτήτων κυμαίνεται επίσης με μια μέση τιμή στα 8 m/s (από 6 έως 10 m/s).



Διάγραμμα 4.25: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.442 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.

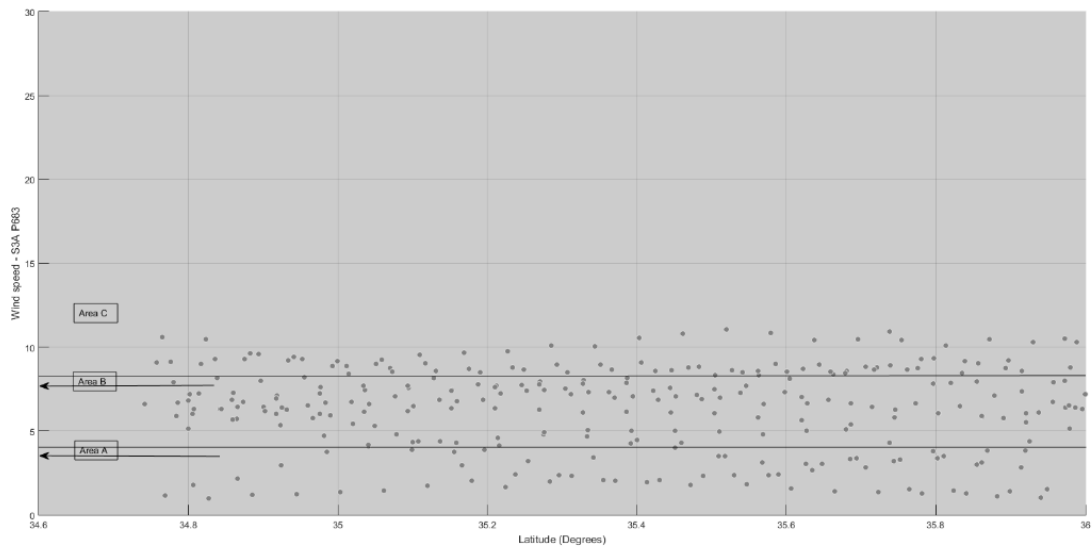
κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.

Όμοια πορεία ακολουθείται και από το διάγραμμα 4.6 έχοντας την περιοχή C ως την περιοχή όπου επικρατούν οι υψηλότερες τιμές ταχυτήτων στα διαστήματα γεωγραφικού μήκους, χωρίς βέβαια να υπάρχει μεγάλη διαφορά ως προς το πιο έντονο σημείο γεωγραφικού πλάτους. Επιβεβαιώνεται επίσης ότι τα σημεία ενδιαφέροντος παραμένουν σταθερά και με ανοδική πορεία καθ' όλη την διάρκεια της γεωγραφικής περιοχής, ξεκινώντας από την Βόρεια προς Νότια κατεύθυνση του Νοτιοδυτικού τμήματος της Κρήτης. Η μέση τιμή ταχύτητας εκτιμάται ότι είναι στα 8 m/s (από 6 έως 10 m/s).



Διάγραμμα 4.26: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.442 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.

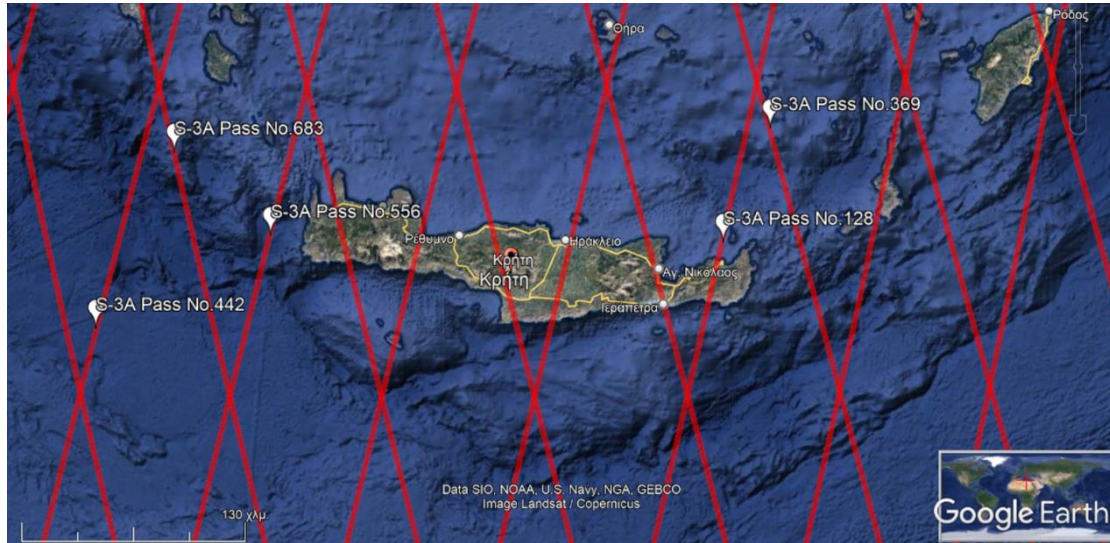
Ομοίως στο παραπάνω διάγραμμα 4.26, C ως την περιοχή όπου επικρατούν οι υψηλότερες τιμές ταχυτήτων στα διαστήματα γεωγραφικού μήκους, χωρίς βέβαια να υπάρχει μεγάλη διαφορά ως προς το πιο έντονο σημείο γεωγραφικού πλάτους, αφού επίσης επιβεβαιώνεται ότι τα σημεία ενδιαφέροντος παραμένουν σταθερά και με ανοδική πορεία καθ' όλη την διάρκεια της γεωγραφικής περιοχής. Οι μετρήσεις ξεκινούν από την Βόρεια προς Νότια κατεύθυνση του Νοτιοδυτικού τμήματος της Κρήτης, ενώ η μέση τιμή ταχύτητας που υπερिशύει παρατηρείται ότι είναι στα 7 m/s (από 5 έως 9 m/s).



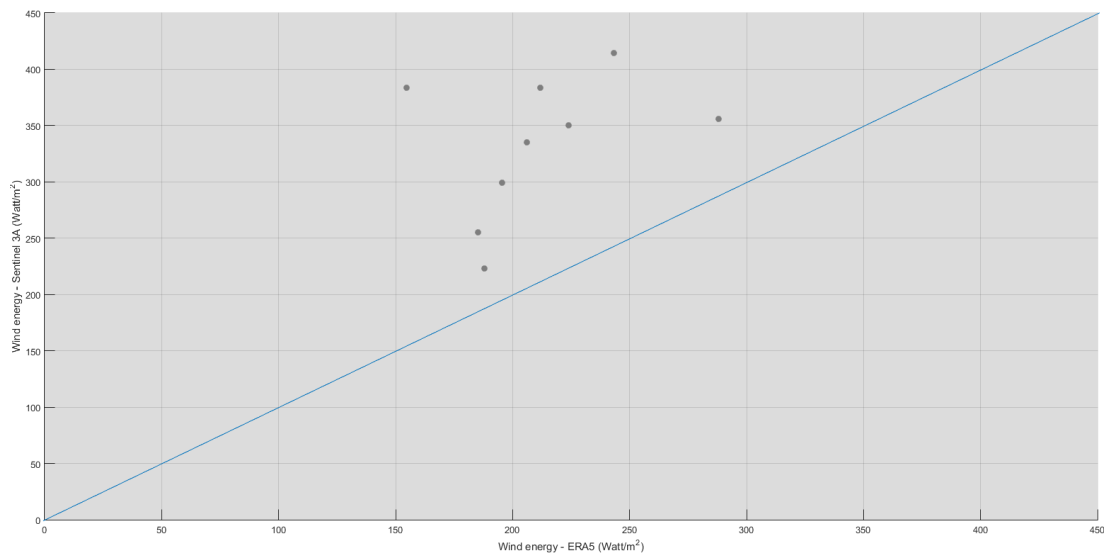
Διάγραμμα 4.27: Ταχύτητα ανέμου κατά μήκος του περάσματος Sentinel-3A No.442 ανατολικά της Κρήτης. Οι γκρι κουκίδες αντιπροσωπεύουν μετρήσεις 1-Hz για επιλεγμένους κύκλους Sentinel-3A στα διαστήματα χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών του έτους 2016 έως 2020 στην επιλεγμένη γεωγραφική περιοχή ενδιαφέροντος.

Στο διάγραμμα 4.27 παρατηρείται ότι οι τιμές που επικρατούν στην παραπάνω τροχιά είναι γύρω στα 5 με 8 m/s. Στο ίδιες τιμές ταχυτήτων κυμαίνεται και το μεγαλύτερο φάσμα τιμών στην περιοχή B. Οι τιμές ξεκινούν από την Νότια προς Βόρεια κατεύθυνση του Βορειοδυτικού τμήματος της Κρήτης.

Όλες οι μετρήσεις ταχυτήτων φωτογραφίζουν αντίστοιχα την ίδια πορεία που θα ακολουθούσε το αιολικό δυναμικό.



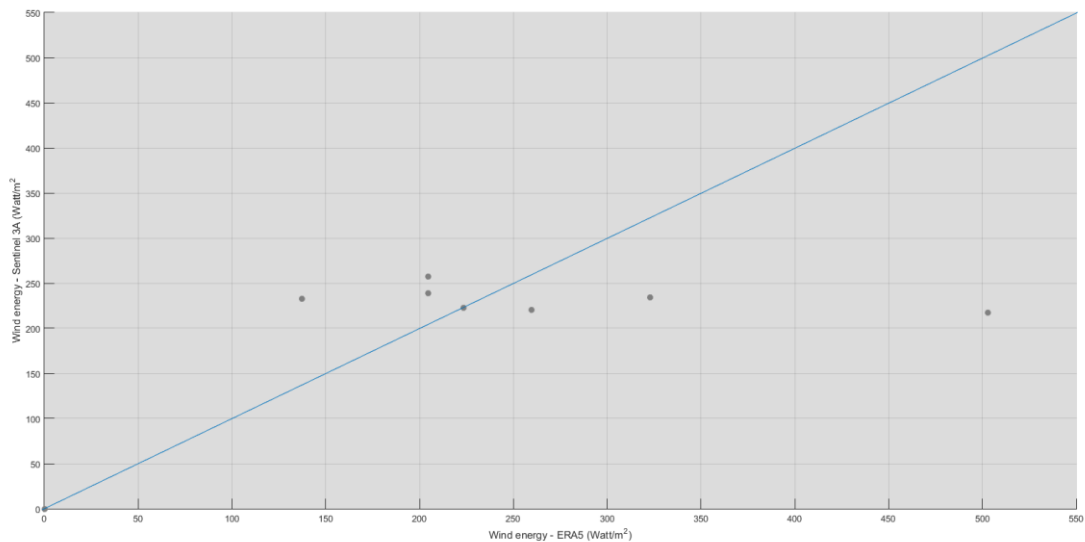
Εικόνα 4.15: Επισημάνση περασμάτων που πάρθηκαν για τα αποτελέσματα από τους δορυφόρους S-3A Pass No. 442, 128, 369, 583, 683.



Διάγραμμα 4.28: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (**pass 556**) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσεως των μετρήσεων ERA5.

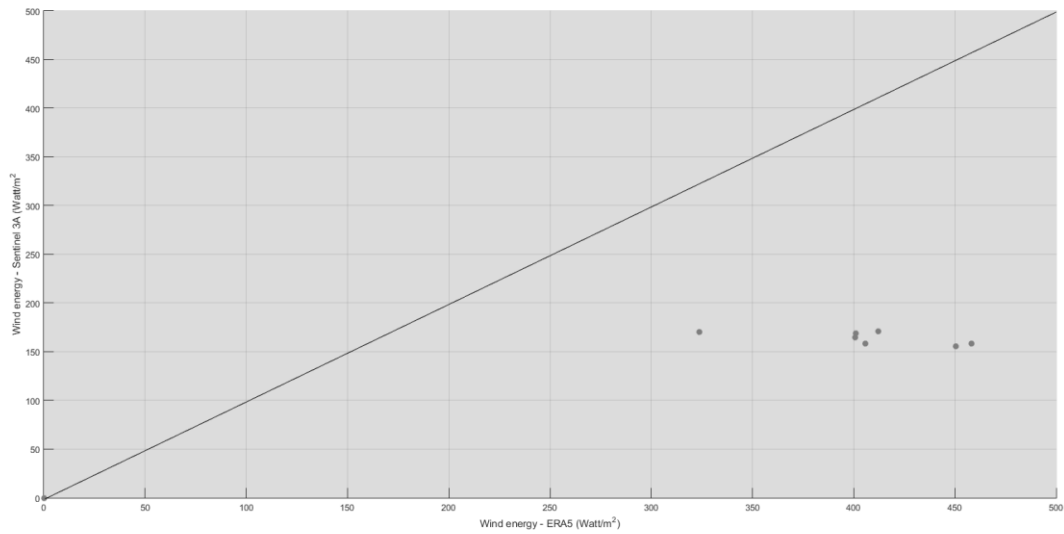
ERA5 – WIND ENERGY(WATT/M ²)	SENTINEL-3 – WIND ENERGY (WATT/M ²) PASS 556
288.1323483	355.6191534
243.2186323	414.3436921
154.7656515	383.572748
211.7297677	383.8043708
223.8004483	350.4480821
205.9923402	335.0002108

195.6590292	298.9593072
185.2147139	255.2560959
188.0886770	223.1778488
288.1323483	355.6191534

Πίνακας 4.25: Παράθεση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.**Διάγραμμα 4.29:** Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (*pass 683*) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5.

ERA5 – WIND ENERGY(WATT/M ²) PASS 556	SENTINEL-3 – WIND ENERGY (WATT/M ²) PASS 683
223.3428457	222.9695217
502.92097	216.9586686
259.566757	220.1123619
137.2255124	232.6817452
204.4235228	239.0912493
204.4235335	257.3101377
322.7474252	234.2606993

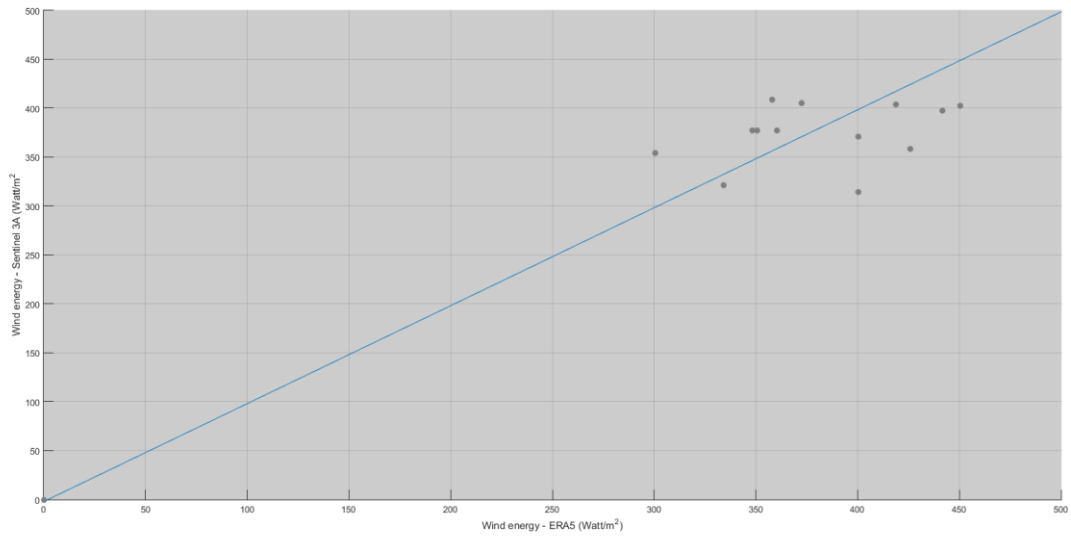
Πίνακας 4.26: Παράθεση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.



Διάγραμμα 4.30: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (pass 442) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5.

ERA5 – WIND ENERGY(WATT/M ²)	SENTINEL-3 – WIND ENERGY (WATT/M ²) PASS 442
PASS 442	
458.0623719	158.5975807
450.2924155	155.7109848
323.6302286	169.9688466
411.9947044	171.0323286
400.5985234	164.6770631
400.9823558	168.7631475
405.8854411	158.0419915

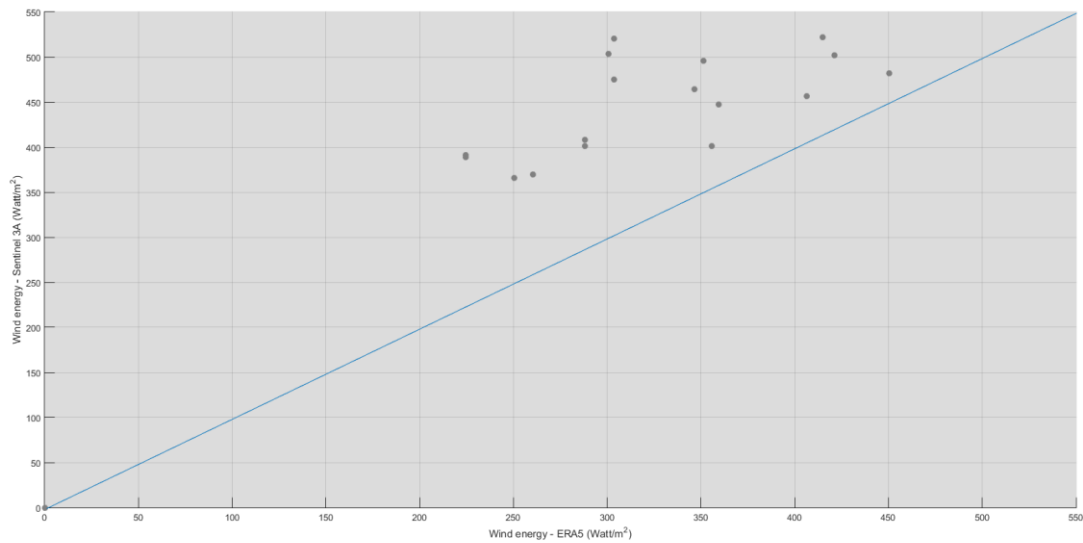
Πίνακας 4.27: Παράθεση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.



Διάγραμμα 4.31: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (**pass 128**) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5.

ERA5 – WIND ENERGY(WATT/M ²)	SENTINEL-3 – WIND ENERGY (WATT/M ²) PASS 128
334.2572617	321.5858742
300.5215205	354.4798282
400.2159312	314.6838048
348.3725378	377.1446064
350.5626	377.1446064
360.525538	376.9455231
450.554153	402.1001917
358.185266	408.5863268
441.8458336	397.2283942
400.515638	370.6575169
372.4854966	405.2363914
418.7804729	404.0654952
425.7456817	358.6263252

Πίνακας 4.28: Σύγκριση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.



Διάγραμμα 4.32: Scatterplot του Sentinel-3 κατά μήκος των παρατηρήσεων του δυναμικού ενέργειας σε τροχιά (pass 369) πάνω από την Κρήτη, συναρτήσει των μετρήσεων ERA5.

ERA5 – WIND ENERGY(WATT/M ²)	SENTINEL-3 – WIND ENERGY
PASS 369	(WATT/M ²) PASS 369
303.6770106	520.1045698
303.6770152	475.1852759
300.5448225	503.8055422
415.0695429	521.9517063
450.2472425	482.0910629
421.0611724	502.1048655
351.2102226	495.8426254
346.5864756	464.4746923
359.3609725	447.4511833
406.5542256	456.4411553
355.7061455	401.1184767
260.5562135	369.3483444
288.3025927	400.8554156
250.2547821	365.3879761
288.3025927	408.215195
224.3673296	388.5409205
224.3673296	390.8464252

Πίνακας 4.29: Σύγκριση αποτελεσμάτων Sentinel-3A και ERA5.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω αποτελέσματα, όσον αφορά τον Sentinel-3A pass.556 όπου οι τιμές του δορυφόρου μπορεί να ήταν κοντά στην ξηρά, έχουν ληφθεί τιμές οι οποίες απαντώνται σε απόσταση 20 χιλιομέτρων μακριά από τη στεριά. Οι τιμές αυτές έχουν μια ανοδική πορεία ενώ επίσης παρουσιάζεται μια απόκλιση των τιμών ERA5 και Sentinel-3A στα 60 με 150 Watt/m². Με τον ίδιο τρόπο λήφθηκαν και τα δεδομένα στην τροχιά περάσματος 128, έχοντας ως προς το σύνολο σχετικά καλά αποτελέσματα αφού οι τιμές συγκλίνουν αρκετά μεταξύ τους. Στο πέρασμα 683 οι τελικές τιμές είναι 7 οι οποίες εμφανίζουν μια διαφορετική μορφή διαγράμματος, εν συγκρίσει άλλων τιμών, ενώ επίσης παρατηρούνται και κάποιες μικρές αποκλίσεις μεταξύ των τιμών του ERA5 και του δορυφόρου Sentinel-3A. Η ίδια λογική ακολουθήθηκε στα περάσματα 442 και 369, Στο πέρασμα 442 υπήρξαν μεγάλες αποκλίσεις τιμών μεταξύ του ERA5 και του δορυφόρου Sentinel-3A, ενώ στο 369 παρατηρήθηκε υψηλό δυναμικό με τις τιμές των δύο συστημάτων να είναι αρκετά κοντά.

Η διαλογή τιμών πραγματοποιήθηκε μεταξύ του διαστήματος χρονολογιών 2016 έως 2020, με αντίστοιχες τιμές όλων των μηνών και με τις ώρες του δορυφόρου Sentinel-3A να είναι (UTC hh:mm) 08:50, 19:39, 09:04, 19:53. Με ανάλογο τρόπο έγινε η αντιστοιχία στις τιμές του ERA5 στις ώρες 09:00 και 20:00.

Sentinel-3A Passes	Ελάχιστη τιμή ταχύτητας (m/s)	Μέγιστη τιμή ταχύτητας (m/s)	Μέση τιμή ταχύτητας (m/s)	Μέση τιμή δυναμικού ενέργειας (Watt/m ²)
S-3A Pass No. 128	0.740	30.000	6.305	152.892
S-3A Pass No. 369	0.680	17.910	7.001	209.319
S-3A Pass No. 442	0.930	19.020	6.973	206.818
S-3A Pass No. 556	1.070	22.700	6.791	191.043
S-3A Pass No.683	0.720	22.200	6.287	151.586

Πίνακας 4.30: Αποτελέσματα ελάχιστης και μέγιστης τιμής ταχύτητας καθώς και η μέση τιμή υπολογισμένες από τα αλτιμετρικά δεδομένα που πάρθηκαν από τον δορυφόρο Sentinel-3A στο διάστημα 2016 έως 2021 σε διαστήματα όλων των μηνών.

Στον πίνακα 4.30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελάχιστης και μέγιστης τιμής ταχύτητας καθώς και η μέση τιμή υπολογισμένες από τα αλτιμετρικά δεδομένα που πάρθηκαν από τον δορυφόρο Sentinel-3A στο διάστημα 2016 έως 2021 σε διαστήματα όλων των μηνών. Οι τιμές των ταχυτήτων λήφθηκαν αυτομάτως από τα αποτελέσματα του δορυφόρου και είναι υπολογισμένες όλες οι τροχιές, καθώς και οι μήνες και τα έτη από το 2016 έως το 2021. Στα παραπάνω γραφήματα πραγματοποιήθηκε συγκεκριμένη διαλογή δεδομένων από τα

αποτελέσματα του Sentinel-3A. Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι παραπάνω τιμές δεν θέτουν εντελώς αντιπροσωπευτικά την πορεία της ταχύτητας του ανέμου και συνεπώς του αιολικού δυναμικού, δεδομένου ότι προς το παρόν οι τροχιές του Sentinel-3A εμφανίζουν ορισμένες ημέρες, ώρες και έτη. Παρ' όλα αυτά αποτελούν μια ένδειξη βασιζόμενοι στις μετρήσεις του ERA5 και τις ανάλογες συγκρίσεις.

5 Κεφάλαιο- Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη βασίστηκε στην δεκαετία 2010 – 2020 μέσω των δεδομένων που παρέχει το ERA5 στα 10 και 100 μέτρα από την επιφάνεια της γης. Καθώς και μία συμπληρωματική μελέτη για το έτος 2021. Στη συνέχεια μέσω της δορυφορικής Αλτιμετρίας αντλήθηκαν αντίστοιχα αποτελέσματα με το ERA5 ώστε να γίνει σύγκριση και επιβεβαίωση αποτελεσμάτων των δύο μεθοδολογιών.

Σε όλα τα διαγράμματα παρατηρήθηκε κοινή κατεύθυνση και κοινό υψηλό δυναμικό στα διαστήματα Lat [34.75° έως 36°], ενώ επίσης σημειώθηκε υψηλή αύξηση αιολικού δυναμικού της τάξεως των 300 – 400 Watt/m², αποτελώντας ένα μόνιμο κριτήριο για την δυναμικότητα της ενέργειας, δεδομένου ότι έχουν συμπεριληφθεί και περιοχές όπως η στεριά καθώς και σημεία γύρω από αυτήν ή εκτός του πλαισίου ενδιαφέροντος.

Τα διαγράμματα και η ανάλογη αρχική προσέγγιση της μελέτης έγινε αποκλειστικά για την κατανόηση και την αξιολόγηση ως προς την πορεία της ταχύτητας του ανέμου και συνεπώς και την μετατροπή του στο αιολικό δυναμικό. Βασιζόμενοι στα ήδη υπάρχοντα διαγράμματα έγινε διαλογή για κάθε έτος 2010 έως 2020 στη μέση τιμή όλων των μηνών και ωρών ξεχωριστά για κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Εκεί η απομόνωση των περιοχών ενδιαφέροντος από [Lat_{max} = 36° , Lat_{min} = 35° με Lon = 22.2° έως 23.2° για το Βορειοδυτικό τμήμα της Κρήτης (ΒΔ) και με αντίστοιχο τρόπο για Lat_{max} = 36° , Lat_{min} = 35° με Lon = 26.2° έως 27.2°] (1) για το Βορειοανατολικό τμήμα της Κρήτης (ΒΑ) , έδειξε μια σταθερή πορεία του αιολικού δυναμικού για όλα τα έτη, καθώς τα προαναφερθείσα σημεία έχουν μία ομαλή και υψηλή πορεία αποδοτικότητας.

Η παρούσα διπλωματική επικεντρώθηκε κυρίως στις μετρήσεις του θαλάσσιου περιβάλλοντος περιφερειακά της Κρήτης, δεδομένου ότι η εργασία αφορά τα πλωτά αιολικά πάρκα. Παρ' όλα αυτά αρκετά αποτελέσματα βγάζουν μία εκτίμηση μέσης τιμής ολόκληρου του αιολικού δυναμικού της Κρήτης για την ορθή αξιολόγηση και κατανόησης της αιολικής δυνατότητας της περιοχής. Οι κυμαινόμενες τιμές στα σημεία ενδιαφέροντος ήταν από 200 έως 450 Watt/m².

Αναλυτικότερα, έχοντας μια εικόνα για την γεωγραφική περιοχή μελέτης και βασιζόμενοι στους πίνακες 4.3, 4.4 και 4.5 για την δεκαετία 2010 έως 2020, η μέση τιμή ταχύτητας είναι στα 6.15 m/s και το ανάλογο αιολικό δυναμικό στα 258.77 Watt/m².

Ως προς το σημείο ενδιαφέροντος που αποτελείται από δύο τμήματα ευρύτερα της Κρήτης, η μέση τιμή του αιολικού δυναμικού για την προαναφερθείσα δεκαετία είναι στα 325.75 Watt/m² για το ΒΔ τμήμα ενδιαφέροντος, ενώ για το ΒΑ τμήμα είναι 373.13 Watt/m² (1).

Για την καλύτερη κατανόηση του αιολικού δυναμικού,—σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα ταχύτητας και αιολικού δυναμικού τα οποία παρουσιάζουν όλη την πορεία τιμών των παραπάνω μεταβλητών για την περιοχή της Κρήτης, ανά έτος.

Κατά το έτος 2014 παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη πτώση αναφορικά με την πορεία του ανέμου. Αντίστοιχα για τα διαγράμματα 4.14 (από 2010 έως 2015) και 4.15 (από 2016 έως 2020) παρατηρήθηκε πτώση των αιολικών δυναμικών κατά τους μήνες από Μάιο έως και Σεπτέμβριο.

Έχοντας πραγματοποιήσει μια αρχική ανάλυση των δεδομένων του 2021, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές για τα δύο τμήματα ενδιαφέροντος της Κρήτης (ΒΑ και ΒΔ), όπου διαπιστώθηκε μια σαφώς πολύ μεγαλύτερη τιμή του ανέμου και συνεπώς και της ενέργειας σε σύγκριση με την προηγούμενη δεκαετία. Συγκεκριμένα, στο τμήμα που βρίσκεται στις γεωγραφικές συντεταγμένες στο τμήμα της περιοχής των Φαλάσαρνων παρατηρήθηκαν χαμηλότερες οι τιμές (έως και κάθετη πτώση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες), ενώ στο Δυτικό τμήμα το οποίο βρίσκεται προς την μεριά του νησιού Κάρπαθος και Κάσος, οι τιμές καθ' όλη την διάρκεια των εποχών είναι υψηλές. Η μέση τιμή ταχύτητας γύρω από την περιοχή του δυτικού τμήματος της Κρήτης είναι στα 6.85 m/s με μέσο αιολικό δυναμικό στα 326.44 Watt/m², ενώ η αντίστοιχη μέση τιμή της ταχύτητας του ανατολικού τμήματος είναι στα 7.63 m/s και αιολικό δυναμικό στα 420.58 Watt/m². Τέλος βασιζόμενοι στα διάγραμμα 4.18, παρατηρούνται τιμές αιολικού δυναμικού και για τα δύο τμήματα με τιμές που κυμαίνονται από 300 έως 450 Watt/m², με εξαίρεση να αποτελούν οι καλοκαιρινοί μήνες. Οι τιμές αιολικού δυναμικού στο ΒΔ τμήμα κυμαίνονται περίπου στα 160 Watt/m².

Στα 100 μέτρα ύψος οι τιμές της ταχύτητας, ως μέση τιμή, για το διάστημα 2010 – 2020 είναι της τάξεως των 8 m/s με το αιολικό δυναμικό να κυμαίνεται από 500 έως 600 Watt/m². Από την άλλη, οι τιμές ταχύτητας που κυμαίνονται για τα 10 μέτρα ύψος είναι στα 6 -7 m/s, ενώ το αντίστοιχο αιολικό δυναμικό κυμαίνεται από 300 έως 400 Watt/m².

Είτε στα 10 μέτρα είτε στα 100 μέτρα, μεμονωμένα και σε διάφορες μέρες και ώρες του μήνα, μπορούμε να δούμε μεγάλες τιμές ταχύτητας. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα 100 μέτρα βέβαια είναι φανερά πιο υψηλά, ενώ επίσης σε κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος υπάρχει σταθερή υψηλή πορεία του δυναμικού και της ταχύτητας.

Η μελέτη αναφορικά με την Δορυφορική Αλτιμετρία, έγινε με την παρατήρηση αρχικά όλων των τιμών που αντλήθηκαν από τις τροχιές. Κατά την διάρκεια της μελέτης και της καταγραφής

των δεδομένων των τιμών των τροχιών παρατηρήθηκε ότι υπήρξαν τόσο τιμές οι οποίες ήταν παανομοιότυπες με του ERA5, καθώς και άλλες οι οποίες παρουσίαζαν πολύ μεγάλες αποκλίσεις.

Δίνοντας κυρίως βάση στις τιμές που συμπίπτουν στον κানাβο του ERA5 για τη σύγκριση των ταχυτήτων, παρατηρήθηκαν ομοίως σε ορισμένες μέρες, ημερομηνίες και γεωγραφικές συντεταγμένες, κοινές τιμές, και σε άλλες, πολύ μεγάλες διακυμάνσεις.

Κάνοντας τους απαραίτητους διαχωρισμούς ώστε να ληφθούν υπόψη μόνο οι τιμές που περνάνε από την τροχιά του σημείου ενδιαφέροντος και πάνω στις συντεταγμένες του ERA5 και θέτοντας διάφορες παραμέτρους, όπως η απόρριψη των τιμών σε σημεία που βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 8 χιλιομέτρων κοντά στη στεριά, καθώς και η θέσπιση μέσων τιμών ταχυτήτων, δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια κοινή πορεία ανάμεσα στις τιμές του ERA5 και του δορυφόρου Sentinel-3A, πλην ορισμένων τιμών αιολικού δυναμικού που μπορεί να έχουν διαφορά ανάμεσα τους της τάξεως των 150 Watt/m².

Αναφορικά με τις τιμές που λήφθηκαν από όλες τις διαθέσιμες τροχιές που προέκυψαν από τα αλτιμετρικά δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-3A, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές ήταν παραπλήσιες με εκείνες του ERA5, δεδομένου ότι με βάση αναλυτικές συγκρίσεις ορισμένες τιμές είχαν αρκετά μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Όμως με την πραγματοποίηση του αντίστοιχου διαχωρισμού των δεδομένων και λαμβάνοντας τις μέσες τιμές του δορυφόρου για την τελική σύγκριση με αυτές των τιμών του ERA5, παρατηρήθηκε μια εξομάλυνση των αποκλίσεων με τις μετρήσεις να συγκλίνουν ως ένα βαθμό, με τις όποιες παραμένουσες αποκλίσεις να χαρακτηρίζονται ως λογικές και αποδεκτές, γιατί δεν επηρεάζουν τόσο την συνολική πορεία του αποτελέσματος της εργασίας, καθώς διαπιστώθηκε ότι ως προς το σύνολο οι αποκλίσεις που μπορεί να υπάρχουν μεμονωμένα με όλες τις τιμές του αλτίμετρου, εξομαλύνονται όταν υπολογίζονται με τη μέση τιμή των απαραίτητων τιμών.

Εν κατακλείδι, όσον αφορά τις τιμές του ERA5 μεμονωμένα, για όλους τους μήνες και όλες τις ώρες των ετών για το χρονικό διάστημα από 2010 έως και 2020 παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές της ταχύτητας στα 11 m/s με αντίστοιχο αιολικό δυναμικό της τάξεως των 811.91 Watt/m², κάτι που μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τα δεδομένα των 100 μέτρων σε μεγαλύτερη διάρκεια, αλλά και των 10 μέτρων αντιστοίχως, σε μεμονωμένες ώρες και μέρες.

Σαφώς το συγκεκριμένο αποτέλεσμα που βασίζεται σε ορισμένες ημέρες και ώρες όπου εμφανίζονται υψηλές αποδόσεις, δεν μπορεί να καθορίσει την συνολική πορεία μιας γεωγραφικής περιοχής. Σημαντικός κρίνεται ο υπολογισμός μιας μέσης τιμής για την

γεωγραφική περιοχή που πραγματοποιείται η μελέτη, καθώς και του γεωγραφικού σημείου που υπάρχει μεγαλύτερη προτεραιότητα για μια εν δυνάμει εγκατάσταση αιολικού δυναμικού.

Τέλος, αυτό που πρέπει να σημειωθεί για κάθε μέτρηση, είτε του ERA5 είτε του αλτίμετρου για τον δορυφόρο Sentinel-3, είναι η πιθανότητα της απόκλισης με το να μετρηθούν ελαφρώς υψηλότερες ή και χαμηλότερες τιμές από τις πραγματικές. Επιπλέον, η παρουσία επιφανειακών ρευμάτων μπορεί επίσης να επηρεάσει την επιφανειακή τάση, η οποία και αυτή με τη σειρά της, θα επηρεάσει τις τιμές που λαμβάνονται από δορυφόρους. Συνεπώς, με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα υπολογίστηκε μία μέση τιμή αιολικού δυναμικού από 200 έως 400 Watt/m^2 , ενώ με βάση τα διαγράμματα ταχύτητων οι τιμές κυμαίνονται από 6 έως 10 m/s , που επιβεβαιώνεται λαμβάνοντας υπόψιν και τις τιμές των 10 μέτρων ύψους, των αποτελεσμάτων του ERA5.

Συνοπτικά, η μέση ταχύτητα του ανέμου στο επίκεντρο της μελέτης του Βορειοδυτικού (ΒΔ) τμήματος της Κρήτης είναι στα 6.84 m/s , ενώ στο Βορειοανατολικό τμήμα (ΒΑ) είναι στα 7.28 m/s .

Οι αντίστοιχες τιμές αιολικού δυναμικού του ΒΔ τμήματος είναι στα 325.75 Watt/m^2 , ενώ του ΒΑ στα 373.13 Watt/m^2 .

Βασιζόμενοι σε διεθνή πρότυπα ταξινόμησης παραγωγής αιολικής ενέργειας, ερμηνεύεται ότι οι παραπάνω τιμές αναλογούν στην κατηγορία 6 με 7. (Πίνακας 5.1)

Οι περιοχές που ορίζονται ως κατηγορίας 3, ή μεγαλύτερης, είναι κατάλληλες για τις περισσότερες εφαρμογές ανεμογεννητριών σε κλίμακα χρησιμότητας και επομένως, θεωρούνται πολύ καλής τάξεως. Ο βαθμός βεβαιότητας με τον οποίο μπορεί να προσδιοριστεί η κατηγορία αιολικής ενέργειας εξαρτάται από τρεις παράγοντες: α) την αφθονία και την ποιότητα των δεδομένων ανέμου, β) την πολυπλοκότητα του εδάφους και γ) τη γεωγραφική μεταβλητότητα του πόρου.

Various HEIGHTS		At 10 m Heights	
#	Resource Class	m/s	W/m ²
1	Poor	0–4.4	0–100
2	Marginal	4.4–5.1	100–150
3	Moderate	5.1–5.6	150–200
4	Good	5.6–6.0	200–250
5	Excellent	6.0–6.4	250–300
6	Excellent	6.4–7.0	300–400
7	Excellent	>7.0	>400

Πίνακας 5.1: Διεθνή πρότυπα ταξινόμησης παραγωγής αιολικής ενέργειας [12].

Οι μελέτες αναφορικά με την καταλληλότητα της ταχύτητας, έχουν προκύψει από πληθώρα επιβεβαιώσεων βιβλιογραφιών [45], [46], [47], [48], [49], αλλά και από την βασική πηγή του πίνακα 5.1.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι κατά καιρούς πολλές μελέτες έχουν προβληθεί και πολλοί επιστήμονες οριοθετούν, στις δικές τους έρευνες, εκ νέου τα κατώτερα όρια ταχύτητας για να θεωρείται λειτουργική μια ανεμογεννήτρια.

Όσον αφορά τον πίνακα 5.1, οι περισσότερες δημοσιεύσεις κυμαίνονται στις τιμές που προέκυψαν από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Η γενικότερη ποσότητα της αιολικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη για την παραγωγή ενέργειας αποκαλείται επίσης σε μερικές από αυτές και ως πυκνότητα ισχύος αέρα, και είναι οριοθετημένη σε κατηγορία 6 και 7 για τις τιμές ταχύτητας που κυμαίνονται από 6.5 m/s μέχρι 7 m/s στα 10 μέτρα ύψος.

Συνεχίζοντας, όσον αφορά την κατώτερη τιμή ταχύτητας για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία όλων των επιστημόνων σχετικά με την τιμή της. Μια μέση τιμή ταχύτητας από 5 έως 5.4 m/s θεωρείται γενικά κατάλληλη τιμή ανέμου για την περιοχή που γίνεται μελέτη. Για μέση ταχύτητα ανέμου κάτω από 5 m/s η περιοχή δεν θεωρείται κατάλληλη και ευνοϊκή, με την τιμή αυτή να έχει την σύσσωμη συμφωνία από όλους τους επιστήμονες, ερευνητές και φορείς που κάνουν ανάλογες έρευνες.

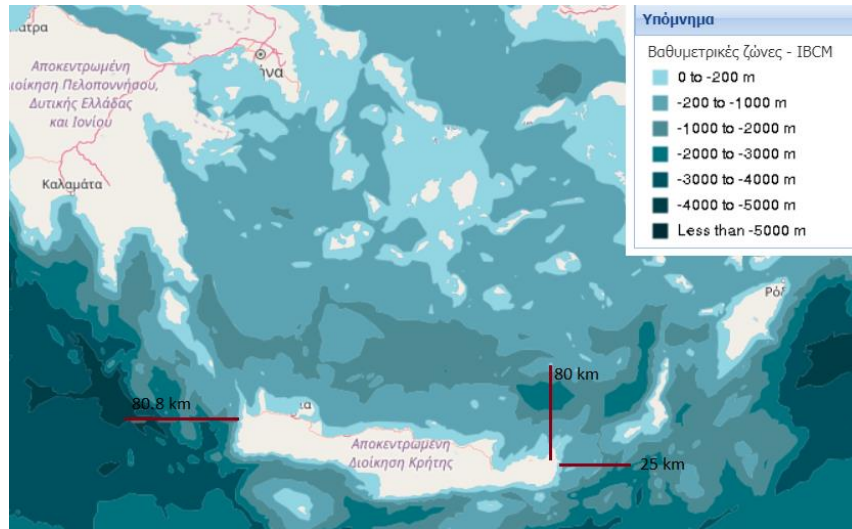
Τιμές ταχύτητας άνω των 7.5 m/s είναι πολύ ισχυρές και έχουν σαφώς πολύ μεγαλύτερες προοπτικές για την δημιουργία αιολικού πάρκου. Συνεπώς, με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν οι τιμές που κυμαίνονται στις περιοχές ενδιαφέροντος θεωρούνται ικανοποιητικές για μία πιθανή ομαλή λειτουργία αιολικού πάρκου αν και εφόσον βέβαια, πληρούνται όλες οι άλλες προϋποθέσεις. Οι τιμές της ταχύτητας είναι σαφές ότι αντικατοπτρίζουν και τις αντίστοιχες τιμές του αιολικού δυναμικού.

Με βάση τον χάρτη (εικόνα 3.11, στη σελίδα 52) του QGIS και τους κανόνες που υπάρχουν αναφορικά με τους τύπους των πλωτών ανεμογεννητριών αλλά και της σταθερής έδρασης, το βορειοδυτικό πλαίσιο που έχει οριστεί ως σημείο ενδιαφέροντος στην εικόνα 3.10 είναι εκτός του πλαισίου NATURA και απομακρυσμένο από κάθε οπτική επαφή με την ακτή. Συνεπώς βρίσκεται σε μεγάλη βάθος εντός των 1000 μέτρων (και παραπάνω), το οποίο δεν εμπίπτει προς το παρόν στην κατασκευή και την λειτουργία πλωτών αιολικών πάρκων. Με αντίστοιχο τρόπο ισχύει το ίδιο και για το ανατολικό τμήμα της Κρήτης που εμπεριέχεται και στα όρια του νησιού Κάρπαθος και Κάσος. Στα σημεία ενδιαφέροντος εμπεριέχονται περιοχές NATURA και σε βάθος που είναι εντός ορίων για πλωτές ανεμογεννήτριες.

Στο τμήμα αυτό όμως εντοπίζονται κάποια περιθώρια τα οποία δεν εμποδίζουν την δημιουργία αιολικού πάρκου. Τα 3 χιλιόμετρα απόστασης από τη στεριά, σαφώς είναι το ελάχιστο κριτήριο αλλά όχι και το μόνιμο, καθώς διαφέρει ανά μελέτες και μπορεί να μην έχει και ιδιαίτερη σημασία στην κατασκευή πλωτών ανεμογεννητριών μεγάλων βαθών. Η απόσταση είναι σίγουρα σημαντική και για την οπτική όχληση, παρ' όλα αυτά και δεδομένου ότι ο σκοπός της παρούσας εργασίας αφορά πλωτά αιολικά πάρκα, η κατασκευή τους πραγματοποιείται σε μεγάλη βάθη, όπου η ακτογραμμή δεν αποτελεί πρόβλημα, αφού δεν θα μπορούν να φαίνονται από την ακτή, ενώ επίσης πάνω σε αυτό το πλαίσιο γίνεται επένδυση πολλών ανεμογεννητριών. Σε κάθε περίπτωση πάντως και ανεξαρτήτως αυτού, υπάρχουν πλωτές ανεμογεννήτριες οι οποίες μπορούν να κατασκευαστούν σε μικρότερα ή και μεγαλύτερη βάθη με μια τιμή απομάκρυνσης από την ακτή η οποία θα κυμαίνεται στα 30 χιλιόμετρα.

Στα πιο κοντινά βάθη το ΒΑ τμήμα είναι καταλληλότερο εν συγκρίσει του ΒΔ. Σίγουρα στο ΒΔ τμήμα δεν υπάρχει πρόβλημα για NATURA στα πλαίσια ενδιαφέροντος αλλά ούτε και υποθαλάσσια (πιθανή ύπαρξη κάποιου μνημείου). Επόμενο ζήτημα για το οποίο δεν έχει πραγματοποιηθεί αναφορά στον χάρτη QGIS αλλά έχει γίνει πρόσθετη αναζήτηση, αποτελούν οι ακτοπολικές γραμμές που επικρατούν μέσω του Google Maps και του Geodata.gov καθώς και από την ιστοσελίδα “Marine Traffic” η οποία δείχνει τις διελεύσεις πλοίων σε ζωντανή μετάδοση. Τα δεδομένα αυτά έχουν εμφανιστεί από την εικόνα 3.10 του Κεφαλαίου 3. Κατά την ανάλυση και επεξεργασία τους παρατηρήθηκε η ύπαρξη μία σταθερής γραμμής που αφορά το ΒΔ τμήμα της Κρήτης καθώς και ότι υπάρχει μία σταθερή γραμμή πλοίου η οποία δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το κομμάτι ενδιαφέροντος ως προς το αιολικό δυναμικό που έχει υπολογιστεί. Έπειτα αναφορικά με το ΒΑ τμήμα υπάρχει και εκεί εξίσου μία ακόμη γραμμή πλεύσης. Οι υπόλοιπες γραμμές ήταν ανάμεσα στα νησιά Κάσο και Κάρπαθο τα οποία δεν μας αφορούν στην προκειμένη περίπτωση διότι δεν αποτελούν το κύριο αντικείμενο μελέτης.

Στην Κρήτη η ταχύτητα που επικρατεί ορίζεται γενικά από καλή έως πολύ καλή, παρ' όλα αυτά η περιοχή δεν είναι ακόμα έτοιμη για την δημιουργία ενός μεγάλου και ισχυρού αιολικού πάρκου. Ενδεχομένως να υπάρχουν οι απαραίτητες αιολικές προδιαγραφές για ένα μικρότερο πάρκο με πιο μικρές τουρμπίνες. Στο πέρασμα των δεκαετιών τα δεδομένα συνεχώς αλλάζουν. Μελλοντικά ίσως υπάρξουν άλλα δυναμικά, δεδομένου ότι πάντα πρέπει να υπάρχουν σκέψεις για τις τελευταίες δεκαετίες. Για το στήσιμο ενός αιολικού πάρκου ένας από τους βασικούς σκοπούς του αποτελεί η δυνατότητα να σταθεί τουλάχιστον για 25 χρόνια και να παραμένει οικονομικά βιώσιμο. Βεβαίως για μελλοντική προέκταση, θα πρέπει να υπάρξει νέα αναζήτηση αναφορικά με την κυματική δύναμη, όμως με τα σημερινά δεδομένα οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται στο να ανταπεξέρχονται σε κύματα ύψους 15 έως 20 μέτρων.



Εικόνα 5.1: Χάρτης του ΥΡΕΝ σημειώνοντας τα χιλιόμετρα για ανάλογες αναφορές.

Κλείνοντας, παρατηρώντας την εικόνα 3.10 αλλά και τον αντίστοιχο βυθομετρικό χάρτη, (εικόνα 5.1), του ΥΡΕΝ (Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας), στο ΒΔ τμήμα της Κρήτης, βαίνοντας σε οριζόντια πορεία στα 80 χιλιόμετρα, εντός πλαισίου ενδιαφέροντος, καταλήγουμε σε βάθη από 1000 έως 3000 μέτρα. Η υλοποίηση ενός πλωτού πάρκου σε τέτοια βάθη κρίνεται δύσκολη για την υλοποίηση, λαμβάνοντας υπόψιν τα σημερινά δεδομένα και κριτήρια.

Αντίστοιχα όμως στο ΒΑ τμήμα ενδιαφέροντος, στην οριζόντια πορεία που μπορεί να σταθεί σε απόσταση από ακτογραμμή γύρω στα 30 χιλιόμετρα κυμαίνονται βάθη περίπου 500 μέτρων, ενώ στην κάθετη πορεία, κυμαίνονται βάθη περίπου στα 750 μέτρα, πλην μιας κοιλάδας που κυμαίνεται σε βάθος 2000 μέτρων. Παρότι έχουν παρατηρηθεί και μεγαλύτερα δυναμικά ενέργειας στη ΒΑ μεριά ενδιαφέροντος, συνεχώς αναθεωρούνται και υπολογίζονται οι νέες τιμές των ταχυτήτων ή των ισχύων του αιολικού δυναμικού, με βάση τα ύψη των ανεμογεννητριών για την υπολογιζόμενη ισχύ σε MW ή KW. Επιπλέον, σε μεγαλύτερο ύψος των 100 μέτρων υπάρχει μεγαλύτερη άνοδος, η οποία οδηγεί και σε σαφώς πιο ξεκάθαρα αποτελέσματα και δυνατές αιολικές αποδόσεις επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι θα μπορούσαν να δημιουργηθούν εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών, βασιζόμενοι στο ενεργειακό επίπεδο και σε λογικά βάθη.

Παρ' όλα αυτά ακόμα και καλύτερα δεδομένα είναι πιθανό να μην αρκούν για την πραγματοποίηση μεγάλων έργων ως προς την αιολική απόδοση στη χρήση τους. Για να μπορέσει να αξιολογηθεί και να απαντηθεί αυτή η δυνατότητα, χρειάζεται μεγαλύτερη ανάλυση σε μελλοντική προέκταση ως προς την χρήση τους, αναλογικά με την ποσότητα και το μέγεθος των τουρμπινών που θα χρησιμοποιηθούν..

Σε πιο μικρά βάθη όπου υπάρχει οπτική επαφή και παρατηρείται ένα φυσιολογικό αιολικό δυναμικό δημιουργείται μια προοπτική για την κατασκευή ΘΑΠ σταθερής έδρασης, ενώ επίσης είναι σαφές ότι στα εκτός πεδίου μελέτης η συγκεκριμένη προοπτική αφορά όλο το βόρειο τμήμα της Κρήτης. Πρακτικά όμως ακόμα και αυτή η εναλλακτική λύση μοιάζει αδύνατη, μιας και είναι κοντά στην ακτογραμμή, ενώ ακόμα και εάν απομακρυνθούμε στα 50 χιλιόμετρα υπάρχει ενδεχόμενο να φθάσουμε σε βάθη μεγαλύτερα των 60 μέτρων.

Συνοπτικά όσον αφορά την Κρήτη υπάρχει ενδιαφέρον ως προς το αιολικό δυναμικό καθώς και προοπτικές όσον αφορά το ενεργειακό επίπεδο για την κατασκευή ΘΑΠ. Στο κομμάτι του ΒΔ τμήματος δεν μπορεί να σταθεί ΘΑΠ, δεδομένου ότι τα σημεία ενδιαφέροντος είναι πάρα πολύ βαθιά, με τιμές βάθους που ξεπερνούν τα 1000 μέτρα, το οποίο προς το παρόν δεν είναι εφικτό και οικονομικά συμφέρον. Σε πιο κοντινά επίπεδα της ακτής οι αποδόσεις μειώνονται, ενώ επίσης μπορεί να υπάρξει πιθανή οπτική επαφή με την ακτογραμμή. Επίσης, οι κατασκευές μπορεί να πλησιάσουν τις περιοχές NATURA, με αποτέλεσμα να απαιτείται ιδιαίτερος χειρισμός. Τα μικρά βάθη μπορούν να οδηγήσουν σε άλλο είδος ΘΑΠ (σταθερής έδρασης).

Από την άλλη, το ΒΑ τμήμα της Κρήτης δείχνει μια σταθερή και πιο υψηλή πορεία της ταχύτητας του ανέμου και συνεπώς και του αιολικού δυναμικού. Με τα σημερινά δεδομένα, αλλά και τις μελλοντικές εκτιμήσεις, υπάρχουν πιο λογικά βάθη στα οποία μπορεί να σταθεί ένα ΘΑΠ. Πιθανό να μπορούσε να υπάρξει ενδιαφέρον στα 200 με 500 μέτρα, κάτι το οποίο όμως θα πρέπει να μελετηθεί μελλοντικά, καθώς και σε ένα έγκοιλο των 2000 μέτρων βάθους ($Lat = 36.62^\circ$, $Lon = 26.24^\circ$) στο σημείο ενδιαφέροντος. Επιπλέον θα πρέπει να γίνει μελέτη αρχαιολογικού ενδιαφέροντος καθώς υπάρχουν αρχαιολογικά ευρήματα στις ευρείες περιοχές ενδιαφέροντος. Με μία ακόμα ανάλυση ως προς την προσβασιμότητα των θαλάσσιων υδάτων, δεδομένου ότι η Κρήτη διαθέτει στρατιωτικές βάσεις. Η ανάλυση των πλαισίων που διατυπώθηκαν βασίστηκε σε μελέτες και νομοθεσίες, κυρίως για την κάλυψη απαραίτητων πορισμάτων και όχι έχοντας ως αποκλειστική βάση την δυναμικότητα της ταχύτητας και συνεπώς του αιολικού δυναμικού της Κρήτης. Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας αποτελούν μια πρώτη βάση για την αρχική αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού για μια πιθανή μελλοντική υλοποίηση ενός πλωτού αιολικού πάρκου.

Ολοκληρώνοντας, για μεγάλα αιολικά πάρκα πολλών τουρμπινών και μεγάλων MW, ίσως χρειαστεί η παρατήρηση νέου αιολικού δυναμικού, καθώς και το πως θα κυμανθεί αυτό στα πλαίσια του 2021 και μεταγενέστερα. Η επισήμανση αυτή πραγματοποιείται διότι για μεγάλες επενδύσεις απαιτούνται και μεγάλα ποσά ενέργειας που θα τροφοδοτήσουν την ύπαρξη του πάρκου για την αξιοποίησή του. Η Κρήτη με βάση τα τωρινά δεδομένα δεν είναι έτοιμη για ένα τέτοιο εγχείρημα, παρ' όλα αυτά μία πρώτη προσέγγιση δεν αρκεί, είναι απαραίτητη κάθε

μορφής επαναξιολόγησης για τυχόν αστοχίες και επιλογή διαφορετικών μεθόδων, προτού εισχωρήσει κάποιος στη οικονομοτεχνική μελέτη.

5.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Ένα τεχνικό έργο όπως η κατασκευή πλωτών αιολικών πάρκων σε μεγάλη βάθος αποτελεί ένα εγχείρημα υψίστης σημασίας για την ενεργειακή αυτονομία μιας χώρας και την μετάβαση της σε ένα βιώσιμο και εναλλακτικό πρόγραμμα διαχείρισης και κατανάλωσης ανανεώσιμης και φιλικής προς το περιβάλλον πράσινης ενέργειας.

Με την πάροδο των ετών και την συνεχόμενη αλλαγή του κλίματος παρατηρούνται αλλαγές ως προς το περιβάλλον μιας περιοχής. Η παρούσα μελέτη αποτέλεσε μια προσεγγιστική μελέτη ως προς το αιολικό δυναμικό της Κρήτης, καθώς και ευρύτερα αυτής, έχοντας ως βάση ορισμένα χωροθετικά στοιχεία. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν μπορούν να αποτελέσουν την αρχή μιας μελλοντικής μελέτης για την δημιουργία ενός πλωτού αιολικού πάρκου στην Κρήτη.

Σημαντικό στοιχείο σε αυτό θα αποτελέσει επίσης και η μελέτη για την σεισμικότητα της περιοχής καθώς και οι τρόποι αντιμετώπισης τέτοιων φαινομένων ως προς την κατασκευή των πλωτών ανεμογεννητριών, ένα ζήτημα σοβαρό για την εξασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου για οικονομικά οφέλη.

Επιπλέον, η πορεία μιας μελλοντικής μελέτης μπορεί να περιλαμβάνει και την αξιολόγηση της κυματικής ενέργειας, δεδομένου ότι όταν το ύψος των κυμάτων δεν ξεπερνάει τα 8 μέτρα, οι πλωτήρες που θα χρειαστούν θα είναι απλοί και το οικονομικό κόστος αρκετά μικρότερο.

Για τους παραπάνω λόγους, κρίνεται επιτακτική η μελέτη για το αν τα κύματα μπορούν να προκαλέσουν μηχανική βλάβη σε μια ανεμογεννήτρια. Οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα δεν δείχνουν τέτοια ενδεχόμενα, δεδομένου ότι σχεδιάζονται ανεμογεννήτριες οι οποίες αντέχουν ακόμα και σε ύψη κυμάτων από 15 έως 20 μέτρα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα με τις πλωτές ανεμογεννήτριες είναι κυρίως το οικονομοτεχνικό, δηλαδή μία ασφαλής κατασκευή με μη ασύμφορο δυνατό κόστος (Κώστας Δεληγιάννης, 2009). Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί νέα μελέτη σχετικά με την μελλοντική νομοθεσία που θα ισχύει για την αδειοδότηση κατασκευής ενός πλωτού αιολικού πάρκου.

Βιβλιογραφία:

- [1] ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:
http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_wind.htm
- [2] ELPEDISON GREEN. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.
- [3] ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ.ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
- [4] Ευρωπαϊκό Συμβούλιο. Καθαρή ενέργεια: Ωθηση της μετάβασης προς μια οικονομία χαμηλού άνθρακα.
- [5] <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/clean-energy/> (Τελευταία επίσκεψη: 05.11.2021).
- [6] ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.
- [7] ASK4WIND. ΚΟΙΝΩΝΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ: <https://ask4wind.gr/society-myth02/>
- [8] Ομιλία Π. Παπασταματίου στην ημερίδα του ΔΑΦΝΗ 30.10.2020
- [9] ΕΛΕΤΑΕΝ. ΓΝΩΡΙΣΤΕ ΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.
- [10] Kaldellis, J. K., & Zafirakis, D. (2011). *The wind energy (r) evolution: A short review of a long history*. *Renewable energy*, 36(7), 1887-1901.
- [11] Cooke, P. (2009). *Origins of Regional Innovation Systems Thinking and Recent Advances from Analysis of “Green Innovation”*. *Ekonomiaz: Revista Vasca de Economía*, 70, 6085.
- [12] https://www.researchgate.net/figure/International-standards-of-wind-power-generation-classification_tbl2_319659528
- [13] Gregersen, B., & Johnson, B. (2008, September). *A policy learning perspective on developing sustainable energy technologies*. In *IV Globelics Conference*. México.
- [14] Lewis, J. I., & Wiser, R. H. (2007). *Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms*. *Energy policy*, 35(3), 1844-1857.
- [15] Varela-Vázquez, P., del Carmen Sánchez-Carreira, M., & Rodil-Marzábal, Ó. (2019). *A novel systemic approach for analysing offshore wind energy implementation*. *Journal of cleaner production*, 212, 1310-1318.

- [16] EWEA. (2021). *Renewable World*. <https://www.ewea.org/sustainability/renewable-world/>.
- [17] CLIMATE COPERNICUS.WHAT WE DO: <https://climate.copernicus.eu/what-we-do-egu> (Τελευταία επίσκεψη: 10.11.2021)
- [18] ΓΕΩΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ ΕΤΕ. Ανάκτηση από Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στην διαχείριση δεδομένων και λήψη αποφάσεων.
- [19] Παρχαρίδης, Ι. (2015). *ΑΡΧΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ*: file:///C:/Users/user/Downloads/helpdesk-master_doc.pdf
- [20] ESA eduspace. *ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ*: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEM9G7WO1FG_0.html
- [21] Μαρία, Κ. (2015). *Τηλεπισκόπηση & Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*: https://eclass.chania.hmu.gr/modules/document/file.php/FP137/REMOTE_SENSING%20NOTES2015.pdf
- [22] Ανάκτηση από *ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ*: http://www.phys.uoa.gr/fileadmin/phys.uoa.gr/uploads/PMS/F.P/ARCHES_KAI_EFARMOGES_TILEPISKOPISIS.pdf
- [23] Μερτίκας, Σ. Π. (2009). *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*. Στο Σ. Π. Μερτίκας, *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*. Εκδόσεις "ΙΩΝ" Στέλλα Παρίκου & ΣΙΑ Ο.Ε.
- [24] Μερτίκας, Σ. Π. (2016). *Εισαγωγή στη Γεωδαισία, τον Δορυφορικό Εντοπισμό και την Αλτιμετρία*. Στο Σ. Π. Μερτίκας, *Εισαγωγή στη Γεωδαισία, τον Δορυφορικό Εντοπισμό και την Αλτιμετρία*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- [25] Marine Copernicus. (2017, May 24). *EU Copernicus Sentinel-3A satellite improves significantly sea level observation coverage*: <https://marine.copernicus.eu/news/eu-copernicus-sentinel-3a-satellite-improves-significantly-sea-level-observation-coverage>
- [26] Wikipedia. *Sentinel-3A*: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-3A>
- [27] <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3> (Τελευταία επίσκεψη: 05.10.2021).
- [28] ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present.

- [29] ECMWF. (2019). *Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA5*.
- [30] <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview> (Τελευταία επίσκεψη: 05.11.2021)
- [31] Atcheson, M., Garrad, A., Cradden, L., Henderson, A., Matha, D., Nichols, J., & Sandberg, J. (2016). *Floating offshore wind energy*. Springer.
- [32] Pratt JA, Priest T, Castaneda CJ (1997) *Offshore pioneers: Brown & Root and the history of offshore oil and gas*. Gulf Publishing Company, Houston
- [33] Θεσμικό πλαίσιο για θαλάσσια Αιολικά Πάρκα: Η διεθνής εμπειρία και οι βασικές αρχές σχεδιασμού για την Ελλάδα, 2021
- [34] ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ, 2015
- [35] ΚΑΪΤΑΤΖΗ, Φ. (2018). ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑΣ ΑΝΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΠΟΡΟΣ, Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙ ΤΗ ΓΕΩΠΟΛΟΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ. ΤΕΛΕΙΩΣ ΠΑΓΩΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΕΝΕΙ ΚΑΘΕ ΠΡΟΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ. ΠΑΡΑΣΚΗΝΙΟ, 1.
- [36] *Optimising the installation phase of wind turbines in deep water | MCs Sustainable Engineering: Offshore Renewable Energy*. (2015/16). http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/15-16/Floating_Windfarm_Installation/advantages-disadvantages.html
- [37] Contributor, W. (2021, January 4). *Comparing offshore wind turbine foundations*. Windpower, p. 1.
- [38] <https://blog.desdelinux.net/el/qgis-software-libre-para-sistemas-de-informacion-geografica/> (Τελευταία επίσκεψη: 01.10.2021)
- [39] Βικιπαίδεια. Ανάκτηση από Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών: https://el.wikipedia.org/wiki/Σύστημα_Γεωγραφικών_Πληροφοριών
- [40] ECMWF. ERA5: *How to calculate wind speed and wind direction from u and v components of the wind?*: <https://confluence.ecmwf.int/pages/viewpage.action?pageId=133262398>
- [41] Panagiotis Partsinevelos, S. M. (2019, May). *DES2iRES: A web-GIS platform utilizing Sentinel-3A observations to support public authorities and investors in strategic*

planning of desalination plants powered by renewable energy sources. Chania, Greece, Crete.

[42] ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ Α.Ε. (Ε.Δ.Ε.Υ. Α.Ε.) . (2018, Ιούνιος). ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΤΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ " ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ" ΚΑΙ "ΔΥΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ" . Σύμβουλος Μελετητής : ADVANCED ENVIRONMENTAL STUDIES Α.Ε. (δ.τ. ADENS Α.Ε.)

[43] IRENA. (2016). *FLOATING FOUNDATIONS: A GAME CHANGER FOR OFFSHORE WIND POWER*: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Offshore_Wind_Floating_Foundations_2016.pdf.

[44] *Seismic Design of Offshore Wind Turbines: Good, Bad and Unknowns*. 2021. <file:///C:/Users/user/Downloads/energies-14-03496-v2.pdf> (Τελευταία επίσκεψη: 20.12.2021)

[45] <https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/learn-about-wind/what-is-a-wind-class>

[46] <https://securitydirectuk.com/wind-testing>

[47] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115300604>

[48] https://www.expo21xx.com/renewable_energy/19033_st3_wind_turbine_component/default.htm

[49] <https://slideplayer.com/slide/14171862/>

[50] *Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo – Pernambuco, Brazil*, 2010

[51] *Estimation of wind energy potential using different probability density functions*, 2011

[52] *Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system*, 2019

[53] https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/ΑΣΚΗΣΕΙΣ/2_Αιολική%20Ενέργεια_oc.pdf (Τελευταία επίσκεψη: 01.10.2021)

[54] *Seismic Design of Offshore Wind Turbines: Good, Bad and Unknowns*. 2021. https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/529575/1/S3TC_sea_state_final_report_v1_1_recovered.pdf (Τελευταία επίσκεψη: 05.10.2021)

[55] Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system, Muhammad Shoaib, Imran Siddiqui, Shafiqur Rehman, Shamim Khan, Luai M.Alhemsc, 2019

https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/529575/1/S3TC_sea_state_final_report_v1_1_recovered.pdf

IBERDROLA. Floating offshore wind power: a milestone to boost renewables through innovation. <https://www.iberdrola.com/innovation/floating-offshore-wind>. (Τελευταία επίσκεψη: 18.10.2021).

<http://www2.egeonet.gr/forms/fLemmaBodyExtended.aspx?lemmaID=6860>. (Τελευταία επίσκεψη: 01.10.2021).

<https://www.equinor.com/en/what-we-do/floating-wind.html>. Τελευταία επίσκεψη: 10.11.2021).

<https://www.ecmwf.int>. (Τελευταία επίσκεψη: 24.11.2021).

https://eclass.hua.gr/modules/document/file.php/GEO105/ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ/ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ_GIS.pdf. Τελευταία επίσκεψη: 02.10.2021)

Jungang Yang, Yongjun Jia, Fan Chenqing, Jie Zhang. Ιούνιος 2020. Validation of Sentinel-3A/3B and Jason-3 Altimeter Wind Speeds and Significant Wave Heights Using Buoy and ASCAT Dat.

WINDPOWER.Fukushima floating project hit by earthquake and tsunami.2013.

<file:///C:/Users/user/Downloads/energies-14-03496-v2.pdf> (Τελευταία επίσκεψη: 20.12.2021)

Τι είναι τηλεπισκόπηση . (2021, November 21). Ανάκτηση από ESA eduspace:

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEM9G7WO1FG_0.html

Φυσικής, Π. Α.-Τ. ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ. Ανάκτηση από

http://www.phys.uoa.gr/fileadmin/phys.uoa.gr/uploads/PMS/F.P/ARCHES_KAI_EFARMOGES_TILEPISKOPISIS.pdf

Χρ., Ε. υ. E-class, ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ, ΜΑΘΗΜΑ:

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ Ι. Ανάκτηση από ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΔΩΡΕΑΝ ΚΑΙ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GIS QGIS:

https://eclass.hua.gr/modules/document/file.php/GEO151/ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ/QGIS/1_ΕΙΣΑΓΩΓΗ%20ΣΤΟ%20QGIS.pdf

Πλωτά αιολικά πάρκα: Τι κάνει άραγε η Ελλάδα που έχει το Αιγαίο;. (2021, Ιανουάριος 14).

Michanikos online.

Σημειώσεις Θεωρίας Δρ. Κούλη Μαρία. (2015). Τηλεπισκόπηση & Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας.
Χανιά: ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.

Σταύρος Ξηρουχάκης. (2015). ΟΔΗΓΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΠΟΥΛΙΩΝ. Στο Παρατήρηση
πουλιών στις περιοχές του Δικτύου NATURA 2000 στην Κρήτη. Ηράκλειο:
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ. Ανάκτηση από Παρατήρηση πουλιών Δικτύου NATURA
2000.

Βασίλης Σαμαριτάκης - Δασολόγος - MSc GIS (Εξ. Συνεργάτης Αποκεντρωμένης Διοίκησης
Κρήτης). (2019, Δεκέμβρη 18). Διοικητική διαχείριση των προστατευόμενων περιοχών
NATURA 2000 στην Κρήτη. Ανάκτηση από
http://www.lifethemis.eu/sites/default/files/announcements/SAMARITAKIS_Χάρακας_18.12.2019.pdf.

ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ. Αιολική ενέργεια. (Τελευταία επίσκεψη: 01.10.2021).

Δελγιάννης, Κ. (2009, Φλεβάρης 07). Λύση με πλωτές ανεμογεννήτριες. (Ε. η. καθημερινή,
Δημοσιογράφος).

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Και Εξοικονόμησης Ενέργειας . Ανάκτηση από Αιολική ενέργεια:
http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_wind.htm.

ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. (2015,
Σεπτέμβριος). ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ.
ENVECO A.E.

Κίμων Χατζημπίρος Επ. Καθηγητής ΕΜΠ. (2014). Αιολικά Πάρκα και Περιβάλλον. Ανάκτηση
από Κίμων Χατζημπίρος Επ. Καθηγητής ΕΜΠ.: <https://slideplayer.gr/slide/2693163/>

Μαρνέλλος, Α. Κ. E-class, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Ανάκτηση από Ειδικά
Κεφάλαια Παραγωγής Ενέργειας:
[https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/ΑΣΚΗΣΕΙΣ/2_Αιολική
%20Ενέργεια_oc.pdf](https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/MECH101/ΑΣΚΗΣΕΙΣ/2_Αιολική%20Ενέργεια_oc.pdf)

Principle Power. (2021, October 19). Retrieved from KOWL: World's largest floating
windfarm fully operational: [https://www.principlepower.com/news/kowl-worlds-
largest-floating-windfarm-fully-operational](https://www.principlepower.com/news/kowl-worlds-largest-floating-windfarm-fully-operational).

Project, K. F. (2016, March 22). Habitats Regulations Appraisal -Information to inform an
Appropriate Assessment . Kincardine Offshore Windfarm Limited.

- Sentinels.copernicus.eu*. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>.
- Sowento*. <https://www.sowento.com/owners-engineering/>. (Τελευταία επίσκεψη: 12.11.2021).
- VORTEX*. https://vortexfdc.com/offshore-wind-data/?gclid=Cj0KCQiA-eeMBhCpARIsAAZfxZBCud-9BT5qszkOvZMVcwgKlfcmHvm5pREz5q4T2h7h6hacHXCYA94aAu93EALw_wcB.
- NRG*. (2020, Ιουνίου 30). *Μία Ιστορική Αναδρομή στον τομέα της Αιολικής Ενέργειας*: <https://www.nrg.gr/el/aioliki-energeia>.
- OCEAN WINDS*. Ανάκτηση από <https://www.oceanwinds.com/projects/windfloat-atlantic-project/>.
- ECMWF*. <https://www.ecmwf.int>. (Τελευταία επίσκεψη: 20.11.2021).
- ECMWF*. (2020, November 9). <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2020/fact-sheet-reanalysis>.
- EDP*. *Floating offshore wind-power generating platform*: <https://www.edp.com/en/innovation/windfloat>.
- Emergency.copernicus.eu*. *Information for emergency response and disaster risk management*.: <https://emergency.copernicus.eu>.
- Equinor*. <https://www.equinor.com/en/magazine/floating-innovation.html>
- A Research on Electricity Generation from WindCorridors of Pakistan (Two Provinces): A TechnicalProposal for Remote Zones*. (2017, September 12). *Sustainability - MDPI*.
- Copernicus.eu*. *What we do*: <https://climate.copernicus.eu/what-we-do-egu>.
https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/3961/1/02_chapter_1.pdf. (Τελευταία επίσκεψη: 20.10.2021).
- Pedersen, J. L.* (2010). *Science, Engineering and People with a Mission: Danish Wind Energy in Context 1891-2010*. In *13th International Schumpeter Society Conference* (pp. 1-22).