



# **ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ &**

**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

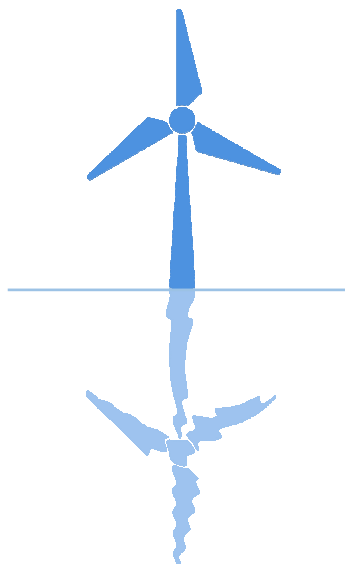
**ΠΜΣ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΩΡΟΥ»**

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ**

**Χωροθέτηση Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων στο Αιγαίο, το Ιόνιο και το  
Λιβυκό Πέλαγος με την Χρήση Εργαλείων Γεωπληροφορικής**

**Διπλωματική Εργασία**

**Χριστίνα Κατσέλη**



**Αθήνα, 2017**



# **ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ &**

**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ**

**ΠΜΣ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΩΡΟΥ»**

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ**

## **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

**Χρίστος Χαλκιάς**

**Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο  
Πανεπιστήμιο**

**Γιώργος Μπάλιας**

**Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

**Σταμάτης Καλογήρου**

**Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο**

Η Χριστίνα Κατέλη

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου και επιβλέποντα της εργασίας, κ. Χρίστο Χαλκιά, για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγησή του. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή του Τμήματος Φυσικής ΕΚΠΑ κ. Γιώργο Κάλλο και την συνεργάτιδά του κα. Χριστίνα Καλογερή, για την ευγενική παραχώρηση του αρχείου δεδομένων αιολικού δυναμικού, το οποίο φάνηκε εξαιρετικά χρήσιμο στην περαίωση και την πρόοδο της εργασίας. Ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον κ. Απόστολο Φραγκούλη για την βοήθειά του στην εύρεση σημαντικών για την εργασία δεδομένων. Ευχαριστώ επίσης τους συναδέλφους Γιώργο Δεικτά, Δημήτρη Κουράση και Νίκο Τσεπεντζή για την συμμετοχή τους στην ερευνητική διαδικασία. Ευχαριστώ θερμά τον προϊστάμενό μου κ. Παναγιώτη Γκοβάτσο γιατί χωρίς την βοήθεια και την κατανόησή του δεν θα ήταν εφικτή η παρακολούθηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού προγράμματος. Τέλος, ευχαριστώ πολύ τον Μάνο Αχαλινωτόπουλο για την στήριξή του καθ' όλη την διάρκεια του μεταπτυχιακού και την οικογένειά μου για την αγάπη και το ενδιαφέρον της.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                       |            |
|-------------------------------------------------------|------------|
| <b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>                                  | <b>2</b>   |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                  | <b>3</b>   |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ &amp; ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....</b>      | <b>4</b>   |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....</b>                         | <b>5</b>   |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ.....</b>                          | <b>6</b>   |
| <b>ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....</b>                           | <b>8</b>   |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>                                 | <b>9</b>   |
| <b>1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....</b>                       | <b>11</b>  |
| 1.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ .....                             | 11         |
| 1.1.1 ΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ .....          | 11         |
| 1.1.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....                | 13         |
| 1.1.3 ΤΥΠΟΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ .....          | 14         |
| 1.1.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ Θ.Α.Π.....                         | 17         |
| 1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....      | 22         |
| 1.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ .....                    | 24         |
| 1.4 ΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΝΩ ΣΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ..... | 36         |
| <b>2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....</b>                            | <b>42</b>  |
| 2.1 ΓΕΝΙΚΑ .....                                      | 42         |
| 2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ .....                                    | 44         |
| 2.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ .....                                   | 48         |
| 2.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΠΗΓΕΣ.....                    | 50         |
| 2.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....   | 54         |
| 2.5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΜΑΣΚΑΣ .....                     | 54         |
| 2.5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ .....                      | 59         |
| 2.5.3 ΟΜΟΙΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ .....                 | 66         |
| 2.5.4 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ .....                         | 73         |
| <b>3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΑΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....</b>       | <b>87</b>  |
| <b>4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>                | <b>88</b>  |
| <b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>                          | <b>97</b>  |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>                   | <b>99</b>  |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>                                 | <b>101</b> |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αφορά στην χωροθέτηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων με την βοήθεια εργαλείων GIS. Η περιοχή μελέτης της εργασίας περιλαμβάνει το Αιγαίο, το Ιόνιο και τμήμα του Λιβυκού Πελάγους. Ακολουθώντας την μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης εξετάζονται πέντε μεταβλητές, που είναι καθοριστικές για την χωροθέτηση θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Αυτές είναι:

- αιολικό δυναμικό,
- βάθος,
- απόσταση από λιμάνια,
- απόσταση από δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- γεωλογία του βυθού.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι πρώτον, η οριοθέτηση συγκεκριμένων περιοχών που να παρουσιάζουν μεγάλη καταλληλότητα για την εγκατάσταση και την λειτουργία θαλάσσιων αιολικών πάρκων και δεύτερον, η διατύπωση προτάσεων χωροθέτησης με βάση τον τύπο της ανεμογεννήτριας και συνεπώς τον τρόπο θεμελίωσης στον πυθμένα. Διακρίνονται δύο κατηγορίες ανεμογεννητριών με βάση τον τρόπο θεμελίωσης: οι εδρασμένες στον πυθμένα και οι πλωτές. Συνεπώς, οι προτεινόμενες περιοχές χωροθέτησης θα διαχωρίζονται σε προτάσεις θα αφορούν στην πρώτη και στη δεύτερη κατηγορία ανεμογεννητριών αντίστοιχα.

Λέξεις – κλειδιά:

*Θαλάσσια αιολικά, χωροθέτηση, ΓΠΣ, πολυκριτηριακή, ανεμογεννήτριες*

## ABSTRACT

The present study investigates the offshore wind farms siting using GIS tools. The studied area includes Aegean and Ionian Sea as well as part of the Libyan Sea. Based on multi-criteria analysis, five variables, which are of great significance regarding offshore wind farm siting, are investigated:

- Wind potential
- Sea depth
- Distance from port
- Distance from power transmission network
- Seabed geology

The present study has a twofold aim: Firstly, to define specific areas which are suitable to install and operate offshore wind farm and secondly, to propose specific sites based on the wind-turbine type and its seabed foundations. Based on foundations, there are two different wind-turbine categories: the ones founded on seabed and the floating ones. Consequently, the suggested siting areas are grouped alike.

Key words:

*Offshore, site selection, GIS, multicriteria, wind turbines*

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

|           |         |
|-----------|---------|
| εικόνα 1  | σελ. 15 |
| εικόνα 2  | σελ. 15 |
| εικόνα 3  | σελ. 16 |
| εικόνα 4  | σελ. 17 |
| εικόνα 5  | σελ. 18 |
| εικόνα 6  | σελ. 19 |
| εικόνα 7  | σελ. 21 |
| εικόνα 8  | σελ. 26 |
| εικόνα 9  | σελ. 27 |
| εικόνα 10 | σελ. 29 |
| εικόνα 11 | σελ. 30 |
| εικόνα 12 | σελ. 31 |
| εικόνα 13 | σελ. 33 |
| εικόνα 14 | σελ. 38 |
| εικόνα 15 | σελ. 45 |
| εικόνα 16 | σελ. 46 |
| εικόνα 17 | σελ. 87 |

|             |         |
|-------------|---------|
| Διάγραμμα 1 | σελ. 42 |
| Διάγραμμα 2 | σελ. 44 |
| Διάγραμμα 3 | σελ. 50 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|           |         |
|-----------|---------|
| Πίνακας 1 | σελ. 20 |
| Πίνακας 2 | σελ. 67 |
| Πίνακας 3 | σελ. 78 |
| Πίνακας 4 | σελ. 81 |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

|      |                                                                                                                              |         |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| A1   | ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ                                                                                                         | σελ. 56 |
| A2   | ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΑΝΩ ΤΩΝ 700m                                                                                               | σελ. 57 |
| M1   | ΤΕΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΜΑΣΚΑ)                                                                                               | σελ. 58 |
| K1   | ΧΑΡΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ                                                                                                      | σελ. 61 |
| K2   | ΧΑΡΤΗΣ ΒΑΘΟΥΣ                                                                                                                | σελ. 62 |
| K3   | ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΛΙΜΑΝΙΑ                                                                                                 | σελ. 63 |
| K4   | ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ<br>ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ                                                | σελ. 64 |
| K5   | ΧΑΡΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ                                                                                                   | σελ. 65 |
| K1.1 | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ<br>Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ                                                   | σελ. 68 |
| K2.1 | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ<br>Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΒΑΘΟΣ                                                              | σελ. 69 |
| K3.1 | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ<br>Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΛΙΜΑΝΙΑ                                              | σελ. 70 |
| K4.1 | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ<br>Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΥΠΟΣΤΑΔΜΟΥΣ<br>ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | σελ. 71 |
| K5.1 | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ<br>Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ                                                | σελ. 72 |
| R1   | ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π. ΜΕ<br>ΕΔΡΑΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ Α/Γ (ΒΑΘΟΣ $\leq 50\text{m}$ )                       | σελ. 75 |
| R2   | ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π. ΜΕ<br>ΠΛΩΤΕΣ Α/Γ (ΒΑΘΟΣ $50 < B \leq 250\text{m}$ )                                | σελ. 76 |
| R3   | ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π. ΜΕ<br>ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΥ ΠΛΩΤΕΣ Α/Γ (ΒΑΘΟΣ $250 < B \leq 700\text{m}$ )                    | σελ. 77 |

|        |                                                                                       |         |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| X1     | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.                                           | σελ. 80 |
| X1.1   | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.<br>ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ -1-                | σελ. 83 |
| X1.2   | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.<br>ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ -2-                | σελ. 84 |
| X1.3   | ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.<br>ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ -3-                | σελ. 85 |
| X1.Σ   | ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ<br>ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.                  | σελ. 86 |
| R1.Υ   | ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Α/Γ<br>ΕΔΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΗ Υ.Π.ΕΝ. | σελ. 91 |
| X1.Σ.Ε | ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π. ΜΕ<br>ΕΜΒΑΔΟ $E \geq 23.040$ στρ.           | σελ. 94 |

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

|            |                                                          |
|------------|----------------------------------------------------------|
| Θ.Α.Π.     | Θαλάσσια Αιολικά Πάρκα                                   |
| Α.Π.Ε.     | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας                              |
| Υ.Π.ΕΝ     | Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας                    |
| Υ.Π.Ε.Κ.Α. | Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής |
| Ρ.Α.Ε.     | Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας                                |
| Α.Δ.Μ.Η.Ε. | Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας  |
| Α.Ο.Ζ.     | Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη                             |
| Α.Η.Ρ.     | Analytic Hierarchy Process                               |
| Κ.Α.Π.Ε.   | Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας                       |
| ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. | Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών                        |



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική εργασία που ακολουθεί πραγματεύεται το θέμα της χωροθέτησης Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων (Θ.Α.Π.) με τη χρήση εργαλείων Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS). Λαμβάνοντας υπόψη γειτνιάζουσες χρήσεις, προστατευόμενες περιοχές, περιοχές αποκλεισμού αλλά και παράγοντες που σχετίζονται με την κατασκευή και την λειτουργία των υπεράκτιων ανεμογεννητριών, αναζητούνται και εξετάζονται πιθανές περιοχές στο Αιγαίο, στο Ιόνιο και στο Λιβυκό Πέλαγος, για ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας Θ.Α.Π. , στα πλαίσια ενός Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού.

Η επιλογή του θέματος εργασίας σχετίζεται με το γενικότερο ενδιαφέρον που παρουσιάζει ο τομέας αυτός τα τελευταία χρόνια, αλλά και με το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, ως τόπος υποδοχής και ανάπτυξης θαλάσσιων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Τα Θ.Α.Π. έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον τόσο του τομέα της έρευνας και της τεχνολογίας, όσο και του τομέα της ενεργειακής οικονομίας και ανάπτυξης, αποτελώντας ένα ιδιαίτερα σημαντικό κομμάτι της Γαλάζιας Ενέργειας, δηλ. της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στη θάλασσα από Α.Π.Ε. και αποτελεί μεταξύ άλλων έναν από τους βασικότερους πυλώνες της Γαλάζιας Ανάπτυξης. Οι λόγοι που οδήγησαν στην στρόφη προς τα Θ.Α.Π. είναι πρώτον, το πλήθος των περιορισμών και των αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων στην ξηρά, και δεύτερον, η ανάγκη για εκμετάλλευση του υψηλού διαθέσιμου αιολικού δυναμικού της θάλασσας για την κάλυψη της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης. Η κυρίαρχοσα παγκόσμια τάση προς το συγκεκριμένο μοντέλο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνοδεύεται από μία συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας των υπεράκτιων ανεμογεννητριών για εγκατάσταση σε ακόμη μεγαλύτερα βάθη, για τον συνδυασμό τους με άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας, όπως είναι η κυματική ενέργεια ή ακόμη και για τον συνδυασμό τους με άλλες χρήσεις, όπως μονάδες υδατοκαλλιέργειας, αφαλάτωσης κ.α.

Πέρα από τον επίκαιρο χαρακτήρα και το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα Θ.Α.Π., εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η περιοχή μελέτης που έχει επιλεγεί,

η οποία περιλαμβάνει το Αιγαίο, το Ιόνιο και το Λιβυκό Πέλαγος. Το ενδιαφέρον της περιοχής μελέτης έγκειται πρώτον, στο υψηλό αιολικό δυναμικό που διαθέτει και δεύτερον, στην συνύπαρξη πολλών και διαφορετικών ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην υπό μελέτη περιοχή, το υψηλό αιολικό δυναμικό δεν συνοδεύεται από μεγάλο ύψος κύματος, γεγονός που ευνοεί την εγκατάσταση και την λειτουργία των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Όσο για τις ανθρώπινες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης, αυτές είναι ποικίλες και πολλές φορές αντικρουόμενες. Η δυσκολία του εγχειρήματος χωροθέτησης θαλάσσιων Α.Π.Ε. σε ένα περιβάλλον με έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα μπορεί να λειτουργήσει ως παράδειγμα – πρόκληση για μελλοντικά παρόμοια αναπτυξιακά σχέδια. Εδώ συνυπάρχουν δραστηριότητες όπως τουρισμός, αλιεία, ναυσιπλοΐα κ.α., που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και ευαίσθητη μεταχείριση, ειδικά όταν αυτές πρόκειται να γειτνιάσουν με εγκαταστάσεις Α.Π.Ε.. Ένας άλλος λόγος που η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί πρόκληση στα πλαίσια της έρευνας και της τεχνολογίας, είναι τα εξαιρετικά μεγάλα βάθη των ελληνικών θαλασσών, που μοιραία οδηγούν στην επιλογή πλωτών κατασκευών, οι οποίες άλλωστε αποτελούν το μέλλον και την κύρια κατεύθυνση στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών.

Τελικός στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη συγκεκριμένων περιοχών με βάση τον βαθμό καταλληλότητας που παρουσιάζουν για την χωροθέτηση Θ.Α.Π., ακολουθώντας την δομή της μεθόδου της πολυκριτηριακής ανάλυσης με τη βοήθεια εργαλείων GIS.

Η εργασία οργανώνεται σε τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος, το θεωρητικό, περιγράφονται μερικοί βασικοί ορισμοί που απαντώνται συχνά στο κείμενο, περιγράφεται περιληπτικά η μεθοδολογία της εργασίας, παρουσιάζονται αντίστοιχα παραδείγματα από τη διεθνή βιβλιογραφία και επιχειρείται μία κριτική πάνω στα παραδείγματα αυτά. Ακολουθεί το κεφάλαιο της μεθοδολογίας, το οποίο περιλαμβάνει την περιγραφή των βημάτων που ακολουθούνται μέχρι τα τελικά αποτελέσματα, τις παραδοχές της εργασίας, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται και τις πηγές απ' όπου αντλήθηκαν, το κυρίως μέρος της μεθοδολογίας, που περιλαμβάνει το τεχνικό κομμάτι της εργασίας, τα αποτελέσματα, την συζήτηση πάνω σε αυτά και τον έλεγχο ευστάθειας του μοντέλου. Το τελευταίο κεφάλαιο

αφορά στα συμπεράσματα της εργασίας, παρουσιάζοντας τα τελικά αποτελέσματα, σχολιάζοντας την αποτελεσματικότητα ή μη της μεθόδου που ακολουθήθηκε, των δεδομένων της εργασίας και πιθανών ελλείψεων που προκύπτουν μέσα από τη διαδικασία της εργασίας.

## 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Στην ενότητα που ακολουθεί, παρουσιάζονται εν συντομία κάποιοι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται συχνά στην εργασία, όπως Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός, Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια, Πλωτές Ανεμογεννήτριες, Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη κ.α.

#### 1.1.1 ΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Με τον όρο Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός εννοείται «η διαδικασία ανάλυσης και σχεδιασμού της χωροχρονικής κατανομής των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις θαλάσσιες περιοχές, για την επίτευξη οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών στόχων.».\* Η συνύπαρξη ποικίλων και μερικές φορές αντικρουόμενων δραστηριοτήτων στη θάλασσα, σε συνδυασμό με την ανάγκη για προστασία του οικολογικά ευάλωτου θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθιστούν εξαιρετικά σημαντική την δημιουργία και την εφαρμογή του Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού. Η ναυτιλία, η αλιεία, η εκμετάλλευση κοιτασμάτων του θαλάσσιου βυθού, ο παράκτιος τουρισμός, οι υποθαλάσσιες διασυνδέσεις, η θαλάσσια έρευνα και βιοτεχνολογία, η γαλάζια ενέργεια - που αφορά και στην συγκεκριμένη εργασία - είναι μερικοί μόνο από τους τομείς δραστηριότητας που λαμβάνουν χώρα στη θάλασσα και αποτελούν βασικούς πυλώνες της γαλάζιας ανάπτυξης.

\* Σημείωση:

Αρβανίτης Α. & Γιαννακοπούλου Σ. (2016), *Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός – Θαλάσσιο Κτηματολόγιο: Μία αναγκαία αμφίδρομη σχέση για την Ελλάδα.*, Αειχώρος, 23, 88-107.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνωρίζοντας τα πολλαπλά οφέλη από μία ολοκληρωμένη διαχείριση του θαλάσσιου χώρου, έχει εγκρίνει, από τον Οκτώβριο του 2007, μία Ολοκληρωμένη Θαλάσσια Πολιτική για την Ευρωπαϊκή Ένωση, γνωστή και ως «Γαλάζια Βίβλος», η οποία έχει ως στόχο την διευκόλυνση της ανάπτυξης και του συντονισμού του συνόλου των δραστηριοτήτων που βασίζονται στη θάλασσα, έχοντας ως βασικό εργαλείο εφαρμογής τον Θαλάσσιο Χωροταξικό Σχεδιασμό.

Στο πλαίσιο των προσπαθειών για οργάνωση του θαλάσσιου χώρου εντάσσεται και η ανάπτυξη γεωχωρικών βάσεων δεδομένων για την εύκολη διάδοση της πληροφορίας. Ήδη το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus, το οποίο χρησιμοποιεί δορυφορικά δεδομένα αλλά και δεδομένα από άλλες πηγές, διαθέτει την υποενότητα Copernicus Marine, που παρέχει δωρεάν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων που αφορούν σε μετεωρολογικά δεδομένα, θερμοκρασία και αλατότητα νερού, στάθμη της θάλασσας, στοιχεία βιοποικιλότητάς κ.α. Αντίστοιχο ευρωπαϊκό πρόγραμμα που παρέχει δωρεάν δεδομένα βαθυμετρίας, γεωλογίας βυθού, βιοποικιλότητας, ανθρωπίνων δραστηριοτήτων κ.α. είναι το European Marine Observation and Data Network (EMODnet), το οποίο αποτέλεσε και βασική πηγή δεδομένων για την παρούσα εργασία.

Όσον αφορά στην Ελλάδα, ο Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός είναι ακόμα σε εμβρυικό στάδιο, δεδομένης της έλλειψης νομοθεσίας και σαφούς οριοθέτησης των χωρικών υδάτων και της ελληνικής Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης (Α.Ο.Ζ.). Με τον όρο Α.Ο.Ζ. εννοείται η θαλάσσια έκταση, εντός της οποίας ένα κράτος έχει δικαίωμα έρευνας ή άλλης εκμετάλλευσης των θαλασσίων πόρων, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ενέργειας από το νερό και τον άνεμο. Η χώρα, ακολουθώντας μία συντηρητική πολιτική σε σχέση με την Τουρκία αναγνωρίζει τα 6 ναυτικά μίλια ως όριο χωρικών υδάτων, την στιγμή που το όριο αυτό έχει επεκταθεί στα 12 ναυτικά μίλια σύμφωνα με το Δίκαιο της Θάλασσας, ενώ παράλληλα καθυστερεί στην θέσπιση της ελληνικής Α.Ο.Ζ. Ωστόσο, το τελευταίο χρονικό διάστημα, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Υ.Π.ΕΝ.) βρίσκεται στη φάση της οριστικοποίησης νομοσχεδίου για την ενσωμάτωση της Οδηγίας 2014/89/ΕΕ «Περί θεσπίσεως πλαισίου για τον Θαλάσσιο Χωροταξικό Σχεδιασμό», στο εθνικό

δίκαιο και την θέσπιση αρχών και οι διαδικασιών που αποσκοπούν στη κατάρτιση, εφαρμογή και αξιολόγηση του Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού.

### 1.1.2 ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική τεχνολογία αποτελεί μία από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες Α.Π.Ε. με σημαντική παρουσία στον ηπειρωτικό χώρο αλλά και συνεχώς αυξανόμενη παρουσία στον θαλάσσιο χώρο ως υπεράκτια αιολική ενέργεια. Με τον όρο υπεράκτια αιολική ενέργεια εννοείται η παραγωγή ενέργειας από Θ.Α.Π. που αξιοποιούν το θαλάσσιο αιολικό δυναμικό μέσω υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Αυτή η μορφή ενέργειας αποτελεί μέρος του ευρύτερου συνόλου της γαλάζιας ενέργειας, δηλ. της ενέργειας που παράγεται στη θάλασσα και ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία αξιοποιεί άλλοτε το θαλάσσιο αιολικό δυναμικό, άλλοτε το δυναμικό των κυμάτων ή των ρευμάτων και άλλοτε το δυναμικό των διαφορών της θερμοκρασίας του νερού, της αλατότητας ή της στάθμης της θάλασσας, μεμονωμένα ή σε συνδυαστικούς σχηματισμούς, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην Ευρώπη, περίπου 10% των ετήσιων νέων αιολικών εγκαταστάσεων είναι υπεράκτιες. Ήδη μέχρι το 2012 είχε εγκατασταθεί δυναμικό ισχύος 5GW. Μέχρι το 2020 εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 40GW, ισχύς ικανή να καλύψει 4% της ενεργειακής ζήτησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ το 2030 εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 150GW, που αντιστοιχούν στο 14% της ενεργειακής ζήτησης.

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της WindEurope για το έτος 2016, το Ηνωμένο Βασίλειο έρχεται πρώτο στην συνολική εγκατεστημένη ισχύ από Θ.Α.Π. με ποσοστό 40,8 %. Ακολουθεί η Γερμανία με ποσοστό 32,5%, η Δανία με 10,1%, η Ολλανδία με 8,8%, το Βέλγιο με 5,6%, η Σουηδία με 1,6%, η Φινλανδία με 0,3% και τέλος η Ιρλανδία με ποσοστό 0,2%.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, ο Ευρωπαϊκός Νότος απουσιάζει από την λίστα των χωρών παραγωγής ενέργειας μέσω Θ.Α.Π. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του μεγάλου βάθους που παρουσιάζει ο θαλάσσιος χώρος της Μεσογείου, που

δυσχεραίνει την εγκατάσταση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Τα Θ.Α.Π. στην Ευρώπη αποτελούνται κυρίως από ανεμογεννήτριες που εδράζονται στον πυθμένα, και εγκαθίστανται σε βάθη έως 40m – 50m. Ωστόσο, η έρευνα και η τάση της νέας τεχνολογίας έχει σαν βασικό στόχο την εξέλιξη των πλωτών ανεμογεννητριών, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικότερα στην ενότητα που ακολουθεί. Ήδη έχουν κατασκευαστεί και βρίσκονται σε λειτουργία οι πρώτες πλωτές ανεμογεννήτριες. Η τεχνολογική αυτή εξέλιξη, αναμένεται να δώσει νέα ώθηση στον τομέα των Θ.Α.Π., εφόσον καθιστά δυνατή την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη.

### 1.1.3 ΤΥΠΟΙ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών έχει ήδη δοκιμαστεί ευρέως σε αιολικά πάρκα στον ηπειρωτικό χώρο. Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται ο αριθμός και των Θ.Α.Π., με την τεχνολογία των υπεράκτιων ανεμογεννητριών να σημειώνει συνεχώς βελτιώσεις τόσο για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την επαφή με το νερό, όπως είναι η διάβρωση και το μεγάλο ύψος κύματος, όσο και για την αντιμετώπιση κατασκευαστικών προβλημάτων που προκύπτουν από τα μεγάλα βάθη (δυσκολία θεμελίωσης στον πυθμένα) προτείνοντας και εξελίσσοντας την λύση των πλωτών ανεμογεννητριών. Οι βελτιώσεις επίσης αφορούν και στην μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης, η οποία επιτυγχάνεται είτε με αύξηση του μεγέθους των ανεμογεννητριών, είτε με την εισαγωγή νέων μορφών και τύπων ανεμογεννητριών.

Οι παράκτιες ανεμογεννήτριες ποικίλουν ανάλογα με την μορφή και ανάλογα με τον τρόπο θεμελίωσής τους στον πυθμένα. Η συνηθέστερη μορφή είναι αυτή της ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια, που φαίνεται στην εικόνα 1. Ωστόσο, υπάρχουν κι άλλες μορφές όπως οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, γνωστές και ως eggbeater – εξάρτημα που χτυπάει αυγά (εικόνα 2).



εικόνα 1 (πηγή: <http://www.4coffshore.com/windfarms/turbines.aspx> )

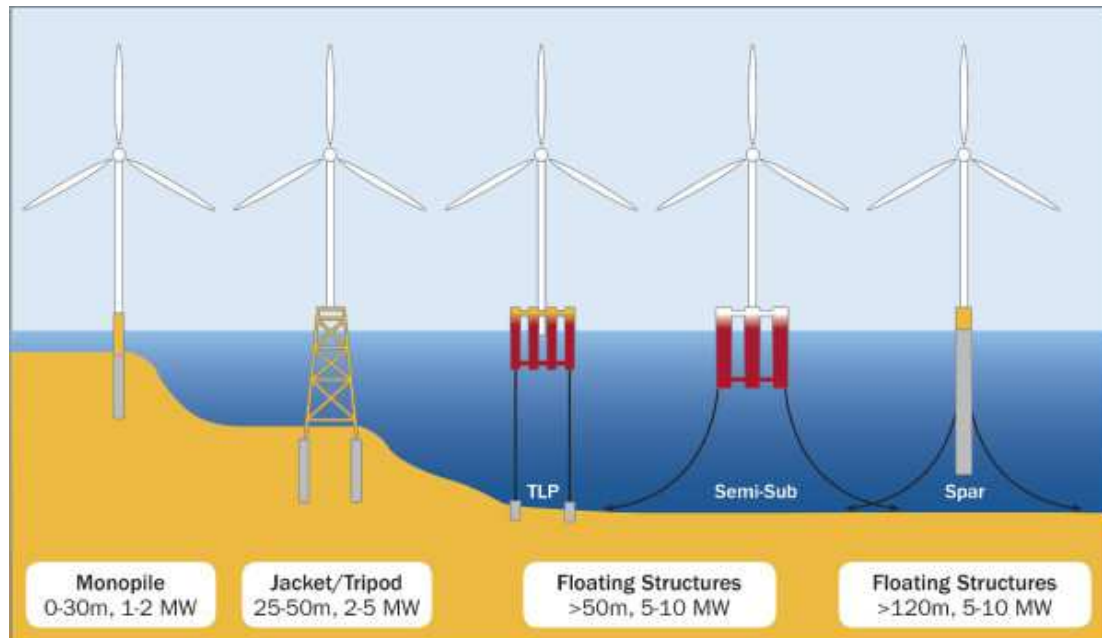


εικόνα 2 (πηγή: <http://raunaqbo.se/quietrevolution-ltd> )

Με βάση τον τρόπο θεμελίωσης των ανεμογεννητριών διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες: οι εδρασμένες - θεμελιωμένες στον πυθμένα και οι πλωτές, που αποτελούνται από μία πλωτή κατασκευή η οποία αγκυρώνει στον πυθμένα μέσω καλωδίων. Από τις κατηγορίες αυτές προκύπτουν άλλες επιμέρους κατηγορίες με βάση τα λεπτομερή χαρακτηριστικά της θεμελίωσης. Βασικό κριτήριο επιλογής μεταξύ

των παραπάνω κατηγοριών, είναι το βάθος. Έτσι λοιπόν, οι εδρασμένες στον πυθμένα κατασκευές ενδείκνυνται για βάθη έως 50 μέτρα περίπου, ενώ οι πλωτές μπορούν να φτάσουν σε βάθος έως και τα 700m. Στην εικόνα 4 απεικονίζονται οι διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών για διαφορετικά βάθη. Μέχρι πρότινος, το μέγιστο

επιτρεπόμενο βάθος των πλωτών κατασκευών κυμαινόταν μεταξύ 200m – 250m. Ωστόσο, η τεχνολογία των πλωτών πλατφορμών εξόρυξης ορυκτών καυσίμων, έδωσε νέα ώθηση στην τεχνολογία των πλωτών ανεμογεννητριών, επεκτείνοντας το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο βάθους στα 700m.



εικόνα 3

(πηγή:

[https://www.researchgate.net/publication/266086383\\_Assessing\\_Environmental\\_Impacts\\_of\\_Offshore\\_Wind\\_Farms\\_Lessons\\_Learned\\_and\\_Recommendations\\_for\\_the\\_Future/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/266086383_Assessing_Environmental_Impacts_of_Offshore_Wind_Farms_Lessons_Learned_and_Recommendations_for_the_Future/figures?lo=1) )



#### 1.1.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ Θ.Α.Π.

Το πρώτο Θ.Α.Π. κατασκευάστηκε το 1991 από την εταιρία Donk Energy στο Vindeby της Δανίας. Αποτελούνταν από 11 ανεμογεννήτριες με διάμετρο πτερωτής 35m και ισχύ 450kW. Οι ανεμογεννήτριες βρίσκονταν εγκατεστημένες σε απόσταση 2km από την ακτογραμμή και σε βάθος 6 – 7m. Κατά τα 25 χρόνια λειτουργίας του Θ.Α.Π. παράχθηκαν συνολικά 243 GWh, που αντιστοιχούν στην ετήσια ισχύ που χρειάζεται για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες 2-3.000 νοικοκυριών. Μετά το πέρας της 25χρονης άδειας λειτουργίας, η εταιρία προχώρησε στον παροπλισμό του αιολικού πάρκου, τον Σεπτέμβρη του 2017, καθώς η τεχνολογία του ήταν ήδη ξεπερασμένη και η συντήρησή του απαιτούσε υψηλό κόστος. Το Θ.Α.Π. στο Vindeby, αποτέλεσε μία σημαντική εμπειρία για τα Θ.Α.Π. που κατασκευάστηκαν στην συνέχεια, για την τεχνολογία των υπεράκτιων ανεμογεννητριών και για την χωροθέτηση των εγκαταστάσεων. Τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την λειτουργία του Θ.Α.Π. και οι αδυναμίες που ήρθαν στην επιφάνεια, αποτέλεσαν σημαντικό μάθημα για όσα ακολούθησαν. Στην εικόνα 4 που ακολουθεί απεικονίζεται το Θ.Α.Π. του Vindeby.



εικόνα 4

(πηγή: <http://www.offshorewind.biz/2016/02/09/second-offshore-wind-farm-decommissioning-on-the-way/>)

Δέκα χρόνια μετά την εγκατάσταση του Vindeby, κατασκευάστηκε το Θ.Α.Π. Middelgrunden στον θαλάσσιο χώρο ανάμεσα σε Δανία και Σουηδία, το οποίο αποτελούσε και το μεγαλύτερο Θ.Α.Π. μέχρι εκείνη την στιγμή, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 40MW. Μισές από τις ανεμογεννήτριες του Θ.Α.Π. ανήκουν στην εταιρία Donk Energy, ενώ οι άλλες μισές σε συνεταιρισμό πολιτών που επωφελείται επίσης από τα κέρδη της παραγωγής ενέργειας. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση αντιμετώπισε αρκετές δυσκολίες, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στο κεντρικό αεροδρόμιο της Κοπεγχάγης, αλλά και σε σημαντική δίοδο πλοίων. Ωστόσο, η συνεργασία με τους πολίτες υπήρξε καθοριστικής σημασίας στην αντιμετώπιση των προβλημάτων, με αποτέλεσμα σήμερα, το Middelgrunden να θεωρείται ένα από τα πιο επιτυχημένα παραδείγματα Θ.Α.Π. και αλλά σημαντικό αξιοθέατο της περιοχής. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το Θ.Α.Π. Middelgrunden και στο πίσω μέρος η γέφυρα Oresund, που ενώνει την Δανία με την Σουηδία.



εικόνα 5

(πηγή: <https://hiveminer.com/Tags/copenhagen,%C3%B8resundbridge> )

Ένα άλλο σημαντικό έργο, βρίσκεται στα ανοιχτά του Λονδίνου, κοντά στις εκβολές του Τάμεση. Ονομάζεται London Array και αποτελεί το μεγαλύτερο Θ.Α.Π. στον κόσμο με την μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ στην Ευρώπη. Αποτελείται από 175 ανεμογεννήτριες με διάμετρο 120m και συνολική ισχύ 630 MW, οι οποίες είναι εγκατεστημένες σε απόσταση 20km από την ακτογραμμή, σε βάθος που φτάνει μέχρι τα 25m. Η ευρύτερη περιοχή των εκβολών του Τάμεση θεωρείται μία ιδανική περιοχή για εγκατάσταση Θ.Α.Π. και έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των επενδυτών. Στην

εικόνα που ακολουθεί αποτυπώνεται το πολύγωνο εγκατάστασης των ανεμογεννητριών του London Array και των γειτονικών Θ.Α.Π.



εικόνα 6

(πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/London\\_Array](https://en.wikipedia.org/wiki/London_Array))

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται με χρονολογική σειρά μερικά από τα μεγαλύτερα Θ.Α.Π. Είναι εμφανές ότι τα περισσότερα από αυτά βρίσκονται στην Βόρεια Θάλασσα και την Βαλτική, με την Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο να εμφανίζουν την μεγαλύτερη δραστηριότητα.

| Wind farm                        | Total (MW) | Location       | Site coordinates       | Turbines & model                           | Commissioning date                                 |
|----------------------------------|------------|----------------|------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Thorntonbank (phases 1–3)        | 325        | Belgium        | 51°33'00"N 2°56'00"E   | 6 × Senvion 5MW,<br>48 × Senvion<br>6.15MW | 2009 (phase 1)<br>2012 (phase 2)<br>2013 (phase 3) |
| Horns Rev 2                      | 209        | Denmark        | 55°36'00"N 7°35'24"E   | 91 × Siemens SWT-2.3-93                    | 2009                                               |
| Thanet                           | 300        | United Kingdom | 51°26'0"N 01°38'0"E    | 100 × Vestas V90-3.0MW                     | 2010                                               |
| Rødsand II                       | 207        | Denmark        | 54°33'0"N 11°42'36"E   | 90 × Siemens SWT-2.3-93                    | 2010                                               |
| Chenjiagang (Jiangsu) Xiangshui  | 201        | China          | 34°29'00"N 119°52'00"E | 134 × FD77-1500 Dongfang Electric          | 2010                                               |
| Walney (phases 1&2)              | 367        | United Kingdom | 54°02'38"N 3°31'19"W   | 102 × Siemens SWT-3.6-107                  | 2011 (phase 1)<br>2012 (phase 2)                   |
| London Array                     | 630        | United Kingdom | 51°38'38"N 01°33'13"E  | 175 × Siemens SWT-3.6-120                  | 2012                                               |
| Greater Gabbard                  | 504        | United Kingdom | 51°52'48"N 1°56'24"E   | 140 × Siemens SWT-3.6-107                  | 2012                                               |
| Sheringham Shoal                 | 315        | United Kingdom | 53°7'0"N 1°8'0"E       | 88 × Siemens SWT-3.6-107                   | 2012                                               |
| Anholt                           | 400        | Denmark        | 56°36'00"N 11°12'36"E  | 111 × Siemens SWT-3.6-120                  | 2013                                               |
| BARD Offshore 1                  | 400        | Germany        | 54°22'0"N 5°59'0"E     | 80 × BARD 5.0MW                            | 2013                                               |
| Lincs                            | 270        | United Kingdom | 53°11'00"N 00°29'00"E  | 75 × Siemens SWT-3.6-120                   | 2013                                               |
| West of Duddon Sands             | 389        | United Kingdom | 53°59'02"N 3°27'50"W   | 108 × Siemens SWT-3.6-120                  | 2014                                               |
| Northwind (de)                   | 216        | Belgium        | 51°37'08"N 02°54'03"E  | 72 × Vestas V112-3.0MW                     | 2014                                               |
| Gwynt y Môr                      | 576        | United Kingdom | 53°27'00"N 03°35'00"W  | 160 × Siemens SWT-3.6-107                  | 2015                                               |
| Global Tech I (de)               | 400        | Germany        | 54°30'00"N 6°21'30"E   | 80 × Areva Multibrid M5000 5.0MW           | 2015                                               |
| Borkum Riffgrund 1 (de)          | 312        | Germany        | 53°58'0"N 06°33'00"E   | 78 × Siemens SWT-4.0-120                   | 2015                                               |
| Nordsee Ost                      | 295        | Germany        | 54°26'00"N 7°41'00"E   | 48 × Senvion<br>6.15MW                     | 2015                                               |
| Amrumbank West                   | 288        | Germany        | 54°30'0"N 07°48'00"E   | 80 × Siemens SWT-3.6-120                   | 2015                                               |
| Butendiek (de)                   | 288        | Germany        | 54°54'0"N 07°45'00"E   | 80 × Siemens SWT-3.6-120                   | 2015                                               |
| DanTysk                          | 288        | Germany        | 55°9'00"N 7°10'30"E    | 80 × Siemens SWT-3.6-120                   | 2015                                               |
| Baltic 2 (de)                    | 288        | Germany        | 54°58'24"N 13°10'40"E  | 80 × Siemens SWT-3.6-120                   | 2015                                               |
| Meerwind Süd / Ost (de)          | 288        | Germany        | 54°23'00"N 7°42'00"E   | 80 × Siemens SWT-3.6-120                   | 2015                                               |
| Humber Gateway                   | 219        | United Kingdom | 53°38'38"N 0°17'35"E   | 73 × Vestas V112-3.0MW                     | 2015                                               |
| Westermoor Rough                 | 210        | United Kingdom | 53°48'0"N 0°9'0"E      | 35 × Siemens SWT-6.0-154                   | 2015                                               |
| Trianel Borkum West II (Phase 1) | 200        | Germany        | 54°2'30"N 6°28'0"E     | 40 × Areva Multibrid M5000 5.0MW           | 2015                                               |
| Gemini Wind Farm                 | 600        | Netherlands    | 54°2'10"N 05°57'47"W   | 150 × Siemens SWT-4.0                      | 2017                                               |
| Gode Wind (phases 1+2)           | 582        | Germany        | 54°04'N 7°02'E         | 97 x Siemens SWT-6.0-154                   | 2017                                               |
| Dudgeon                          | 402        | United Kingdom | 53°14'56"N 1°23'24"E   | 67 × Siemens 6 MW                          | 2017                                               |
| Veja Mate                        | 402        | Germany        | 54°19'1"N 5°52'15"E    | 67 × Siemens SWT-6.0-154                   | 2017                                               |
| Sandbank (Phase 1) (de)          | 288        | Germany        | 55°11'0"N 06°51'00"E   | 72 × Siemens SWT-4.0-130                   | 2017                                               |

Πίνακας 1

Μέχρι πρότινος , όλα τα Θ.Α.Π. αποτελούνταν από ανεμογεννήτριες που εδράζονταν στον πυθμένα και ειδικότερα με 4 χαρακτηριστικά είδη θεμελίωσης: τη βαρυτική (20% των εγκαταστάσεων), το μονό πάσαλο (monopile, 75% των εγκαταστάσεων), το τρίποδο (tripod) και το χωροδικτύωμα (jacket) που είναι

καταλληλότερο για τα βαθύτερα νερά (40-50m). Εξαίρεση αποτελεί ένα πρόσφατο έργο που ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του 2017. Πρόκειται για το πρώτο πλωτό Θ.Α.Π., στα ανοιχτά του Peterhead της Σκωτίας, με την ονομασία Hywind Project. Το συγκεκριμένο έργο φαίνεται ότι θα αποτελέσει την αφετηρία για την εγκατάσταση Θ.Α.Π. σε μεγαλύτερα βάθη, μακριά από την ακτογραμμή και από τα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω της εγγύτητας στην ακτή. Το μοντέλο ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιείται εδώ βασίζεται στην τεχνολογία των πλωτών πλατφορμών εξόρυξης ορυκτών καυσίμων. Το Hywind project, βασίζεται στην συνεργασία δύο εταιρειών, της Statoil, που ειδικεύεται στον τομέα των πλατφορμών εξόρυξης ορυκτών καυσίμων, και της Masdar - εταιρεία Α.Π.Ε. με έδρα το Abu Dhabi. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, οι ανεμογεννήτριες του Hywind project, μπορούν να εγκατασταθούν σε βάθη έως και 700 – 800m. Το συγκεκριμένο έργο έχει συνολική ισχύ 60MW και αποτελείται από 5 ανεμογεννήτριες διαμέτρου 154m, που βρίσκονται εγκατεστημένες σε απόσταση 25km από την ακτή και βάθος 95 – 120m. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται μία άποψη του Θ.Α.Π. με τις 5 ανεμογεννήτριες.



εικόνα 7

(πηγή: <https://www.statoil.com/en/news/worlds-first-floating-wind-farm-started-production.html> )

## 1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η χωροθέτηση Θ.Α.Π. αποτελεί ένα πρόβλημα λήψης χωρικών αποφάσεων που σχετίζεται με ένα πλήθος μεταβλητών ή αλλιώς κριτηρίων, όπως είναι το κριτήριο του αιολικού δυναμικού, το κριτήριο του βάθους, τα κριτήρια εγγύτητας όπως είναι η απόσταση από την ακτογραμμή, από λιμάνια, από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.ο.κ. Η αναζήτηση των βέλτιστων περιοχών για την χωροθέτηση Θ.Α.Π. απαιτεί την αξιολόγηση και τον συνδυασμό όλων των σχετικών κριτηρίων, κάτι που ως επί των πλείστων πραγματοποιείται με την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος, η οποία συχνά στα GIS αποδίδεται και ως χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση με χαρτογραφική υπέρθεση επιπέδων, είναι η μέθοδος που ακολουθείται στην παρούσα εργασία. Η χαρτογραφική υπέρθεση επιπέδων μπορεί να είναι απλή, όταν τα κριτήρια συμμετέχουν ισότιμα στο τελικό αποτέλεσμα ή σταθμισμένη, όταν τα διάφορα κριτήρια συμμετέχουν στο τελικό αποτέλεσμα με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας το καθένα, ανάλογα με την σπουδαιότητά τους. Επιγραμματικά, το μοντέλο της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει τα εξής στάδια υλοποίησης:

- Καθορισμός κύριου ερωτήματος και αρχικών συνθηκών ανάλυσης.
- Επιλογή – δημιουργία μεταβλητών / κριτηρίων και περιορισμών
- Επαναταξινομήσεις – δημιουργία πίνακα αποφάσεων
- Καθορισμός συντελεστών βαρύτητας και κανόνων αποφάσεων
- Συνδυασμός των μεταβλητών (παραγωγή αποτελεσμάτων)
- Ανάλυση ευαισθησίας
- Έλεγχος αποτελεσμάτων

Στο πρώτο στάδιο της έρευνας, εκτός από το κύριο ερώτημα ορίζονται επίσης η περιοχή μελέτης και ενδεχομένως ορισμένες παραδοχές που εξυπηρετούν την πραγματοποίηση της εργασίας.

Κατά το δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η επιλογή των κριτηρίων, η δημιουργία και η επεξεργασία τους ύστερα από διαδικασίες ψηφιοποίησης και υπολογιστικών μεθόδων σύμφωνα με τα ευρήματα της βιβλιογραφίας ή ακόμα και την εμπειρία του μελετητή. Στο στάδιο αυτό ορίζονται επίσης και οι διάφοροι



περιορισμοί που οδηγούν στην οριοθέτηση των περιοχών αποκλεισμού. Οι περιοχές αυτές ως περιοχές στις οποίες απαγορεύεται η χωροθέτηση μιας συγκεκριμένης δομής - στην προκειμένη περίπτωση τα Θ.Α.Π. - αφαιρούνται από την υπόλοιπη περιοχή μελέτης. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται η τελική επιφάνεια ή αλλιώς «μάσκα» για την οποία εξετάζεται η καταλληλότητά της για την υποδοχή της συγκεκριμένης δομής.

Το επόμενο βήμα σχετίζεται με την ομοιογενοποίηση και την ποσοτικοποίηση των κριτηρίων. Οι τιμές των διαφόρων ποσοτικών κριτηρίων ταξινομούνται σε μία ενιαία κλίμακα που διευκολύνει τη μεταξύ τους σύγκριση, ενώ τα ποιοτικά κριτήρια ποσοτικοποιούνται και ταξινομούνται σύμφωνα με την ενιαία κλίμακα που χρησιμοποιείται. Έτσι, για παράδειγμα ποιοτικά κριτήρια όπως είναι η γεωλογία του βυθού παίρνουν τιμές ανάλογα με την καταλληλότητά τους στο να υποδεχτούν την συγκεκριμένη εγκατάσταση. Η ομαδοποίηση των τιμών των κριτηρίων, σύμφωνα με την οποία γίνεται η ταξινόμησή τους σε ενιαία κλίμακα, μπορεί να διαφέρει από μελέτη σε μελέτη, εφόσον έγκειται στην υποκειμενικότητα και την εμπειρία του μελετητή αλλά και στην κατανομή των τιμών των κριτηρίων.

Στο επόμενο στάδιο καθορίζονται οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων με τους οποίους αξιολογείται η σπουδαιότητα κάθε κριτηρίου και ο βαθμός συμμετοχής του στο τελικό αποτέλεσμα. Οι τιμές των συντελεστών βαρύτητας κυμαίνονται από 0 έως 1, ενώ το σύνολο των συντελεστών αθροίζει στο 1. Οι συντελεστές μπορούν να αναθέτονται απευθείας από του αναλυτές – εμπειρογνώμονες ή να προκύπτουν μέσα από μία διαδικασία σύγκρισης των κριτηρίων ανά ζεύγη. Η τελευταία διαδικασία ονομάζεται μέθοδος Αναλυτικής Ιεράρχησης (Α.Η.Ρ.) και θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.

Το επόμενο στάδιο αφορά στην σύνθεση των μεταβλητών. Ένας τρόπος σύνθεσης είναι η απλή χαρτογραφική υπέρθεση επιπέδων με ενιαία σταθμισμένες μεταβλητές που έχει ως παράγωγο έναν χάρτη καταλληλότητας ή την οριοθέτηση συγκεκριμένων περιοχών που ικανοποιούν ορισμένους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί συντάσσονται από τον μελετητή και ορίζουν συγκεκριμένες τιμές – κατώφλια για κάθε κριτήριο. Η εφαρμογή αυτή οδηγεί σε δίτιμα αποτελέσματα δηλ. σε περιοχές επιθυμητές και μη επιθυμητές ανάλογα με το αν ικανοποιούν ή όχι την παραπάνω

συνθήκη. Ένας άλλος τρόπος σύνθεσης των κριτηρίων είναι αυτός της σταθμισμένης χαρτογραφικής υπέρθεσης κάνοντας χρήση συντελεστών βαρύτητας που παράχθηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Μία άλλη μέθοδος σύνθεσης των κριτηρίων η οποία βασίζεται σε μία λογική αβεβαιότητας και ασαφών ορίων, τόσο των τιμών των κριτηρίων όσο και των τιμών των συντελεστών και των αποτελεσμάτων, είναι η fuzzy A.H.P., η οποία στην ουσία αποτελεί μία παραλλαγή της A.H.P..

Το επόμενο στάδιο της ανάλυσης ευαισθησίας του μοντέλου, αφορά στην αξιολόγηση της αξιοπιστίας του μοντέλου πραγματοποιώντας μικρές αλλαγές είτε στην βαθμονόμηση των κριτηρίων είτε στις τιμές των συντελεστών βαρύτητας. Για να θεωρηθεί αξιόπιστο το μοντέλο, δεν θα πρέπει να παρουσιάζει ευάλωτη συμπεριφορά στις μικρές αυτές αλλαγές. Σε περίπτωση που συμβαίνει κάτι τέτοιο, χρειάζεται επανεξέταση των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί και των συντελεστών βαρύτητας.

Το τελευταίο στάδιο του ελέγχου των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται μέσω της σύγκρισης του αποτελέσματος με την υπάρχουσα κατάσταση, με μελλοντικά προτεινόμενα σχέδια ή με τα αποτελέσματα σχετικών μελετών.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή, σημειώνεται ότι η επιλογή της μεθόδου σύνθεσης των κριτηρίων εξαρτάται από τις προτιμήσεις του αναλυτή αλλά και από τη φύση των κριτηρίων. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται μία πρόταση χωροθέτησης ακολουθώντας τις δύο πρώτες μεθόδους σύνθεσης κριτηρίων, δηλ. τον καθορισμό κανόνων και την σταθμισμένη πολυκριτηριακή ανάλυση με την μέθοδο της AHP.

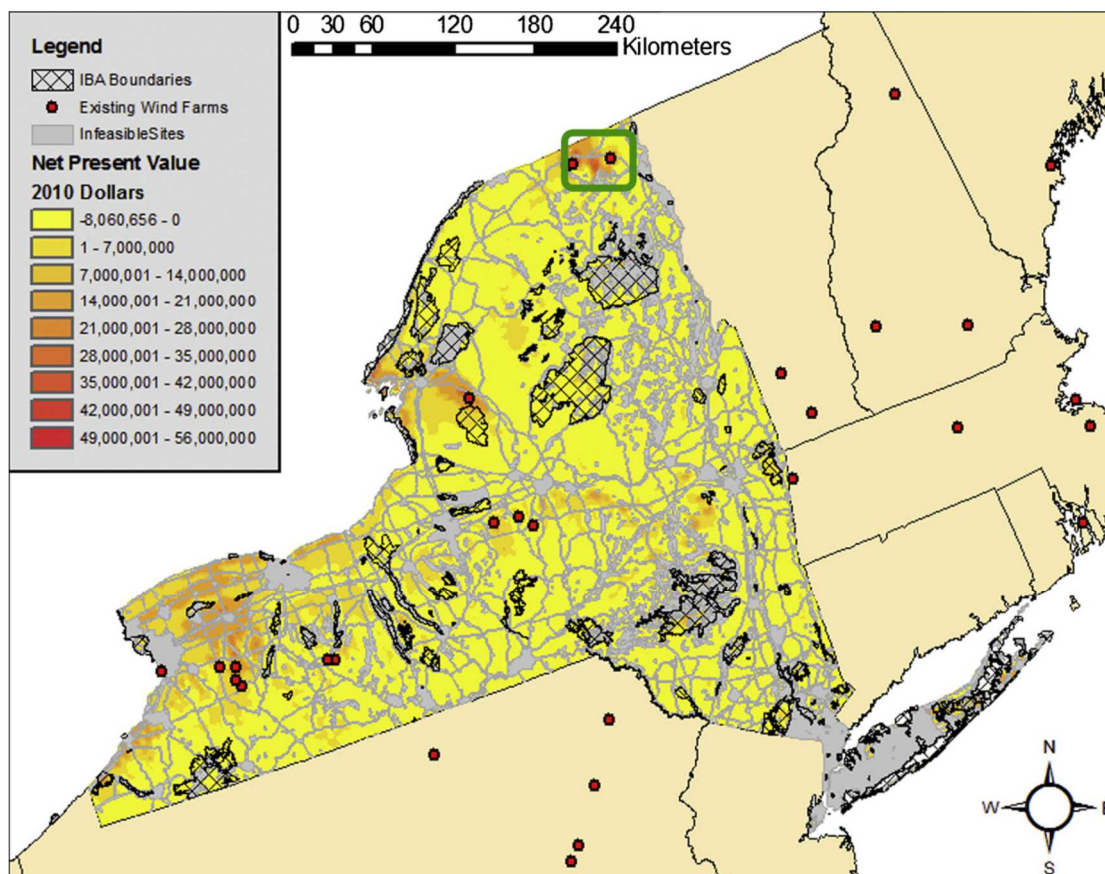
### 1.3 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η αναζήτηση κατάλληλων περιοχών για χωροθέτηση εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. με την χρήση γεωπληροφοριακών συστημάτων (GIS) είναι μια αρκετά συνηθισμένη πρακτική που συναντάται σε μεγάλο μέρος της ελληνικής και της ξένης βιβλιογραφίας. Η δυνατότητα υπολογισμού και συσχετισμού του συνόλου των παραμέτρων που σχετίζονται με την χωροθέτηση Α.Π.Ε. σε συνδυασμό με την μεγάλη



κλίμακα των μελετών αυτών, καθιστούν τα εργαλεία GIS απαραίτητα στην διεκπεραίωση των συγκεκριμένων εργασιών. Για την παρούσα εργασία μελετήθηκαν παραδείγματα από την ελληνική και ξένη βιβλιογραφία που αφορούν στην χωροθέτηση κυρίως Θ.Α.Π. με την χρήση εργαλείων GIS, αλλά εξετάστηκαν επίσης και μελέτες χωροθέτησης άλλου τύπου εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. στην θάλασσα, όπως και μελέτες χωροθέτησης αιολικών πάρκων στην ξηρά. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα από την βιβλιογραφία που μελετήθηκε, τα οποία συνέβαλαν σημαντικά στην κατανόηση του θέματος και στην δομή που ακολουθείται για την επίλυση αντίστοιχων προβλημάτων λήψης χωρικών αποφάσεων.

Στο άρθρο με τίτλο GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State (Haaren & Fthenakis, 2011) αναζητούνται περιοχές για χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην πολιτεία της Νέας Υόρκης, με την βοήθεια εργαλείων GIS. Ειδικότερα, η συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνει τρία στάδια τα οποία οδηγούν στην τελική επιλογή τοποθεσιών για χωροθέτηση αιολικών πάρκων. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την οριοθέτηση των περιοχών που αποκλείονται από την χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων λόγω συγκεκριμένων χρήσεων γης και γεωλογικών χαρακτηριστικών. Το δεύτερο στάδιο έχει ως στόχο την ανάδειξη συγκεκριμένων περιοχών που παρουσιάζουν την καλύτερη συμπεριφορά σε ένα μοντέλο κόστους – εσόδων που αφορά στην εγκατάσταση και την λειτουργία των αιολικών πάρκων. Το μοντέλο κόστους – εσόδων σχετίζεται με το κόστος σύνδεσης του αιολικού πάρκου στο υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με το κόστος εκκαθάρισης γης των προτεινόμενων περιοχών ανάλογα με το είδος βλάστησης που φιλοξενούν, με το κόστος μεταφοράς υλικών από το κύριο οδικό δίκτυο και τέλος με τα έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προτεινόμενων αιολικών πάρκων. Η τελική πρόταση που βασίζεται στα τρία παραπάνω στάδια αναδεικνύει τις περιοχές που βρίσκονται εκτός των περιοχών αποκλεισμού, που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές στο μοντέλο κόστους – εσόδων και έχουν τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το αποτέλεσμα της παραπάνω μελέτης σε έναν χάρτη καταλληλότητας για χωροθέτηση αιολικών πάρκων.



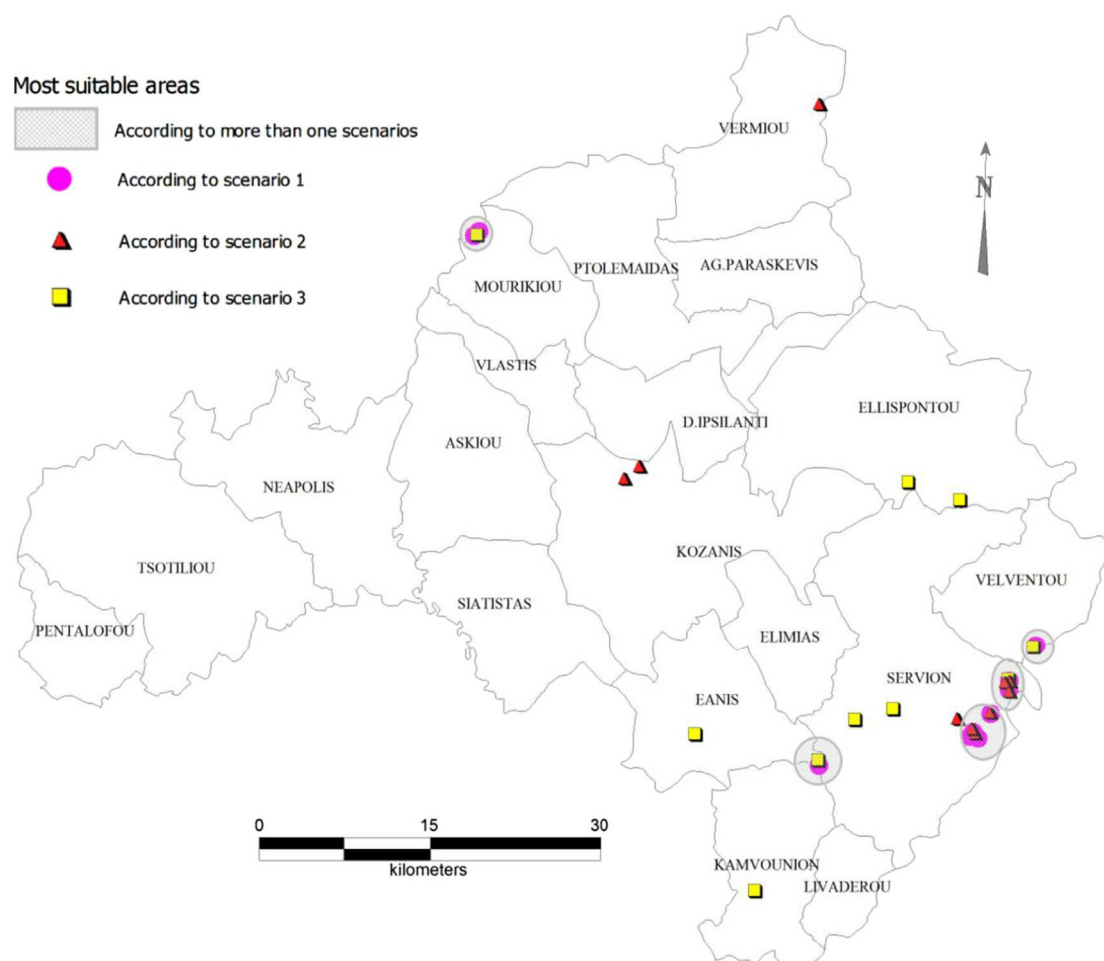
εικόνα 8

πηγή: Haaren R., Fthenakis V. (2011), GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3332– 3340.

Με χρωματική διαβάθμιση από το κίτρινο έως το κόκκινο απεικονίζονται με αύξουσα σειρά οι τιμές της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το μοντέλο κόστους – εσόδων. Αποτυπώνονται επίσης οι θέσεις των υφιστάμενων αιολικών πάρκων, οι Σημαντικές Περιοχές για τα Πουλιά (Important Birds Area – IBA) και οι περιοχές αποκλεισμού.

Ένα άλλο παράδειγμα που αφορά στην Ελλάδα, και ειδικότερα στην περιοχή της Κοζάνης είναι το άρθρο με τίτλο A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece (Latinopoulos & Kehagia, 2015). Στο παράδειγμα αυτό εφαρμόζεται η ελληνική νομοθεσία για τις επιτρεπόμενες αποστάσεις αιολικών πάρκων από συγκεκριμένες χρήσεις γης, προστατευόμενες περιοχές, αρχαιολογικούς χώρους κ.α. ενώ παράλληλα εξετάζονται χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής όπως είναι η κλίση του εδάφους, το αιολικό δυναμικό, η απόσταση από το οδικό δίκτυο και η κάλυψη γης. Στη συνέχεια, δημιουργούνται τρία σενάρια χωροθέτησης αιολικών πάρκων τα οποία βασίζονται

σε τρία σενάρια συντελεστών βαρύτητας που εφαρμόζονται στα κριτήρια που έχουν επιλεγεί για την ανάπτυξη του μοντέλου. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων.



εικόνα 9

πηγή: Latinopoulos D. & Kechagia K. (2015), A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece, *Renewable Energy*, 78, 550 – 560.

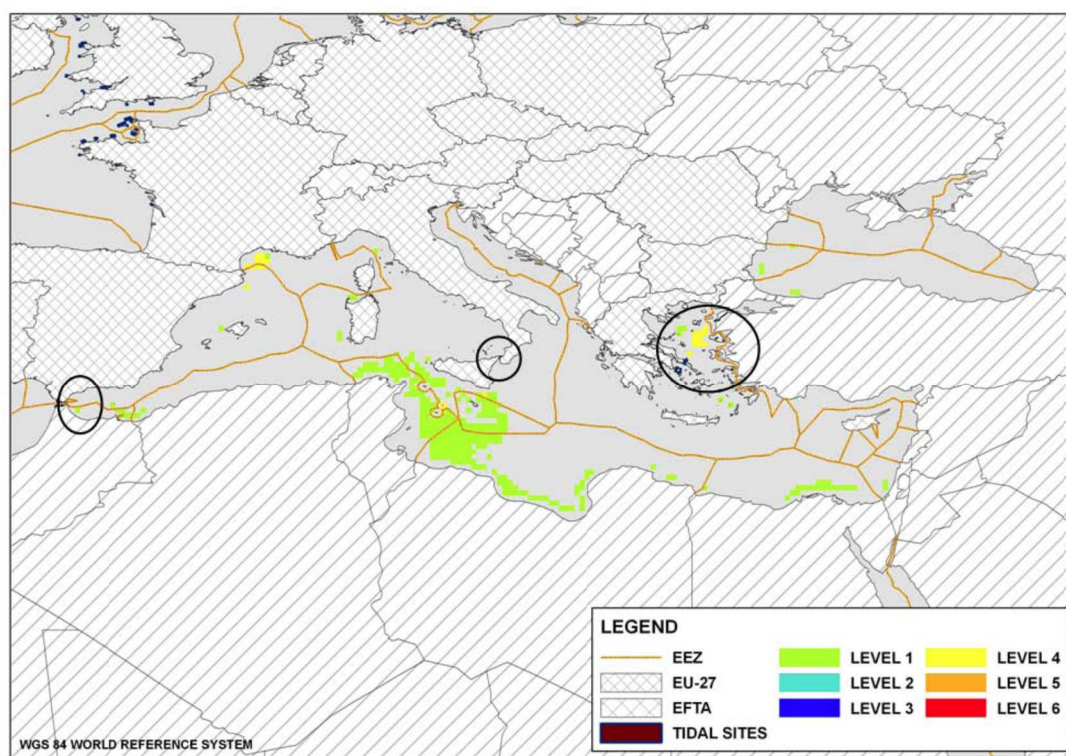
Σε αντίστοιχα θέματα που αφορούν στην χωροθέτηση Α.Π.Ε. στον θαλάσσιο χώρο, συμμετέχουν αρκετές από τις παραμέτρους που παρουσιάστηκαν στις παραπάνω μελέτες, όπως είναι το αιολικό δυναμικό, η απόσταση από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η γεωλογία του εδάφους. Βέβαια, ο θαλάσσιος χώρος, ως πεδίο εφαρμογής, έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή και άλλων σημαντικών παραμέτρων που σχετίζονται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τη φύση του χώρου αυτού, όπως είναι το βάθος, οι γραμμές ναυσιπλοΐας, η απόσταση από λιμάνια, η διέλευση υποθαλάσσιων καλωδίων κ.ο.κ.

Ένα παράδειγμα από την ξένη βιβλιογραφία όπου εξετάζεται η χωροθέτηση θαλάσσιων εγκαταστάσεων Α.Π.Ε., συνδυάζοντας την αιολική, την κυματική και την παλιρροϊκή ενέργεια, στη Βόρεια και στη Βαλτική Θάλασσα, στη Μεσόγειο και στη Μαύρη Θάλασσα και σε τμήμα του Ατλαντικού ωκεανού, αποτελεί η μελέτη με τίτλο Site Selection Analysis For Offshore Combined Resource Projects in Europe (Murphy, Lynch, Serri, Airdoldi & Lopes, 2011). Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα αξιολογεί και θα προτείνει τις βέλτιστες περιοχές για ανάπτυξη θαλάσσιων Α.Π.Ε. σε κάθε μία από τις τρεις μεγάλες περιοχές μελέτης. Το προτεινόμενο μοντέλο εξετάζει τις εξής παραμέτρους – κριτήρια:

1. ενεργειακοί πόροι
  - αιολικό δυναμικό
  - κυματικό δυναμικό
  - παλιρροϊκό δυναμικό
2. έσοδα από την παραγωγή ενέργειας
3. γεωγραφία
  - βάθος
  - απόσταση από ακτογραμμή
  - γεωλογία και τύπος βυθού
4. υποδομές
  - απόσταση από λιμάνια
  - απόσταση από δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
5. άλλες χρήσεις
  - γραμμές ναυσιπλοΐας
  - στρατιωτικές ασκήσεις
  - εξόρυξη ορυκτών καυσίμων
  - αλιεία

Όπως φαίνεται, όλα τα κριτήρια που παρουσιάζονται παραπάνω πλην του δεύτερου, είναι σύνθετα κριτήρια, δηλ. δημιουργούνται από την σύνθεση περισσότερων κριτηρίων. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές τις βέλτιστες περιοχές για χωροθέτηση των προτεινόμενων θαλάσσιων Α.Π.Ε. Ωστόσο, η μεγάλη κλίμακα της μελέτης έχει ως

αποτέλεσμα την δημιουργία μιας γενικευμένης και απλουστευμένης εικόνας που στερείται λεπτομέρειας ενώ παράλληλα αποκλείει μεγάλες περιοχές από την ανάλυση. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής του μοντέλου στην περιοχή της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας.



εικόνα 10

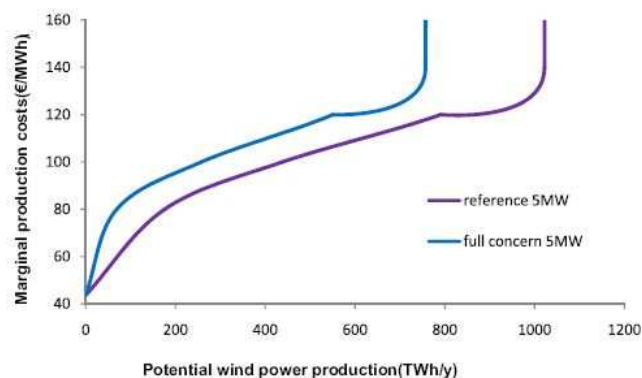
*Combined Resource in Mediterranean and Black Sea: wind + wave + tidal current (circled)*

πηγή: *Site Selection Analysis For Offshore Combined Resource Projects in Europe*

(Murphy, Lynch, Serri, Airdoldi & Lopes, 2011)

Ένα άλλο παράδειγμα που έχει ως περιοχή μελέτης την Α.Ο.Ζ. της Κίνας παρουσιάζεται στο άρθρο Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints (Hong & Möller, 2011). Η συγκεκριμένη μελέτη αποσκοπεί στον υπολογισμό του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Θ.Α.Π. σύμφωνα με διαφορετικά σενάρια. Λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως, το αιολικό δυναμικό, την απόσταση από την ακτογραμμή, τις γραμμές ναυσιπλοΐας, τους διαδρόμους μεταναστευτικών πουλιών κ.α. αναπτύσσονται διαφορετικά σενάρια χωρικών περιορισμών και για κάθε ένα από αυτά υπολογίζεται το κόστος παραγωγής ενέργειας. Στην εικόνα 11 που ακολουθεί αποτυπώνεται το κόστος παραγωγής ενέργειας σύμφωνα με δύο σενάρια χωρικών περιορισμών, ένα πιο «χαλαρό» (reference) και ένα πιο «αυστηρό» (full concern). Τα δύο σενάρια αφορούν

σε χωρικούς περιορισμούς που σχετίζονται με θέματα όπως οπτική όχληση, περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές, γραμμές ναυσιπλοΐας, διέλευση υποθαλάσσιων καλωδίων κ.α.



εικόνα 11  
*Marginal production costs in two spatial scenarios*  
 πηγή: *Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints*  
 (Hong & Möller, 2011)

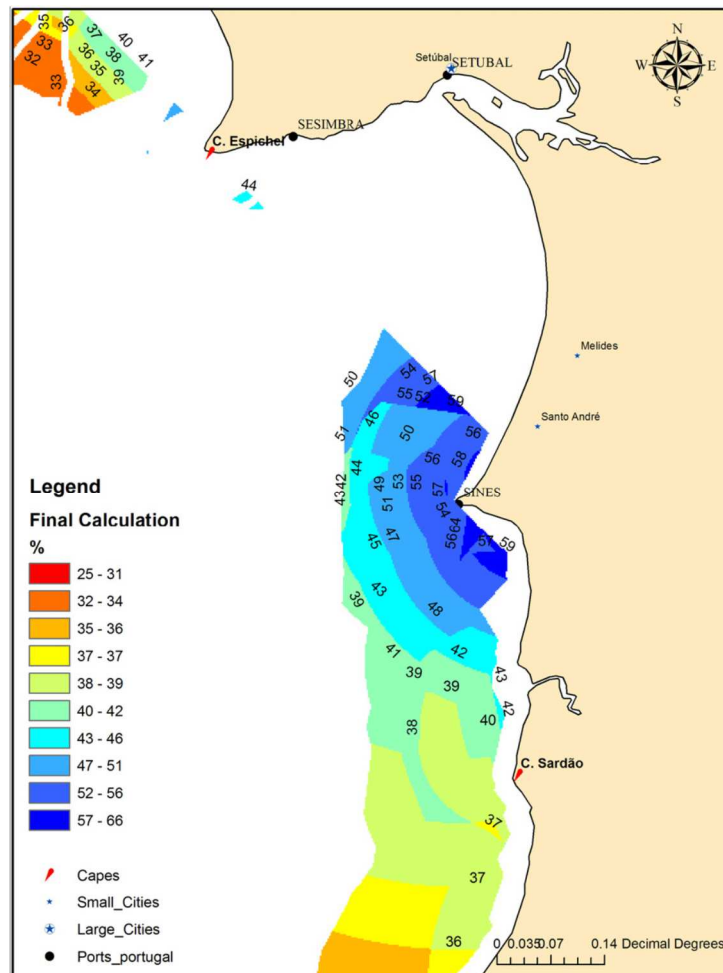
Μία μελέτη που δεν αφορά σε χωροθέτηση Θ.Α.Π., αλλά σε χωροθέτηση εγκατάστασης εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας στον θαλάσσιο χώρο νότια της πόλης Espichel της Πορτογαλίας, παρουσιάζεται στο άρθρο Geo-spatial multi-criteria analysis for wave energy conversion system deployment (Nobre , Pacheco, Jorge, Lopes & Gato, 2008). Παρόλο που η συγκεκριμένη μελέτη αφορά σε διαφορετική μορφή ενέργειας σε σχέση με αυτή που μελετάται στην παρούσα εργασία, συμπεριλαμβάνεται στην ενότητα αυτή καθώς παρουσιάζει μία ξεκάθαρη δομή εργασίας και ανάπτυξης του μοντέλου της σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης. Αρχικό στάδιο είναι η δημιουργία της περιοχής μελέτης, η οποία αναφέρεται στην εργασία ως μάσκα. Η μάσκα προκύπτει από την αφαίρεση όλων εκείνων των περιοχών που αποκλείονται από την μελέτη, όπως είναι οι περιοχές με βάθος μικρότερο των 30m, με βάθος μεγαλύτερο των 200m και αυτές που βρίσκονται εκτός του ορίου εθνικών υδάτων, δηλ. οι περιοχές που απέχουν απόσταση μεγαλύτερη των 12 ναυτικών μιλίων από την ακτογραμμή, όπως ορίζει το Δίκαιο της Θάλασσας. Στη συνέχεια, για την περιοχή που απομένει, ως τελική μάσκα δημιουργούνται τα κριτήρια που συμμετέχουν στην μελέτη και απεικονίζονται σε θεματικούς χάρτες. Τα κριτήρια αυτά είναι:

- απόσταση από ακτογραμμή
- απόσταση από λιμάνια



- γεωλογία του βυθού
- απόσταση από υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- ύψος κύματος
- περίοδος κύματος

Ακολουθεί η ομοιογενοποίηση των κριτηρίων σύμφωνα με μία ενιαία κλίμακα προκειμένου να καθίσταται δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση. Στο τελικό στάδιο της μελέτης πραγματοποιείται η σύνθεση των παραπάνω κριτηρίων εφαρμόζοντας ένα σενάριο συντελεστών βαρύτητας. Τα αποτελέσματα της σύνθεσης των κριτηρίων φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Με σκούρο μπλε αποτυπώνονται οι περιοχές που κρίνονται περισσότερο κατάλληλες για χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας, ενώ με πορτοκαλί και κόκκινο, οι λιγότερο κατάλληλες περιοχές.



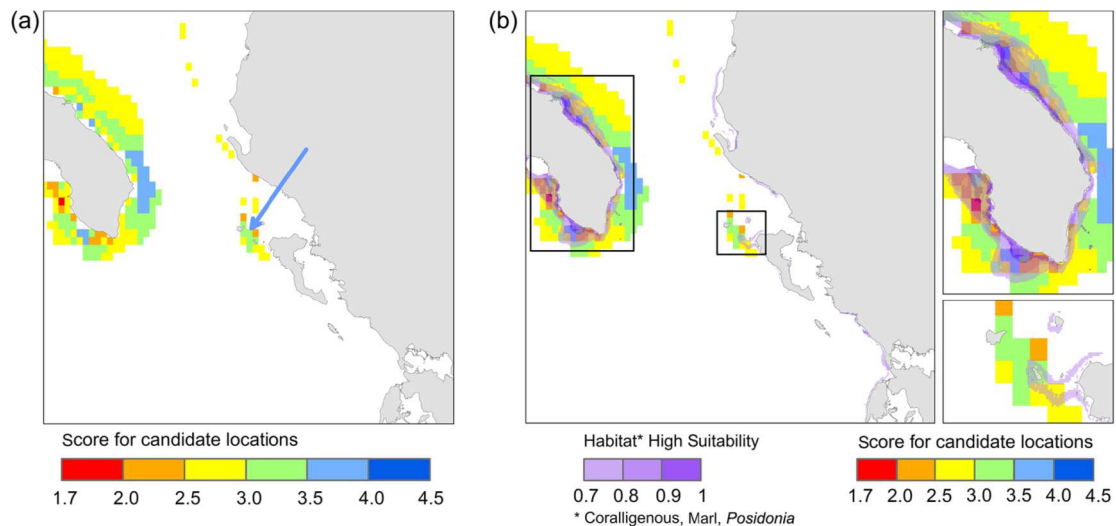
εικόνα 12  
 πηγή: *Geo-spatial multi-criteria analysis for wave energy conversion system deployment* (Nobre, Pacheco, Jorge, Lopes & Gato, 2008)

Μία άλλη μελέτη που αφορά στον θαλάσσιο χώρο ανάμεσα στην Κέρκυρα και το νοτιοανατολικό άκρο της Ιταλίας παρουσιάζεται στο άρθρο Greening offshore wind with the Smart Wind Chart evaluation tool (Soukissian et al., 2016) στο περιοδικό Web Ecology. Εδώ, ακολουθώντας την δομή της σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης, οι μελετητές καταλήγουν στις περιοχές που είναι περισσότερο κατάλληλες για χωροθέτηση Θ.Α.Π. Η μελέτη βασίζεται στα εξής 6 κριτήρια: αιολικό δυναμικό

- βάθος
- απόσταση από ακτογραμμή
- απόσταση από λιμάνια
- απόσταση από υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- γεωλογία βυθού

Στην εικόνα που ακολουθεί, στο πλαίσιο (a) αποτυπώνονται οι υποψήφιες περιοχές για χωροθέτηση Θ.Α.Π. Φαίνεται ότι οι βέλτιστες περιοχές εντοπίζονται βορειοδυτικά της Κέρκυρας, στην περιοχή των Οθωνών και στα ανοιχτά της ιταλικής πόλης Γκαλίπολη. Στο πλαίσιο (b) απεικονίζονται τα αποτελέσματα της έρευνας σε σχέση με ευαίσθητες περιοχές σπάνιας βιοποικιλότητας, όπως είναι οι κοραλλιογενείς βράχοι και οι περιοχές όπου εντοπίζεται το σπάνιο υδρόβιο φυτό, η Ποσειδωνία. Η συγκεκριμένη μελέτη δίνει μία γενική εικόνα για την χωροθέτηση Θ.Α.Π. στην υπό μελέτη περιοχή, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα σε σχέση με περιβαλλοντικά ευάλωτες θαλάσσιες περιοχές που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Παράλληλα επισημαίνεται η ανάγκη για την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων υψηλής ανάλυσης για τον θαλάσσιο χώρο, καθώς τα διαθέσιμα μέχρι τώρα δεδομένα δεν ευνοούν μία μελέτη με έναν σχετικά καλό βαθμό λεπτομέρειας.





εικόνα 13

πηγή: *Greening offshore wind with the Smart Wind Chart evaluation tool* (Soukissian et al., 2016)

Ένα παράδειγμα που αφορά στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο είναι η δημοσίευση στο περιοδικό *Global Nest*, με τίτλο *A Multicriteria Approach to Evaluate Offshore Wind Farms Siting in Greece*, (Vagiona & Karanikolas, 2012). Το παράδειγμα αυτό αφορά μόνο περιοχές που φτάνουν έως τα 30m βάθος, είναι εκτός προστατευόμενων περιοχών και παρουσιάζουν μέση ταχύτητα ανέμου άνω των 6m/sec. Η μελέτη βασίζεται στα εξής 5 κριτήρια:

- ταχύτητα ανέμου
- απόσταση από ακτογραμμή
- απόσταση από προστατευόμενες περιοχές
- απόσταση από γραμμές ναυσιπλοΐας
- απόσταση από δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Μέσα από την μέθοδο της Α.Η.Ρ. η μελέτη καταλήγει στην πρόταση 10 υποψήφιων περιοχών για χωροθέτηση Θ.Α.Π. οι οποίες φαίνονται με σειρά προτεραιότητας στην παρακάτω λίστα.

1. Κάσος
2. Κάρπαθος
3. Αμοργός
4. Ανάφη
5. Άνδρος
6. Σκύρος
7. Σαμοθράκη
8. Ρόδος
9. Κως
10. Οθωνοί

Σε μία άλλη δημοσίευση στο περιοδικό Renewable Energy, με τίτλο Multi-criteria site selection for offshore renewable energy platforms (Gradden et al.,2015), μελετάται η χωροθέτηση υπεράκτιων πλατφορμών Α.Π.Ε. στην Βόρεια Θάλασσα, στη Νορβηγική και σε τμήμα του Βόρειου Ατλαντικού. Ειδικότερα, προτείνονται τρεις τύποι πλατφορμών που θα αξιοποιούν συνδυαστικά την αιολική και την κυματική ενέργεια. Κάθε τύπος έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αφορούν στο βάθος εγκατάστασης και στον τύπο ενέργειας που καθοδηγεί την λειτουργία της πλατφόρμας. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά αυτά και με την βοήθεια των εργαλείων GIS, προτείνονται περιοχές που ενδείκνυνται για τον έναν ή τον άλλο τύπο πλατφόρμας.

Ένα διαφορετικό παράδειγμα από την ξένη βιβλιογραφία, στο οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος της Fuzzy Α.Η.Ρ. για την χωροθέτηση Θ.Α.Π. στην περιοχή της Ταϊβάν παρουσιάζεται στο άρθρο *Assessment of the Potential of Offshore Wind Energy in Taiwan using Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (Lee, 2010). Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα της εισαγωγής στην μεθοδολογία, η μέθοδος της Fuzzy Α.Η.Ρ. βασίζεται σε μία λογική αβεβαιότητας. Ειδικότερα, στη μελέτη αυτή, με την βοήθεια της Fuzzy Α.Η.Ρ., εξετάζεται η καταλληλότητα 5 περιοχών της Ταϊβάν για την χωροθέτηση Θ.Α.Π. με βάση τα εξής 8 κριτήρια: αιολικό

δυναμικό, σεισμοί, τυφώνες, χρήσεις γης, γεωλογία βυθού, απόσταση από ακτογραμμή, ασφάλεια πτήσεων και βάθος. Στο παράδειγμα αυτό γίνεται εμφανές ότι η επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων δεν είναι ανεξάρτητη από την περιοχή μελέτης, αλλά καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της. Στην προκειμένη περίπτωση φαίνεται ότι δίνεται ιδιαίτερη σημασία στους σεισμούς και τους τυφώνες, που αποτελούν ένα σύνηθες φαινόμενο στην συγκεκριμένη περιοχή.

Τέλος, μία πολύ σημαντική ενέργεια για την χωροθέτηση Θ.Α.Π. στον ελληνικό θαλάσσιο χώρο υπήρξε η πρόταση του Υ.Π.ΕΝ για προκαταρκτική χωροθέτηση Θ.Α.Π. σε προεπιλεγμένες θέσεις για την 1<sup>η</sup> φάση χωροθέτησης Θ.Α.Π. με χρονικό ορίζοντα 2012 - 2017. Οι προτεινόμενες θέσεις αφορούσαν μόνο στις εδρασμένες στον πυθμένα ανεμογεννήτριες και επιλέχθηκαν βάσει κριτηρίων που απέβλεπαν:

- στον αποκλεισμό περιοχών, όπου η ανάπτυξη θαλάσσιων πάρκων είναι ασύμβατη με άλλες χρήσεις και παραμένοντας εντός των έξι ναυτικών μιλίων.
- στον αποκλεισμό περιοχών με βάθη μεγαλύτερα από 50 μέτρα.
- στην αποφυγή θέσεων με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- στην ελαχιστοποίηση της οπτικής όχλησης από τις εγκαταστάσεις.
- 

Βάσει των παραπάνω κριτηρίων επιλέχθηκαν οι παρακάτω περιοχές:

- Άη Στράτης
- Αλεξανδρούπολης
- Θάσος
- Κάρπαθος
- Κέρκυρα
- Κρυονέρι
- Κύμη
- Λευκάδα
- Λήμνος
- Πεταλιοί

- Σαμοθράκη
- Φανάρι

Για τις συγκεκριμένες θέσεις ακολούθησε η «Εκπόνηση Μελετών για τη Στρατηγική Περιβαλλοντική Εκτίμηση του Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων - MIS 375406». Στη ουσία πρόκειται για ένα έργο που χρηματοδοτήθηκε από το ΕΣΠΑ 2007-2013 και αφορούσε στην εκπόνηση μελετών για τις προεπιλεγμένες από το Υ.Π.ΕΝ περιοχές με σκοπό τον καθορισμό της θέσης των Θ.Α.Π., της θαλάσσιας έκτασης που καταλαμβάνουν και της μέγιστης εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος τους. Οι εργασίες εκπονήθηκαν από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ) και από την εταιρεία ENVECO. Στις εργασίες αυτές διερευνήθηκε η περαιτέρω χωρική εξειδίκευση των περιοχών εγκατάστασης ανεμογεννητριών, με βάση τα κριτήρια θέασης και επιρροής στο τοπίο, την πυκνότητα των ανεμογεννητριών και την παραγόμενη ισχύ, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη σχέση των προτεινόμενων έργων με άλλες γειτνιάζουσες χρήσεις.

Στην ενότητα που ακολουθεί, επιχειρείται μία κριτική στα παραπάνω παραδείγματα της βιβλιογραφίας, με έμφαση στην χρησιμότητά τους στην παρούσα εργασία και στα ερωτήματα που προκύπτουν.

#### 1.4 ΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΝΩ ΣΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

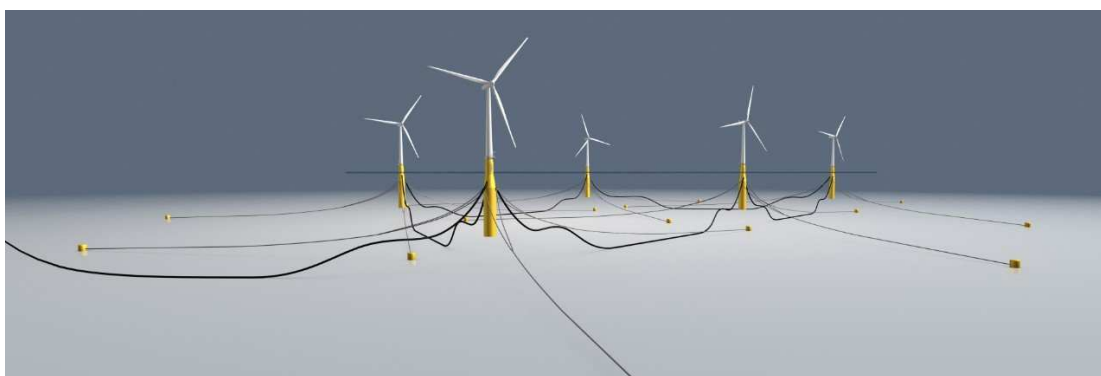
Από την επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας προκύπτουν αρκετές χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν στην μεθοδολογία που έχουν χρησιμοποιήσει οι διάφοροι αναλυτές, στα κριτήρια που έχουν επιλέξει και στις πηγές απ' όπου έχουν αντλήσει τα δεδομένα της εργασίας. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια ζητήματα που είτε αφορούν στην συγκεκριμένη περιοχή που έχει οριστεί ως περιοχή μελέτης στην παρούσα εργασία, και δεν καλύπτονται επαρκώς από την μέχρι τώρα βιβλιογραφία, είτε δεν συμπεριλαμβάνουν τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας, με τις όποιες αλλαγές αυτές επιφέρουν στο πεδίο της έρευνας. Με την παρούσα εργασία επιχειρείται μία προσέγγιση του θέματος χωροθέτησης Θ.Α.Π., αξιοποιώντας τα

ευρήματα της μέχρι τώρα βιβλιογραφίας στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης με μία ταυτόχρονη προσπάθεια κάλυψης ορισμένων «κενών» ή αμφισβητούμενων ζητημάτων που έρχονται στην επιφάνεια ύστερα από προσωπική μελέτη και έρευνα πάνω στη σχετική βιβλιογραφία. Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται τα ζητήματα αυτά και αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο αυτά αντιμετωπίζονται στην παρούσα εργασία.

Από τις μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι περισσότερες αφορούν σε κατασκευές που θεμελιώνονται στον πυθμένα σε βάθος που δεν ξεπερνάει τα 70m. Ειδικότερα, στο άρθρο *A Multicriteria Approach to Evaluate Offshore Wind Farms Siting in Greece*, (Vagiona & Karanikolas, 2012) αποκλείονται οι περιοχές με βάθος μεγαλύτερο των 30m. Επίσης, οι προεπιλεγμένες από το Υ.Π.ΕΝ θέσεις χωροθέτησης που αφορούν στην 1η φάση του προγράμματος των Θ.Α.Π. (2012-2017) συμμετέχουν μόνο οι περιοχές με βάθος μέχρι 50m περιλαμβάνοντας τις κατασκευές που πακτώνονται στον πυθμένα και αποκλείοντας τις πλωτές ανεμογεννήτριες καθώς η τεχνολογία αυτή δεν κρίθηκε αρκετά ώριμη. Ειδικότερα, στο δελτίο τύπου αναφέρεται ότι οι πλωτές λύσεις θα εξεταστούν σε πιθανή δεύτερη φάση του προγράμματος (2017-2025), εφόσον αυτό κριθεί σκόπιμο. Επιπλέον, στο άρθρο *Greening offshore wind with the Smart Wind Chart evaluation tool* (Soukissian et al., 2016) εξετάζονται οι περιοχές με βάθος έως 70m αποκλείοντας τα μεγαλύτερα βάθη για τα οποία ενδείκνυνται κυρίως πλωτές κατασκευές. Το κείμενο *Site Selection Analysis For Offshore Combined Resource Projects in Europe* (Murphy, Lynch, Serri, Airdoldi & Lopes, 2011), παρόλο που περιλαμβάνει στην ανάλυση περιοχές με βάθος μεγαλύτερο των 500m, η μεγάλη κλίμακα της περιοχής μελέτης που περιλαμβάνει τμήμα του Ατλαντικού, τη Βόρεια, τη Βαλτική, τη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα, οδηγεί αναπόφευκτα σε μία υπεραπλουστευμένη διαδικασία αποκλεισμού τεράστιων περιοχών προκειμένου να εστιάσει σε συγκεκριμένα, μικρότερα τμήματα της περιοχής μελέτης.

Ωστόσο, η τεχνολογία των πλωτών κατασκευών εξελίσσεται συνεχώς, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εγκατάσταση σε ακόμη μεγαλύτερα βάθη, μακριά από τις ακτές, αντιμετωπίζοντας ταυτόχρονα ακόμα μεγαλύτερες προκλήσεις, όπως είναι το μεγάλο ύψος κύματος, η σύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.α. Μέχρι πρότινος οι πλωτές ανεμογεννήτριες μπορούσαν να εγκατασταθούν σε βάθη έως και 200 - 250m. Με τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των πλωτών ανεμογεννητριών, το όριο του μέγιστου επιτρεπόμενου βάθους εγκατάστασης έχει πλέον φτάσει στα 700m, γεγονός που αυξάνει κατά πολύ τις υποψήφιες περιοχές χωροθέτησης Θ.Α.Π. Το παράδειγμα του Hywind Project στο Peterhead της Σκωτίας, που παρουσιάστηκε αναλυτικότερα παραπάνω, αποδεικνύει τη νέα τάση στην κατηγορία των Θ.Α.Π. Στην εικόνα 14 που ακολουθεί

Συγκεκριμένα, τον Ιούλιο του 2017 ολοκληρώθηκε το πρώτο πλωτό Θ.Α.Π. κοντά στο Πίτερχεντ της Σκωτίας. Οι πλωτές ανεμογεννήτριες που κατασκεύασε η εταιρία Statoil, βασίζονται στην τεχνολογία των πλωτών πλατφορμών εξόρυξης ορυκτών καυσίμων που ενδείκνυται για μεγάλα βάθη, έως και 700m. Στην εικόνα 14 που ακολουθεί φαίνεται η διάταξη των πλωτών ανεμογεννητριών στο Peterhead. Διακρίνονται τα καλώδια και οι αγκυρώσεις στον πυθμένα, καθώς επίσης και το καλώδιο του δικτύου μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



εικόνα 14 (πηγή:

<https://www.statoil.com/content/statoil/en/news/archive/2015/11/03/downloads/Presentation%20-%20Building%20the%20world%27s%20first%20floating%20offshore%20wind%20farm.pdf>)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι συμβατικές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε μικρά βάθη πλησίον της ακτογραμμής, μάλλον δεν αποτελούν την βέλτιστη λύση για τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο που χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μεγάλα βάθη και ιδιαίτερα ανεπτυγμένο παράκτιο τουρισμό. Ειδικά όταν

η αναζήτηση περιοχών για την εγκατάσταση Θ.Α.Π. αφορά μεγάλης κλίμακας έργα στα πλαίσια ενός εθνικού στρατηγικού σχεδιασμού, θα πρέπει να ακολουθηθεί η βέλτιστη λύση που ανταποκρίνεται επαρκώς στο μέγεθος των προτεινόμενων έργων και στα χαρακτηριστικά του τοπίου. Η λύση αυτή δεν θα μπορούσε να είναι άλλη από τις πλωτές ανεμογεννήτριες. Με την παρούσα εργασία επιχειρείται να συμπεριληφθεί στην μελέτη η νέα τεχνολογία των πλωτών ανεμογεννητριών, χωρίς ταυτόχρονα να αποκλείονται και οι συμβατικές, υπεράκτιες ανεμογεννήτριες για τις περιοχές που αυτές κρίνονται κατάλληλες. Με τον τρόπο αυτό οι περιοχές που θα προκύψουν από την ανάλυση που ακολουθεί ως κατάλληλες για χωροθέτηση Θ.Α.Π., θα είναι αρκετά πιο διευρυμένες από αυτές που έχουν παρουσιαστεί στη μέχρι τώρα βιβλιογραφία, συμπεριλαμβάνοντας ακόμη και περιοχές με βάθος μέχρι και τα 700 m, που είναι το μέγιστο βάθος εγκατάστασης πλωτών κατασκευών, σύμφωνα με τις τελευταίες εξελίξεις στο χώρο αυτό.

Πέρα από τα ζητήματα που αφορούν στα μέγιστα επιτρεπόμενα βάθη εγκατάστασης, η παρούσα εργασία διαφοροποιείται και στα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προαναφερθείσες μελέτες έχοντας σαν βασική πηγή δεδομένων χάρτες του Ευρωπαϊκού Δικτύου Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO) βασίζονται σε ένα απλουστευμένο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας που αφορά σε όλη την Ευρώπη. Αντίθετα, στην παρούσα εργασία δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο κριτήριο της απόστασης από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας κυρίως δεδομένα από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), που αφορούν στο μελλοντικό πρόγραμμα ανάπτυξης του συστήματος μεταφοράς ενέργειας, παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη λεπτομέρεια ενώ παράλληλα περιλαμβάνουν και τις μελλοντικές υποθαλάσσιες διασυνδέσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την ανάπτυξη Θ.Α.Π.. Ειδικότερα, οι υποθαλάσσιες διασυνδέσεις όπως είναι οι διασυνδέσεις στο Αιγαίο ή η «Μεγάλη Σύνδεση» όπως χαρακτηριστικά ονομάζεται η σύνδεση της Κρήτης με το σύστημα μεταφοράς ενέργειας του ηπειρωτικού χώρου, είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς βοηθούν στην ένταξη περισσότερων περιοχών στο σύνολο των υποψήφιων περιοχών για ανάπτυξη Θ.Α.Π., καθιστώντας δυνατή την απορρόφηση της

παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που διαφορετικά δεν θα μπορούσε να διοχετευθεί στο σύστημα.

Ένα άλλο σημαντικό θέμα που δεν λαμβάνεται υπόψη στην πλειοψηφία των μελετών που παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι η τήρηση των κανόνων του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΠΧΣΑΑ) για τις Α.Π.Ε. (ΦΕΚ 2464 Β 03.12.2008). Με εξαίρεση το άρθρο με τίτλο A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece (Latinopoulos & Kehagia, 2015), που αφορά στην χωροθέτηση χερσαίων αιολικών πάρκων στην περιοχή της Κοζάνης, στο οποίο λαμβάνονται υπόψη οι κανόνες χωροθέτησης του ΕΠΧΣΑΑ, οι υπόλοιπες μελέτες δεν συμπεριλαμβάνουν αντίστοιχους κανόνες στην έρευνα. Ειδικότερα, οι κανόνες του ΕΠΧΣΑΑ ορίζουν τις ελάχιστες επιτρεπόμενες αποστάσεις αιολικών πάρκων από διάφορες χρήσεις γης, μνημεία, περιοχές τουριστικής ανάπτυξης κ.α. Ορίζουν επίσης και αντίστοιχες αποστάσεις και για τα Θ.Α.Π., όπως απόσταση από ακτές κολύμβησης, μνημεία κ.α. Εφόσον η περιοχή μελέτης είναι ο θαλάσσιος χώρος που περιβάλλεται από ελληνικές ακτές ή βρίσκεται πλησίον αυτών, είναι ιδιαίτερα σημαντική η τήρηση των παραπάνω κανόνων στην διαμόρφωση της τελικής μάσκας, για την οποία εξετάζονται τα διάφορα κριτήρια.

Ένα ακόμη ζήτημα που προκύπτει από την μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, σχετίζεται με μία διφορούμενη μεταβλητή η οποία συμμετέχει στις περισσότερες μελέτες ως κριτήριο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Πρόκειται για το κριτήριο της απόστασης από την ακτογραμμή, το οποίο άλλοτε εμφανίζεται με θετική και άλλοτε με αρνητική χροιά. Η μικρή απόσταση από την ακτογραμμή, μπορεί να αποτελεί θετικό χαρακτηριστικό για λόγους που ευνοούν την επισκεψιμότητα του προτεινόμενου έργου και την μεταφορά των υλικών. Ωστόσο, οι λειτουργίες αυτές, υπερκαλύπτονται από το κριτήριο της απόστασης από λιμάνια. Από την άλλη, η μικρή απόσταση από την ακτογραμμή σχετίζεται με θέματα όπως είναι η οπτική όχληση και η αλλοίωση του χαρακτήρα του τοπίου, συνεπώς στην περίπτωση αυτή το συγκεκριμένο κριτήριο εμφανίζεται με αρνητική χροιά. Στην παρούσα εργασία, το κριτήριο αυτό δεν χρησιμοποιείται για την αποφυγή πιθανών σφαλμάτων που σχετίζονται με την διφορούμενη φύση του κριτηρίου. Αντ' αυτού, χρησιμοποιείται το



κριτήριο της απόστασης από λιμάνια που εκφράζει με ξεκάθαρο τρόπο την ευκολία ή την δυσκολία ως προς την επισκεψιμότητα και την μεταφορά υλικών.

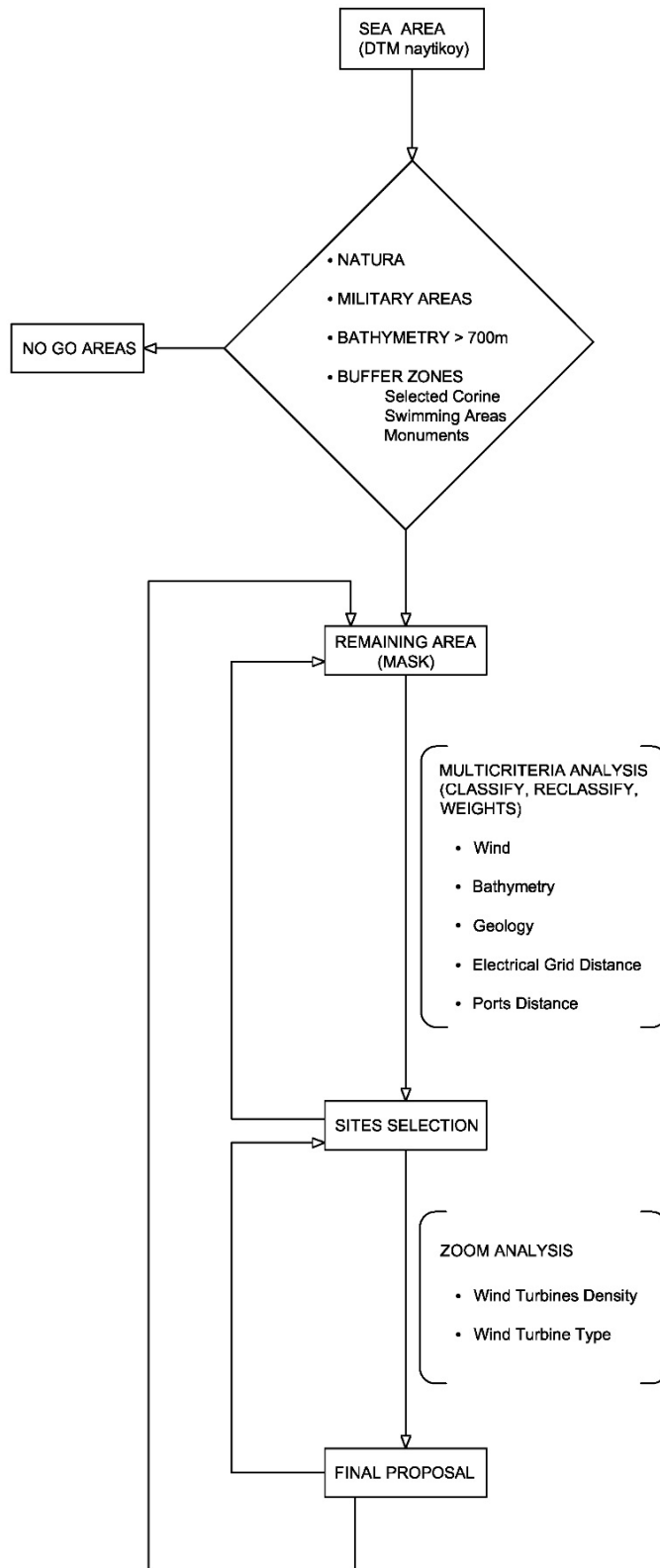
Επιπλέον, στην παρούσα εργασία αναζητούνται περιοχές που είναι άνω ενός συγκεκριμένου εμβαδού, ικανού να συμπεριλάβει ένα σημαντικό αριθμό υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Κι αυτό γιατί τέτοιου είδους επενδύσεις, με υψηλό κόστος και μεγάλο χρόνο κατασκευής, συμφέρει περισσότερο να πραγματοποιούνται σε μεγάλες δομές απ' ό,τι μεμονωμένα. Το ελάχιστο εμβαδό των περιοχών που θα επιλεγούν ως τελικές προτάσεις εξαρτάται από την πυκνότητα χωροθέτησης των ανεμογεννητριών.

Συνοψίζοντας, οι πληροφορίες, η μεθοδολογία και τα επιμέρους στοιχεία της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε αξιοποιούνται εντός των ορίων της περιοχής μελέτης για την ανάδειξη των κατάλληλων περιοχών για ανάπτυξη Θ.Α.Π. Ταυτόχρονα, στοιχεία της βιβλιογραφίας, τα οποία είναι αμφισβητούμενα, ελλιπή ή δεν ανταποκρίνονται στο παρόν, εξετάζονται και αναλύονται εκ νέου στην παρούσα εργασία. Ειδικότερα, η νέα τεχνολογία των πλωτών ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη, τα περισσότερα ακριβή δεδομένα του δικτύου διασύνδεσης, η νομοθεσία για τις ελάχιστες τηρούμενες αποστάσεις και η ελάχιστη επιθυμητή επιφάνεια των περιοχών που αναζητούνται, είναι τα κύρια σημεία διαφοροποίησης της παρούσας εργασίας σε σχέση με της βιβλιογραφία που έχει μελετηθεί.

## 2.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο διάγραμμα που φαίνεται αριστερά, αποτυπώνεται η γενική δομή της παρούσας εργασίας. Το ψηφιακό μοντέλο βυθού της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού (ΠΟΝ) χρησιμοποιείται για την οριοθέτηση της περιοχής μελέτης. Ουσιαστικά πρόκειται για την περιοχή εκπομπής προαγγελιών των παράκτιων ελληνικών σταθμών. Για την συγκεκριμένη περιοχή δίνονται επίσης από την Υδρογραφική Υπηρεσία του ΠΟΝ οι περιοχές στρατιωτικών ασκήσεων, που όπως θα φανεί και στην συνέχεια, είναι καθοριστικές για την δημιουργία της τελικής μάσκας. Αφαιρώντας από την αρχική επιφάνεια περιοχές που αποκλείονται από την εγκατάσταση Θ.Α.Π. βάσει νομοθεσίας, διαμορφώνεται η επιφάνεια – μάσκα για την οποία θα εξεταστούν οι τιμές των σχετικών μεταβλητών.



Διάγραμμα 1

Ως περιοχές αποκλεισμού ορίζονται: α) οι περιοχές NATURA, β) οι περιοχές στρατιωτικών ασκήσεων, γ) οι περιοχές με βάθος μεγαλύτερο των 700m, στις οποίες δεν είναι δυνατή ή είναι εξαιρετικά δύσκολη προς το παρόν η εγκατάσταση πλωτών ανεμογεννητριών και τέλος δ) οι περιοχές που δημιουργούνται ως buffer zones γύρω από αστικές και ημιαστικές περιοχές, από ακτές κολύμβησης και από Μνημεία Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO.

Στη συνέχεια, για τον εναπομείναντα χώρο εξετάζονται οι τιμές των 5 μεταβλητών που έχουν επιλεγεί βάσει βιβλιογραφίας ως κριτήρια για την ανάλυση που ακολουθεί. Αυτές είναι: α) η ταχύτητα του ανέμου, β) το βάθος γ) η γεωλογία του βυθού δ) η απόσταση από τους υποσταθμούς του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και στ) η απόσταση από μεσαία και μεγάλα λιμάνια. Περαιτέρω ανάλυση των επιλεγμένων κριτηρίων γίνεται στο υποκεφάλαιο 2.2, που ακολουθεί.

Αφού δημιουργηθούν τα διάφορα κριτήρια και απεικονιστούν ως διαφορετικά επίπεδα σε θεματικούς χάρτες, ομοιογενοποιούνται προκειμένου να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση. Η ομοιογενοποίηση αυτή πραγματοποιείται μέσα από μία διαδικασία ταξινόμησης και επαναταξινόμησης, που παρουσιάζεται αναλυτικότερα παρακάτω. Ακολουθεί το επόμενο βήμα της σύνθεσης των διαφόρων επιπέδων των επαναταξινομημένων κριτηρίων, η οποία πραγματοποιείται πρώτον, με την μέθοδο της σύνταξης απλών κανόνων και δεύτερον, με την μέθοδο της A.H.P.. Στην συνέχεια πραγματοποιείται ο έλεγχος ευαισθησίας του μοντέλου της A.H.P., προκειμένου να δοκιμασθεί η ευστάθειά του και η ορθότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση και η σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραπάνω μεθόδων, μέσα από μία λεπτομερέστερη μελέτη των επικρατέστερων περιοχών ως προς την επιφάνεια που καταλαμβάνουν, τις εγγύτερες χρήσεις και τον χαρακτήρα του τοπίου. Η ανάλυση αυτή θα οδηγήσει και στο τελικό αποτέλεσμα που θα αφορά στην τελική πρόταση χωροθέτησης Θ.Α.Π.

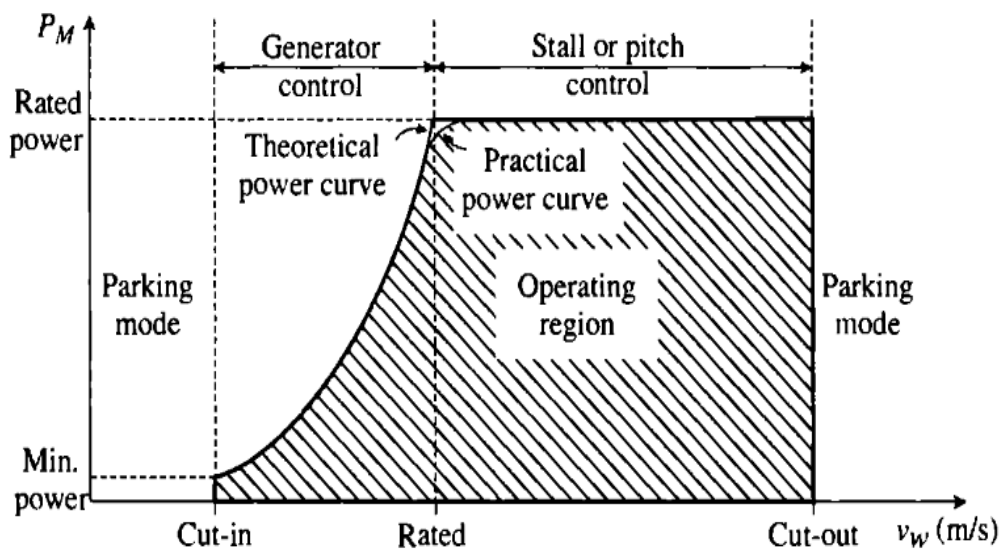
## 2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Όπως προαναφέρθηκε, η ανάλυση βασίζεται στα εξής 5 κριτήρια: ταχύτητα ανέμου, βάθος, γεωλογία βυθού, απόσταση από λιμάνια και απόσταση από υποσταθμούς του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένας από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες της στην λειτουργία των ανεμογεννητριών. Όπως προκύπτει από τον μαθηματικό τύπο που ακολουθεί, η ισχύς μιας αέριας δέσμης  $P_{air}$  είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου.

$$P_{air} = 0.5 \cdot \text{airdensity} \cdot A \cdot V^3$$

Όπου  $\text{airdensity}$ , η πυκνότητα του αέρα, όπου  $A$ , η επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας και όπου  $V$  η ταχύτητα του ανέμου. Συνεπώς, όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, αυξάνεται και η παραγόμενη ισχύς.

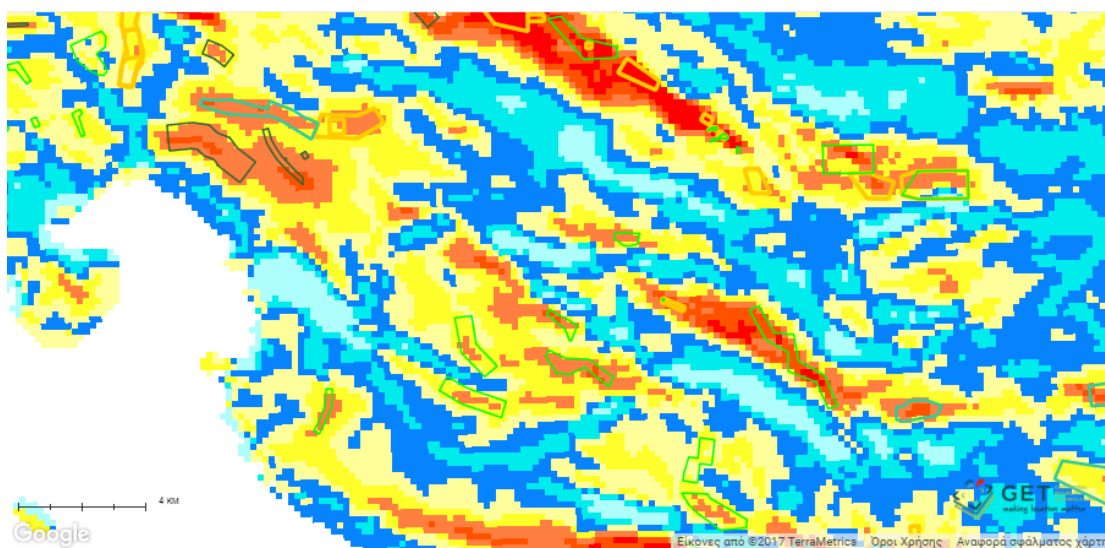


Διάγραμμα 2

(πηγή: <http://slideplayer.gr/slide/11382849/> )

Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει την καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας. Όπως φαίνεται κι από το διαγραμμισμένο τμήμα, υπάρχει μία συγκεκριμένη περιοχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, που βρίσκεται μεταξύ δύο τιμών ταχυτήτων του ανέμου. Στις πολύ χαμηλές ταχύτητες, η μηχανή δεν λειτουργεί, αλλά και στις εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες, η μηχανή βγαίνει εκτός λειτουργίας. Επίσης, από μία συγκεκριμένη ταχύτητα και πάνω, η ισχύς της μηχανής παραμένει σταθερή.

Ενδεικτικά, μία καλή ταχύτητα ανέμου για παραγωγή ενέργειας από αιολικά πάρκα ξεκινάει από τα 8m/sec. Αυτό γίνεται κατανοητό παρατηρώντας και τις περιοχές που συγκεντρώνουν την πλειοψηφία των αιτήσεων για κατασκευή αιολικών πάρκων στον γεωπληροφοριακό χάρτη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.). Η εικόνα που ακολουθεί προέρχεται από τον γεωπληροφοριακό χάρτη της Ρ.Α.Ε. και απεικονίζει τα πολύγωνα αιολικών πάρκων στην περιοχή της Βοιωτίας, που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια αδειοδότησης σε υπόβαθρο του αιολικό δυναμικού του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑ.Π.Ε.).



εικόνα 15 (<http://www.rae.gr/geo/> )

Το συγκεκριμένο υπόβαθρο έχει δημιουργηθεί από εκτιμήσεις του ΚΑ.Π.Ε. που βασίζονται σε δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών. Στην εικόνα φαίνεται, ότι οι περιοχές που εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα και οι οποίες αντιστοιχούν σε ταχύτητα ανέμου ίση και μεγαλύτερη των 8m/sec, είναι και οι περισσότερο ελκυστικές για χωροθέτηση αιολικών πάρκων.

Φυσικά, και στον θαλάσσιο χώρο δεν θα μπορούσε να ισχύει κάτι διαφορετικό, εφόσον ο τρόπος λειτουργίας των ανεμογεννητριών και η απαιτούμενη πηγή ενέργειας παραμένουν ίδιες. Στο κείμενο Site Selection Analysis For Offshore Combined Resource Projects in Europe (Murphy, Lynch, Serri, Airdoldi & Lopes, 2011) φαίνεται επίσης ότι οι ταχύτητες ανέμου άνω των 8m/sec είναι και οι περισσότερο προτιμητέες στην επιλογή περιοχών για χωροθέτηση Θ.Α.Π.

Το επόμενο κριτήριο που συμμετέχει στην ανάλυση είναι το βάθος της περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου. Το κριτήριο αυτό είναι καθοριστικό στην διαδικασία χωροθέτησης, τον τύπο των ανεμογεννητριών ανάλογα με τον τρόπο θεμελίωσης, άρα και το κόστος κατασκευής. Άλλωστε, η επιδίωξη του να γίνει εφικτή η εγκατάσταση Θ.Α.Π. σε όλο και μεγαλύτερα βάθη, είναι η βασική κινητήρια δύναμη της έρευνας και της εξέλιξης στον τομέα των υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Ήδη, ένα πρόσφατο επίτευγμα της τεχνολογίας των πλωτών ανεμογεννητριών για μεγάλα βάθη, αποτέλεσε ένα κομβικό σημείο στην εξέλιξη των Θ.Α.Π. Ο λόγος για το πρώτο πλωτό Θ.Α.Π. κοντά στο Πίτερχεντ της Σκωτίας που κατασκεύασε η εταιρία Statoil τον Ιούλιο του 2017. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι συγκεκριμένες πλωτές ανεμογεννήτριες που βασίζονται στην τεχνολογία των πλωτών πλατφορμών εξόρυξης ορυκτών καυσίμων, ουσιαστικά επέκτειναν το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο βάθους των πλωτών ανεμογεννητριών από τα 200-250m στα 700m. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνονται κατά πολύ οι υποψήφιες περιοχές χωροθέτησης Θ.Α.Π.

Το τρίτο κριτήριο που είναι η απόσταση από λιμάνια, είναι ένα από τα δύο κριτήρια εγγύτητας που χρησιμοποιούνται στην μελέτη. Η εγγύτητα σε μεσαία και μεγάλα λιμάνια σημαίνει την ευκολία μεταφοράς των απαιτούμενων υλικών στον χώρο εγκατάστασης, αλλά και την ευκολία όσον αφορά στην επισκεψιμότητα του Θ.Α.Π. για επίβλεψη και επιδιόρθωση τυχών βλαβών. Συνήθως, η συναρμολόγηση των τμημάτων της ανεμογεννήτριας πραγματοποιείται στην περιοχή του λιμανιού κι έπειτα μεταφέρονται στον χώρο εγκατάστασης. Ειδικότερα, στην περίπτωση των πλωτών κατασκευών, οι ανεμογεννήτριες



συναρμολογούνται εξ ολοκλήρου στην ξηρά και μεταφέρονται έτοιμες στον χώρο εγκατάστασης, με τη βοήθεια ειδικών ρυμουλκών πλοίων. Στην εικόνα 16 φαίνεται η μεταφορά ανεμογεννήτριας με ρυμουλκό πλοίο, στον χώρο εγκατάστασης.

εικόνα 16 (Πηγή:

[http://www.marinelog.com/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=26727:france%E2%80%99s-first-wind-farm-to-feature-floating-wind-turbines&Itemid=224](http://www.marinelog.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=26727:france%E2%80%99s-first-wind-farm-to-feature-floating-wind-turbines&Itemid=224) )

Το τέταρτο κριτήριο, είναι το δεύτερο κριτήριο εγγύτητας, και αφορά στην απόσταση από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η σύνδεση του αιολικού πάρκου με τον δίκτυο, αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα στην χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου, τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα. Με την σύνδεση του αιολικού πάρκου στο δίκτυο, κατοχυρώνεται η δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας. Ειδικότερα, η σύνδεση των αιολικών πάρκων με το υφιστάμενο δίκτυο περιλαμβάνει τη μετατροπή του δικτύου χαμηλής τάσης που συνδέει τις ανεμογεννήτριες μεταξύ τους, σε δίκτυο μέσης τάσης, το οποίο συνδέει το αιολικό πάρκο με έναν νέο υποσταθμό που δημιουργείται για τις ανάγκες τους πάρκου. Από τον νέο υποσταθμό έως τον υφιστάμενο υποσταθμό του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, μεσολαβεί το δίκτυο υψηλής τάσης, το οποίο ενώνεται με το δίκτυο υψηλής τάσης της ηπειρωτικής χώρας. Όσο μικρότερα είναι τα μήκη των καλωδίων μεταξύ των διαφόρων συνδέσεων, τόσο μικρότερο είναι και το κόστος κατασκευής. Συνεπώς, η απόσταση από τους υφιστάμενους υποσταθμούς του ηπειρωτικού συστήματος είναι καθοριστικής σημασίας για την δυνατότητα σύνδεσης και για το κόστος της κατασκευής του ενδιάμεσου δικτύου που θα ενώνει το προτεινόμενο αιολικό πάρκο με υφιστάμενο υποσταθμό. Η σύνδεση του αιολικού πάρκου με το δίκτυο είναι αναγκαία, καθότι οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε., δεν έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Συνεπώς, η ενέργεια αυτή πρέπει να διοχετεύεται κατευθείαν στο σύστημα, ειδάλλως χάνεται.

Το πέμπτο και τελευταίο κριτήριο αφορά στον γεωλογικό τύπο του βυθού. Τα ιζήματα του βυθού, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων που τα αποτελούν κατατάσσονται σε επιμέρους κατηγορίες. Στη βιβλιογραφία που μελετήθηκε, τα ιζήματα του βυθού διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα αμμώδη και τα αργιλώδη. Πέρα των ιζημάτων, υπάρχουν και τα βραχώδη εδάφη, που απαντώνται κυρίως πλησίον της ακτογραμμής. Για τα Θ.Α.Π., όπως προκύπτει και από την σχετική βιβλιογραφία, πρώτα σε προτίμηση έρχονται τα αμμώδη εδάφη. Ακολουθούν τα αργιλώδη και τέλος τα βραχώδη. Η συγκεκριμένη σειρά προτίμησης αφορά στην ευκολία θεμελίωσης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών στον πυθμένα.

## 2.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Η παρούσα μελέτη βασίζεται σε ορισμένες παραδοχές, οι οποίες εξυπηρετούν την διεκπεραίωση της έρευνας.

Η πρώτη παραδοχή αφορά στα όρια της περιοχής μελέτης, τα οποία δεν αφορούν τα εθνικά ύδατα της χώρας, την Α.Ο.Ζ. ή γενικά όρια γεωπολιτικά. Η συγκεκριμένη μελέτη αναζητά την βέλτιστη λύση ή λύσεις στο θέμα της αναζήτησης των καταλληλότερων περιοχών για την υποδοχή Θ.Α.Π. πέρα από εθνικά συμφέροντα και διεκδικήσεις στον θαλάσσιο χώρο, μόνο και μόνο βάσει των φυσικογεωγραφικών χαρακτηριστικών, των υποδομών και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στην υπό μελέτη περιοχή. Για το λόγο αυτό, ως αρχική επιφάνεια μελέτης έχει οριστεί το DTM της υδρογραφικής υπηρεσίας του ΠΟΝ, καθώς εξυπηρετεί στην εύρεση και άλλων δεδομένων, όπως είναι οι στρατιωτικές περιοχές που είναι σαφώς προσδιορισμένες για την συγκεκριμένη επιφάνεια από την Υδρογραφική Υπηρεσία του ΠΟΝ.

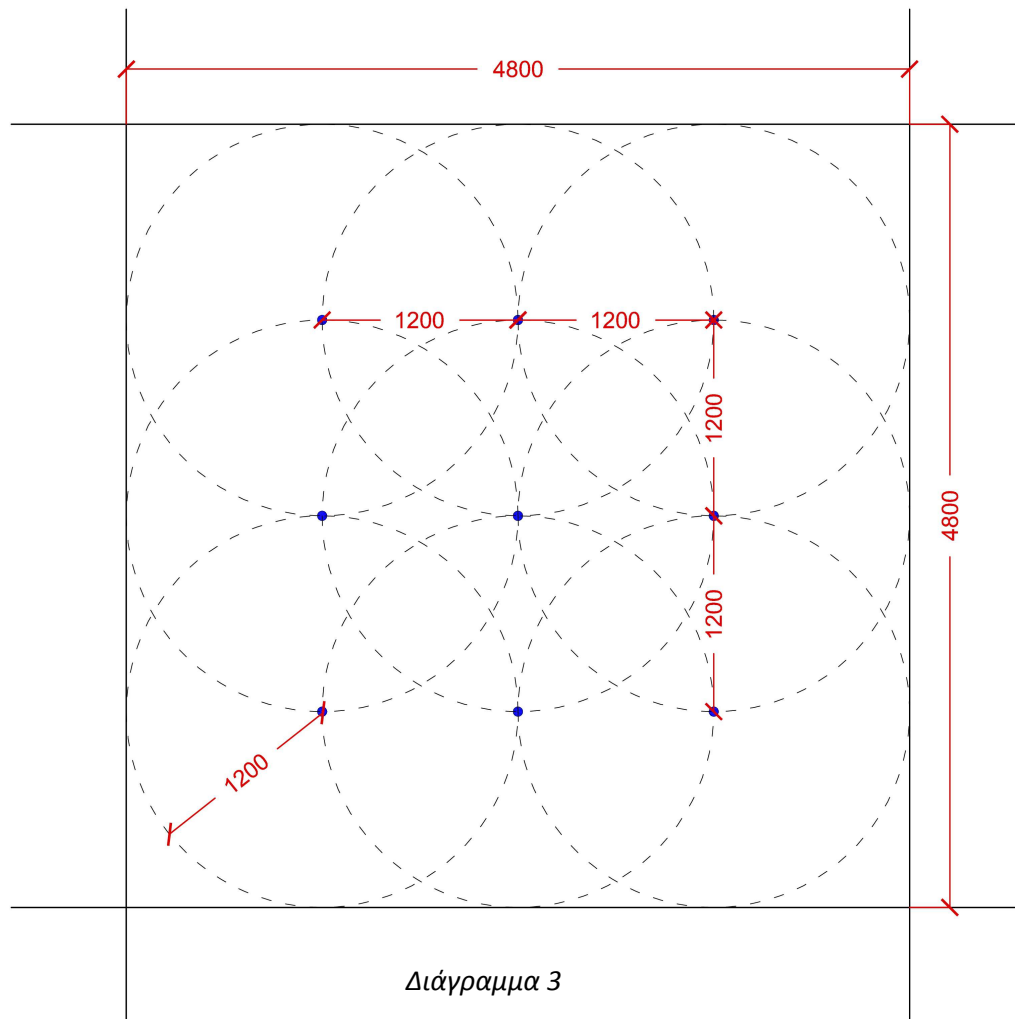
Η δεύτερη παραδοχή αφορά στα διαθέσιμα δεδομένα και στον βαθμό λεπτομέρειάς τους. Όπως είναι εμφανές και από αντίστοιχα παραδείγματα της βιβλιογραφίας, η χωροθέτηση Θ.Α.Π. είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο ζήτημα που εξαρτάται από ένα πλήθος μεταβλητών, για τις οποίες δυστυχώς δεν είναι πάντα δυνατή η πρόσβαση σε σχετικά δεδομένα ή σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει έλλειψη δεδομένων. Στα δεδομένα της παρούσας εργασίας δεν συμπεριλαμβάνονται οι επιβεβαιωμένες γραμμές ναυσιπλοΐας, οι υποθαλάσσιες διελεύσεις καλωδίων, οι σημαντικές περιοχές αλιείας, οι διάδρομοι μεταναστευτικών πουλιών κ.α., που αποτελούν σημαντικές μεταβλητές της χωροθέτησης Θ.Α.Π. κι αυτό γιατί δεν ήταν δυνατή η πρόσβαση στα συγκεκριμένα δεδομένα. Επιπλέον, τα διάφορα δεδομένα που χρησιμοποιούνται δεν παρουσιάζουν τον ίδιο βαθμό λεπτομέρειας. Για παράδειγμα, οι τιμές του αιολικού δυναμικού δίνονται σε ανάλυση 5.000m X 5.000m, ενώ το βάθος σε 200m X 200m. Επιπλέον, άλλα αρχεία, όπως το διανυσματικό αρχείο Corine, παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη λεπτομέρεια σε αντίθεση με άλλα δεδομένα. Ο συνδυασμός διαφορετικής ανάλυσης δεδομένων μπορεί να δημιουργήσει σφάλματα και ανακριβή αποτελέσματα ειδικά όσο πλησιάζουμε, σε μία πιο λεπτομερειακή κλίμακα.

Η τρίτη παραδοχή αφορά στη κλίμακα της μελέτης. Πρόκειται για μία μελέτη μεγάλης κλίμακας, στα πλαίσια ενός Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού, στον οποίο δεν ενδιαφέρει τόσο η λεπτομερής οριοθέτηση όλων των περιοχών που συγκεντρώνουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά, όσο η ανάδειξη περιοχών ικανών να συγκεντρώσουν μεγάλες δομές Θ.Α.Π..



Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το τελικό αποτέλεσμα θα αφορά κυρίως στις μεγαλύτερες εκτάσεις που θα προκύψουν από την εργασία, οι οποίες θα αντιστοιχούν και σε μία σχετική πυκνότητα ανεμογεννητριών ανά αιολικό πάρκο. Συγκεκριμένα, η παραδοχή αυτή ορίζει ως ιδανικές περιοχές αυτές που θα καταλαμβάνουν επιφάνεια ικανή να δεχτεί τουλάχιστον 9 ανεμογεννήτριες, σε μία συμμετρική διάταξη 3Χ3. Ο αριθμός αυτός που δίνεται τυχαία, ανταποκρίνεται σε ένα μεσαίου μεγέθους αιολικό πάρκο και σε μία συμμετρική δομή. Για τα Θ.Α.Π., ως ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών σύμφωνα με εκτιμήσεις του Υ.Π.ΕΝ για την προκαταρκτική χωροθέτηση Θ.Α.Π. ορίζεται η απόσταση  $8D \times 8D$ , όπου  $D$  η διάμετρος της πτερωτής της ανεμογεννήτριας. Η απόσταση αυτή σχετίζεται με την λειτουργία και την απόδοση των ανεμογεννητριών, την ροή του ανέμου από τη μία ανεμογεννήτρια στην άλλη και την αποφυγή φαινομένων «σκίασης» του ανέμου. Με τον όρο «σκίαση», εννοείται το φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται μείωση της έντασης του ανέμου, στο πίσω της πτερωτής, επηρεάζοντας την πλησιέστερη προς αυτή ανεμογεννήτρια. Για το λόγο αυτό ορίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση μεταξύ ανεμογεννητριών, κατά την οποία παρατηρούνται οι λιγότερες ενεργειακές απώλειες. Μία μέση τιμή διαμέτρου πτερωτής, που συναντάται σε αρκετά παραδείγματα Θ.Α.Π. είναι τα 150m. Συνεπώς, η απόσταση των  $8XD$  ισούται με 1.200m, άρα το ελάχιστο επιθυμητό εμβαδό των προτεινόμενων περιοχών θα ισούται με  $E = 4.800 \times 4.800 = 23.040.000m^2$ , δηλ. 23.040 στρ.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται μία τυπική, συμμετρική διάταξη 9 ανεμογεννητριών, εντός πλαισίου με διαστάσεις  $4.800m \times 4.800m$ , το οποίο ικανοποιεί την απόσταση των  $8D \times 8D$ . Συνεπώς, οι τελικές προτεινόμενες περιοχές θα αφορούν εκτάσεις με εμβαδό ίσο ή μεγαλύτερο των 23.040 στρ.



## 2.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΠΗΓΕΣ

Στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κανόνα ελεύθερα γεωχωρικά δεδομένα, πλην κάποιων εξαιρέσεων. Επιγραμματικά χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

1. βαθυμετρία
2. αιολικό δυναμικό
3. γεωλογία βυθού
4. ακτογραμμή
5. κάλυψη γης (Corine)
6. λιμάνια

7. δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρ. ενέργειας
8. μνημεία παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς
9. ακτές κολύμβησης
10. προστατευόμενες περιοχές του δικτύου Natura
11. περιοχές στρατιωτικών ασκήσεων.

Για την οριοθέτηση της αρχικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε το DTM της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του ΠΟΝ σε σύστημα WGS '84 και ανάλυση 400m X 400m.

Τα δεδομένα βαθυμετρίας αντλήθηκαν από τον ιστότοπο του European Marine Observation and Data Network (EMODnet). Πρόκειται για δεδομένα μορφής .ascii, σε σύστημα WGS '84 και ανάλυση 200m X 200m. Για την κάλυψη της περιοχής μελέτης χρειάστηκαν τέσσερα αρχεία ascii, τα οποία ενώθηκαν σε ένα ενιαίο raster αρχείο με τη βοήθεια του εργαλείου "Mosaic to New Raster" του λογισμικού πακέτου ArGIS.

Τα δεδομένα αιολικού δυναμικού αποτελούν ευγενική παραχώρηση από το αρχείο του κ. Κάλλου, καθηγητή του Τμ. Φυσικής του ΕΚΠΑ. Πρόκειται για ένα αρχείο τύπου .txt σε format longitude latitude mean, όπου mean εννοείται η μέση τιμή αιολικού δυναμικού σε ύψος 80m από την επιφάνεια της θάλασσας. Το σύστημα αναφοράς του αρχείου είναι ομοίως το WGS '84, ενώ η ανάλυσή του είναι 5.000m X 5.000m. Τα δεδομένα αιολικού δυναμικού που δόθηκαν έχουν παραχθεί με τον τύπο  $P=0.5 \cdot \text{airdensity}_{80m} \cdot (Ws_{80m})^3$  με μονάδα μέτρησης Watt/m<sup>2</sup>, όπου P το αιολικό δυναμικό, όπου  $\text{airdensity}_{80m}$  η πυκνότητα του αέρα σε ύψος 80m από την επιφάνεια της θάλασσας και όπου  $Ws_{80m}$  η μέση ταχύτητα ανέμου σε ύψος 80m. Για τις ανάγκες της εργασίας τα παραπάνω δεδομένα αιολικού δυναμικού μετατράπηκαν σε μέση ταχύτητα ανέμου, καθώς οι μονάδες ταχύτητας είναι πιο εύκολα συγκρίσιμες και επίσης, συναντώνται στο μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας. Το αρχείο τύπου .txt μετατράπηκε σε raster με την μέθοδο παρεμβολής Natural Neighbor, προκειμένου να συμβαδίζει και να συνδυάζεται με τα άλλα δεδομένα raster της εργασίας.

Το raster της γεωλογίας του βυθού δημιουργήθηκε από την ψηφιοποίηση του χάρτη των ιζημάτων της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας που διατίθεται από

το National Oceanic and Atmospheric Administration μέσω της ιστοσελίδας <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ibcm/seds/>. Με την ψηφιοποίηση σχηματίστηκαν τρεις κατηγορίες πυθμένα, οι οποίες απαντώνται και στην σχετική βιβλιογραφία. Αυτές είναι α) άμμος, β) άργιλος, γ) βράχος. Βέβαια, ο συγκεκριμένος χάρτης απεικονίζει την σύσταση του ιζηματογενή βυθού χωρίς να συμπεριλαμβάνει τα βραχώδη εδάφη. Ωστόσο, τα λευκά τμήματα του χάρτη, που δεν εμπεριέχουν καμία πληροφορία σχετικά με το είδος του βυθού, θεωρήθηκαν και ψηφιοποιήθηκαν ως βραχώδη εδάφη, μιας και ως επί των πλείστων εντοπίζονται πλησίον της ακτογραμμής, όπου συχνά οι κλίσεις είναι απότομες και δεν συνηθίζεται να συγκεντρώνουν ιζήματα. Συνεπώς, τα λευκά τμήματα του χάρτη, με την παραπάνω παραδοχή αποτέλεσαν τα βραχώδη εδάφη. Τα υπόλοιπα τμήματα του χάρτη, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων των ιζημάτων κατατάχθηκαν είτε στα αμμώδη είτε στα αργιλώδη ιζήματα.

Τα αρχεία της ακτογραμμής και της κάλυψης γης (CORINE) αντλήθηκαν από τον ιστότοπο του European Environment Agency. Το CORINE συγκεκριμένα χρησιμοποιείται στον καθορισμό των παραθαλάσσιων περιοχών κατοικίας και τουριστικής ανάπτυξης, προκειμένου να εφαρμοστούν τα κριτήρια απόστασης των αερολιμένων από αυτές, όπως ορίζεται στο ΕΠΧΣΑΑ. Ειδικότερα για το CORINE έχουν απομονωθεί οι περιοχές που αντιστοιχούν στους κωδικούς: α) 1.1.1 (Συνεχής αστική οικοδόμηση), β) 1.1.2 (Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση) και γ) 1.2.1 (Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες).

Το αρχείο των λιμανιών δημιουργήθηκε από την ψηφιοποίηση των μεσαίων και των μεγάλων λιμανιών της Ελλάδας και της Τουρκίας, όπως αυτά σημειώνονται στον διαδραστικό χάρτη της ιστοσελίδας <http://www.worldportsource.com/countries.php>

Το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργήθηκε από την ψηφιοποίηση των σημαντικότερων υποσταθμών πλησίον της ακτογραμμής βάσει του χάρτη του εγκεκριμένου προγράμματος ανάπτυξης του ΑΔΜΗΕ με τίτλο: Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας με Χρονικό Ορίζοντα έως το 2023.

[http://www.admie.gr/fileadmin/user\\_upload/Files/masm/2014/DPA\\_2014-2023\\_CHARTIS.pdf](http://www.admie.gr/fileadmin/user_upload/Files/masm/2014/DPA_2014-2023_CHARTIS.pdf) Επιπρόσθετα ψηφιοποιήθηκαν θέσεις υποσταθμών πλησίον της τουρκικής ακτογραμμής, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η απόσταση και από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της γείτονος χώρας, στα πλαίσια ενός περιφερειακού ενεργειακού σχεδιασμού, πέρα από όρια εθνικών υδάτων και Α.Ο.Ζ. Για την ψηφιοποίηση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι θέσεις των υποσταθμών από τους διαδραστικούς χάρτες του ENTSO. <https://www.entsoe.eu/map/Pages/default.aspx> αλλά και από τον χάρτη με τίτλο Türkiye Elektrifikasyon Şemasında 380 / 154 kV iletim hatları (μορφή kml) - [https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1pM2WH-Eg84y9Jda2NQact5clDa0&hl=en\\_US&ll=38.32039908634489%2C29.734928914062493&z=7](https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1pM2WH-Eg84y9Jda2NQact5clDa0&hl=en_US&ll=38.32039908634489%2C29.734928914062493&z=7)

Οι θέσεις των Μνημείων Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς δημιουργήθηκαν με την ψηφιοποίηση των στοιχείων που δίνονται από το ελληνικό site της UNESCO <http://www.unesco-hellas.gr>, ενώ το διανυσματικό αρχείο των ακτών κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης του ΥΠΕΚΑ, αντλήθηκε από το site <http://geodata.gov.gr/>

σε σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Τα δεδομένα των προστατευόμενων περιοχών του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Natura 2000 αντλήθηκαν από τον ιστότοπο [geodata.gov.gr](http://geodata.gov.gr), σε διανυσματική μορφή και σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87.

Τέλος, οι περιοχές στρατιωτικών ασκήσεων δημιουργήθηκαν βάσει των συντεταγμένων που δίνονται από τις ετήσιες μόνιμες αγγελίες για τους ναυτιλλομένους της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού, σε σύστημα WGS '84.

## 2.5 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 2.5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΜΑΣΚΑΣ

Μετά τη συλλογή και την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων ακολουθεί ο καθορισμός των περιοχών που αποκλείονται από την εγκατάσταση Θ.Α.Π. λόγω συγκεκριμένων χαρακτηριστικών όπως αυτά ορίζονται από την σχετική βιβλιογραφία αλλά και από την υπάρχουσα νομοθεσία. Με την αφαίρεση των συγκεκριμένων περιοχών, δημιουργείται η μάσκα, δηλ. η περιοχή για την οποία εξετάζονται στη συνέχεια οι τιμές των διαφόρων κριτηρίων που συμμετέχουν στην έρευνα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαδοχικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον σχηματισμό της μάσκας.

Ως αρχική περιοχή μελέτης χρησιμοποιείται το DTM της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του ΠΟΝ. Τα όρια αυτής της περιοχής αποτελούν και τα όρια των δεδομένων που δημιουργούνται από την επεξεργασία των αρχικών αρχείων.

Σε πρώτη φάση πραγματοποιείται η εισαγωγή των προστατευόμενων περιοχών του δικτύου Natura στο περιβάλλον του ArcGIS, με την μορφή διανυσματικού αρχείου (shp.file). Εν συνεχεία, ψηφιοποιούνται οι περιοχές στρατιωτικών ασκήσεων σύμφωνα με τις συντεταγμένες των κορυφών πολυγώνων που δίνονται από τις ετήσιες μόνιμες αγγελίες για τους ναυτιλλομένους της Υδρογραφικής Υπηρεσίας του ΠΟΝ σε σύστημα WGS '84. Ακολουθεί η εισαγωγή του διανυσματικού αρχείου Corine, από το οποίο απομονώνονται τα πολύγωνα με τους κωδικούς 1.1.1, 1.1.2 και 1.2.1 που περιγράφουν αντίστοιχα τη συνεχή αστική οικοδόμηση, τη διακεκομμένη αστική οικοδόμηση και τις βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες. Στη συνέχεια εισάγονται τα σημειακά αρχεία των Μνημείων Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς και των ακτών κολύμβησης. Από τα παραπάνω διανυσματικά αρχεία του Corine, των μνημείων και των ακτών κολύμβησης δημιουργούνται buffer zones σύμφωνα με τις παρακάτω διατάξεις του ΕΠΧΣΑΑ:

- Απόσταση από οργανωμένη δόμηση - Β κατοικία κ.τ.λ.:  $D > 1.000 \text{ m}$ .
- Απόσταση από τουριστικά καταλύματα:  $D > 1.000 \text{ m}$ .

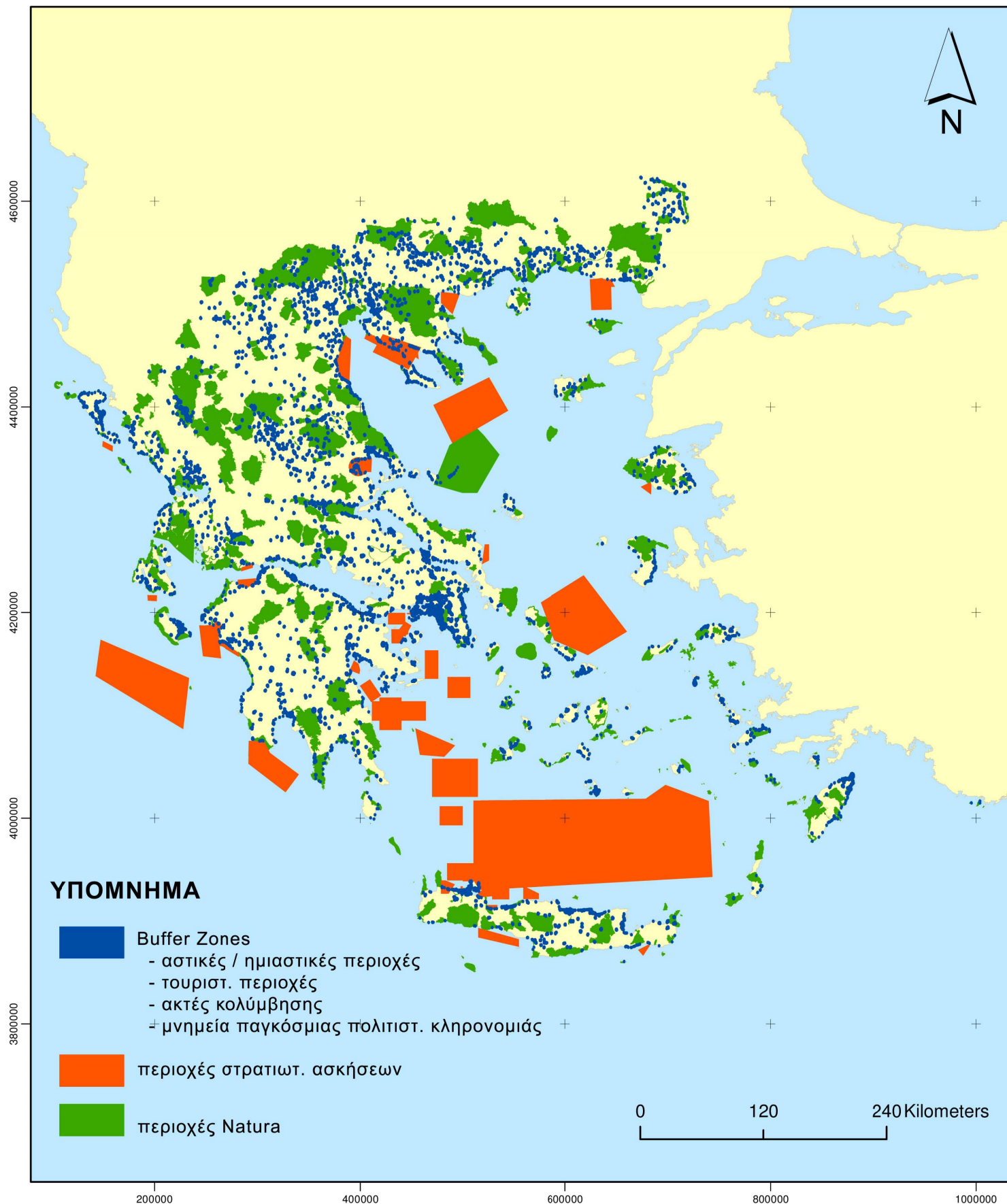
- Απόσταση από Μνημείο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς:  $D > 3.000\text{m}$ .
- Απόσταση από ακτές κολύμβησης του προγράμματος παρακολούθησης του ΥΠΕΚΑ:  $D > 1.500\text{m}$ .

Στον χάρτη A1 απεικονίζονται οι περιοχές αποκλεισμού που αναφέρονται παραπάνω. Παρατηρείται ότι η περιοχή Natura και οι περιοχές στρατιωτικών ασκήσεων καταλαμβάνουν μεγάλες επιφάνειες του θαλάσσιου χώρου.

Πέρα από τις παραπάνω περιοχές, από την ανάλυση που ακολουθεί αποκλείονται και οι περιοχές με βάθος μεγαλύτερο των 700m, που αποτελεί το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος για τις πλωτές ανεμογεννήτριες. Συνεπώς, δημιουργείται ένα νέο raster αρχείο για τις περιοχές που αντιστοιχούν σε βάθος μεγαλύτερο των 700m. Στον χάρτη A2 απεικονίζονται οι περιοχές αυτές.

Το άθροισμα των περιοχών Natura, των buffer zones όπως αυτές δημιουργήθηκαν παραπάνω, των περιοχών στρατιωτικών ασκήσεων και των περιοχών με βάθος μεγαλύτερο των 700m αποτελούν τις περιοχές αποκλεισμού που διαμορφώνουν την τελική μάσκα. Για την πραγματοποίηση του παραπάνω αθροίσματος κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη ομοιογένειας μεταξύ των αρχείων ως προς την μορφή (διανυσματικό – ψηφιδωτό) αλλά και ως προς το σύστημα αναφοράς. Συνεπώς, όλα τα παραπάνω αρχεία μετατρέπονται σε ψηφιδωτά αρχεία (raster), καθώς αυτός ο τύπος αρχείων εξυπηρετεί την πολυκριτηριακή ανάλυση που ακολουθεί, ενώ παράλληλα συμβαδίζει με την πλειοψηφία των αρχείων. Το σύστημα συντεταγμένων που καθορίστηκε για όλα τα παραπάνω αρχεία είναι το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87. Ειδικότερα, το προβολικό σε αντίθεση με ένα σφαιρικό σύστημα αναφοράς εξυπηρετεί την πραγματοποίηση κριτηρίων απόστασης – εγγύτητας που παρουσιάζονται στη συνέχεια και τα οποία υπολογίζονται βάσει ευθύγραμμων τμημάτων και όχι τόξων ή μοιρών.

Αφαιρώντας από το αρχικό DTM της Υδρογραφική Υπηρεσίας του ΠΟΝ τις περιοχές αποκλεισμού που παράχθηκαν με την παραπάνω διαδικασία, δημιουργείται η τελική μάσκα (χάρτης M1) για την οποία θα εξεταστούν οι τιμές των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί για την πολυκριτηριακή ανάλυση.



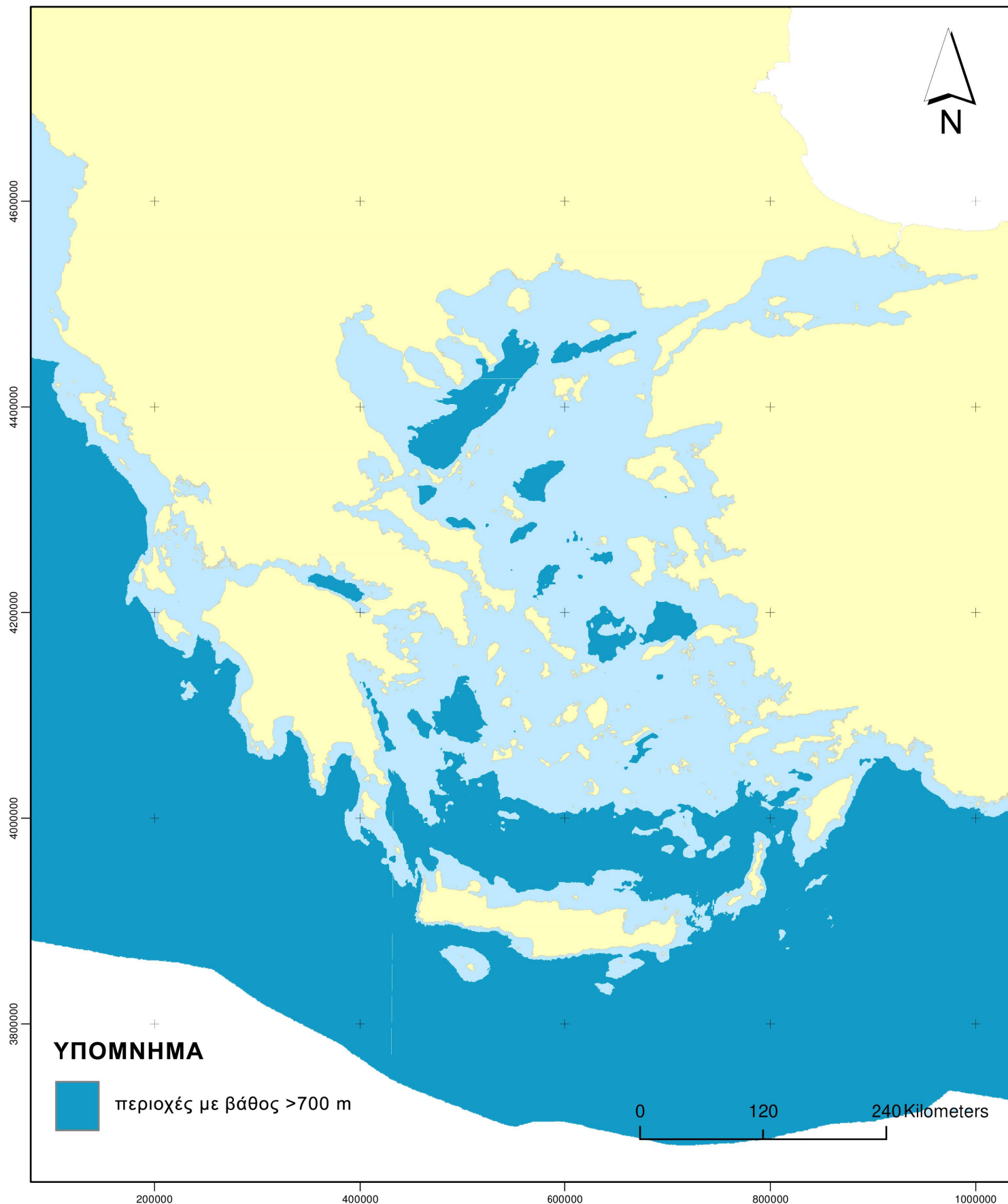
## ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ.

A.1

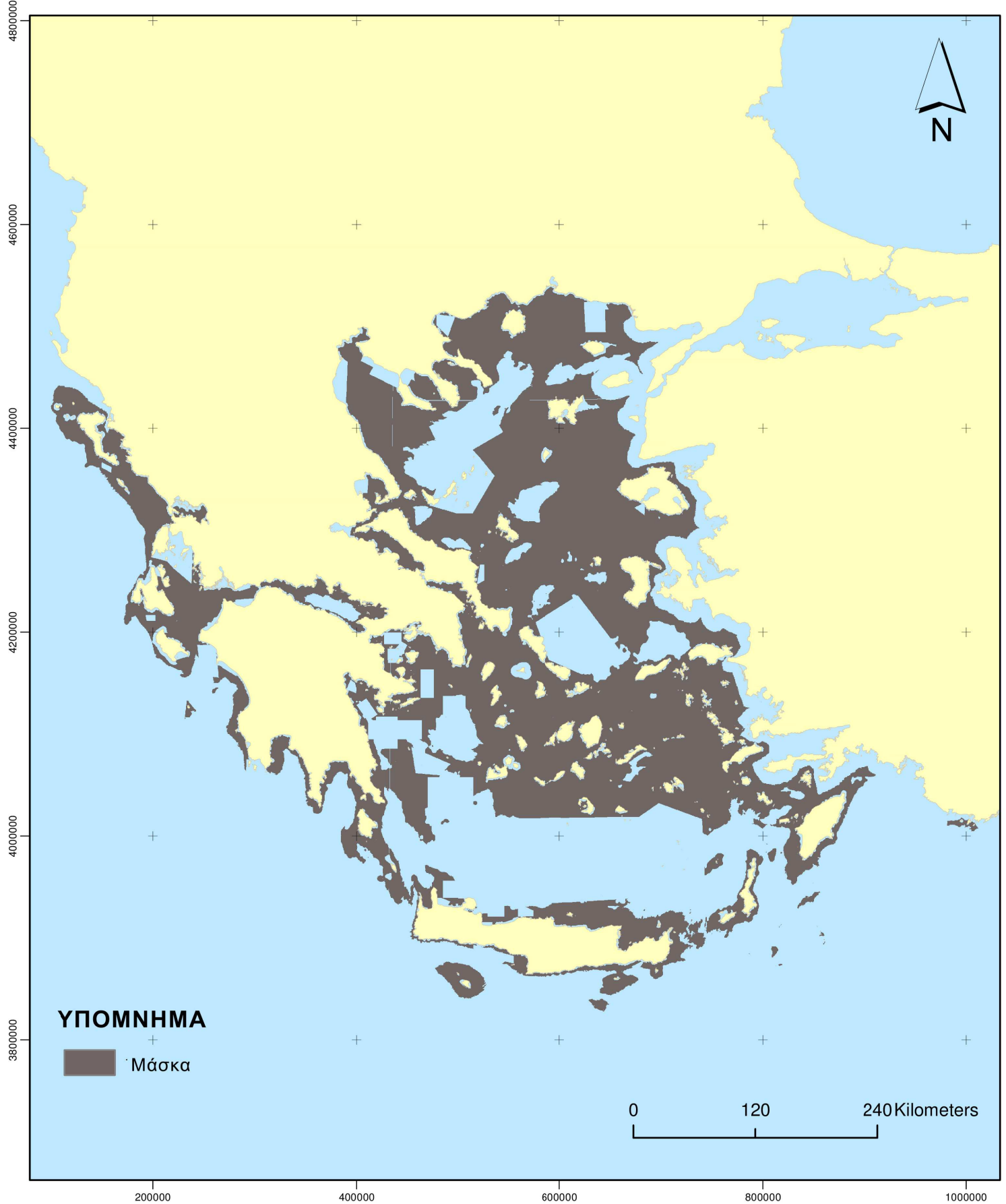




**ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΒΑΘΟΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΩΝ 700 m.**

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **A.2**



## ΤΕΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΜΑΣΚΑ)

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **M1**

### 2.5.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Στην ανάλυση που ακολουθεί συμμετέχουν τα εξής 5 κριτήρια με την παρακάτω κωδικοποίηση:

1. αιολικό δυναμικό (AIOL)
2. βάθος (BATHY)
3. απόσταση από λιμάνια (PORTS\_DIST)
4. απόσταση από δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (YS\_DIST)
5. γεωλογία του βυθού (GEOL)

Ο όρος «αιολικό δυναμικό» αφορά στην αιολική ενέργεια, η οποία μετρείται σε μονάδες Joule. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η ταχύτητα του ανέμου, που προκύπτει από τον τύπο του αιολικού δυναμικού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, καθώς οι μονάδες ταχύτητας είναι πιο οικείες και ευκολότερα κατανοητές. Βέβαια, πέρα από την ταχύτητα, υπάρχουν και άλλες μεταβλητές του ανέμου επίσης σημαντικές για την λειτουργία των ανεμογεννητριών, όπως είναι η διεύθυνση του ανέμου η πυκνότητα και η ομοιογένεια. Ωστόσο, στην συγκεκριμένη ανάλυση λαμβάνεται υπόψη μόνο η ταχύτητα, για την οποία ήταν εφικτή η εύρεση δεδομένων. Το ψηφιδωτό (raster) αρχείο της ταχύτητας του ανέμου δημιουργήθηκε από την μετατροπή του αρχικού .txt αρχείου σε raster με την μέθοδο παρεμβολής Natural Neighbor, σε ανάλυση 100 X 100. Στον χάρτη K1 φαίνεται το παραγόμενο raster της ταχύτητας του ανέμου, με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 2,8m/sec και 11,5m/sec. Παρατηρείται ένα μέτωπο ισχυρών ανέμων που ξεκινάει νότια της Ίμβρου, συνεχίζει δυτικά της Λέσβου, της Χίου και της Ικαρίας και καταλήγει νότια της Ρόδου. Επίσης, ισχυροί άνεμοι εντοπίζονται στο τμήμα μεταξύ Καρπάθου και Σητείας, στο τμήμα μεταξύ Κυθήρων και Κίσσαμου Κρήτης, καθώς επίσης και μεταξύ Καρύστου και Άνδρου.

Το βάθος κυμαίνεται από 0 έως 700m, εφόσον τα βάθη άνω των 700m αποκλείονται από την ανάλυση. Στον χάρτη K2 φαίνονται οι σχετικά ρηχές περιοχές

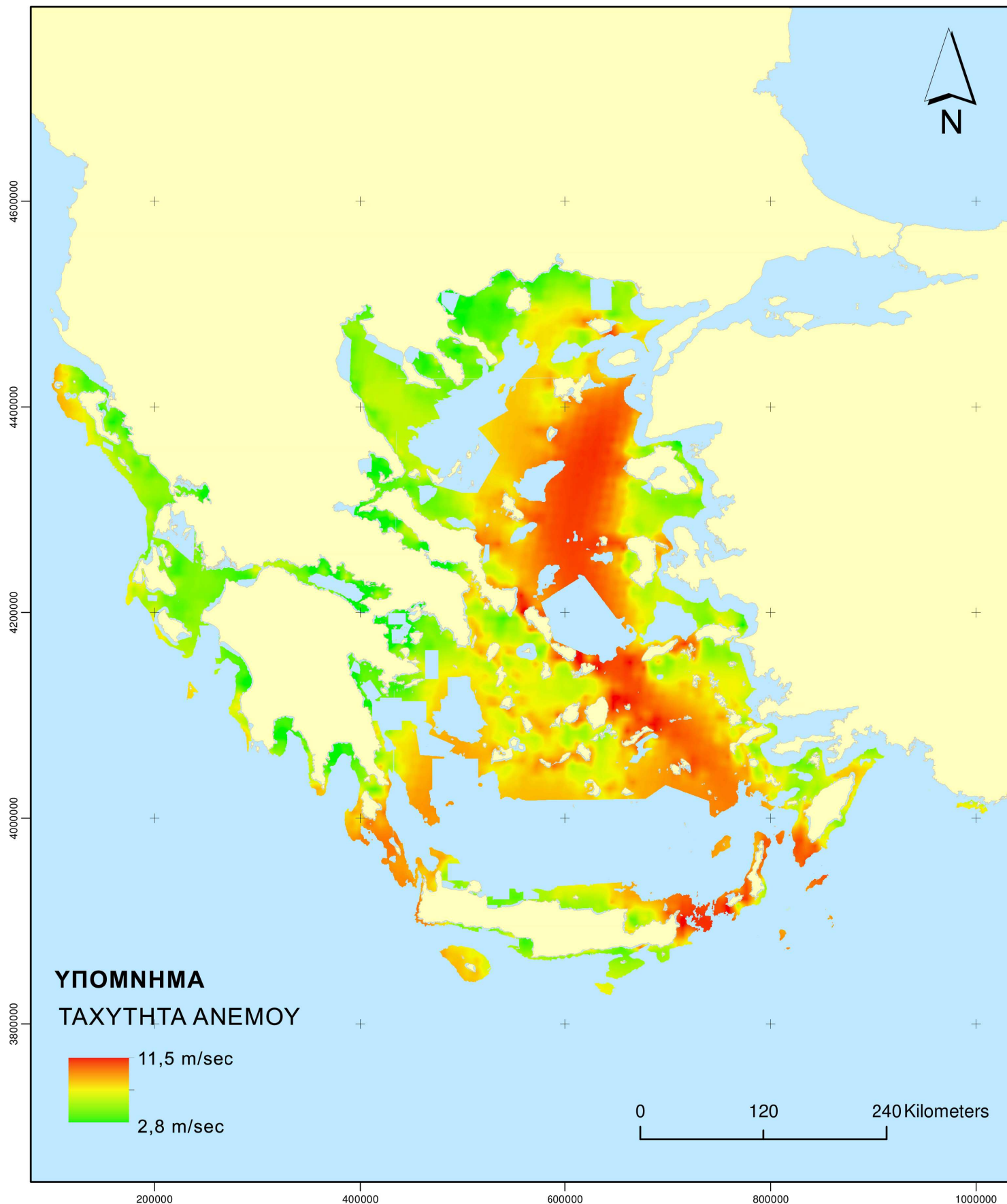
πλησίον της ακτογραμμής και οι περιοχές με μεγαλύτερο βάθος, όπως είναι νότια της Σκύρου, της Ικαρίας, στη περιοχή του Μυρτώου Πελάγους κ.α.

Το κριτήριο της απόστασης από τα λιμάνια δημιουργείται με τη βοήθεια του εργαλείου Euclidean distance του ArcMap. Στον χάρτη K3 απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα οι περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά σε λιμάνια της Ελλάδας και της Τουρκίας, ενώ με πράσινο χρώμα, οι πιο μακρινές περιοχές.

Με αντίστοιχο τρόπο δημιουργείται και το κριτήριο της απόστασης από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (χάρτης K4) και συγκεκριμένα, η απόσταση από τους υποσταθμούς του δικτύου, εφόσον αυτοί αποτελούν τους βασικούς κόμβους και το σημείο σύνδεσης των μελλοντικών αιολικών πάρκων με το υφιστάμενο δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας.

Το τελευταίο κριτήριο της γεωλογίας αποτελεί ένα ποιοτικό κριτήριο, σε αντίθεση με τα παραπάνω που είναι ποσοτικά. Αυτό σημαίνει ότι δεν παίρνει τιμές, αλλά συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο βυθός, ανάλογα με τον γεωλογικό τύπο κατηγοριοποιείται ως εξής: βραχώδης, αργιλώδης και αμμώδης. Ο χάρτης K5 απεικονίζει τις τρεις παραπάνω κατηγορίες του βυθού.

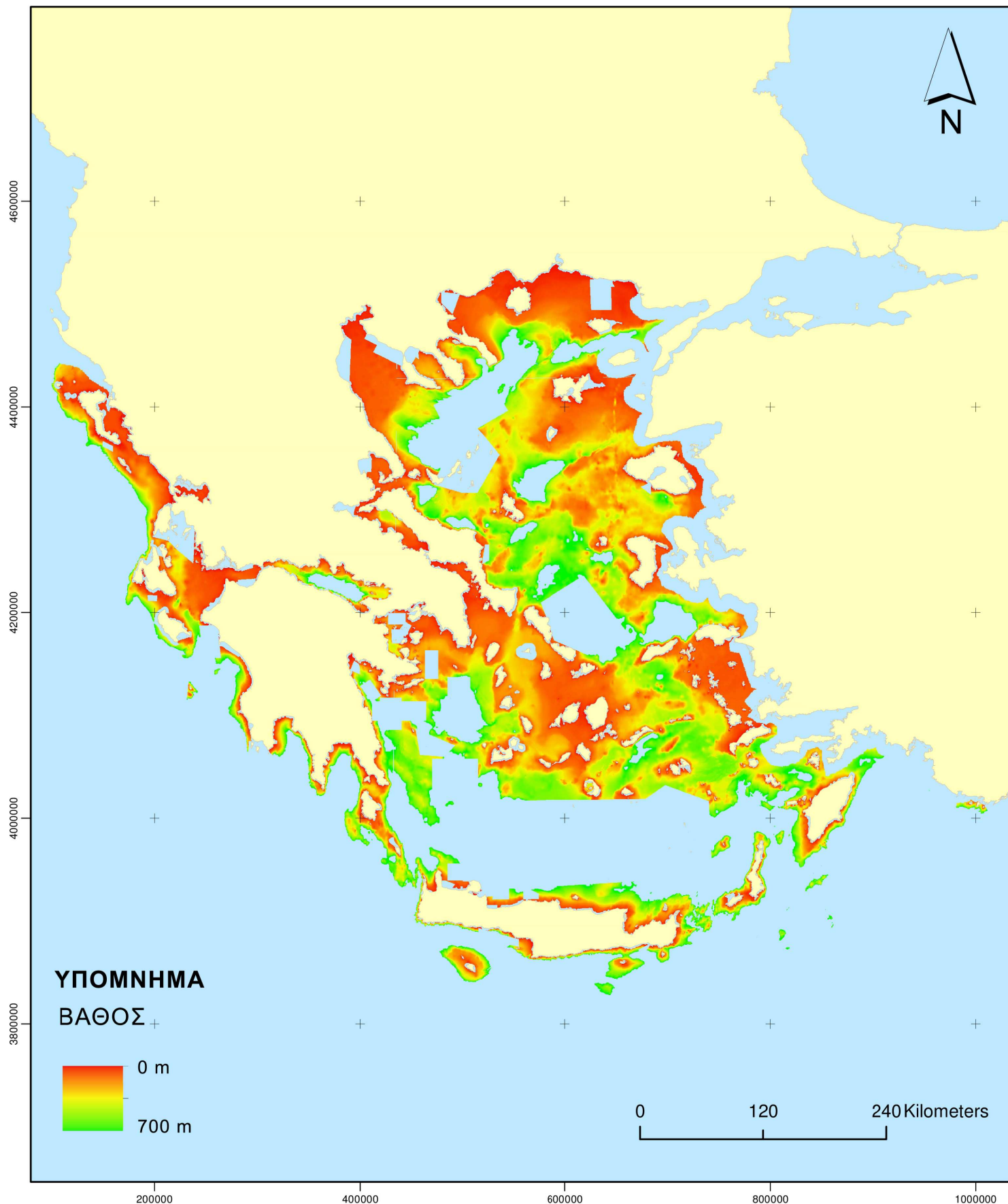
Στους θεματικούς χάρτες των κριτηρίων που ακολουθούν, το κόκκινο χρώμα δεν υποδηλώνει την μέγιστη τιμή του κριτηρίου, αλλά την τιμή που παρουσιάζει μεγαλύτερη καταλληλότητα για χωρθέτηση Θ.Α.Π. Αντιστοίχως, το πράσινο χρώμα υποδηλώνει τις τιμές με μικρότερη καταλληλότητα.



## ΧΑΡΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **K1**

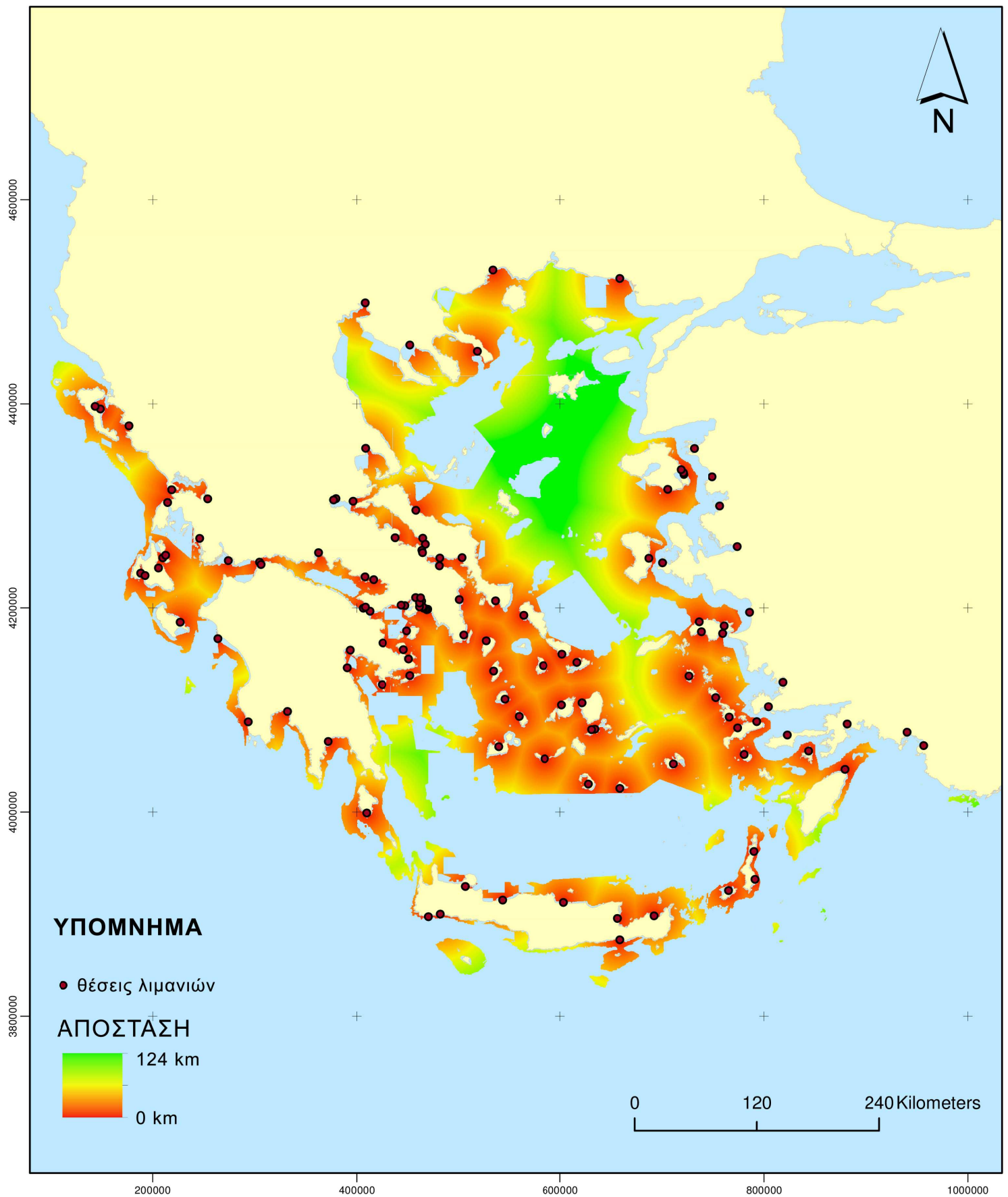


## ΧΑΡΤΗΣ ΒΑΘΟΥΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **K2**

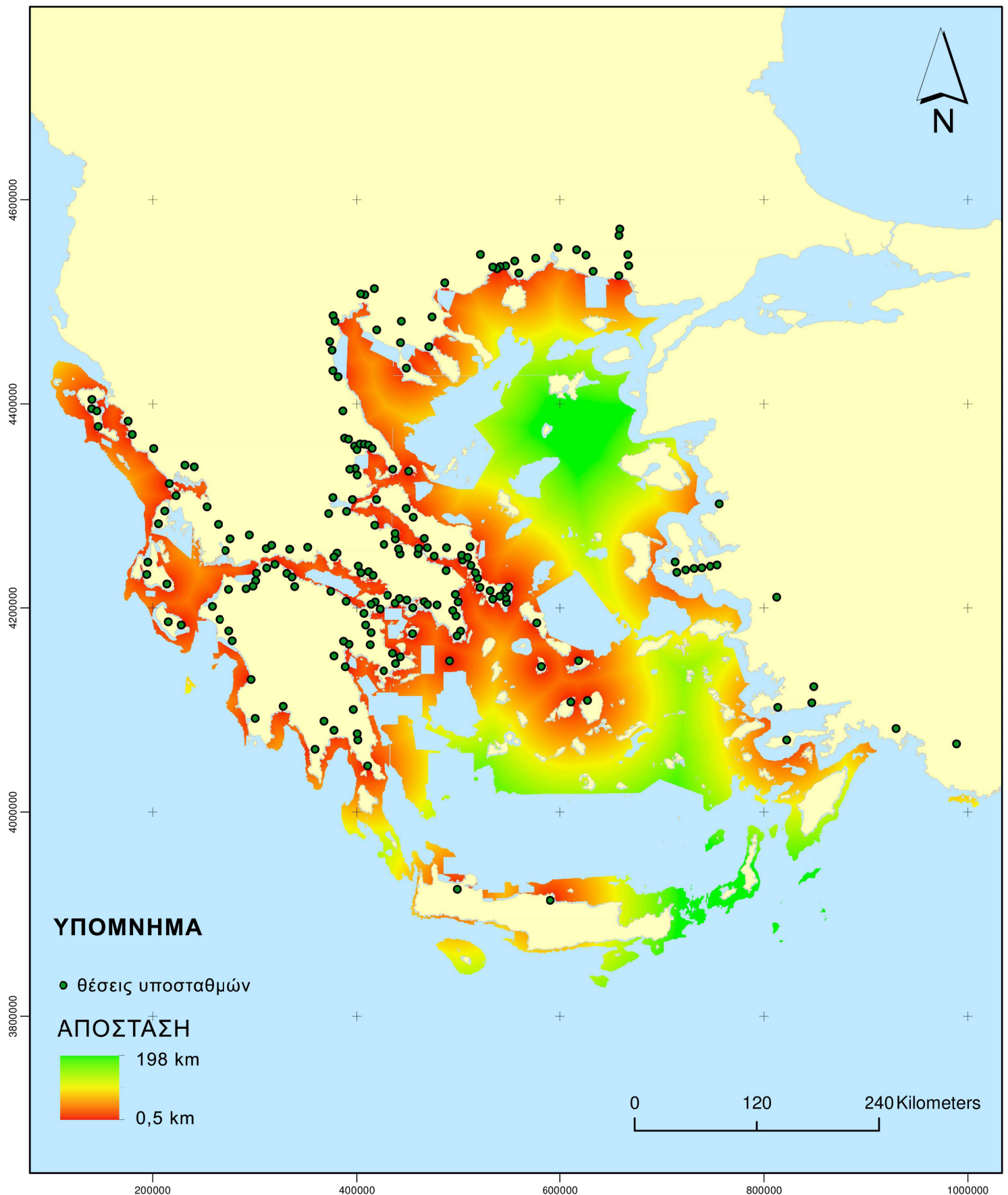




## ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΛΙΜΑΝΙΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **Κ3**

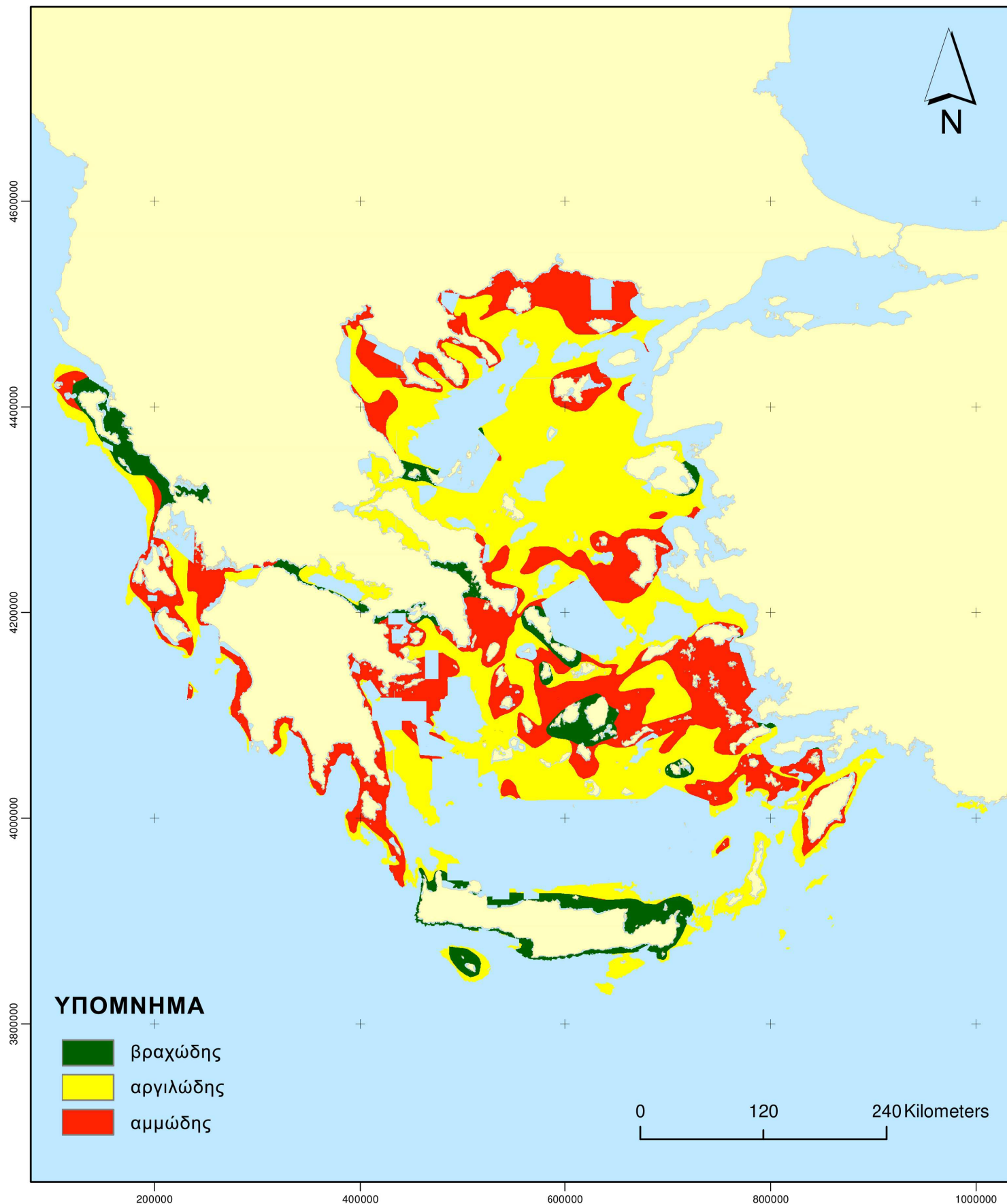


## ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **K4**





## ΧΑΡΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **K5**

### 2.5.3 ΟΜΟΙΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Με βάση την καταλληλότητα των παραπάνω κριτηρίων για την ανάπτυξη Θ.Α.Π. πραγματοποιείται η ομοιογενοποίησή τους σε 5 κλάσεις με τον αντίστοιχο βαθμό καταλληλότητας. Έτσι λοιπόν, διαμορφώνονται οι παρακάτω κλάσεις με τους εξής χαρακτηρισμούς:

Κλάση 1: πολύ μικρή καταλληλότητα

Κλάση 2: μικρή καταλληλότητα

Κλάση 3: μεσαία καταλληλότητα

Κλάση 4: μεγάλη καταλληλότητα

Κλάση 5: πολύ μεγάλη καταλληλότητα

Η διαδικασία της ομοιογενοποίησης των κριτηρίων σε κλάσεις περιλαμβάνει πρώτα το στάδιο της ταξινόμησης και έπειτα, το στάδιο της επαναταξινόμησης. Κατά το πρώτο στάδιο της ταξινόμησης, οι τιμές των κριτηρίων, βάσει συγκεκριμένων τιμών (κατώφλια), διαχωρίζονται σε 5 κλάσεις. Από τις μεθόδους ταξινόμησης που διατίθενται επιλέχθηκαν η χειροκίνητη μέθοδος και η μέθοδος των natural breaks, που βασίζεται σε έναν «φυσικό» διαχωρισμό που ανταποκρίνεται στο σχήμα κατανομής των τιμών. Η χειροκίνητη μέθοδος εφαρμόστηκε μόνο σε ένα κριτήριο, σε αυτό του βάθους, καθώς οι κλάσεις εδώ σχετίζονται με τον τύπο ανεμογεννήτριας που ενδείκνυται για συγκεκριμένα βάθη. Ειδικότερα, οι ανεμογεννήτριες που εδράζονται στον βυθό μέσω θεμελίων ενδείκνυνται για βάθη έως 50m. Για βάθη μεγαλύτερα των 50m ενδείκνυνται οι πλωτές ανεμογεννήτριες. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το όριο εγκατάστασης των πλωτών ανεμογεννητριών πρόσφατα επεκτάθηκε από τα 250m στα 700m. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται και τα δύο όρια, το πρώτο των 250m ως όριο εγκατάστασης πλωτών ανεμογεννητριών και το δεύτερο των 700m ως όριο εγκατάστασης για τις νέου τύπου πλωτές ανεμογεννήτριες που βασίζονται στη τεχνολογία των πλωτών πλατφορμών εξόρυξης ορυκτών καυσίμων. Μεταξύ των 50m και 250m και μεταξύ των 250m και 700m

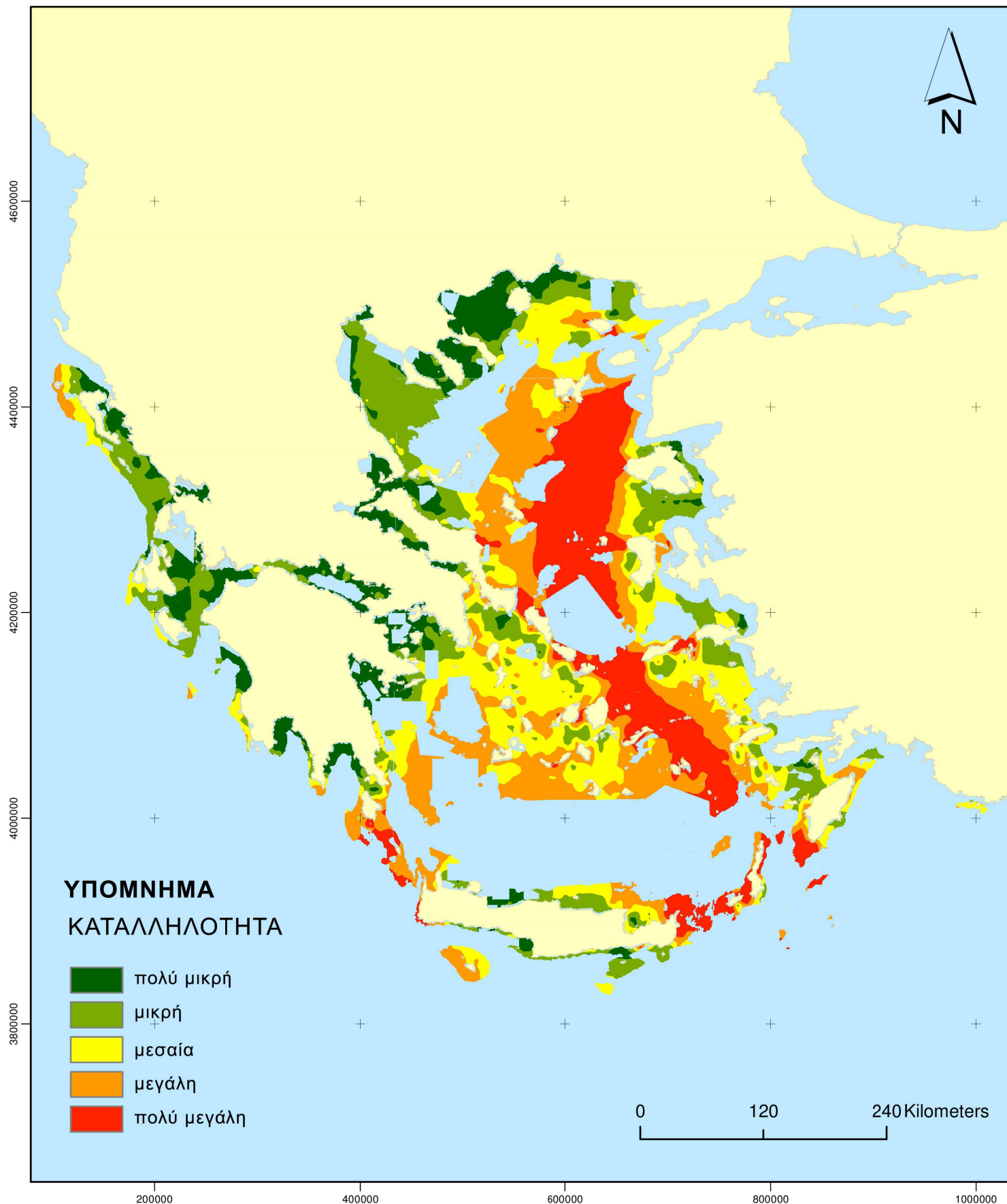
παρεμβάλλονται 2 τιμές βάθους – κατώφλια για μία πιο ισομοιρασμένη κατανομή των 5 κλάσεων. Το κριτήριο της γεωλογίας του βυθού δεν χρειάζεται ταξινόμηση, μιας και ως ποιοτικό κριτήριο είναι ήδη ταξινομημένο σε τρεις κλάσεις που αντιστοιχούν σε τρεις γεωλογικούς τύπους βυθού.

Κατά το επόμενο στάδιο της επαναταξινόμησης, οι κλάσεις που δημιουργήθηκαν παραπάνω αντιστοιχούνται σε στις κλάσεις 1 έως 5 που εκφράζουν τον βαθμό καταλληλότητας για κάθε κριτήριο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αντιστοιχία μεταξύ κλάσεων και βαθμού καταλληλότητας.

| ΚΛΑΣΕΙΣ | AIOL<br>(m/sec) | BATHY<br>(m) | PORTS_DIST<br>(km) | YS_DIST<br>(km) | GEOL |
|---------|-----------------|--------------|--------------------|-----------------|------|
| 5       | > 9,2           | 0 - 50       | 20                 | < 20            | sand |
| 4       | 7,8 - 9,2       | 50 - 100     | 40                 | 20 - 50         | -    |
| 3       | 6,6 - 7,8       | 100 - 250    | 60                 | 50 - 80         | mud  |
| 2       | 5,3 - 6,6       | 250 - 500    | 80                 | 80 - 100        | -    |
| 1       | < 5,3           | 500 - 700    | 130                | > 100           | rock |

Πίνακας 2

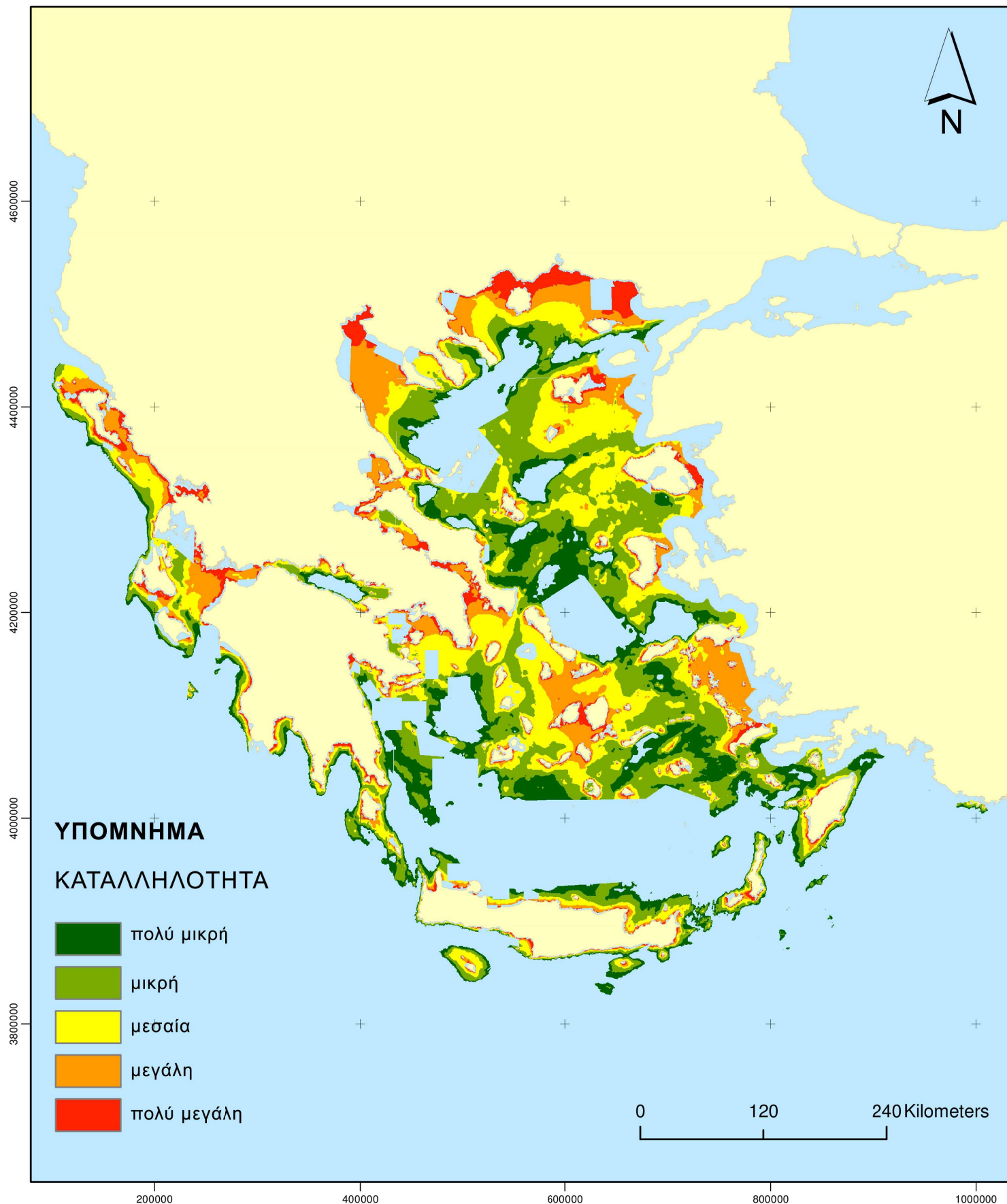
Όπως φαίνεται στον πίνακα, τα ποσοτικά κριτήρια επαναταξινομούνται βάσει των κατωφλίων που έχουν ορίστηκαν κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης, ενώ το ποιοτικό κριτήριο της γεωλογίας του βυθού, ποσοτικοποιείται και επαναταξινομείται με βάση την καταλληλότητα των διαφόρων τύπου βυθού ως προς την υποδοχή Θ.Α.Π. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο αμμώδης βυθός έρχεται πρώτος στην προτίμηση, γι' αυτό και παίρνει την τιμή 5. Ακολουθούν ο αργιλώδης με τιμή 3 και ο βραχώδης με τιμής 1. Με τη βοήθεια του εργαλείου reclassify του ArcMAP, τα παραπάνω κριτήρια επαναταξινομούνται σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα. Τα αποτελέσματα της επαναταξινόμησης φαίνονται στους χάρτες K1.1 για το αιολικό δυναμικό, K2.1 για τη βαθυμετρία, K3.1 για την απόσταση από λιμάνια, K4.1 για την απόσταση από υποσταθμούς του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και K5.1 για την γεωλογία του βυθού.



## ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **K1.1**

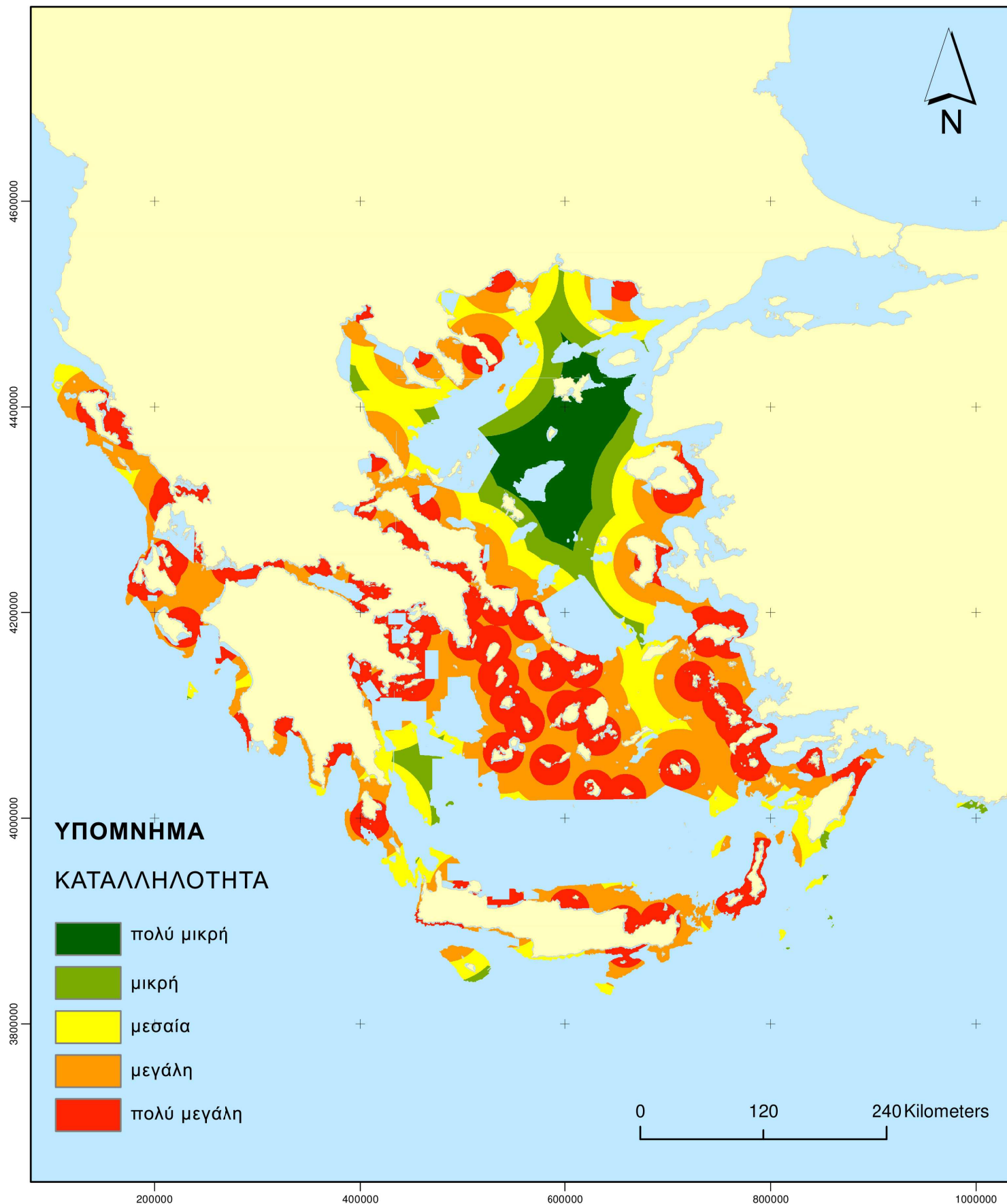


## ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΒΑΘΟΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **K2.1**

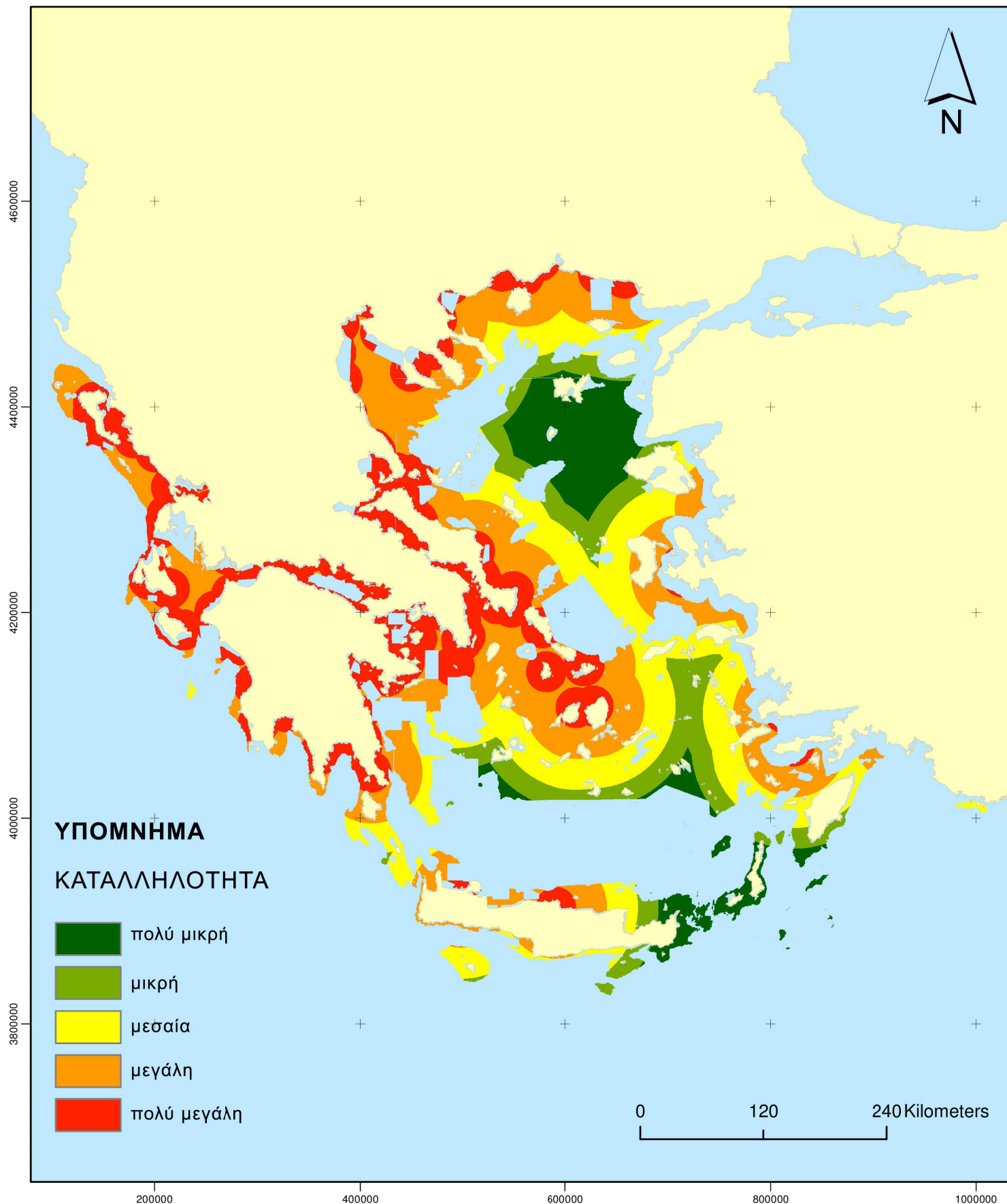




## ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΛΙΜΑΝΙΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

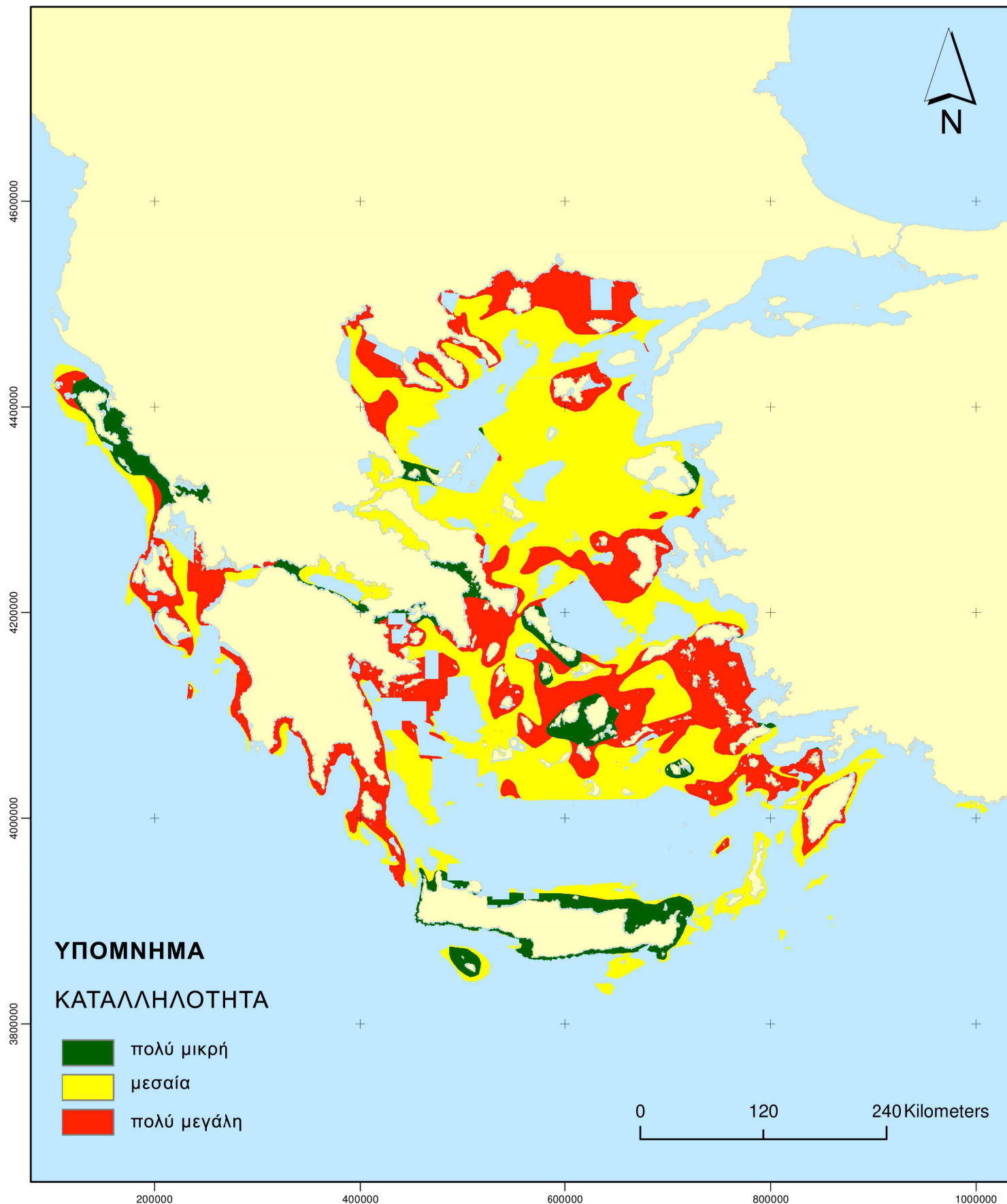
ΚΩΔ. **K3.1**



**ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.  
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΟΥ  
ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000**

**ΚΩΔ. Κ4.1**



**ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.  
ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ**

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ.

**K5.1**



#### 2.5.4 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

Η σύνθεση των παραπάνω ταξινομημένων κριτηρίων πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στη μέθοδο σύνταξης απλών κανόνων ενώ ο δεύτερος στη μέθοδο της AHP, που περιλαμβάνει τη δημιουργία συντελεστών βαρύτητας.

##### ΣΥΝΤΑΞΗ ΚΑΝΟΝΩΝ

Με την μέθοδο της σύνταξης κανόνων ορίζονται μία ή περισσότερες συνθήκες για τις οποίες ελέγχεται κάθε ψηφίδα του raster αν τις ικανοποιεί ή όχι. Συνεπώς το αποτέλεσμα είναι δίτιμο. Μία τιμή για τις ψηφίδες που ικανοποιούν την συνθήκη και μία διαφορετική τιμή για τις ψηφίδες που δεν την ικανοποιούν.

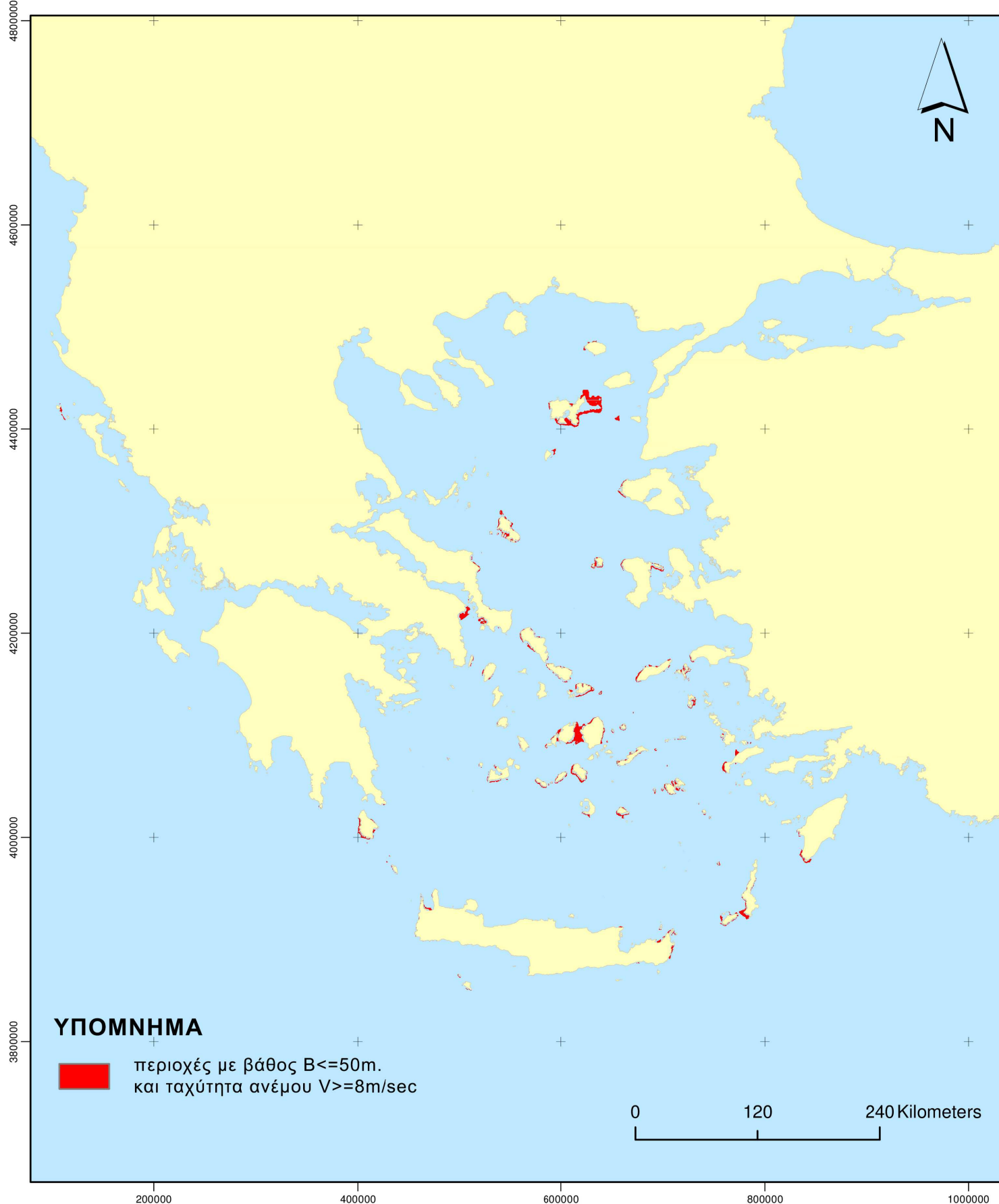
Στην συγκεκριμένη περίπτωση διατυπώνονται κανόνες που αφορούν στα δύο σημαντικότερα, όπως αποδεικνύεται και από την σχετική βιβλιογραφία, κριτήρια της μελέτης. Αυτά είναι το αιολικό δυναμικό και το βάθος. Η επιθυμητή τιμή του αιολικού δυναμικού αντιστοιχεί σε ταχύτητα ανέμου άνω των 8m/sec. Όσο για το κριτήριο του βάθους, ορίζονται τρεις διαφορετικές τιμές που αντιστοιχούν σε τρεις τύπους ανεμογεννητριών. Η πρώτη τιμή είναι τα 50m βάθος, για ανεμογεννήτριες εδρασμένες στον πυθμένα, η δεύτερη τα 250m βάθος για πλωτές ανεμογεννήτριες και η τρίτη είναι τα 700m βάθος για τις νέου τύπου πλωτές ανεμογεννήτριες. Συνεπώς αναζητούνται οι περιοχές που ικανοποιούν τους εξής τρεις κανόνες για τα δύο κριτήρια που έχουν επιλεγεί:

1.  $AIOL \geq 8m/sec$  και  $BATHY \leq 50m$
2.  $AIOL \geq 8m/sec$  και  $50 < BATHY \leq 250$
3.  $AIOL \geq 8m/sec$  και  $250 < BATHY \leq 700$

Με τη βοήθεια του εργαλείου raster calculator της παλέτας Map Algevrα του ArcMAP, δημιουργούνται τρία νέα raster επίπεδα σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες. Το πρώτο επίπεδο, που φαίνεται στον χάρτη R1, απεικονίζει τις περιοχές με βάθος έως και 50m και ταχύτητα ανέμου άνω των 8m/sec. Περιοχές που ικανοποιούν τη δεδομένη συνθήκη εντοπίζονται νότια της Αλεξανδρούπολης, βορειοδυτικά της Κέρκυρας στους Οθωνούς, πλησίον του Αργοστολίου Κεφαλονιάς, μεταξύ Ραφήνας

και Καρύστου, περιμετρικά της Λήμνου, μεταξύ Πάρου και Νάξου, βόρεια της Κω, νότια της Καρπάθου και της Ρόδου, στην περιοχή Κισάμου Χανίων και αλλού.

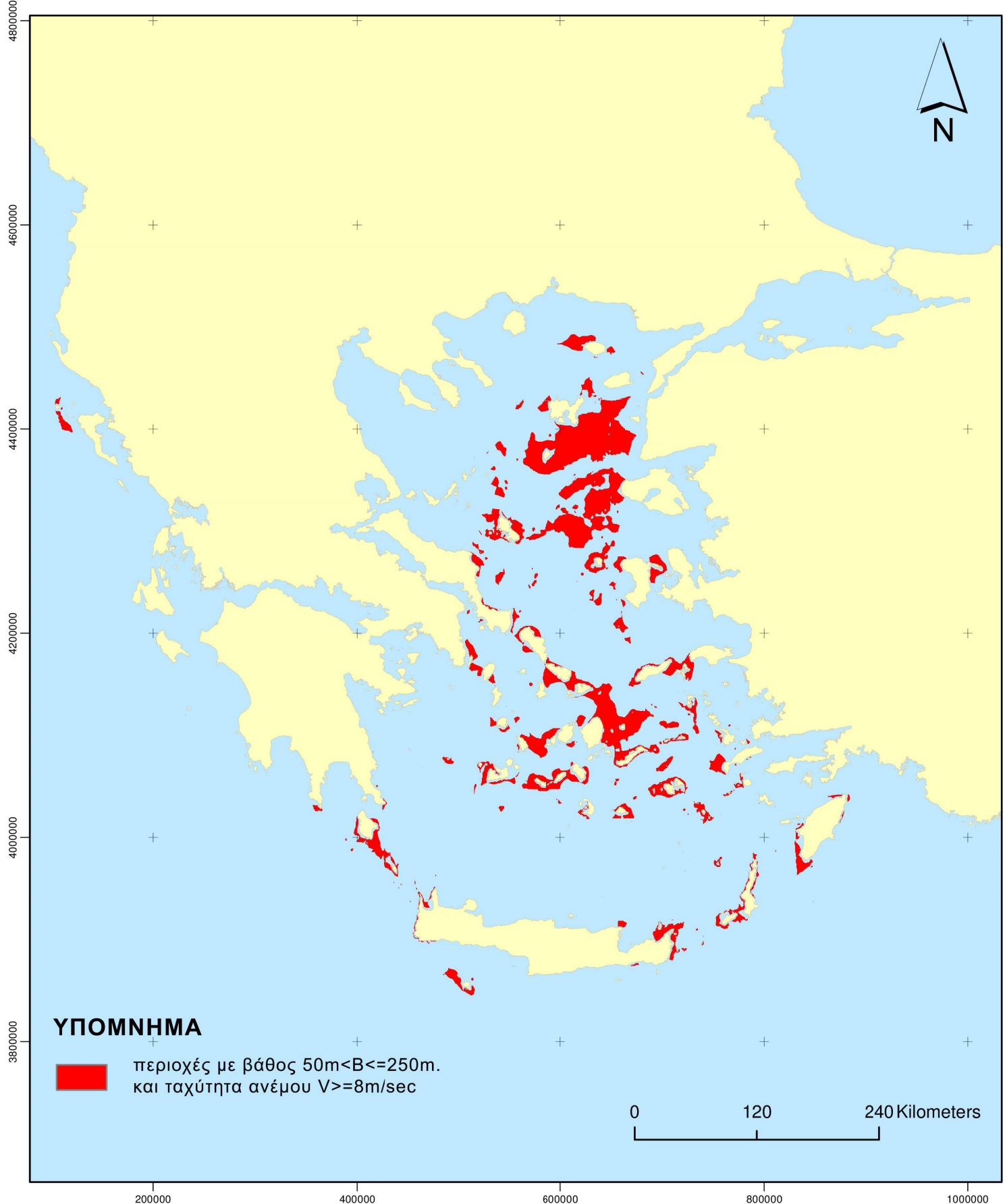
Στον επόμενο χάρτη R2, που αντιστοιχεί στην ίδια ταχύτητα ανέμου, αλλά σε μεγαλύτερα βάθη, μεταξύ 50m και 250m, παρατηρούνται αρκετά πιο διευρυμένες περιοχές, που είναι απολύτως λογικό, καθώς οι άνεμοι είναι ισχυρότεροι όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή. Αντίστοιχα, στον χάρτη R3, που αντιστοιχεί στην ίδια ταχύτητα ανέμου, αλλά σε βάθη μεταξύ 250m και 700m, οι περιοχές που ικανοποιούν την συνθήκη καταλαμβάνουν ακόμα μεγαλύτερη επιφάνεια του θαλάσσιου χώρου, σε σχέση με τις προηγούμενες.



**ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π. ΜΕ  
ΕΔΡΑΣΜΕΝΕΣ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ Α/Γ (ΒΑΘΟΣ  $\leq 50m$ )**

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

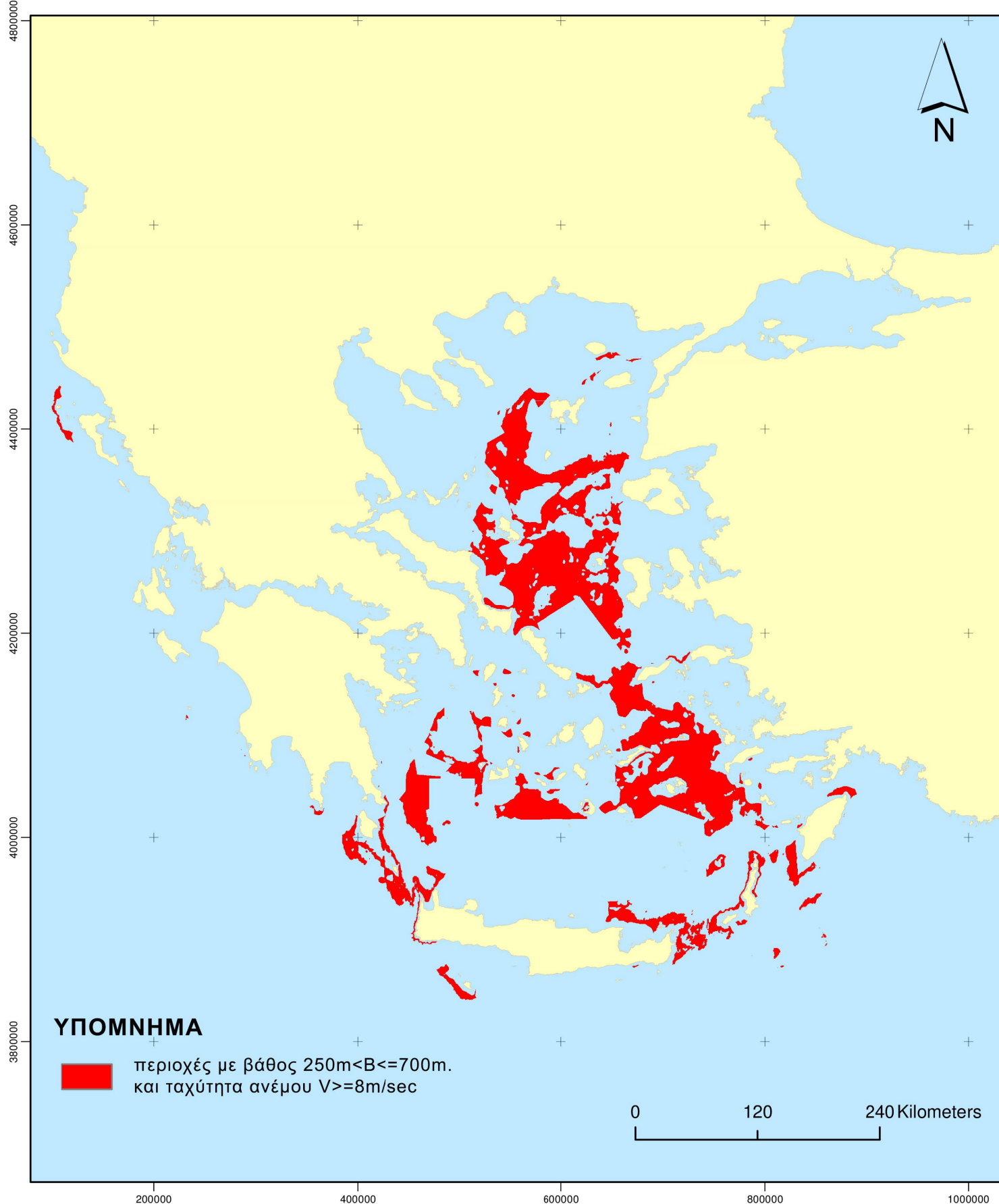
ΚΩΔ. **R1**



**ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π. ΜΕ  
ΠΛΩΤΕΣ Α/Γ (ΒΑΘΟΣ  $50\text{m} < B \leq 250\text{m}$ )**

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **R2**



**ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π. ΜΕ  
ΝΕΟΥ ΤΥΠΟΥ ΠΛΩΤΕΣ Α/Γ (ΒΑΘΟΣ  $250\text{m} < B \leq 700\text{m}$ )**

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **R3**

Με τη μέθοδο της A.H.P., κάθε κριτήριο συμμετέχει στο τελικό αποτέλεσμα έχοντας ξεχωριστή βαρύτητα, ανάλογα με την σπουδαιότητά του. Αυτό πραγματοποιείται με την ανάθεση συντελεστών βαρύτητας σε κάθε κριτήριο, οι οποίοι προκύπτουν μέσα από την σύγκριση των κριτηρίων ανά ζεύγη. Η διαδικασία αυτή, επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή του μελετητή στο τελικό αποτέλεσμα, εισάγοντας τη δική του προσωπική άποψη για την σπουδαιότητα των κριτηρίων. Μετά την συμπλήρωση του πίνακα που ακολουθεί συγκρίνοντας τα 5 κριτήρια ανά ζεύγη, προκύπτουν οι συντελεστές βαρύτητας που αναγράφονται παρακάτω.

|            | AIOL | BATHY | GEOL | YS_DIST | PORTS_DIST |
|------------|------|-------|------|---------|------------|
| AIOL       | 1.00 | 3     | 8    | 7       | 8          |
| BATHY      | 0.33 | 1.00  | 8    | 7       | 8          |
| GEOL       | 0.13 | 0.13  | 1.00 | 0.5     | 0.7        |
| YS_DIST    | 0.14 | 0.14  | 2.00 | 1.00    | 2          |
| PORTS_DIST | 0.13 | 0.13  | 1.43 | 0.50    | 1.00       |

Πίνακας 3

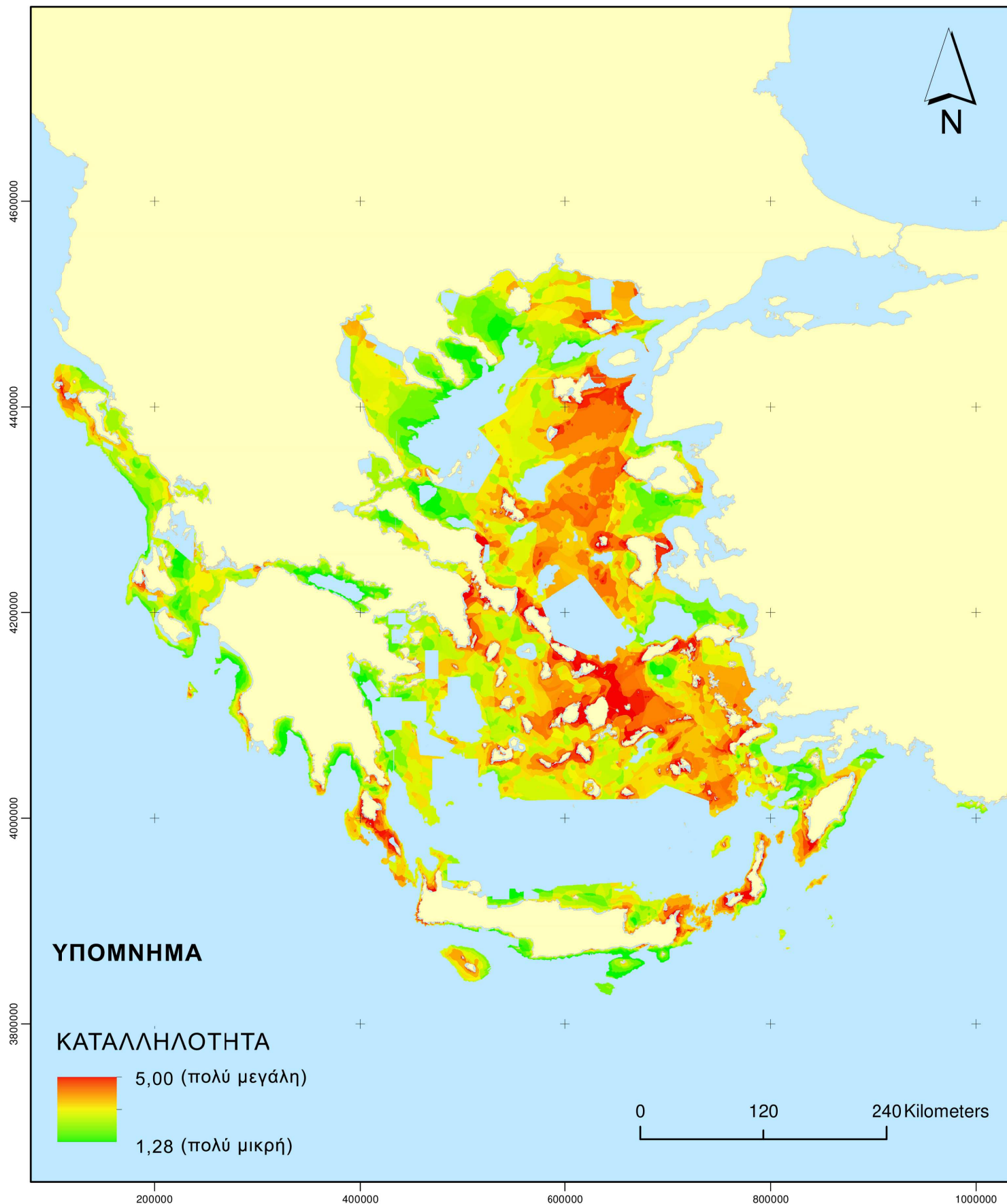
Συντελεστές βαρύτητας:

|            |      |
|------------|------|
| AIOL       | 0.50 |
| BATHY      | 0.33 |
| GEOL       | 0.04 |
| YS_DIST    | 0.08 |
| PORTS_DIST | 0.05 |

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το αιολικό δυναμικό κρίνεται ως το σημαντικότερο κριτήριο όλων, με συντελεστή 0,5. Εφόσον πρόκειται για έργα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, είναι λογικό το αιολικό δυναμικό να εμφανίζει τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα. Ακολουθεί το κριτήριο του βάθους, το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του κατάλληλου τύπου ανεμογεννήτριας, αλλά και στο κόστος κατασκευής. Στη συνέχεια είναι η απόσταση από υποσταθμό του δικτύου, η απόσταση από λιμάνια και τέλος, η γεωλογία του βυθού.

Με την βοήθεια του εργαλείου raster calculator του ArcMAP, οι παραπάνω συντελεστές εφαρμόζονται σε καθένα από τα κριτήρια αντιστοίχως, δημιουργώντας σταθμισμένα πλέον κριτήρια. Η σύνθεση των σταθμισμένων κριτηρίων έχει ως αποτέλεσμα τον χάρτη καταλληλότητας Χ1. Στο χάρτη αυτό, διακρίνονται με κόκκινο χρώμα οι περιοχές που κρίνονται πιο κατάλληλες για ανάπτυξη Θ.Α.Π.. Διακρίνεται επίσης ξεκάθαρα και το μέτωπο των ισχυρών ανέμων που φαινόταν και στον θεματικό χάρτη της ταχύτητας ανέμου, που ξεκινά νότια της Λήμνου και καταλήγει στην Κάρπαθο. Αυτό συμβαίνει γιατί το κριτήριο του αιολικού δυναμικού εμφανίζεται εντονότερα από τα υπόλοιπα, έχοντας τον μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας.





## ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ.

X1



Πέρα από το παραπάνω σενάριο συντελεστών βαρύτητας, ζητήθηκε από τρία άτομα που εργάζονται σε διαφορετικούς τομείς σε εταιρεία μελέτης και κατασκευής αιολικών πάρκων, να συμμετάσχουν στην έρευνα αναπτύσσοντας ένα δικό τους σενάριο συντελεστών βαρύτητας μέσα από τη διαδικασία της συμπλήρωσης του πίνακα των κριτηρίων ανά ζεύγη. Ειδικότερα, ο πρώτος συμμετέχων, με κωδικό όνομα Π1, εργάζεται στην τεχνική διεύθυνση των έργων, ο δεύτερος συμμετέχων με κωδικό όνομα Π2, στην μέτρηση και την ανάλυση αιολικού δυναμικού, ενώ ο τρίτος συμμετέχων με κωδικό όνομα Π3, στην διεύθυνση ανάπτυξης που έχει ως κύριο αντικείμενο την αδειοδότηση των έργων. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συντελεστές βαρύτητας που δόθηκαν από τους συμμετέχοντες.

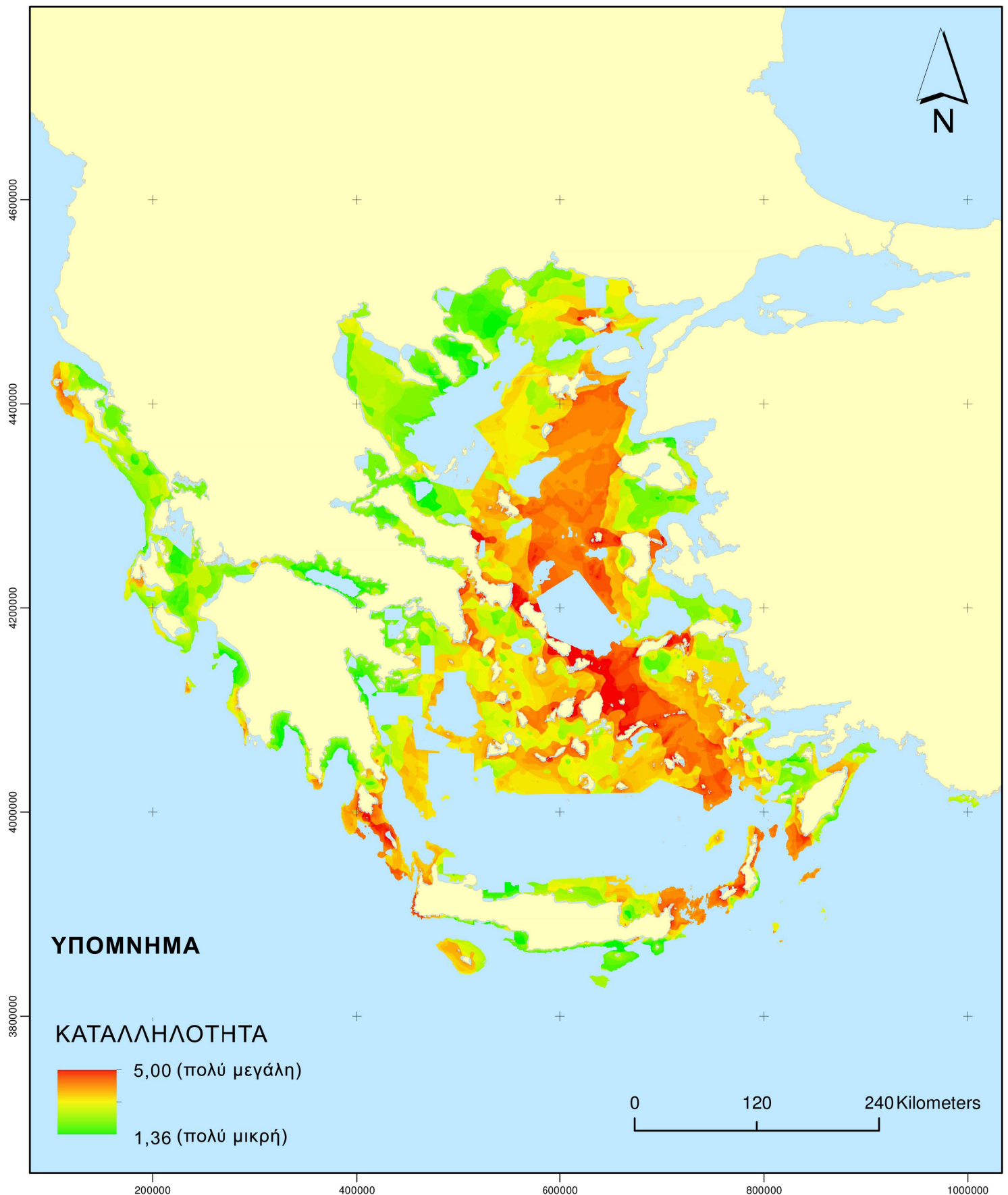
|            | <b>Π1</b> | <b>Π2</b> | <b>Π3</b> |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| AIOL       | 0.62      | 0.46      | 0.49      |
| BATHY      | 0.16      | 0.27      | 0.29      |
| GEOL       | 0.04      | 0.06      | 0.03      |
| YS_DIST    | 0.12      | 0.16      | 0.05      |
| PORTS_DIST | 0.06      | 0.05      | 0.14      |

Πίνακας 4

Φαίνεται ότι και οι τρεις συμμετέχοντες έδωσαν μεγαλύτερη βαρύτητα στο αιολικό δυναμικό κι έπειτα στο βάθος. Όσον αφορά στα κριτήρια εγγύτητας, δηλ. στην απόσταση από υποσταθμούς του δικτύου και στην απόσταση από λιμάνια, οι απόψεις διίστανται. Επιπλέον, και στα τρία σενάρια, το κριτήριο της γεωλογίας του βυθού έρχεται τελευταίο. Στους χάρτες Χ1.1, Χ1.2 και Χ1.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύνθεσης των σταθμισμένων κριτηρίων, όπως αυτά ορίστηκαν από τους συμμετέχοντες Π1, Π2 και Π3 αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι οι χάρτες παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες μεταξύ τους, αναδεικνύοντας και πάλι τη ζώνη με το υψηλό αιολικό δυναμικό που ξεκινά νότια της Λήμνου και καταλήγει στην Κάρπαθο, σαν μία ιδανική περιοχή για ανάπτυξη Θ.Α.Π. Βέβαια, υπάρχουν και διαφορές που οφείλονται στη διαφορετική αντιμετώπιση των υπόλοιπων κριτηρίων. Για παράδειγμα, ο χάρτης Χ1.1, φανερώνει ότι όταν το αιολικό δυναμικό είναι υψηλό, οι υπόλοιποι παράγοντες έχουν μικρότερη σημασία στην διαδικασία χωροθέτησης. Γι' αυτό και ο χάρτης αυτός παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό επιφανειών

κατάλληλων για ανάπτυξη Θ.Α.Π., εφόσον κυρίαρχο ρόλο παίζει το αιολικό δυναμικό, που σε μεγάλα τμήματα της περιοχής μελέτης, ειδικά μακριά από την ακτογραμμή, είναι ιδιαίτερα υψηλό. Οι άλλοι δύο χάρτες, Χ1.2 και Χ1.3, μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους όπως μοιάζουν και με τον αρχικό χάρτη Χ1.

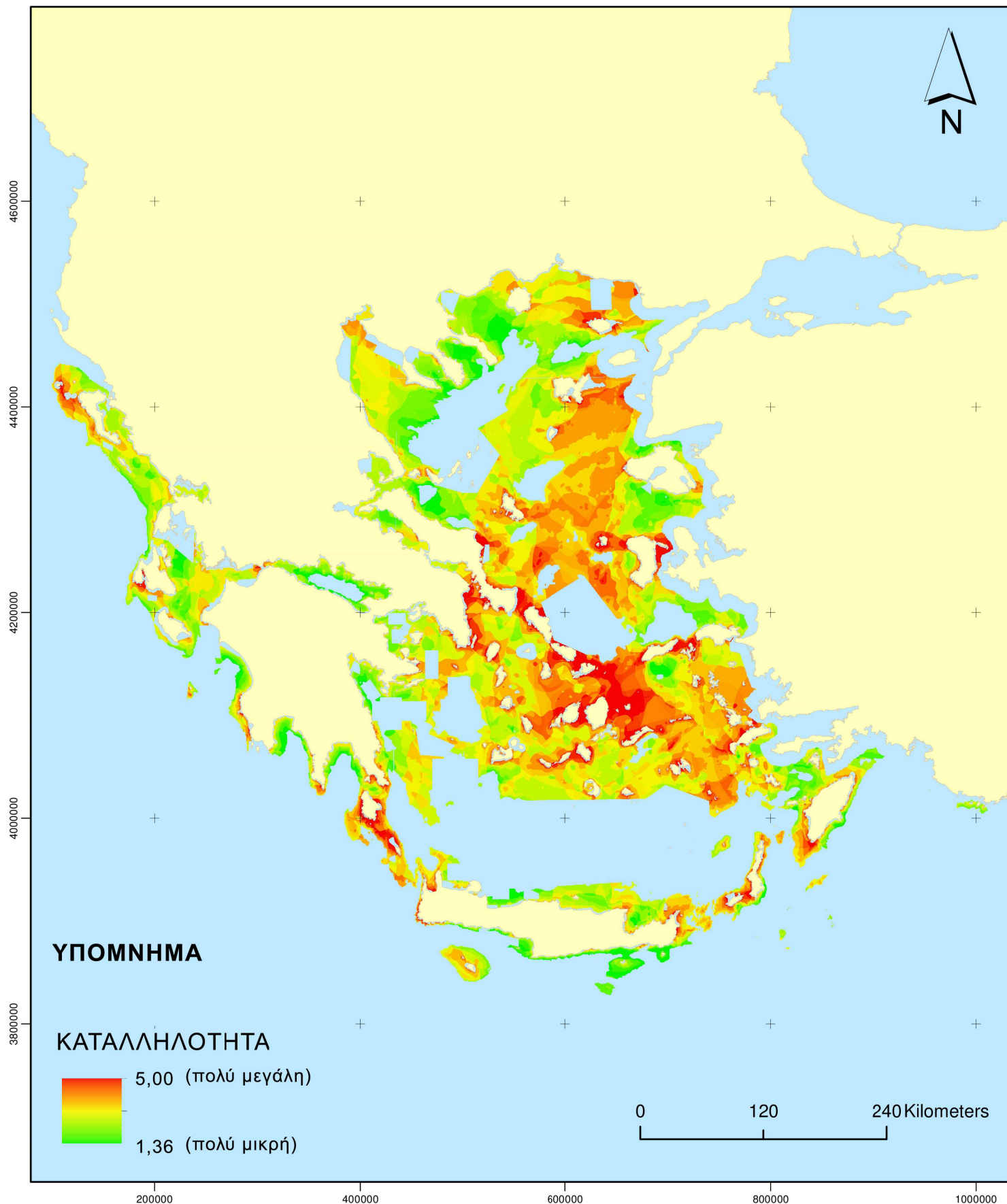
Συνδυάζοντας τα 4 επίπεδα raster των χαρτών Χ1, Χ1.1, Χ1.2 και Χ1.2, με την βοήθεια τους εργαλείου raster calculator ου ArcMap, προκύπτει ο συνδυαστικός χάρτης Χ1.Σ, στον οποίο διακρίνονται με κόκκινο οι καταλληλότερες περιοχές για ανάπτυξη Θ.Α.Π., όπως προκύπτει από τα τέσσερα σενάρια συντελεστών βαρύτητας.



**ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ  
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.  
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ -1-**

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **X1.1**

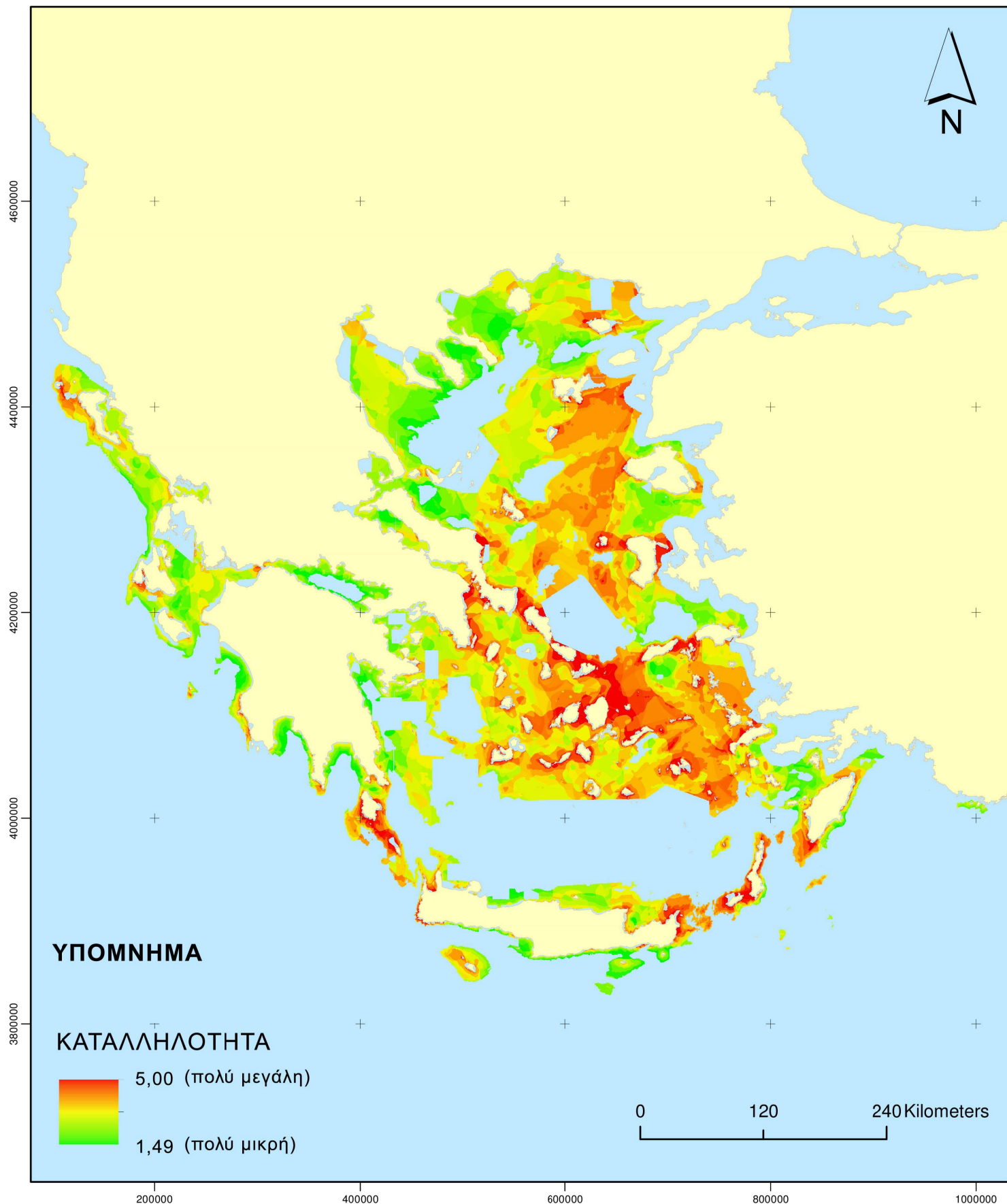


## ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ -2-

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **X1.2**



## ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.

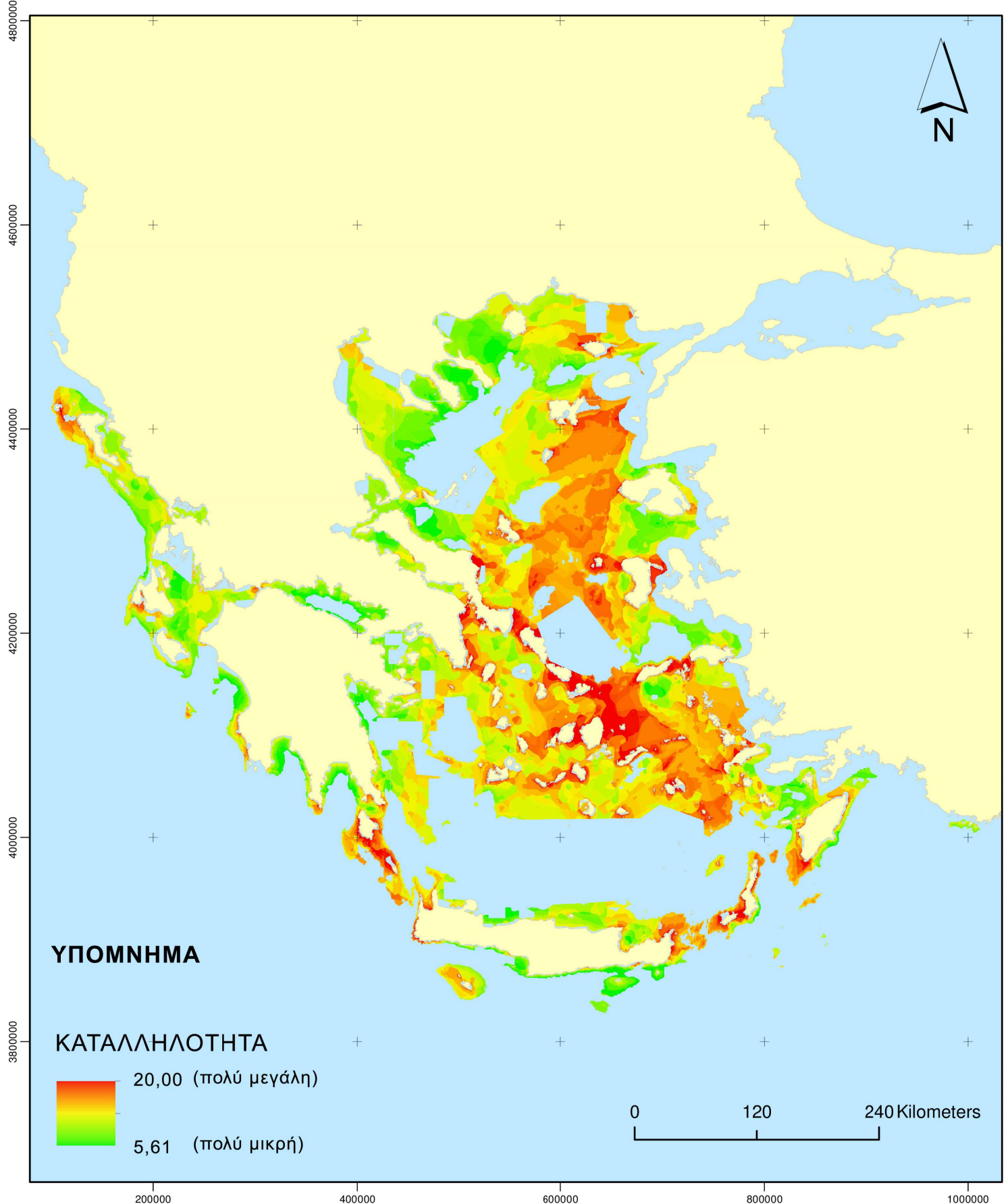
ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ -3-

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ.

**X1.3**





## ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΓΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ Θ.Α.Π.

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

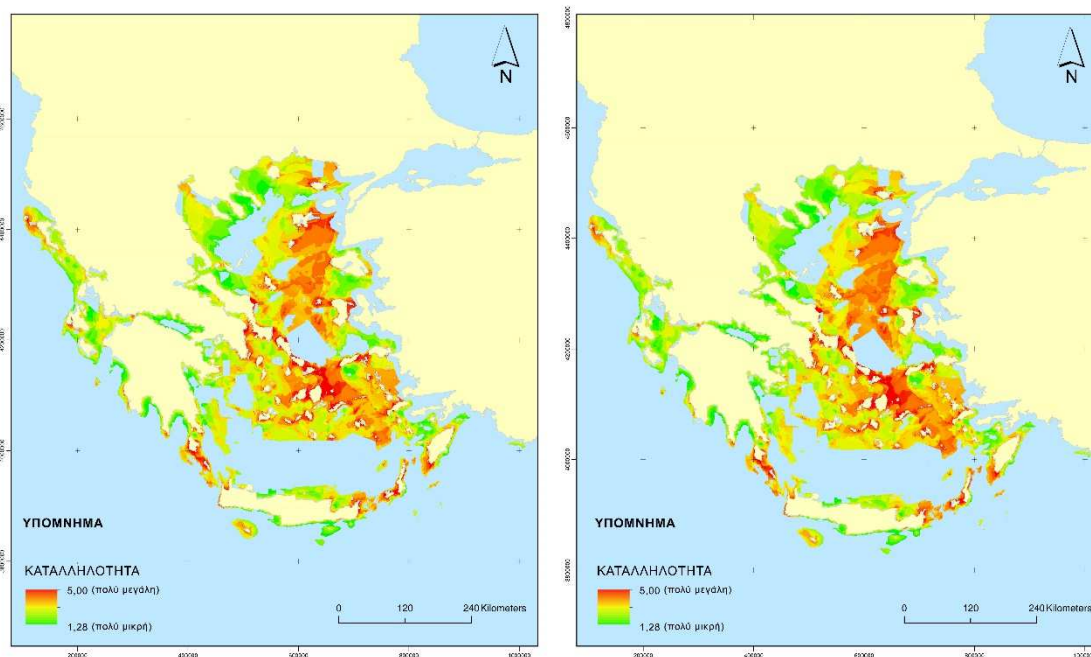
ΚΩΔ. **X1.Σ**

### 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΑΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Για την εξακρίβωση της ευστάθειας του προτεινόμενου μοντέλου χωροθέτησης Θ.Α.Π. διενεργείται ο παρακάτω έλεγχος ευαισθησίας. Μεταβάλλοντας ελαφρώς τους συντελεστές του αρχικού σεναρίου, το αποτέλεσμα δεν θα πρέπει να παρουσιάζει μεγάλες διαφορές σε σχέση με τα αποτελέσματα που φαίνονται στον χάρτη Χ1. Πιο συγκεκριμένα, οι συντελεστές των δύο σημαντικότερων κριτηρίων, του αιολικού δυναμικού και του βάθους μεταβάλλονται ως εξής: ο συντελεστής του αιολικού δυναμικού αυξάνεται κατά 5%, ενώ ο συντελεστής του βάθους μειώνεται κατά 5%. Έτσι προκύπτει το παρακάτω σενάριο συντελεστών.

|            |      |
|------------|------|
| AIOL       | 0.55 |
| BATHY      | 0.28 |
| GEOL       | 0.04 |
| YS_DIST    | 0.08 |
| PORTS_DIST | 0.05 |

Με την βοήθεια του εργαλείου raster calculator του ArcMAP, οι παραπάνω συντελεστές αναθέτονται στα 5 κριτήρια, τα οποία στη συνέχεια προθέτονται για να δημιουργήσουν ένα νέο raster επίπεδο. Στην εικόνα που ακολουθεί, αριστερά φαίνεται το αποτέλεσμα του χάρτη με το αρχικό σενάριο συντελεστών, ενώ στα δεξιά, το αποτέλεσμα του χάρτη με το νέο σενάριο συντελεστών.



εικόνα 17

Όπως φαίνεται, οι διαφορές ανάμεσα στους δύο χάρτες είναι απειροελάχιστες, γεγονός που σημαίνει ότι το προτεινόμενο μοντέλο δεν είναι ευαίσθητο σε μικροαλλαγές.

#### 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παραπάνω παρουσιάστηκαν δύο τρόποι σύνθεσης των κριτηρίων, ο πρώτος με την σύνταξη κανόνων και ο δεύτερος με την μέθοδο της ΑΗΡ. Με την μέθοδο της σύνταξης κανόνων, δημιουργείται μία πρώτη εικόνα για την βέλτιστη χωροθέτηση Θ.Α.Π. με έμφαση στον τύπο ανεμογεννητριών. Στους παραγόμενους χάρτες φαίνεται μία σαφής οριοθέτηση των περιοχών που ικανοποιούν την εκάστοτε συνθήκη. Παρατηρείται ότι κάθε φορά που αλλάζει το δεύτερο μέρος της συνθήκης «ταχύτητα ανέμου – βάθος», αλλάζουν και οι προτεινόμενες περιοχές, ενώ παράλληλα αυξάνεται και η επιφάνειά τους, καθώς όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή, σε μεγαλύτερα θαλάσσια βάθη, αυξάνεται και η ταχύτητα του ανέμου, που ρέει ελεύθερα, μακριά από τα εμπόδια της ξηράς και των ορεινών όγκων.

Στην πρώτη περίπτωση των εδρασμένων στον πυθμένα ανεμογεννητριών για βάθος έως και 50m, αναδεικνύονται οι παρακάτω περιοχές ως ιδανικές για την χωροθέτηση Θ.Α.Π.:

1. Βόρεια της Σαμοθράκης
2. Περιμετρικά της Λήμνου και κυρίως ανατολικά
3. Ανάμεσα σε Λήμνο και Τένεδο
4. Βορειοανατολικά του Αγ. Ευστράτιου
5. Δυτικά της Λέσβου
6. Περιμετρικά της Σκύρου
7. Στα Ψαρά και τα Αντίψαρα
8. Βορειοανατολικά και βορειοδυτικά της Χίου
9. Έξω από την Κύμη Ευβοίας
10. Στον κόλπο Μαρμαρίου Ευβοίας



11. Έξω από τη Νέα Μάκρη Αττικής
12. Περιμετρικά της Άνδρου, της Τήνου και της Μυκόνου
13. Ανατολικά της Μακρονήσου
14. Νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά της Τζιας
15. Ανάμεσα σε Πάρο και Νάξο
16. Βόρεια πλευρά της Ικαρίας
17. Στους Φούρνους
18. Δυτικά της Σάμου
19. Στους Λειψούς
20. Βόρεια και δυτικά της Κω
21. Περιμετρικά της Κω
22. Στην Ίο, την Σίκινο και την Φολέγανδρο
23. Νότια της Σαντορίνης
24. Περιμετρικά της Ανάφης
25. Στην Αστυπάλαια
26. Στην δυτική πλευρά των Κυθήρων
27. Βόρεια της Κισάμου Χανίων
28. Ανατολικά της Σητείας
29. Ανάμεσα σε Κάρπαθο και Κάσο
30. Νότια της Ρόδου
31. Στους Οθωνούς

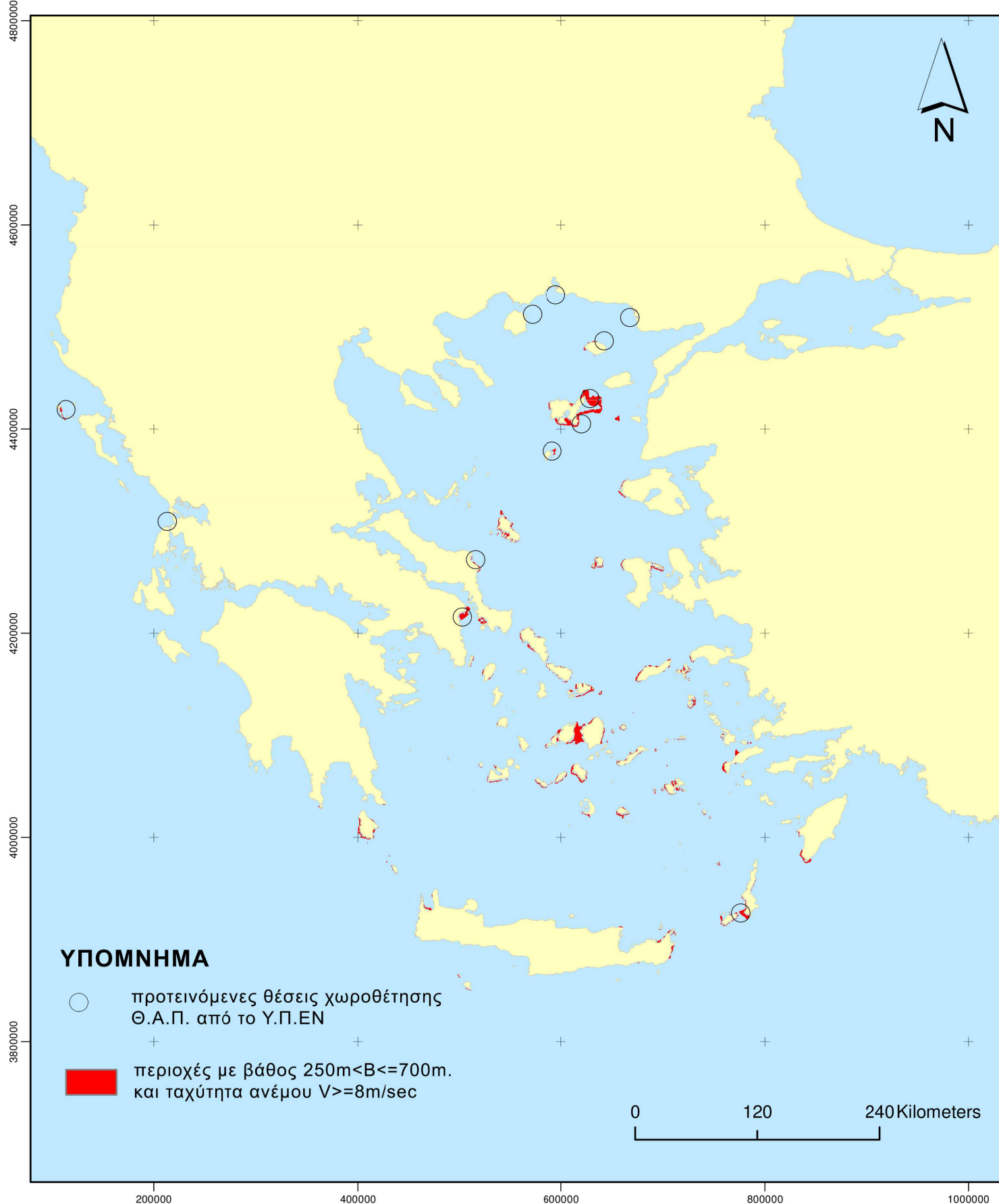
Αυξάνοντας το όριο του βάθους, αυξάνεται και ο αριθμός και η επιφάνεια των προτεινόμενων περιοχών για χωροθέτηση Θ.Α.Π.

Για παράδειγμα, με την επέκταση του ορίου του βάθους στα 250 μέτρα, προκύπτει μία νέα περιοχή στο Λιβυκό Πέλαγος, βορειοδυτικά της Γαύδου. Παράλληλα, επεκτείνεται η περιοχή στους Οθωνούς προς το Νότο, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των Κυθήρων. Επίσης, δημιουργούνται μεγάλες επιφάνειες νότια της Λήμνου, ανάμεσα σε Σκύρο και Λέσβο και βορειοανατολικά της Νάξου.

Ομοίως, με την επέκταση του ορίου βάθους στα 700m, προκύπτουν ακόμα μεγαλύτερες επιφάνειες, που αρχίζουν να ενώνονται μεταξύ τους.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του χάρτη R1, για βάθος έως και 50m με την πρόταση του Υ.Π.ΕΝ για την 1η φάση χωροθέτησης Θ.Α.Π., που αναφέρεται αποκλειστικά σε ανεμογεννήτριες που θα είναι εδρασμένες στον πυθμένα, παρατηρούνται πολλές ομοιότητες. Για παράδειγμα, οι Οθωνοί, η Λήμνος, ο Αγ. Ευστράτιος, η Κύμη Ευβοίας, η Νέα Μάκρη και το τμήμα ανάμεσα σε Κάρπαθο και Κάσο, είναι περιοχές που προτείνονται και από το Υ.Π.ΕΝ. Σ τον χάρτη R1.Υ που ακολουθεί αποτυπώνονται με κύκλο οι θέσεις που προτείνει το Υ.Π.ΕΝ και με κόκκινο τα αποτελέσματα του χάρτη R1.

Η σύγκριση αυτή αποτελεί και έλεγχο των αποτελεσμάτων, εφόσον αποδεικνύει ότι οι περιοχές που αναδεικνύονται από την μελέτη, όντως αποτελούν περιοχές ενδιαφέροντος για χωροθέτηση Θ.Α.Π.



## ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Α/Γ ΕΔΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΠΥΘΟΜΕΝΑ & ΠΡΟΤΑΣΗ Υ.Π.ΕΝ

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

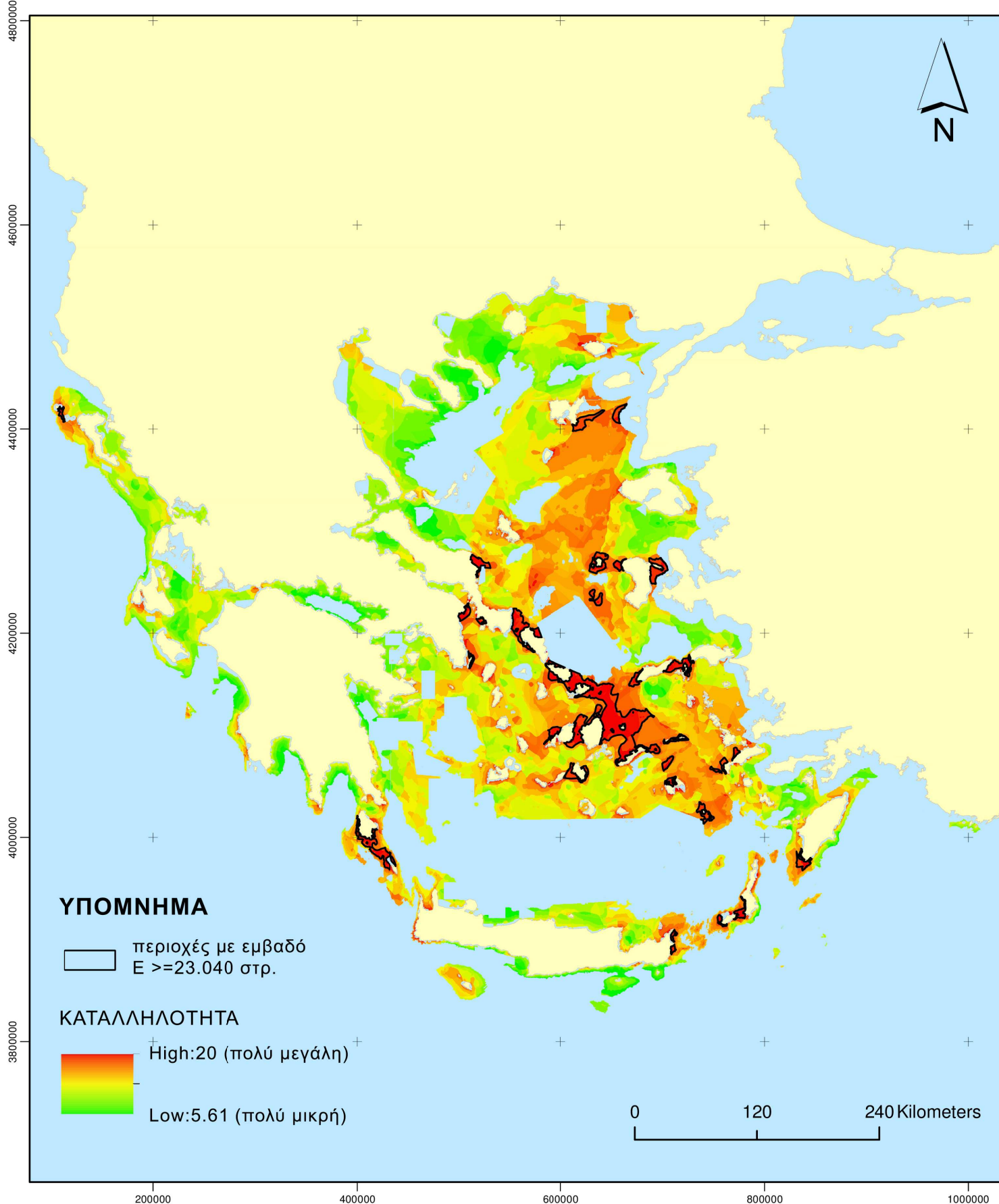
ΚΩΔ. **R1.Y**

Ωστόσο, ο τρόπος της σύνταξης κανόνων δεν επιτρέπει την διαβάθμιση μεταξύ των αποτελεσμάτων, καθώς η διαδικασία αφορά μόνο και μόνο στον έλεγχο για την ικανοποίηση της συνθήκης που έχει οριστεί. Αντίθετα, η μέθοδος της ΑΗΡ επιτρέπει τη διαβάθμιση των αποτελεσμάτων, ενώ παράλληλα εισάγει και την προσωπική άποψη του μελετητή, δίνοντας ξεχωριστή βαρύτητα σε κάθε κριτήριο. Έτσι, προέκυψαν 4 διαφορετικοί αλλά ταυτόχρονα και παρόμοιοι χάρτες, από 4 σενάρια συντελεστών βαρύτητας. Ο συνδυασμός των 4 χαρτών στον χάρτη Χ1.Σ, εμπεριέχει και τα 4 σενάρια, απεικονίζοντας με διαβάθμιση τον βαθμό καταλληλότητας των διαφόρων τμημάτων της περιοχής μελέτης, βάσει των 5 κριτηρίων που επιλέχθηκαν για την έρευνα.

Πέρα από την ικανοποίηση των συνθηκών, για την περίπτωση της σύνταξης κανόνων και πέρα από τον βαθμό καταλληλότητας των διαφόρων περιοχών για την περίπτωση της Α.Η.Ρ., μεγάλη σημασία έχει επίσης και το εμβαδό των επιφανειών, εφόσον η εργασία αφορά στην αναζήτηση μεγάλων εκτάσεων για ανάπτυξη Θ.Α.Π., στα πλαίσια ενός Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού. Το εμβαδό αυτό αφορά στη δεύτερη παραδοχή της εργασίας, που ορίζει ως ιδανικές περιοχές εκείνες στις οποίες θα μπορούν να εγκατασταθούν τουλάχιστον 9 ανεμογεννήτριες. Όπως περιγράφηκε αναλυτικότερα στην παράγραφο των παραδοχών της εργασίας, ως ελάχιστη απόσταση μεταξύ ανεμογεννητριών, ορίζεται η απόσταση των  $8DX8D$ , όπου  $D$  η διάμετρος της πτερωτής. Συνεπώς, σε μία συμμετρική διάταξη  $3X3$ , το ελάχιστο απαιτούμενο εμβαδό που ικανοποιεί την απόσταση αυτή, ισούται με 23.040 στρ. Στον χάρτη Χ1.Σ.Ε που ακολουθεί, απεικονίζονται με μαύρο περίγραμμα οι περιοχές με πολύ μεγάλη καταλληλότητα για χωροθέτηση Θ.Α.Π., ανεξαρτήτως τύπου ανεμογεννητριών, οι οποίες ταυτόχρονα αντιστοιχούν σε εμβαδό ίσο ή μεγαλύτερο των 23.040 στρ. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται:

1. Ανάμεσα σε Λήμνο και Τένεδο
2. Στην Κύμη
3. Στη Νέα Μάκρη
4. Από Πόρτο Ράφτη έως και το ανατολικό τμήμα της Μακρονήσου
5. Ανάμεσα σε Νότια Εύβοια και Άνδρο
6. Στα Ψαρά

7. Δυτικά και ανατολικά της Χίου
8. Στα ανοιχτά, μεταξύ Χίου και Εύβοιας
9. Ανάμεσα σε Σάμο και Ικαρία
10. Δυτικά της Ικαρίας
11. Από την Τήνο έως την Νάξο, την Πάρο και την Αμοργό
12. Δυτικά της Πάρου
13. Ανάμεσα σε Ίο και Σίκινο
14. Στα ανοιχτά, ανάμεσα σε Αστυπάλαια και Αμοργό
15. Βόρεια της Αστυπάλαιας
16. Στην ευρύτερη περιοχή της βραχονησίδας Σύρνα
17. Βόρεια και δυτικά της Κω
18. Νότια της Ρόδου
19. Ανάμεσα σε Κάρπαθο και Κάσο
20. Δυτικά της Κάσου
21. Ανατολικά της Σητείας
22. Μεταξύ Κυθήρων και Αντικυθήρων
23. Στους Οθωνούς

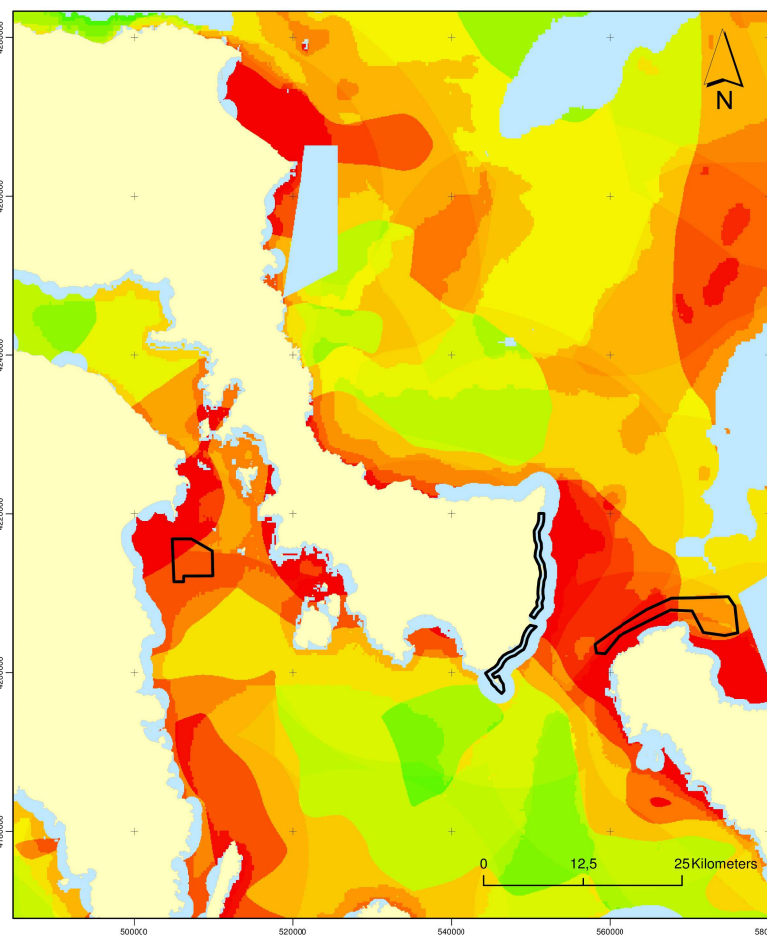
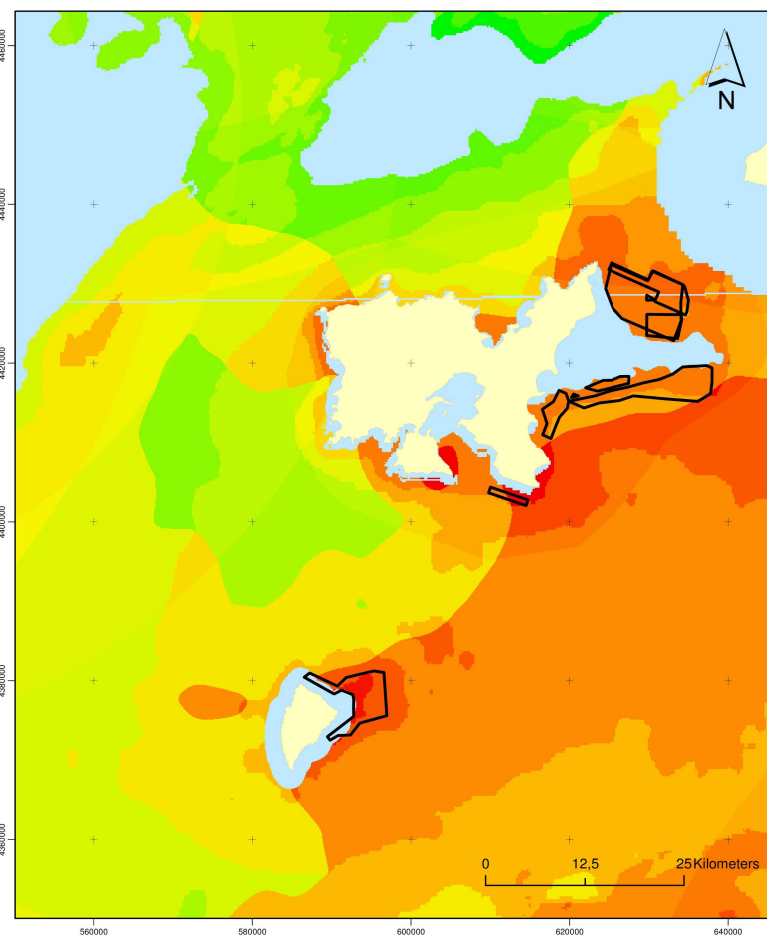
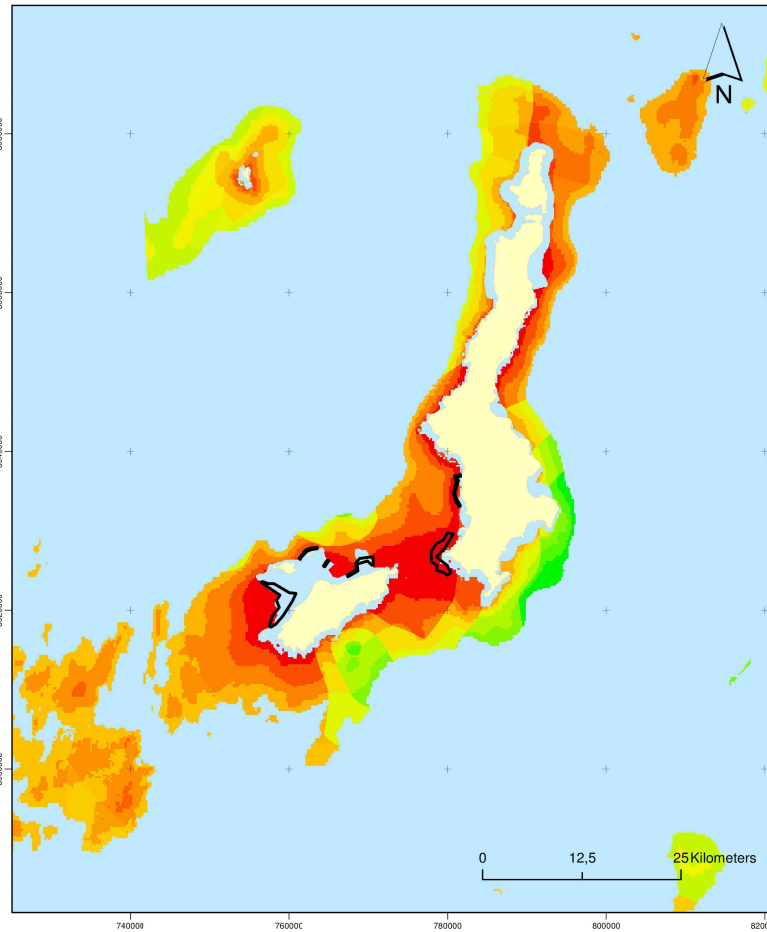
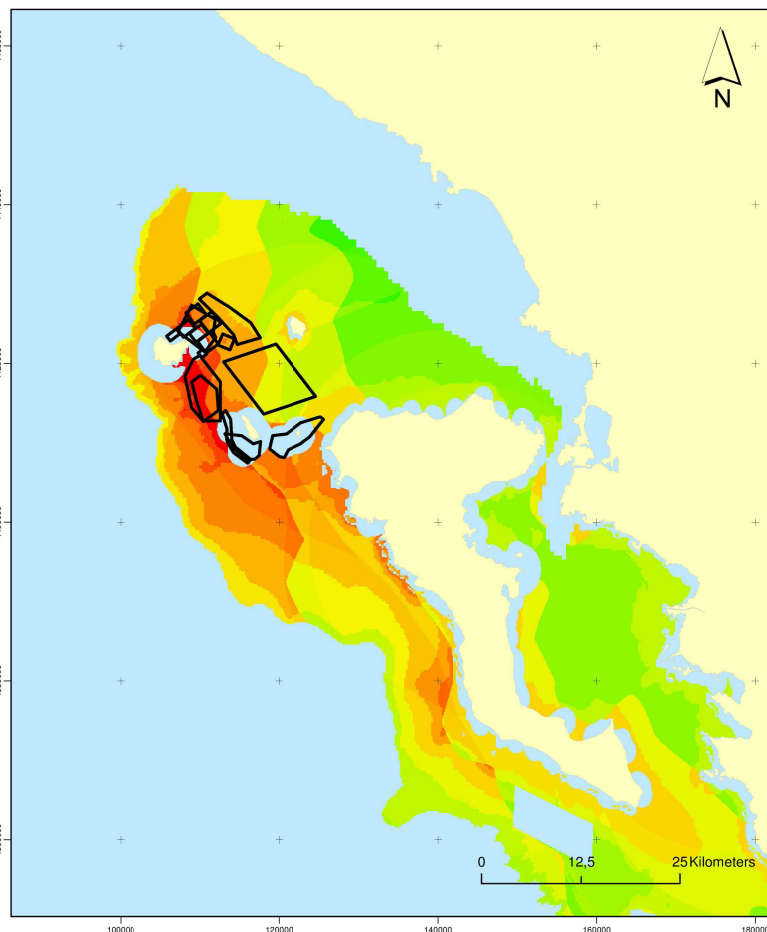


**ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ Θ.Α.Π.  
ΜΕ ΕΜΒΑΔΟ  $E \geq 23.040$  στρ.**

ΚΛΙΜΑΚΑ  
1:5.000.000

ΚΩΔ. **X1.Σ.Ε**

Παρατηρώντας τις αιτήσεις ιδιωτών για Θ.Α.Π. στον γεωπληροφοριακό χάρτη της Ρ.Α.Ε., προκύπτει ότι αρκετές περιοχές που χαρακτηρίστηκαν ως πολύ κατάλληλες για χωροθέτηση Θ.Α.Π., μέσα από την διαδικασία της Α.Η.Ρ., προσελκύουν και το ανάλογο επενδυτικό ενδιαφέρον. Για παράδειγμα, οι περιοχές στους Οθωνούς, στην Λήμνο και τον Αγ. Ευστράτιο, στη Νέα Μάκρη και στη Νότια Εύβοια, οι περιοχή βόρεια της Άνδρου, όπως και η περιοχή ανάμεσα σε Κάσο και Κάρπαθο, φαίνεται να προσελκύουν το ενδιαφέρον των εταιρειών κατασκευής αιολικών πάρκων. Στην σελίδα που ακολουθεί, χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο ο χάρτης Χ1.Σ, ενώ με μαύρο περίγραμμα απεικονίζονται τα πολύγωνα των αιτήσεων προς την Ρ.Α.Ε για την κατασκευή Θ.Α.Π. Παρατηρείται ότι τα περιγράμματα των πολυγώνων βρίσκονται πάνω στις περιοχές που εμφανίζουν μεγάλη καταλληλότητα για χωροθέτηση Θ.Α.Π. Το γεγονός αυτό ενισχύει ακόμα περισσότερο την ορθότητα των αποτελεσμάτων, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι συγκεκριμένες εταιρείες κατέληξαν στις συγκεκριμένες περιοχές κάνοντας χρήση ακόμα πιο λεπτομερών δεδομένων και μελετώντας διεξοδικά την καταλληλότητα των περιοχών αυτών.



## ΥΠΟΜΝΗΜΑ

 αιτήσεις Θ.Α.Π. στην ΡΑΕ

### ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ

 High : 20 (πολύ μεγάλη)

 Low : 5,61 (πολύ μικρή)



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη, επιχειρήθηκε η αναζήτηση κατάλληλων περιοχών για χωροθέτηση Θ.Α.Π. στο Αιγαίο, το Ιόνιο και το Λιβυκό Πέλαγος, με την χρήση εργαλείων Γεωπληροφορικής. Η μέθοδος της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης με χαρτογραφική υπέρθεση επιπέδων που χρησιμοποιήθηκε, αποδείχθηκε μία πολύ καλή μέθοδος για την επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος χωροθέτησης, που επηρεάζεται και καθορίζεται από ένα πλήθος παραγόντων. Τα κριτήρια που συμμετείχαν στην ανάλυση ήταν το αιολικό δυναμικό/ταχύτητα ανέμου, το βάθος, η γεωλογία βυθού, η απόσταση από λιμάνια και η απόσταση από τους υποσταθμούς του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα της μελέτης απεικονίζονται σε χάρτες καταλληλότητας για την χωροθέτηση Θ.Α.Π., αλλά και σε χάρτες χωροθέτησης ανά τύπο ανεμογεννήτριας με βάση τον τρόπο θεμελίωσης. Έτσι στον χάρτη R1, παρουσιάζονται οι περιοχές που είναι κατάλληλες για υποδοχή ανεμογεννητριών που θα είναι εδρασμένες στον πυθμένα, ενώ στους χάρτες R2 και R3 οι περιοχές που είναι κατάλληλες για εγκατάσταση πλωτών ανεμογεννητριών.

Τα αποτελέσματα της εργασίας συμβάλουν στην κατανόηση των χαρακτηριστικών του βυθού αλλά και γενικότερα για την περιοχή που μελετάται. Για παράδειγμα, από τους χάρτες κριτηρίων προκύπτουν χρήσιμες πληροφορίες για το βάθος της περιοχής μελέτης, για την ένταση των ανέμων κ.α. Τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμα στο πλαίσιο ενός Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού ο οποίος θα αξιοποιεί τις περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό που ταυτόχρονα συγκεντρώνουν και άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η απόσταση από υποσταθμούς του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.α. Θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί σε επενδυτικά σχέδια που αφορούν σε συγκεκριμένο τύπο ανεμογεννητριών καθώς επίσης και σε συγκεκριμένη επιφάνεια εγκατάστασης ανεμογεννητριών. Τα αποτελέσματα της εργασίας αναδεικνύουν τις περιοχές που κρίνονται κατάλληλες για εγκατάσταση Θ.Α.Π. σε μία μακρο-κλίμακα, προκειμένου ο κάθε ενδιαφερόμενος να εστιάσει στις συγκεκριμένες περιοχές για να προχωρήσει σε μία πιο λεπτομερειακή μελέτη.

Όπως φαίνεται και στον θεματικό χάρτη βάθους «Κ2», ο θαλάσσιος ελλαδικός χώρος περιλαμβάνει εξαιρετικά μεγάλα βάθη, γεγονός που οδηγεί στην προτίμηση των πλωτών ανεμογεννητριών, ειδικά όταν πρόκειται για αναζήτηση μεγάλων εκτάσεων χωροθέτησης Θ.Α.Π. Μέχρι τώρα, στην Ελλάδα δεν έχει πραγματοποιηθεί κανένα Θ.Α.Π., παρόλο που υπάρχουν σχετικές αιτήσεις επενδυτών καταχωρημένες στην Ρ.Α.Ε.. Βέβαια το γεγονός ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι τώρα, δεν αποκλείει μελλοντικές εγκαταστάσεις Θ.Α.Π. στον χώρο, ακόμη και εγκαταστάσεις πλωτών ανεμογεννητριών. Εξάλλου, οι πλωτές ανεμογεννήτριες πλέον, δεν ανήκουν στην σφαίρα της φαντασίας, αλλά αποτελούν τη νέα πραγματικότητα στον τομέα των ανεμογεννητριών, ενώ παράλληλα εξελίσσονται συνεχώς. Φυσικά και δεν αποκλείονται οι ανεμογεννήτριες εδρασμένες στον πυθμένα, για τις οποίες έγινε σαφής καθορισμός των προτεινόμενων περιοχών χωροθέτησης. Ενδεχομένως, τα Θ.Α.Π. με εδρασμένες στον πυθμένα ανεμογεννήτριες να μπορούν να αναπτυχθούν πλησίον αιολικών πάρκων εγκατεστημένων σε ακατοίκητες βραχονησίδες.

Ωστόσο, η πολυπλοκότητα του προβλήματος χωροθέτησης Θ.Α.Π. περιλαμβάνει και άλλες σημαντικές μεταβλητές, οι οποίες δεν λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα εργασία. Για παράδειγμα, η απόσταση από επιβεβαιωμένες γραμμές ναυσιπλοΐας, οι διάδρομοι των μεταναστευτικών πουλιών, τα υποθαλάσσια καλώδια, οι περιοχές αλιείας κ.α. είναι σημαντικοί παράγοντες, οι οποίοι δεν συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία λόγω έλλειψης σχετικών δεδομένων. Επιπλέον, ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας είναι το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεχομένως, αυτό να μπορούσε να αποτελέσει το επόμενο βήμα της παρούσας εργασίας, η οποία εκτός από τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν, θα εισάγει και οικονομικά στοιχεία, δίνοντας μία ολοκληρωμένη άποψη για την καταλληλότητα της περιοχής μελέτης σχετικά με την χωροθέτηση Θ.Α.Π.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Murphy J., Lynch K., Serri L., Airdoldi D. & Lopes M. (2011). *Site Selection Analysis for Offshore Combined Resource Projects in Europe Results of the FP7 ORECCA Project Work Package 2*, Hydraulics and Maritime Research Centre (HMRC), University College Cork.

Hong L. & Möller B., (2011). Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints, *Energy*, 36, 4482 – 4491.

Soukissian T., Reixopoulou S., Drakopoulou P., Axaopoulos P., Karathanasi F., Frashetti S. et al.(2016). Greening offshore wind with the Smart Wind Chart evaluation tool, *Web Ecol.*, 16, 73–80.

Vagiona D. & Karanikolas N. (2012). A Multicriteria Approach to Evaluate Offshore Wind Farms Siting in Greece, *Global Nest Journal*, 14, 235-243.

Nobre A., Pacheco M., Jorge R., Lopes M.F.P., Gato L.M.C. (2009). Geo-spatial multi-criteria analysis for wave energy conversion system deployment, *Renewable Energy*, 34, 97-111

Lee T. (2010). Assessment of the Potential of Offshore Wind Energy in Taiwan using Fuzzy Analytic Hierarchy Process, *The Open Civil Engineering Journal*, 4, 96-104.

Χαλκιάς, Χ., Γκούσια, Μ., (2015). *Γεωγραφική ανάλυση με την αξιοποίηση της γεωπληροφορικής*, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4546>

Καλογεροπούλου Τ. (2010). *Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα*. Διπλωματική εργασία, Τμ. Μηχανολόγων Μηχ/κων, ΕΜΠ, Αθήνα.

Τζανετάκης Ε. (2013). *Τεχνολογία Θεμελιώσεων των Παράκτιων Αιολικών Συστημάτων*. Πτυχιακή εργασία, Τμ. Μηχανολογίας, ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο.

Αρβανίτης Α. & Γιαννακοπούλου Σ. (2016). Θαλάσσιος Χωροταξικός Σχεδιασμός – Θαλάσσιο Κτηματολόγιο: Μία αναγκαία αμφίδρομη σχέση για την Ελλάδα., *αειχώρος*, 23, 88-107.

Χατζημπίρος Κ.(2014). *Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στην Προοπτική του 2050*, εισήγηση στο 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο: Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.

Enveco A.E. (2015). Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, παρουσίαση στην ημερίδα παρουσίασης έργου, ΚΑΠΕ, Αθήνα.

Σιέρος Γ. (2015). Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Εθνικού Προγράμματος Ανάπτυξης Θαλάσσιων Αιολικών Πάρκων, παρουσίαση στην ημερίδα παρουσίασης έργου, ΚΑΠΕ, Αθήνα.

Latinopoulos D. & Kechagia K. (2015), A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece, *Renewable Energy*, 78, 550 – 560

Haaren R., Fthenakis V. (2011), GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3332– 3340

Cradden L., Kalogeri C., Martinez Barrios I., Galanis G., Ingram D., Kallos G. (2016), Multi-criteria site selection for offshore renewable energy platforms, *Renewable Energy*, 87, 791-806

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=362&snl\[524\]=420](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=362&snl[524]=420)

[http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/el/displayFtu.html?ftuld=FTU\\_5.3.8.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/el/displayFtu.html?ftuld=FTU_5.3.8.html)

[http://egialos.blogspot.gr/2009/06/blog-post\\_5671.html](http://egialos.blogspot.gr/2009/06/blog-post_5671.html)

<http://news.in.gr/science-technology/article/?aid=1500156152>

<http://www.rae.gr/geo/>

<https://www.eea.europa.eu/el>

[https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue\\_growth\\_el](https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth_el)

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

<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ibcm/seds/>

<http://www.worldportsource.com/countries.php>

[http://www.admie.gr/fileadmin/user\\_upload/Files/masm/2014/DPA\\_2014-2023\\_CHARTIS.pdf](http://www.admie.gr/fileadmin/user_upload/Files/masm/2014/DPA_2014-2023_CHARTIS.pdf)

<https://www.entsoe.eu/map/Pages/default.aspx>

[https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1pM2WH-Eg84y9Jda2NQact5clDa0&hl=en\\_US&ll=38.32039908634489%2C29.734928914062493&z=7](https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1pM2WH-Eg84y9Jda2NQact5clDa0&hl=en_US&ll=38.32039908634489%2C29.734928914062493&z=7)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Vindeby\\_Offshore\\_Wind\\_Farm](https://en.wikipedia.org/wiki/Vindeby_Offshore_Wind_Farm)

[https://en.wikipedia.org/wiki/London\\_Array](https://en.wikipedia.org/wiki/London_Array)

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_offshore\\_wind\\_farms](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms)

<http://www.openocean.fr/en/news/2017/03/21/vindeby-1991-2017-decommission-of-the-worlds-first-offshore-wind-farm/>

<http://www.4coffshore.com/windfarms/hywind-scotland-pilot-park-united-kingdom-uk76.html>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΧΑΡΤΗΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΒΥΘΟΥ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

ΠΗΓΗ: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ibcm/seds/>

2. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΟΝΙΚΟ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΕΩΣ ΤΟ 2023

ΠΗΓΗ: [http://www.admie.gr/fileadmin/user\\_upload/Files/masm/2014/DPA\\_2014-2023\\_CHARTIS.pdf](http://www.admie.gr/fileadmin/user_upload/Files/masm/2014/DPA_2014-2023_CHARTIS.pdf)



