

# Αποδοτική ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας στο ελληνικό σύστημα με χρήση γενετικών αλγορίθμων

Γ.Κάραλης<sup>1</sup>, Στ.Δεληκαράογλου<sup>1</sup>, Κ. Ράδος<sup>2</sup>, Α. Ζερβός<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας

<sup>2</sup> Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρόπησης, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας

e-mail: [gcaralis@central.ntua.gr](mailto:gcaralis@central.ntua.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αιολική ενέργεια αποτελεί την πλέον ώριμη τεχνολογικά και οικονομικά ανταγωνιστική ΑΠΕ. Η επίτευξη των Εθνικών στόχων για το 2020 περνά σαφώς μέσα από το πρίσμα της μεγαλύτερης δυνατής αποδοτικής ενσωμάτωσης ανεμογεννητριών στο σύστημα. Η συσχέτιση των ανεμολογικών χαρακτηριστικών στις περιοχές ανάπτυξης απαιτεί την διερεύνηση τεχνικών ζητημάτων που σχετίζονται με την απορρόφηση της αιολικής ενέργειας και την παροχή εγγυημένου ισχύος και καθορίζουν την ενεργειακή συνεισφορά και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος.

Στην παρούσα εργασία, μελετάται η βέλτιστη χωροθέτηση των αιολικών εγκαταστάσεων με χρήση γενετικών αλγορίθμων με εφαρμογή σε τρία σενάρια εγκατεστημένης αιολικής ισχύος 3000, 5000 και 8000MW. Χρησιμοποιούνται αντιπροσωπευτικές χρονοσειρές ανεμολογικών δεδομένων για κάθε περιοχή ενδιαφέροντος ανά την επικράτεια, οι οποίες έχουν προκύψει με χρήση του επιχειρησιακού μεσοκλιματικού μετεωρολογικού προτύπου COAMPS που αναπτύχθηκε από το τμήμα Ναυτικής Μετεωρολογίας του Εργαστηρίου Θαλασσιών Ερευνών (Naval Research Laboratory) των ΗΠΑ. Το υπολογιστικό εργαλείο EASY του Εργαστηρίου Θερμικών Στροβιλομηχανών του ΕΜΠ, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής διασποράς των αιολικών με κριτήριο βελτιστοποίησης την μέγιστη ενεργειακή συνεισφορά των αιολικών και την μέγιστη παροχή εγγυημένου ισχύος. Η αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης υπολογίζεται με χρήση πιθανοτικής ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος, την ζήτηση και τα χαρακτηριστικά των συμβατικών και υδροηλεκτρικών μονάδων. Το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε 27 προεπιλεγμένες θέσεις που καλύπτουν το ευρύτερο μέρος του ελληνικού γεωγραφικού χώρου, και περιλαμβάνουν την ηπειρωτική Ελλάδα και το νησιωτικό χώρο.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την σημαντική επίδραση της γεωγραφικής διασποράς των αιολικών εγκαταστάσεων στον συντελεστή εγγυημένου ισχύος και στην ενεργειακή συνεισφορά. Επίσης, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται σαφές ότι σημαντικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας είναι η υψηλή συσχέτιση του ανέμου που εμφανίζεται στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή του Αιγαίου και των παράλιων της Ανατολικής ηπειρωτικής Ελλάδας, με σημαντική επίδραση στην περικυπόμενη αιολική ενέργεια, στην εγγυημένη ισχύ και τελικά στην ενεργειακή συνεισφορά.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αιολική ενέργεια ως η πλέον ώριμη τεχνολογικά και οικονομικά μορφή ΑΠΕ μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην μελλοντική μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και στην προστασία του περιβάλλοντος. Η επίτευξη των εθνικών στόχων που τίθενται για την Ελλάδα μέχρι το 2020, επιβάλλει την αύξηση των αιολικών εγκαταστάσεων στο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας μας τα επόμενα χρόνια. Σε μία πρώτη προσέγγιση, είναι εμφανές ότι οι αιολικές εγκαταστάσεις πρέπει να

τοποθετηθούν σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, καθώς με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η πρωτογενής παραγωγή αιολικής ενέργειας. Ταυτόχρονα όμως πρέπει να ληφθούν υπόψη, κατά τον μελλοντικό σχεδιασμό της μεγάλης διείσδυσης των αιολικών στο ηλεκτρικό σύστημα, η ικανότητα του συστήματος να απορροφήσει την παραγόμενη αιολική ενέργεια καθώς και η ενδεχόμενη απαίτηση για αντικατάσταση κάποιων συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας που λειτουργούν σήμερα. Σε προηγούμενες δημοσιεύσεις [1], η μελέτη και η αξιολόγηση χαρακτηριστικών σεναρίων κατέδειξε την σημασία της γεωγραφικής διασποράς των αιολικών εγκαταστάσεων, στην αύξηση του συντελεστή εγγυημένης ισχύος (*Capacity Credit*) καθώς και στην ταυτόχρονη αύξηση της απορροφούμενης από το σύστημα αιολικής ενέργειας. Στην παρούσα εργασία μελετάται το πρόβλημα της χωροθέτησης των αιολικών εγκαταστάσεων με τη χρήση της μεθόδου βελτιστοποίησης των γενετικών αλγορίθμων, η οποία επιτρέπει την αξιολόγηση μεγάλου πλήθους υποψηφίων λύσεων με στόχο τον προσδιορισμό βέλτιστων λύσεων.

Η μεταβλητότητα της αιολικής ενέργειας, η οποία προκύπτει λόγω της εγγενούς στοχαστικότητας του ανέμου, επηρεάζει σημαντικά τα μεγέθη του συντελεστή εγγυημένης ισχύος και απορρόφησης της αιολικής παραγωγής [2,3], με αποτέλεσμα η ετήσια κατανομή της αιολικής παραγωγής να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την γεωγραφική διασπορά των αιολικών εγκαταστάσεων [4]. Η αξιόπιστη πρόβλεψη του συντελεστή εγγυημένης ισχύος, μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στον μακροχρόνιο εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό μέσω του προσδιορισμού της απαιτούμενης εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος καθώς και η επίτευξη των εθνικών στόχων. Παράλληλα, σχετικά με την μεγιστοποίηση της ικανότητας απορρόφησης της αιολικής ενέργειας από το ηλεκτρικό σύστημα, πρέπει να ληφθούν υπόψη και τεχνικοί περιορισμοί, όπως ο προγραμματισμός και η ανάθεση φορτίου στις συμβατικές μονάδες του συστήματος ώστε να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και η ευστάθεια της λειτουργίας του. Και τα δύο αυτά ζητήματα είναι εξίσου σημαντικά, ιδιαίτερα για ένα ηλεκτρικό σύστημα όπως το ελληνικό το οποίο χαρακτηρίζεται σε περιόδους αιχμής και από περιορισμένη διασυννοριακή μεταφορική ικανότητα.

Επιπροσθέτως, τα ζητήματα που αναφέρονται παραπάνω επηρεάζουν σαφώς και την οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων στην αιολική ενέργεια, άρα κατ' επέκταση και την επίτευξη των εθνικών στόχων αναφορικά με την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.

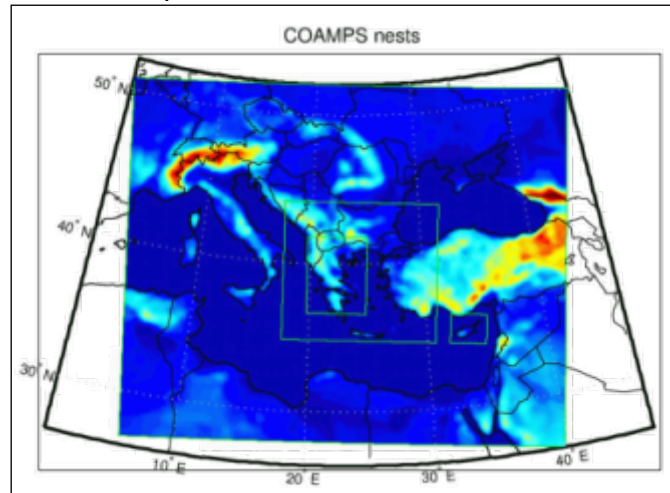
## 2.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Απαιτούμενα Στοιχεία

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι τα εξής: η ετήσια καμπύλη διάρκειας του φορτίου του συστήματος, τα χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων παραγωγής, και ειδικότερα η σειρά ένταξης των συμβατικών μονάδων, η μέγιστη ικανότητα παραγωγής κάθε μονάδας και το τεχνικό της ελάχιστο. Οι μεταβλητές αυτές θεωρούνται πλήρως ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Για την εξέταση σεναρίων γεωγραφικής διασποράς των αιολικών, απαιτείται ταυτόχρονη πληροφορία για τον άνεμο σε όλες τις εξεταζόμενες περιοχές. Η πληροφορία αυτή προκύπτει με χρήση του επιχειρησιακού μετεωρολογικού προτύπου COAMPS που αναπτύχθηκε από το τμήμα Ναυτικής Μετεωρολογίας του Εργαστηρίου Θαλασσιών Ερευνών (Naval Research Laboratory) των ΗΠΑ [5]. Από την εφαρμογή του προτύπου, παρέχεται η δυνατότητα αναπαραγωγής ταυτόχρονων χρονοσειρών ανέμου στη μεσοκλίμακα για ολόκληρη την επικράτεια. Η παραμετροποίηση και

προσαρμογή του προτύπου έγινε κατ' αρχήν λαμβάνοντας υπόψη αποτελέσματα προγνώσεων ανέμου άλλων επιχειρησιακών προτύπων που χρησιμοποιούν Εθνικοί Μετεωρολογικοί φορείς καθώς και σύγχρονα μετρητικά δεδομένα από δίκτυο συστημάτων καταγραφής ανέμου. Παράλληλα εφαρμόζεται διορθωτικός συντελεστής με σκοπό να ενσωματωθεί η επιτάχυνση που παρατηρείται σε περιοχές εγκατάστασης αιολικών πάρκων.



Σχήμα 1: Υπολογιστικό χωρίο του προτύπου COAMPS

## 2.2 Πιθανοθεωρητική Ανάλυση

Η μεθοδολογία που ακολουθείται βασίζεται σε πιθανοθεωρητική ανάλυση του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος και έχει αναπτυχθεί και εφαρμοστεί σε προηγούμενες δημοσιεύσεις [1,2,3]. Οι πιθανοτικές κατανομές των τριών βασικών παραμέτρων της ανάλυσης και η απαιτούμενη περαιτέρω επεξεργασία αυτών έχουν ως εξής:

- Προσδιορίζονται  $M$  διαφορετικές καταστάσεις ζήτησης,  $N$  διαφορετικές καταστάσεις παραγόμενης αιολικής ισχύος και  $L$  διαφορετικές καταστάσεις διαθέσιμης συμβατικής ισχύος. Για κάθε κατάσταση, η ισχύς του φορτίου είναι  $P_{Li}$ , η διαθέσιμη συμβατική ισχύς είναι  $P_{Ck}$  και η παραγόμενη αιολική ισχύς είναι  $P_{Wj}$  ενώ είναι γνωστή και η διάρκειά τους  $h_i$  σε ώρες ετησίως. Στην συνέχεια προσδιορίζονται οι αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης των καταστάσεων αυτών  $f(P_{Li})$ ,  $h(P_{Ck})$  και  $g(P_{Wj})$ . Επαναλαμβάνοντας τους υπολογισμούς για όλες τις καταστάσεις, προκύπτει οι κατανομές πιθανότητας και οι αντίστοιχες καμπύλες διάρκειας.
- Εφαρμόζεται συνέλιξη των τριών παραπάνω διακριτών κατανομών πιθανότητας, δηλαδή της ζήτησης φορτίου, της διαθέσιμης συμβατικής ισχύος και της παραγόμενης αιολικής ισχύος. Προκύπτει λοιπόν ένας τρισδιάστατος πίνακας  $M*L*N$  και η πιθανότητα κάθε κατάστασης του πίνακα είναι:  $\Pi_{ijk}(P_{Li}, P_{Ck}, P_{Wj}) = f(P_{Li}) \times h(P_{Ck}) \times g(P_{Wj})$ . Επίσης, για κάθε λειτουργική κατάσταση  $(i,k,j)$ , μπορεί να ελεγχθεί η ύπαρξη ή όχι ελλείμματος ισχύος. Αθροίζοντας όλες τις πιθανότητες των λειτουργικών καταστάσεων στις οποίες παρατηρείται έλλειμμα ισχύος, υπολογίζεται η πιθανότητα ύπαρξης απώλειας φορτίου. Παράλληλα, μπορεί να υπολογιστεί το συνολικό ενεργειακό έλλειμμα ως το άθροισμα των επιμέρους ενεργειακών ελλειμμάτων επί την πιθανότητα εμφάνισης της κάθε λειτουργικής κατάστασης κατά την οποία έχουμε έλλειμμα ισχύος. Συνεπώς, υπολογίζεται η πιθανότητα απώλειας φορτίου ( $LOLP_S$ ) χωρίς εγκατεστημένη αιολική ισχύ και η πιθανότητα απώλειας φορτίου μετά την εγκατάσταση αιολικής ισχύος ( $LOLP_W$ ). Κατόπιν, με επαναληπτική διαδικασία υπολογίζεται κατά πόσο μπορεί να αυξηθεί η ζήτηση ( $ELCC$ ) μετά την προσθήκη των αιολικών, έτσι ώστε να διατηρηθεί η αξιοπιστία του συστήματος στα επίπεδα πριν την προσθήκη των αιολικών.

- Για τον υπολογισμό της απορρόφησης της αιολικής ενέργειας, εφαρμόζεται συνέλιξη των  $f(P_{Li})$  και  $g(P_{Wj})$  με αποτέλεσμα ένα διδιάστατο πίνακα  $M \times N$ , του οποίου στα στοιχεία αντιστοιχούν στην πιθανότητα εμφάνισης κάθε λειτουργικής κατάστασης:  $\Pi_{ij}(P_{Li}, P_{Wj}) = f(P_{Li}) \times g(P_{Wj}), (i=1, M, j=1, N)$ .

### 2.3 Συντελεστής Εγγυημένης Ισχύος

Ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος [7,8,9,10] κάθε μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αναφέρεται στην ικανότητα της μονάδας αυτής να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος [2], η οποία μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω της πιθανότητας εμφάνισης ελλείμματος ισχύος στο σύστημα ( Loss of Load Probability – LOLP) και αντιστοιχεί στο ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο το σύστημα δεν μπορεί να ανταποκριθεί στην ζήτηση ισχύος. Η πιθανότητα εμφάνισης ελλείμματος ισχύος, εξαρτάται μεταξύ άλλων, από τα χαρακτηριστικά της ζήτησης, την διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία και τον αριθμό των μονάδων ενός συστήματος. Είναι προφανές για τους παραπάνω λόγους ότι τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζονται με στόχο την διατήρηση της πιθανότητας αυτής σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Η ένταξη μίας νέας μονάδας στο σύστημα επιφέρει ταυτόχρονη αύξηση του κόστους αυτού, όμως μειώνει την πιθανότητα αδυναμίας κάλυψης της ζήτησης και άρα αυξάνει την αξιοπιστία του. Η επίδραση μιας νέας μονάδας στην αξιοπιστία του συστήματος μπορεί να διαφέρει κατά περίπτωση και εξαρτάται από τον τύπο της μονάδας, αν είναι στοχαστικής ή σταθερής παραγωγής και τον συντελεστή διαθεσιμότητας αυτής.

Αρχικά, υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης ελλείμματος ισχύος στο σύστημα  $LOLP_s$ , χωρίς αιολικές εγκαταστάσεις. Στη συνέχεια υπολογίζεται η πιθανότητα αυτή,  $LOLP_w$ , μετά την ένταξη των αιολικών. Είναι προφανές ότι  $LOLP_w < LOLP_s$ , αφού οι αιολικές εγκαταστάσεις βελτιώνουν την ικανότητα του συστήματος να ανταποκριθεί στην ζήτηση. Ακολουθώντας υπολογίζεται με επαναληπτική διαδικασία η εγγυημένη παροχή ισχύος (Effective Load Carrying Capability – ELCC), που ορίζεται ως η εγγυημένη ισχύς που παρέχει στο δίκτυο μια μονάδα παραγωγής ενέργειας. Τέλος,

υπολογίζεται ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος, ως  $CC = \frac{ELCC}{P_{w,R}}$ , όπου  $P_{w,R}$  η ονομαστική ισχύς

των εγκατεστημένων αιολικών μονάδων. Ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος εκφράζει την ισοδύναμη συμβατική ισχύ που θα μπορούσε να αντικατασταθεί από αιολικές εγκαταστάσεις, διατηρώντας την αξιοπιστία του συστήματος στα επίπεδα πριν από την προσθήκη των αιολικών.

### 2.4 Απορρόφηση Αιολικής Ενέργειας

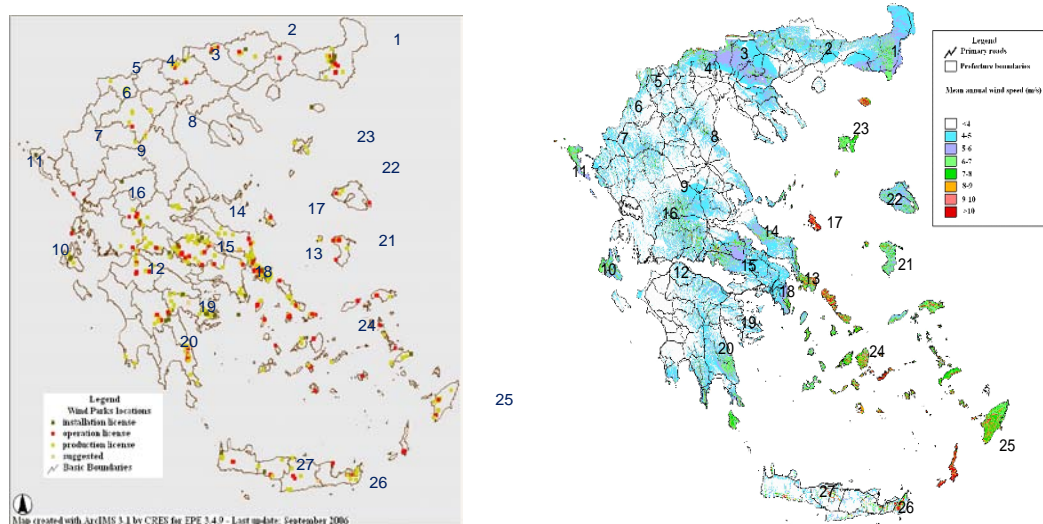
Η μεθοδολογία υπολογισμού της απορροφούμενης αιολικής ενέργειας έχει περιγραφεί και χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες εργασίες [3]. Η δυνατότητα του συστήματος να απορροφήσει άμεσα την παραγόμενη αιολική ενέργεια,  $P_{Absorbed_{i,j}}$  υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το φορτίο του συστήματος  $P_{Li}$  καθώς και την πρόβλεψη της αιολικής παραγωγής  $P'_{wj}$  και υπολογίζεται υπό τους περιορισμούς που θέτουν τα τεχνικά ελάχιστα των ενταγμένων συμβατικών μονάδων καθώς και την μέγιστη επιτρεπόμενη στιγμιαία διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο σύστημα ( $\delta=50\%$ ). Τα υδροηλεκτρικά προγραμματίζονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις αιχμές της ζήτησης, άρα υπολογίζεται η παραγωγή τους  $P_{Hi}$ . Οι απαιτούμενες συμβατικές μονάδες που εντάσσονται, υπολογίζονται έτσι ώστε να μπορεί να καλυφθεί η ζήτηση ακόμα και σε περίπτωση μερικής απώλειας των αιολικών. Ταυτόχρονη, χρονικά απότομη και απρόβλεπτη ολική απώλεια των αιολικών, θεωρείται απίθανο να συμβεί, ειδικά όσο η γεωγραφική διασπορά αυξάνεται οδηγώντας πρακτικά σε μείωση της απαιτούμενης θερμής εφεδρείας. Η απαιτούμενη θερμή εφεδρεία μπορεί να

ληφθεί σε μικρό ποσοστό (π.χ.  $\epsilon = 20\%$ ) της παραγωγής των αιολικών. Σε κάθε κατάσταση λειτουργίας  $(i, j)$  υπολογίζονται η απορροφούμενη  $P_{W \rightarrow A_{ij}}$  καθώς και η απορριπτόμενη αιολική ισχύς  $P_{W \rightarrow C_{ij}}$ , με βάση την ικανότητα του συστήματος. Συμπληρωματικά, απαιτείται μια διόρθωση στα τελικά μεγέθη, που σχετίζεται με την ορθολογική παραδοχή ότι τα υδροηλεκτρικά δεν περιορίζουν την απορρόφηση αιολικής ισχύος. Επομένως, προκύπτει η τελική παραγωγή των υδροηλεκτρικών  $P_{Hij\_final}$  και η τελική περικοπτόμενη αιολική ισχύς  $P_{W \rightarrow C_{ij\_final}}$ . Αθροίζοντας όλες τις πιθανότητες των λειτουργικών καταστάσεων στις οποίες παρατηρείται περικοπή αιολικής ισχύος, υπολογίζεται η ετήσια απορροφούμενη και περικοπτόμενη αιολική ενέργεια, ο πραγματικός συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας και η ενεργειακή συνεισφορά της αιολικής ενέργειας.

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΧΩΡΟ

### 3.1. Προσδιορισμός θέσεων αιολικών εγκαταστάσεων

Αρχικά προσδιορίζονται οι θέσεις ενδιαφέροντος ανά την επικράτεια, λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες αιολικές εγκαταστάσεις [11] καθώς και χάρτες αιολικού δυναμικού [12].



Σχήμα 2: (α) τρέχον καθεστώς των αιολικών εγκαταστάσεων σύμφωνα με το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα για την Ενέργεια [11], (β) Χάρτης αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα [12]

Για την επίτευξη των εθνικών στόχων σχετικά με την συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας (29% μέχρι το 2020), εξετάζονται σενάρια με εγκατεστημένη ισχύ αιολικής ενέργειας 3000, 5000 και 8000MW. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόζεται η προτεινόμενη μέθοδος με στόχο τον προσδιορισμό της βέλτιστης χωροθέτησης των αιολικών εγκαταστάσεων στις τρεις περιπτώσεις.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου βελτιστοποίησης με χρήση των εξελκτικών αλγορίθμων, το λογισμικό βελτιστοποίησης EASY [13] παράγει σε κάθε αξιολόγηση ένα αρχείο το οποίο περιέχει 27 τιμές οι οποίες αντιστοιχούν στην εγκατεστημένη αιολική ισχύ σε κάθε θέση. Έχει τεθεί ανώτατο όριο της επιτρεπόμενης εγκατεστημένης ισχύος σε κάθε θέση, το οποίο μεταβάλλεται κλιμακωτά από τα 300MW για το σενάριο των 3000 MW, στα 500 MW για το σενάριο των 5000 MW και στα 800MW για το σενάριο των 8000MW. Η αξιολόγηση των υπονήφιων λύσεων έγινε με εφαρμογή της μεθόδου που περιγράφηκε παραπάνω. Το λογισμικό βελτιστοποίησης προγραμματίστηκε για την αξιολόγηση 50.000 διαφορετικών λύσεων. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία τριών διαγραμμάτων "Paretto", στα οποία εμφανίζονται οι δέκα βέλτιστες λύσεις για κάθε εξεταζόμενο σενάριο.

### 3.2. Αξιολόγηση ανεμολογικών δεδομένων

Ο συντελεστής συσχέτισης των ετήσιων χρονοσειρών ανέμου σε δύο θέσεις ενδιαφέροντος υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$f = \frac{\sum_{h=1}^{8760} (v_{1,h} - \bar{v}_1) \cdot (v_{2,h} - \bar{v}_2)}{\sqrt{\sum_{h=1}^{8760} (v_{1,h} - \bar{v}_1)^2 \cdot \sum_{h=1}^{8760} (v_{2,h} - \bar{v}_2)^2}}$$

Όπου  $v_{1,h}$ ,  $v_{2,h}$  είναι οι ταυτόχρονες τιμές της ταχύτητας του ανέμου στις δύο υπό εξέταση περιοχές 1 και 2 κατά την χρονική στιγμή  $h$ , και  $\bar{v}_1$ ,  $\bar{v}_2$  είναι η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου αντίστοιχα. Ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει τιμές από -1 έως 1. Θετικές τιμές του συντελεστή συσχέτισης καταδεικνύουν υψηλή συσχέτιση του ανέμου, τιμές κοντά στο 0 μηδέν ασυσχέτιστο άνεμο ενώ αρνητικές τιμές δείχνουν αρνητική συσχέτιση.

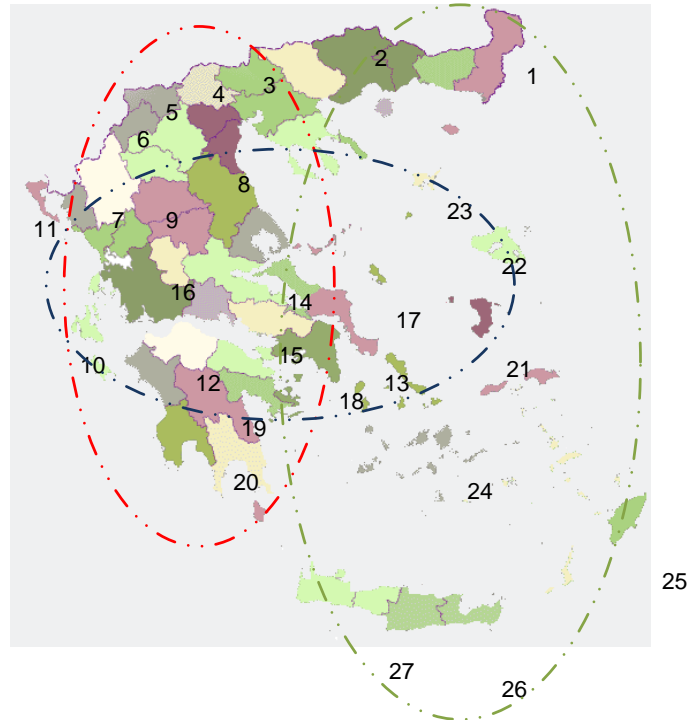
Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ όλων των χρονοσειρών που προέκυψαν από το μετεωρολογικό πρότυπο COAMPS για τις εξεταζόμενες περιοχές.

μέση ετήσια ταχύτητα (m/s)	Θέση	Περιοχή	1	2	3	4	23	8	9	11	22	17	16	21	13	14	10	19	24	20	25	5	6	7	15	12	18	26	27
			Έβρος	Δράμα	Κιλκίς	Πέλλα	Λήμνος	Λάρισα	Τρίκαλα	Κέρκυρα	Λέσβος	Σέριφος	Ευρυτανία	Χίος	Νότ. Εύβοια	Κεντ. Εύβοια	Κεφαλλονιά	Αργολίδα	Νάξος	Λακωνία	Ρόδος	Φλόγρινα	Καστοριά	Ιωάννινα	Βοιωτία	Αχαΐα	Αττική	Λασιθί	Ρέθυμνο
7,3	27	Ρέθυμνο	29%	26%	24%	18%	41%	24%	18%	15%	56%	50%	23%	60%	52%	48%	32%	36%	65%	52%	30%	9%	9%	17%	37%	29%	47%	69%	☒
7,6	26	Λασιθί	11%	9%	8%	5%	24%	0%	-8%	1%	48%	35%	-9%	58%	44%	30%	12%	22%	70%	31%	39%	-10%	-11%	0%	12%	1%	38%	☒	69%
6,7	18	Αττική	44%	34%	8%	7%	64%	26%	17%	11%	68%	72%	22%	67%	83%	78%	36%	62%	65%	68%	4%	-2%	-2%	26%	60%	38%	☒	38%	47%
7,1	12	Αχαΐα	39%	37%	26%	18%	40%	48%	64%	29%	32%	33%	70%	28%	30%	38%	55%	42%	17%	56%	11%	44%	47%	58%	62%	☒	38%	1%	29%
5,7	15	Βοιωτία	53%	47%	23%	21%	59%	54%	56%	26%	52%	58%	64%	47%	56%	64%	44%	62%	36%	62%	3%	31%	35%	52%	☒	62%	60%	12%	37%
6,9	7	Ιωάννινα	42%	52%	42%	40%	41%	66%	79%	42%	30%	33%	59%	23%	22%	31%	59%	34%	12%	40%	9%	67%	67%	☒	52%	58%	26%	0%	17%
6,4	6	Καστοριά	27%	32%	40%	41%	13%	61%	82%	32%	4%	5%	68%	-1%	-8%	6%	37%	9%	-11%	13%	14%	86%	☒	67%	35%	47%	-2%	-11%	9%
6,2	5	Φλόγρινα	28%	38%	49%	51%	15%	62%	73%	36%	6%	7%	59%	0%	-7%	6%	42%	10%	-9%	14%	17%	☒	86%	67%	31%	44%	-2%	-10%	9%
7,0	25	Ρόδος	7%	10%	25%	21%	2%	13%	8%	14%	18%	5%	10%	24%	1%	2%	20%	1%	21%	5%	☒	17%	14%	9%	3%	11%	4%	39%	30%
7,1	20	Λακωνία	41%	42%	18%	15%	55%	37%	35%	13%	55%	58%	40%	56%	65%	64%	43%	63%	53%	☒	5%	14%	13%	40%	62%	56%	68%	31%	52%
7,6	24	Νάξος	28%	21%	9%	4%	50%	10%	2%	8%	74%	64%	3%	81%	74%	59%	25%	41%	☒	53%	21%	-9%	-11%	12%	36%	17%	65%	70%	65%
5,4	19	Αργολίδα	36%	38%	12%	13%	48%	29%	24%	14%	47%	54%	29%	45%	56%	56%	33%	☒	41%	63%	1%	10%	9%	34%	62%	42%	62%	22%	36%
6,5	10	Κεφαλλονιά	41%	41%	39%	32%	40%	47%	48%	60%	37%	37%	45%	34%	32%	36%	☒	33%	25%	43%	20%	42%	37%	59%	44%	55%	36%	12%	32%
7,3	14	Κεντ. Εύβοια	51%	40%	14%	10%	71%	32%	24%	16%	67%	85%	30%	65%	85%	☒	36%	56%	59%	64%	2%	6%	6%	31%	64%	38%	78%	30%	48%
7,4	13	Νότ. Εύβοια	48%	34%	8%	3%	70%	21%	12%	7%	71%	84%	14%	72%	☒	85%	32%	56%	74%	65%	1%	-7%	-8%	22%	56%	30%	83%	44%	52%
7,4	21	Χίος	38%	30%	15%	10%	61%	22%	15%	18%	90%	69%	17%	☒	72%	65%	34%	45%	81%	56%	24%	0%	-1%	23%	47%	28%	67%	58%	60%
6,8	16	Ευρυτανία	40%	35%	33%	30%	31%	66%	83%	32%	23%	23%	☒	17%	14%	30%	45%	29%	3%	40%	10%	59%	68%	59%	64%	70%	22%	-9%	23%
7,5	17	Σέριφος	57%	47%	20%	16%	81%	33%	23%	15%	72%	☒	23%	69%	84%	85%	37%	54%	64%	58%	5%	7%	5%	33%	58%	33%	72%	35%	50%
7,2	22	Λέσβος	45%	36%	17%	12%	69%	28%	22%	22%	☒	72%	23%	90%	71%	67%	37%	47%	74%	55%	18%	6%	4%	30%	52%	32%	68%	48%	56%
6,2	11	Κέρκυρα	25%	26%	31%	24%	20%	34%	34%	☒	22%	15%	32%	18%	7%	16%	60%	14%	8%	13%	14%	36%	32%	42%	26%	29%	11%	1%	15%
7,0	9	Τρίκαλα	41%	42%	38%	35%	33%	71%	☒	34%	22%	23%	83%	15%	12%	24%	48%	24%	2%	35%	8%	73%	82%	79%	56%	64%	17%	-8%	18%
6,0	8	Λάρισα	48%	56%	54%	58%	41%	☒	71%	34%	28%	33%	66%	22%	21%	32%	47%	29%	10%	37%	13%	62%	61%	66%	54%	48%	26%	0%	24%
7,1	23	Λήμνος	69%	57%	21%	16%	☒	41%	33%	20%	69%	81%	31%	61%	70%	71%	40%	48%	50%	55%	2%	15%	13%	41%	59%	40%	64%	24%	41%
5,3	4	Πέλλα	27%	43%	68%	☒	16%	58%	35%	24%	12%	16%	30%	10%	3%	10%	32%	13%	4%	15%	21%	51%	41%	40%	21%	18%	7%	5%	18%
5,7	3	Κιλκίς	29%	44%	☒	68%	21%	54%	38%	31%	17%	20%	33%	15%	8%	14%	39%	12%	9%	18%	25%	49%	40%	42%	23%	26%	8%	8%	24%
5,9	2	Δράμα	65%	☒	44%	43%	57%	56%	42%	26%	36%	47%	35%	30%	34%	40%	41%	38%	21%	42%	10%	38%	32%	52%	47%	37%	34%	9%	26%
6,5	1	Έβρος	☒	65%	29%	27%	69%	48%	41%	25%	45%	57%	40%	38%	48%	51%	41%	36%	28%	41%	7%	28%	27%	42%	53%	39%	44%	11%	29%

Πίνακας 1: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ όλων των θέσεων ενδιαφέροντος και μέσες ετήσιες ταχύτητες ανέμου με βάση τις χρονοσειρές του μετεωρολογικού προτύπου COAMPS,

Όπως προκύπτει και από τον παραπάνω πίνακα ο άνεμος στον ελληνικό γεωγραφικό χώρο παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση, ενώ οι περιπτώσεις κατά τις οποίες οι διάφορες περιοχές ενδιαφέροντος εμφανίζουν μεταξύ τους αρνητική συσχέτιση είναι πολύ περιορισμένες. Ειδικότερα, η περιοχή σε όλο το εύρος του Αιγαίου φαίνεται να είναι υψηλά συσχετισμένες, ενώ επίσης

παρουσιάζεται έντονη συσχέτιση μεταξύ των περιοχών που βρίσκονται στην δυτική Ελλάδα και στην κεντρική αντίστοιχα. Οι κυριότερες περιοχές συσχέτισης παρουσιάζονται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3: Περιοχές αιολικού ενδιαφέροντος και κύριες περιοχές συσχέτισης

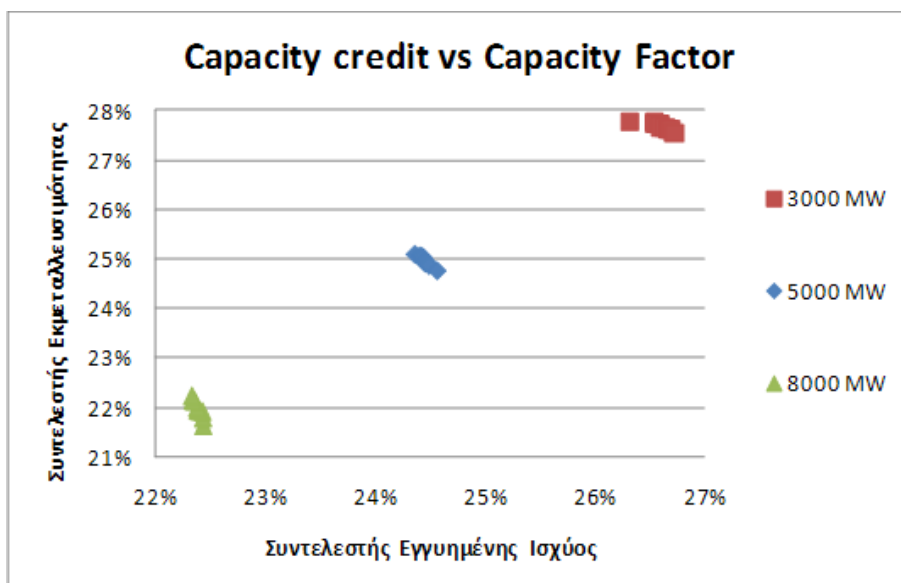
### 3.3. Αποτελέσματα

Στο σχήμα 4, παρουσιάζονται οι δέκα βέλτιστες ως προς τους δύο στόχους (συντελεστής εγγυημένης ισχύος - CC και συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας - CF) στα τρία σενάρια που εξετάστηκαν για αιολική εγκατεστημένη ισχύ 3000 MW, 5000 MW και 8000 MW.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος και ο πραγματικός συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας<sup>1</sup> μειώνονται καθώς αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς.
- Ο συντελεστής εγγυημένης ισχύος μειώνεται από 26.3%-26.7% στο σενάριο των 3000 MW σε 24.3%-24.5% στο σενάριο των 5000 MW και σε 22.3%-22.4% στο σενάριο των 8000 MW.
- Ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας μειώνεται από 27.5%-27.7% στο σενάριο των 3000 MW σε 24.7%-25.1% στο σενάριο των 5000 MW και σε 21.6%-22.2%.

<sup>1</sup> Λαμβάνεται υπόψη η περικοπή της αιολικής ενέργειας



Σχήμα 4: Συντελεστής εγγυημένης ισχύος- Συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας για τις 10 βέλτιστες λύσεις των σεναρίων των 3000 MW, 5000 MW και 8000 MW.

Στους πίνακες 2, 3 και 4 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς στις 27 θέσεις ενδιαφέροντος για τις 10 βέλτιστες λύσεις που προσδιορίστηκαν από την εκτέλεση του EASY για τα σεναρία των 3000, 5000 και 8000 MW.

Παρατηρώντας την εγκατεστημένη ισχύ σε κάθε θέση για τα διαφορετικά σημεία του μετώπου των βέλτιστων λύσεων γίνεται σαφές ότι υψηλές τιμές των δύο στόχων, δηλαδή του συντελεστή εγγυημένης ισχύος και του συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας, μπορούν να επιτευχθούν με πολλές εναλλακτικές λύσεις. Το γεγονός αυτό δίνει την δυνατότητα στους φορείς διαχείρισης του ηλεκτρικού συστήματος και της ενεργειακής πολιτικής να επιλέξουν μέσα από ένα ευρύ σύνολο λύσεων, εκείνη που ικανοποιεί, εκτός από τα συγκεκριμένα μεγέθη, και άλλους στόχους ή περιορισμούς οι οποίοι ενδεχομένως προκύπτουν από την ανάπτυξη των δικτύων, από χωροταξικά και κοινωνικά ζητήματα.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2%	4%	2%	2%	4%	4%	0%	0%	1%	4%	1	4%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	11%	10%	10%	1	3%	6%	2%	2%	2%	3%	3%	2%	3%	
2	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2	1%	1%	2%	2%	2%	5%	2%	1%	5%	5%	2	3%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	2%	2%	
3	1%	2%	1%	2%	2%	2%	1%	2%	2%	1%	3	5%	1%	0%	1%	1%	1%	2%	2%	0%	0%	3	1%	1%	4%	3%	2%	2%	3%	2%	1%	1%
4	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	4	0%	6%	1%	1%	1%	5%	1%	1%	1%	1%	4	2%	3%	2%	1%	2%	2%	1%	2%	2%	
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5	11%	6%	11%	0%	11%	0%	11%	1%	1%	9%	5	12%	11%	7%	10%	7%	7%	12%	10%	12%	12%
6	8%	6%	8%	2%	1%	8%	2%	2%	2%	6%	6	31%	28%	22%	28%	22%	22%	28%	22%	22%	19%	6	36%	41%	46%	49%	50%	36%	20%	27%	37%	36%
7	1%	1%	1%	1%	1%	1%	4%	4%	4%	4%	7	13%	6%	16%	17%	16%	16%	19%	15%	15%	7	13%	21%	12%	14%	12%	12%	19%	13%	17%	12%	
8	7%	6%	9%	7%	6%	4%	5%	4%	4%	9%	8	28%	27%	30%	27%	27%	27%	27%	27%	28%	20%	8	18%	18%	19%	20%	19%	17%	20%	20%	17%	20%
9	2%	2%	2%	2%	2%	4%	2%	2%	2%	2%	9	6%	31%	32%	34%	32%	32%	46%	31%	31%	43%	9	34%	39%	29%	19%	21%	38%	44%	38%	33%	19%
10	2%	2%	2%	2%	2%	2%	0%	0%	0%	0%	10	3%	0%	0%	0%	6%	0%	3%	4%	4%	4%	10	2%	3%	2%	2%	2%	2%	4%	2%	2%	
11	3%	3%	3%	3%	9%	3%	3%	5%	5%	3%	11	5%	20%	18%	17%	18%	18%	5%	7%	7%	7%	11	49%	10%	49%	49%	54%	49%	49%	54%	49%	
12	94%	100%	94%	93%	93%	93%	95%	95%	93%	12	97%	98%	97%	97%	97%	92%	97%	97%	97%	97%	12	92%	93%	98%	97%	98%	92%	87%	92%	91%	99%	
13	97%	97%	97%	97%	95%	92%	89%	89%	89%	92%	13	66%	66%	65%	65%	65%	60%	62%	90%	90%	90%	13	38%	52%	40%	53%	39%	41%	53%	53%	40%	41%
14	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	14	60%	35%	37%	35%	38%	37%	34%	37%	37%	14	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	25%	28%	
15	3%	0%	3%	0%	0%	0%	2%	2%	2%	1%	15	3%	0%	3%	1%	2%	3%	2%	3%	0%	1%	15	3%	2%	1%	1%	3%	2%	1%	3%	2%	3%
16	97%	97%	97%	97%	99%	90%	99%	99%	99%	99%	16	66%	48%	48%	48%	48%	47%	49%	45%	45%	48%	16	88%	88%	88%	87%	95%	88%	90%	87%	88%	85%
17	2%	23%	23%	11%	14%	2%	14%	11%	11%	25%	17	40%	50%	49%	38%	49%	50%	61%	51%	55%	48%	17	56%	49%	56%	56%	56%	53%	56%	41%	60%	
18	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	18	1%	4%	0%	0%	3%	5%	1%	4%	4%	1%	18	1%	10%	3%	1%	2%	3%	2%	1%	6%	1%
19	23%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	1%	1%	3%	19	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	19	0%	1%	0%	1%	0%	1%	1%	0%	1%	0%
20	91%	98%	92%	96%	92%	96%	92%	92%	92%	54%	20	61%	51%	55%	74%	52%	51%	44%	46%	45%	55%	20	47%	48%	49%	47%	49%	49%	44%	46%	48%	47%
21	100%	100%	100%	95%	94%	99%	89%	88%	88%	99%	21	93%	96%	93%	93%	95%	96%	80%	95%	94%	96%	21	53%	55%	58%	58%	58%	55%	56%	66%	54%	59%
22	60%	40%	40%	59%	58%	53%	60%	60%	60%	53%	22	23%	26%	24%	26%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	22	30%	27%	30%	19%	22%	30%	14%	19%	29%	19%
23	98%	97%	97%	98%	98%	98%	91%	91%	91%	98%	23	33%	43%	41%	42%	34%	43%	46%	41%	41%	11%	23	28%	29%	34%	34%	36%	28%	29%	28%	28%	34%
24	19%	38%	38%	49%	50%	62%	75%	75%	75%	75%	24	65%	81%	83%	94%	83%	82%	69%	66%	68%	82%	24	95%	95%	65%	65%	65%	95%	95%	69%	96%	95%
25	92%	92%	95%	95%	95%	95%	94%	95%	95%	94%	25	95%	95%	95%	80%	95%	95%	96%	95%	95%	96%	25	99%	99%	100%	99%	100%	99%	99%	99%	100%	100%
26	99%	89%	95%	93%	95%	92%	95%	95%	95%	95%	26	97%	83%	91%	92%	96%	96%	95%	98%	98%	97%	26	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%
27	93%	93%	93%	93%	82%	92%	81%	81%	81%	83%	27	92%	91%	84%	84%	84%	92%	92%	84%	84%	82%	27	63%	63%	70%	77%	70%	59%	65%	79%	65%	63%

Σενάριο 3000MW με μέγιστο 300MW ανά θέση

Σενάριο 5000MW με μέγιστο 500MW ανά θέση

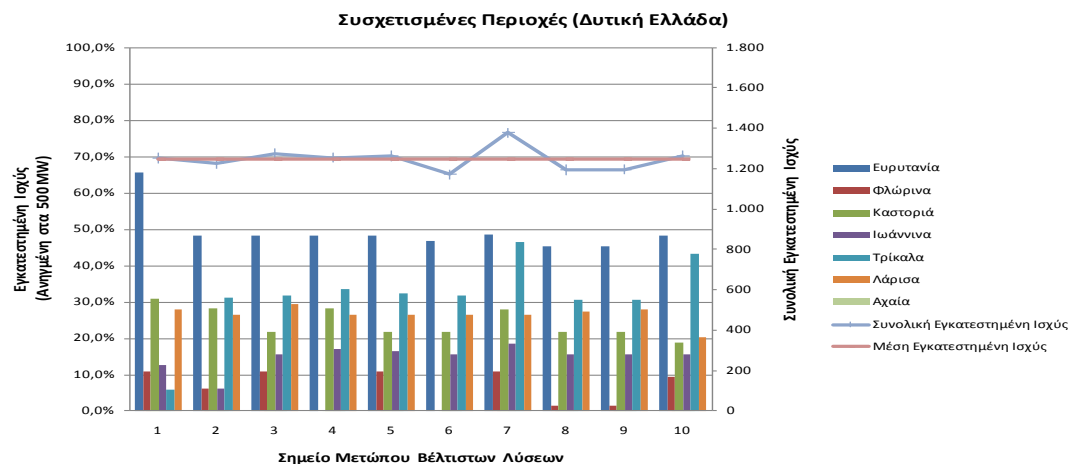
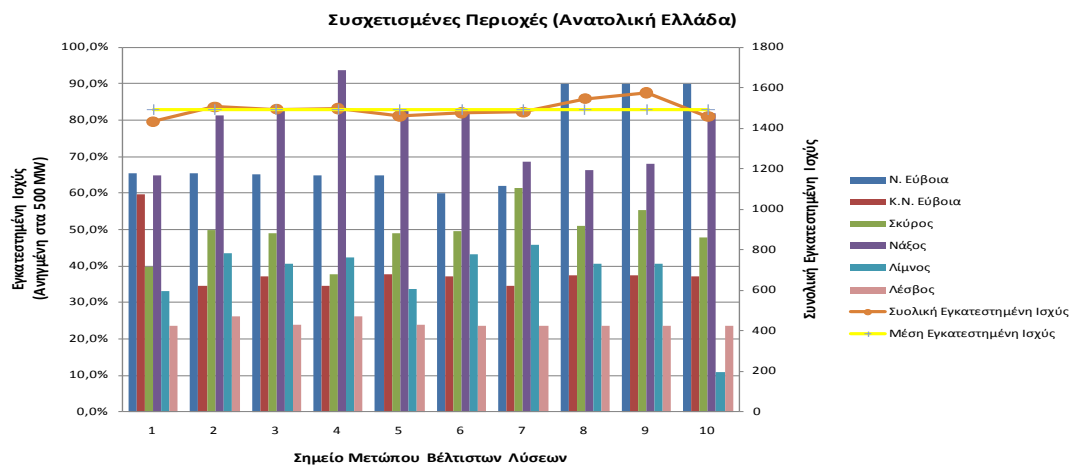
Σενάριο 8000MW με μέγιστο 800MW ανά θέση

Πίνακες 2,3&4: Εγκατεστημένη αιολική ισχύς στις 27 μακροσκοπικές θέσεις ενδιαφέροντος, ανηγμένες στη μέγιστη επιτρεπόμενη εγκατεστημένη ισχύ του κάθε σεναρίου (300 MW για το σενάριο 3000 MW, 500 MW για το σενάριο 5000 MW, 800 MW για το σενάριο 8000 MW)

Από την σύγκριση των βέλτιστων λύσεων που προέκυψαν για τα τρία εξεταζόμενα σεναρία προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις:

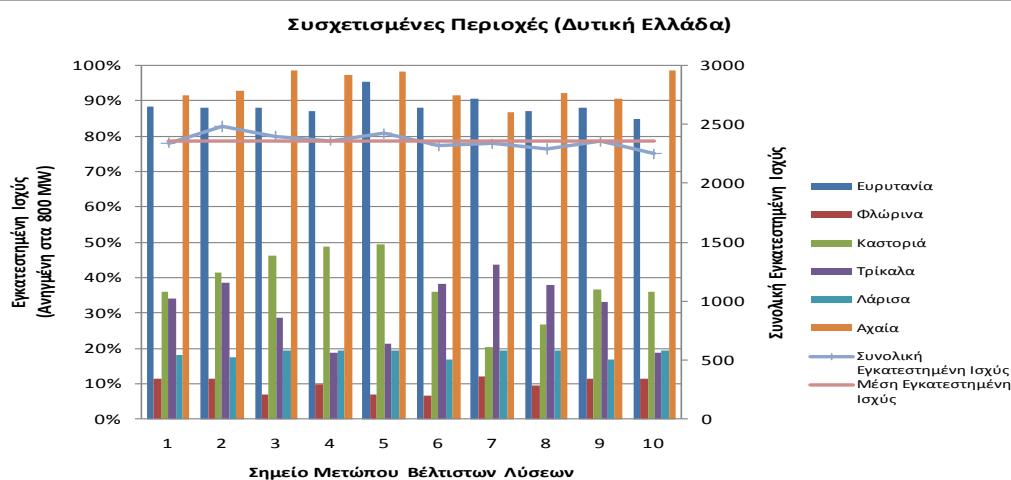
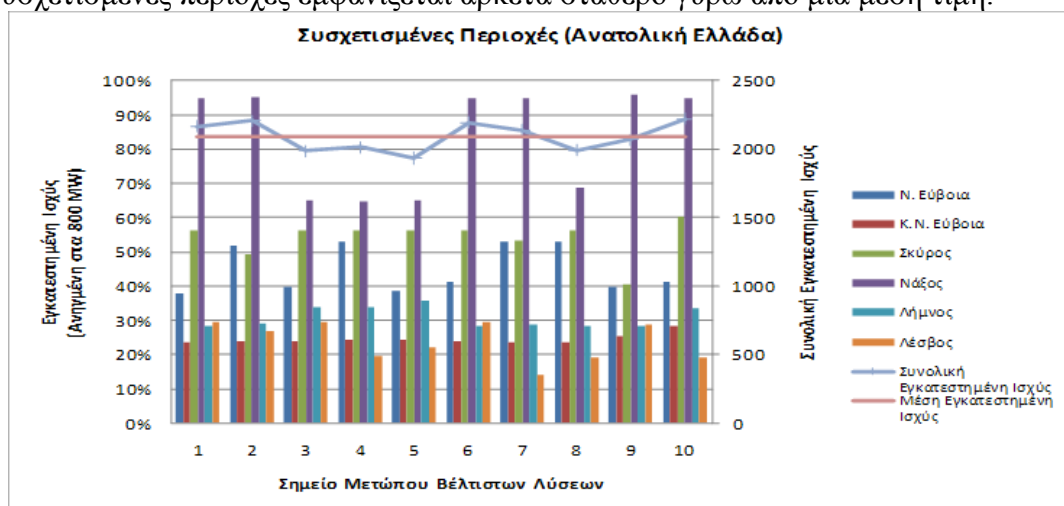


- Σε ορισμένες περιοχές, όπως η Αχαΐα (12), η Χίος (21), η Ρόδος (25), το Λασιθί (26) και η Νάξος (24) ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης επιλέγει υψηλή εγκατεστημένη ισχύ και στα τρία εξεταζόμενα σενάρια λόγω του καλού αιολικού δυναμικού που επικρατεί στις περιοχές αυτές. Επιπροσθέτως, η περιοχή της Αχαΐας (12) εμφανίζει εξαιρετικά χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης με τις υπόλοιπες περιοχές.
- Στο σενάριο των 3000 MW παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση αιολικής ισχύος σε περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό. Αντίθετα, στα σενάρια των 5000 MW και 8000 MW, παρότι ορισμένες περιοχές εξακολουθούν να εμφανίζουν υψηλές τιμές εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, η μέθοδος βελτιστοποίησης επιλέγει να κατανειμί των απαιτούμενη αιολική ισχύ με μεγαλύτερη γεωγραφική διασπορά. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει την σημασία της γεωγραφικής διασποράς.
- Στο σενάριο των 3000 MW ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης επιλέγει σημαντικά μεγαλύτερη εγκατεστημένη αιολική ισχύ για τις περιοχές της Λέσβου (22), της Λήμνου (23) και της Ευρυτανίας (26) σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για το σενάριο των 5000 MW. Στο σενάριο των 3000 MW, στην περιοχή της Νότιας Εύβοιας τοποθετείται αιολική ισχύς σε όλες τις βέλτιστες λύσεις περίπου στο 90% του επιτρεπόμενου ορίου, ενώ στην περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας (14) και της Σκύρου (17) η εγκατεστημένη ισχύς είναι χαμηλότερη. Αντίθετα, στα σενάρια των 5000 και 8000 MW παρατηρείται ότι στις περιοχές αυτές, οι οποίες είναι έντονα συσχετισμένες και με υψηλό αιολικό δυναμικό, τοποθετείται μεγαλύτερη εγκατεστημένη αιολική ισχύς. Η ίδια συμπεριφορά εμφανίζεται και στις περιοχές Ευρυτανία (16), Καστοριά (6), Τρίκαλα (9), Λάρισα (8), Φλώρινα (5) και Ιωάννινα.



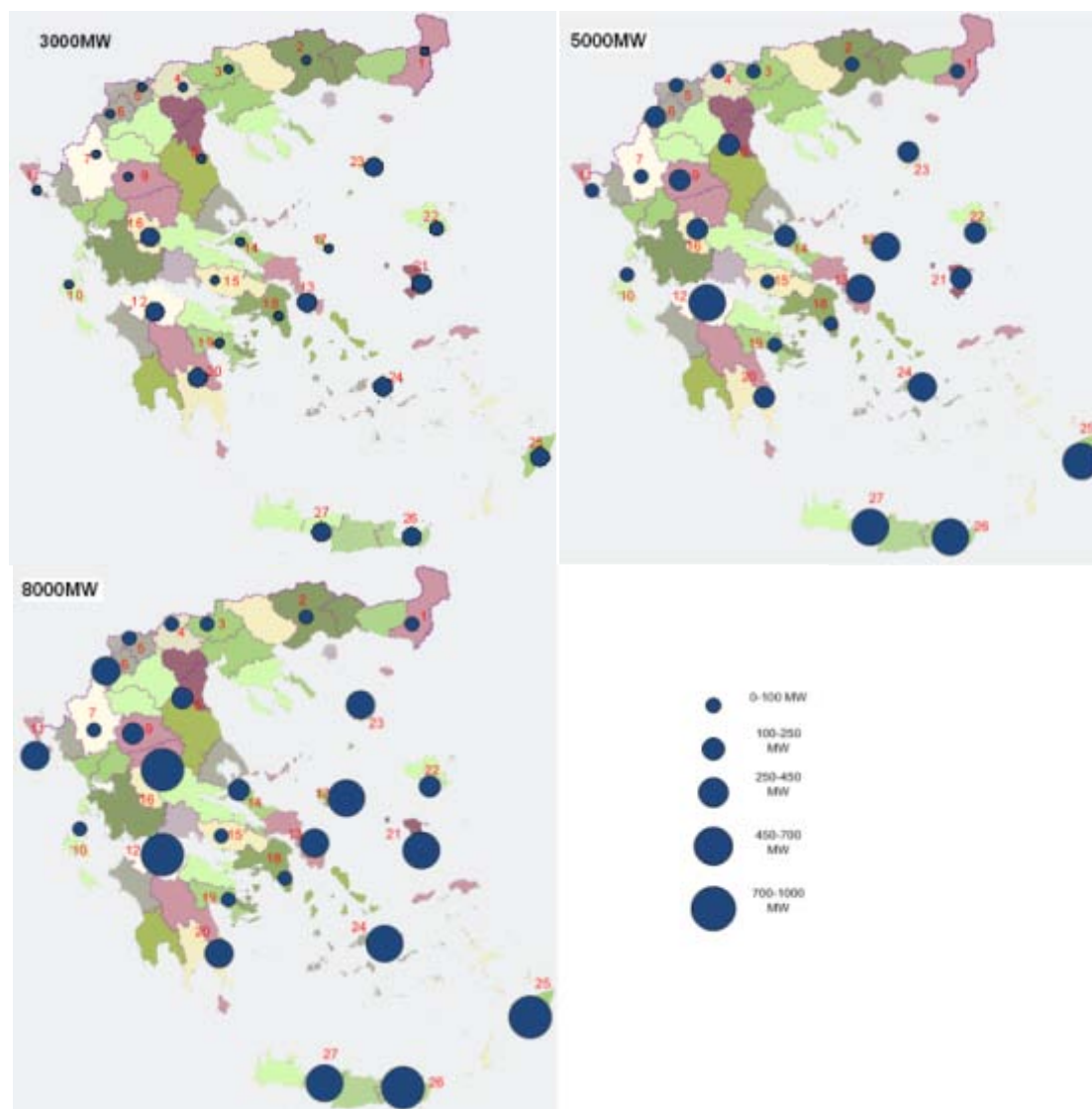
Σχήμα 5: Εγκατεστημένη αιολική ισχύς στις περιοχές υψηλής συσχέτισης και συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς για τις ευρύτερες περιοχές στο σενάριο των 5000 MW

Οι περιοχές με υψηλή συσχέτιση, άνω του 50%, επί των οποίων αναφέρονται οι παραπάνω επισημάνσεις ομαδοποιούνται και οι τιμές της εγκατεστημένης ισχύος για κάθε περιοχή στα σενάρια των 5000 MW παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στα επόμενα δύο διαγράμματα. Γίνεται εμφανές ότι η μέθοδος αντιλαμβάνεται στις υπάρχουσες συσχετίσεις κατά την εξέλιξη της διαδικασία βελτιστοποίησης αφού όπως είναι εμφανές το άθροισμα της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στις υψηλά συσχετισμένες περιοχές εμφανίζεται αρκετά σταθερό γύρω από μία μέση τιμή.



Σχήμα 6: Εγκατεστημένη αιολική ισχύς στις περιοχές υψηλής συσχέτισης και συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς για τις ευρύτερες περιοχές στο σενάριο των 8000 MW

Στους ακόλουθους χάρτες φαίνεται το μέγεθος της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε κάθε θέση ενδιαφέροντος, με βάση τα αποτελέσματα της μεθόδου βελτιστοποίησης για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια.



Σχήμα 7: Βέλτιστη χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων στον ελληνικό γεωγραφικό χώρο για τα σενάρια των 3000, 5000 και 8000 MW.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η γεωγραφική διασπορά των αιολικών εγκαταστάσεων είναι ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, καθώς επηρεάζει την αποδοτική ενσωμάτωση στο ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα. Η χρήση βέλτιστων σεναρίων χωροθέτησης μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση των συμβατικών μονάδων παραγωγής σε ένα σύστημα, όπως φαίνεται από την αύξηση του συντελεστή εγγυημένης ισχύος των αιολικών πάρκων. Παράλληλα, αυξάνεται η απορρόφηση της αιολικής ενέργειας και συνεπώς η συνεισφορά της στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Στην Ελλάδα οι περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή του Αιγαίου και στις ανατολικές περιοχές της ηπειρωτικής χώρας. Οι περιοχές του Αιγαίου εμφανίζουν υψηλούς συντελεστές συσχέτισης, σε όλο το εύρος της περιοχής αυτής, από τον Βορρά μέχρι τον Νότο. Αντίστοιχα εμφανίζεται μία δεύτερη περιοχή υψηλής συσχέτισης στην δυτική Ελλάδα και μία τρίτη στην περιοχή της κεντρικής Ελλάδας.

Στις περιπτώσεις που εξετάζονται σενάρια με μεγάλες τιμές εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, προκύπτουν σημαντικά οφέλη τα οποία σχετίζονται με την μορφή της κατανομής του ανέμου, την ικανότητα απορρόφησης από το σύστημα της παραγόμενης αιολικής ενέργειας και την αξιοπιστία

του ηλεκτρικού συστήματος, τα οποία οδηγούν σε λύσεις με ευρεία γεωγραφική διασπορά ακόμη και με αξιοποίηση περιοχών με χαμηλότερο αιολικό δυναμικό. Στις περιπτώσεις αυτές, παρότι εμφανίζεται χαμηλότερο αιολικό δυναμικό, προκύπτει υψηλότερη απορρόφηση με αποτέλεσμα ο πραγματικός συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας τελικά να αυξάνεται.

Συνεπώς, η υπερσυγκέντρωση των αιολικών εγκαταστάσεων σε ορισμένες περιοχές, με κριτήριο μόνο το υψηλό αιολικό δυναμικό δεν είναι πάντοτε η βέλτιστη λύση. Αντίθετα, πολλαπλά οφέλη προκύπτουν για το ηλεκτρικό σύστημα από την αξιοποίηση περιοχών με χαμηλότερο αιολικό δυναμικό.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ – ΠΗΓΕΣ

- [1] G.Caralis, K.Rados, A.Zervos, (2009) “The benefits from the spatial dispersion of the wind farms in the Greek power supply system”, EWEC '09, Parc Chanot, Marseille, France 16 - 19 March 2009
- [2] G.Caralis, Y.Perivolaris, K.Rados, A.Zervos, (2008) “On the Effect of Spatial Dispersion of Wind Power Plants on the Wind Energy Capacity Credit in Greece”, *Environmental Research Letters*, Volume 3, 015003 (13pp), January-March 2008.
- [3] G.Caralis, K.Rados, A.Zervos, “The effect of spatial dispersion of wind power plants on the curtailment of wind power in the Greek power supply system”, *Wind Energy*, Volume 13, Issue 4, Pages: 339-355, May 2010.
- [4] EWEA, “Large scale integration of wind energy in the European power supply: Analysis, issues and recommendations”, December 2005.
- [5] HTSO (2008), “MASM 2008-2012: Study for the development of the transformation system, Period 2008-2012, Hellenic Transmission System Operator, July 2008 (in Greek). Available on: [http://www.rae.gr/K1/MASM2008-2012\\_draft.pdf](http://www.rae.gr/K1/MASM2008-2012_draft.pdf)
- [6] Hodur, R.M. (1997), ‘The Navel Research Laboratory's Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS)’, *Mon. Weather Rev.*, 125, p. 1414.
- [7] Milligan M., Graham M., “An enumerated Probabilistic Simulation Technique and Case Study: Integrating wind power into utility production cost models” NREL/TP-440-21530, July 1996.
- [8] Milligan M., “Modeling Utility Scale Wind Power Plants, Part 1: Economics”, NREL/TP-500-27514, June 2000.
- [9] Milligan M., “A sliding Window Technique for calculating system LOLP Contributions of Wind Power Plants” AWEA’s WINDPOWER 2001 Conference Washington, D.C., June 4-7, 2001.
- [10] Milligan M., “Modeling Utility Scale Wind Power Plants, Part 2: Capacity Credit”, NREL/TP-500-29701, March 2002.
- [11] “National Information system for Energy”, Ministry of Development.
- [12] “Thematic Maps. Assessment of wind energy potential in Greece”, CRES, Framework Programme “Energy”, September 2001. <http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm>
- [13] EASY v 2.0 User’s Manual, National Technical University of Athens, School of Mechanical Engineering, Parallel CFD & Optimisation Unit